

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ – 0,791

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ – 0,380

Журнал издается с 2001 г.

Электронная версия: <http://www.natural-sciences.ru>

Правила для авторов: <http://www.natural-sciences.ru/ru/rules/index>

Подписной индекс по электронному каталогу «Почта России» – П7816

**Главный редактор**

*Ледванов Михаил Юрьевич, д.м.н., профессор*

**Зам. главного редактора**

*Курзанов Анатолий Николаевич, д.м.н., профессор*

**Ответственный секретарь редакции**

*Бизенкова Мария Николаевна, к.м.н.*

#### **РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ**

д.с.-х.н., доцент Абдулвалеев Р.Р. (Уфа); д.г.-м.н., проф., Абилхасимов Х.Б. (Астатна); д.т.н., проф. Айдосов А. (Алматы); д.г.-м.н., проф., Алексеев С.В. (Иркутск); д.х.н., проф., Алоев В.З. (Нальчик); д.г.н., проф. Андреев С.С. (Ростов-на-Дону); д.г.н., доцент, Андреева Е.С. (Ростов-на-Дону); д.с.-х.н., доцент Анищенко Л.Н. (Брянск); д.с.-х.н., проф. Байрамбеков Ш.Б. (Камызяк); д.т.н., проф. Бейсембаев К.М. (Караганда); д.т.н., проф. Белозеров В.В. (Ростов-на-Дону); д.б.н., доцент Белоус О.Г. (Сочи); д.с.-х.н., проф. Берсон Г.З. (Великий Новгород); д.г.-м.н., проф. Бондарев В.И. (Екатеринбург); д.т.н., профессор Галкин А.Ф. (Ухта); д.г.-м.н., проф. Гавришин А.И. (Новочеркасск); д.с.-х.н., Горбачева А.Г. (Пятигорск); д.с.-х.н., Горянин О.И. (Самара); д.г.-м.н., проф. Гусев А.И. (Бийск); д.с.-х.н., проф. Данилин И.М. (Красноярск); д.б.н., доцент Долгов А.В. (Мурманск); д.э.н., проф. Долятовский В.А. (Ростов-на-Дону); д.х.н., проф. Дресвянников А.Ф. (Казань); д.г.н., проф. Егорова А.В. (Усть-Каменогорск); д.т.н., проф. Ерофеев В.И. (Томск); д.с.-х.н., проф. Залесов С.В. (Екатеринбург); д.с.-х.н., доцент Захарченко А.В. (Томск); д.с.-х.н., проф. Зволинский В.П. (Волгоград); д.х.н., проф. Ивашкевич А.Н. (Москва); д.б.н., доцент Кавцевич Н.Н. (Мурманск); д.т.н., проф. Калякин С.А. (Донецк); д.с.-х.н., проф. Караев М.К. (Махачкала); д.г.-м.н., проф. Кашаев А.А. (Иркутск); д.ф.-м.н., проф. Кобрунов А.И. (Ухта); д.г.-м.н., доцент Копылов И.С. (Пермь); д.г.-м.н., проф. Костицын В.И. (Пермь); д.с.-х.н., проф. Костылев П.И. (Зерноград); д.э.н., проф. Косякова И.В. (Самара); д.с.-х.н., Коцарева Н.В. (Белгород); д.т.н., доцент Кузьяков О.Н. (Тюмень); д.г.-м.н., проф. Кучеренко И.В. (Томск); д.б.н., проф. Ларионов М.В. (Саратов); д.г.-м.н., проф. Лебедев В.И. (Кызыл); д.ф.-м.н., проф. Лерер А.М. (Ростов-на-Дону); д.г.н., проф. Луговской А.М. (Москва); д.г.-м.н., проф. Мельников А.И. (Иркутск); д.т.н., проф. Мусаев В.К. (Москва); д.т.н., доцент Нехорошева А.В. (Ханты-Мансийск); д.с.-х.н., Никитин С.Н. (Ульяновск); д.с.-х.н., Оказова З.П. (Владикавказ); д.с.-х.н., проф. Партоев К. (Душанбе); д.с.-х.н., проф. Петелько А.И. (Мценск); д.т.н., проф. Петров М.Н. (Красноярск); д.т.н., проф. Пирумян Г.П. (Ереван); д.с.-х.н., проф. Проездов П.Н. (Саратов); д.г.-м.н., проф. Сакиев К.С. (Бишкек); д.б.н. Сибикеев С.Н. (Саратов); д.с.-х.н., доцент Сокольская О.Б. (Саратов); д.т.н., проф. Степанов В.В. (Санкт-Петербург); д.т.н., проф. Тарасенко А.А. (Тюмень); д.т.н. Теплухин В.К. (Октябрьский); д.э.н., проф. Титов В.А. (Москва); д.с.-х.н., проф. Титов В.Н. (Саратов); д.с.-х.н., проф. Тихановский А.Н. (Салехард); д.г.-м.н., проф. Трофименко С.В. (Нерюнгри); д.т.н., проф. Ульрих Е.В. (Кемерово); д.г.н., проф. Чодураев Т.М. (Бишкек); д.с.-х.н., проф. Шамшиев Б.Н. (Ош); д.т.н., проф. Шантарин В.Д. (Тюмень); д.т.н., проф. Шатов А.А. (Уфа); д.ф.-м.н., проф. Ширапов Д.Ш. (Улан-Удэ); д.т.н., проф. Шишелова Т.И. (Иркутск); д.ф.-м.н., проф. Шугунов Л.Ж. (Нальчик); д.г.-м.н., проф. Юргенсон Г.А. (Чита); д.г.н., проф. Яковенко Н.В. (Воронеж); д.т.н., проф. Ямалетдинова К.Ш. (Челябинск)

---

Журнал «УСПЕХИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ» зарегистрирован  
Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий  
и массовых коммуникаций.

Свидетельство – **ПИ № ФС 77-63398.**

Все публикации рецензируются. Доступ к электронной версии журнала бесплатный.

**Двухлетний импакт-фактор РИНЦ – 0,791.**

**Пятилетний импакт-фактор РИНЦ – 0,380.**

**Журнал зарегистрирован в Centre International de l'ISSN. ISSN 1681-7494.**

**Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных ВИНИТИ.**

Учредитель, издательство и редакция:  
ООО ИД «Академия Естествознания»

Почтовый адрес: 105037, г. Москва, а/я 47

Адрес редакции и издателя: 440026, Пензенская область, г. Пенза, ул. Лермонтова, 3

Ответственный секретарь редакции  
Бизенкова Мария Николаевна  
+7 (499) 705-72-30  
E-mail: edition@rae.ru

Подписано в печать – 30.12.2021

Дата выхода номера – 31.01.2022

Формат 60x90 1/8

Типография

ООО «Научно-издательский центр

Академия Естествознания»,

410035, Саратовская область, г. Саратов, ул. Мамонтовой, 5

Техническая редакция и верстка

Байгузова Л.М.

Корректор

Галенкина Е.С., Дудкина Н.А.

Способ печати – оперативный.

Распространение по свободной цене.

Усл. п.л. 27,75

Тираж – 1000 экз.

Заказ. УСЕ/12-2021

Подписной индекс П7816

© ООО ИД «Академия Естествознания»

---

## СОДЕРЖАНИЕ

**Сельскохозяйственные науки (06.01.00, 06.03.00)****СТАТЬИ**

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРИОДА ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ФЛАГОВОГО ЛИСТА МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВОДООБЕСПЕЧЕННОСТИ <i>Джахангиров А.А., Мамедова С.М., Аллахвердиев Т.И., Гусейнова И.М., Гамидов Г.Н.</i> .....	9
СИСТЕМАТИЧЕСКИЕ ОШИБКИ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ АСИММЕТРИИ ЛИСТОВЫХ ПЛАСТИН <i>Зыков И.Е., Баранов С.Г., Винокуров И.Ю., Федорова Л.В., Бирюкова Т.С.</i> .....	15
ФЕНОЛОГИЧЕСКИЕ ФОРМЫ QUERCUS ROBUR L. В НАСАЖДЕНИЯХ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ <i>Иозус А.П., Завьялов А.А., Крючков С.Н.</i> .....	21
ВЛИЯНИЕ РОСТОГЕНЕРИРУЮЩИХ ВЕЩЕСТВ НА ПОКАЗАТЕЛИ ВСХОЖЕСТИ И ФЕНОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ СЕЯНЦЕВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (PINUS SYLVESTRIS) И СОСНЫ СИБИРСКОЙ (PINUS SIBIRICA) <i>Коновалова Е.В., Кисова С.В., Ставников Д.Ю.</i> .....	27
ОСОБЕННОСТИ ОЗЕЛЕНЕНИЯ ЛЕТНЕГО САДА ИМ. ГОРЬКОГО – КРАТКОВРЕМЕННОГО МЕСТА ОТДЫХА В ЦЕНТРЕ ГОРОДА ИЖЕВСКА <i>Кузьмина Н.М., Федоров А.В., Ардашева О.А., Черемных Е.Н.</i> .....	33
ВЛИЯНИЕ БИОУДОБРЕНИЯ НА ОСНОВЕ МИКОРИЗНЫХ ГРИБОВ НА РОСТ И МИКОРИЗАЦИЮ КОРНЕЙ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ <i>Кураמיшина З.М., Свиридова К.В.</i> .....	39
БИОМОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЛЕСНЫХ СООБЩЕСТВ С УЧАСТИЕМ КРАСНОКНИЖНОГО ВИДА TAXUS VACCATA L. <i>Омарова П.К.</i> .....	44
РОЛЬ ОБРАБОТКИ ЧЕРНОЗЕМА ОБЫКНОВЕННОГО И ЗВЕНА СЕВООБОРОТА В ФОРМИРОВАНИИ АГРОФИЗИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ, ЗАСОРЕННОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ЛЬНА МАСЛИЧНОГО – ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ – МОГАРА И ГОРОХА <i>Полоус В.С., Осауленко С.Н.</i> .....	49
ТРАНСФОРМАЦИЯ МИКРОКЛИМАТА И ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ОСУШАЕМЫХ СОСНЯКОВ КУСТАРНИЧКОВО-СФАГНОВЫХ СЕВЕРОТАЕЖНОЙ ПОДЗОНЫ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ <i>Пономарева Т.И., Штанг А.К., Ярыгина О.Н., Селянина С.Б.</i> .....	56
ХВОЯ ЕЛИ СИБИРСКОЙ (PICEA OBOVATA L.) КАК ИНДИКАТОР АЭРОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ <i>Попельницкая И.М., Палкина А.А., Шилина Н.Г., Попельницкий Е.В., Почекутов С.И., Геращенко С.М.</i> .....	64
КЕДР СИБИРСКИЙ – ИНДИКАТОР СИНЕРГЕТИКИ ГЕОАКТИВНЫХ ЗОН <i>Рогозин М.В.</i> .....	71
СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КАЧЕСТВЕННЫХ ПРИЗНАКОВ, УРОЖАЙНОСТИ И НЕКОТОРЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ГЕНОТИПОВ НУТА (CICER ARIETINUM L.) <i>Салманова М.Р.</i> .....	76
ЭКОСИСТЕМНЫЕ ФУНКЦИИ ЛЕСОВ ОРЕНБУРГСКОЙ ОБЛАСТИ В УСЛОВИЯХ ВНЕДРЕНИЯ ESG-СТАНДАРТОВ <i>Сафонов М.А., Сафонова Т.И.</i> .....	83

## СТРУКТУРА ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ СУХОСТЕПНЫХ ПОЧВ ЗАБАЙКАЛЯ

*Чимитдоржиева Г.Д., Чимитдоржиева Э.О.* ..... 89

**Науки о Земле (25.00.00)****СТАТЬИ**МЕЖДУНАРОДНЫЕ ТРАНСГРАНИЧНЫЕ ТРЁХЗВЕННЫЕ РЕГИОНЫ:  
ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОБЩЕНИЕ ОПЫТА ИНТЕГРАЦИИ ПРИГРАНИЧНЫХ  
ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

*Биксалеев А.А., Новиков А.Н.* ..... 95

ВЛИЯНИЕ РАСХОДА ВОЗДУХА НА ТОЧНОСТЬ ПРОГНОЗА ТЕМПЕРАТУРЫ  
В ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЯХ КРИОЛИТОЗОНЫ

*Галкин А.Ф.* ..... 101

ВОЗМОЖНЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА  
НА ЮГЕ ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

*Залиханов М.Ч., Федченко Л.М., Ашабоков Б.А., Кешева Л.А., Теунова Н.В.* ..... 107

## ИНТЕГРИРОВАННАЯ ГЕОТЕХНОЛОГИЯ РАЗРАБОТКИ УГОЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

*Заровняев Б.Н., Ильин А.А., Шубин Г.В.* ..... 114

АНАЛИЗ ПРИРОДНО-ТЕХНОСФЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СУБЪЕКТОВ СИБИРСКОГО  
ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА РОССИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОЛОГИИ INFORM

*Игнатьева А.В., Кнауб Р.В.* ..... 120

СОДЕРЖАНИЕ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ВОДЕ БЕССТОЧНЫХ ОТКРЫТЫХ  
ВОДОЕМОВ ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

*Кайгородов Р.В.* ..... 127

ОЦЕНКА УРОВНЯ ФОНОВОЙ АККУМУЛЯЦИИ ПРИОРИТЕТНЫХ ЭКОТОКСИКАНТОВ  
В ПОЧВЕННОМ ПОКРОВЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ И ПОЧВЕННО-ТЕХНОГЕННОЙ  
СМЕСИ НА ОБЪЕКТЕ РАЗМЕЩЕНИЯ ОТХОДОВ В НИЖЕГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

*Козлов А.В., Бодякина М.А., Калининцева З.С., Ронжин С.С., Захарова А.А.* ..... 132

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ КЛИМАТА ПРЕДГОРНЫХ И ГОРНЫХ ТЕРРИТОРИЙ  
КАБАРДИНО-БАЛКАРИИ И ИХ ВЛИЯНИЯ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА

*Кондратьева Н.В., Узденова А.Б.* ..... 138

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРИОРИТЕТНОГО  
ФЕДЕРАЛЬНОГО ПРОЕКТА «ОЗДОРОВЛЕНИЕ ВОЛГИ»  
НА РЕГИОНАЛЬНОМ УРОВНЕ В УСЛОВИЯХ НИЖЕГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

*Копосова Н.Н., Вершинина И.В., Хоботилова Е.И.* ..... 143

ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ПРОЦЕССАХ СГУЩЕНИЯ КОНЦЕНТРАТОВ  
И РАЗРУШЕНИЯ ФЛОТАЦИОННЫХ ПЕН

*Коростовенко В.В., Степанов А.Г., Стрекалова Т.А., Галайко А.В., Суханова А.В.* ..... 148

СОВРЕМЕННЫЕ ПРИРОДНО-АНТРОПОГЕННЫЕ ГЕОСИСТЕМЫ  
ВОРОНЕЖСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БИОСФЕРНОГО ЗАПОВЕДНИКА  
И ПРОБЛЕМЫ СОХРАНЕНИЯ БИОРАЗНООБРАЗИЯ

*Летин А.Л., Межова Л.А.* ..... 154

ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ РЕЖИМЫ ФОРМИРОВАНИЯ ПОЗДНЕФАНОРОЗОЙСКИХ  
ОТЛОЖЕНИЙ ЮГА ЛАОЕЛИН-ГРОДЕКОВСКОГО ТЕРРЕЙНА (ПРИМОРЬЕ)  
ПО ГЕОХИМИИ ПЕСЧАНЫХ ПОРОД

*Малиновский А.И.* ..... 160

РАЗНОМАСШТАБНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ УРОВНЯ ВОДЫ В ОЗЕРАХ РОССИИ.  
АРКТИЧЕСКИЙ РЕГИОН. УМБОЗЕРО

*Мякишева Н.В., Давыденко Е.В., Орлов Д.А.* ..... 166

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПЛОДРОДИЯ ПОЧВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ	
<i>Никонорова И.В., Гуменюк А.Е., Пивоваров И.А.</i>	173
ОЦЕНКА ФЛОРИСТИЧЕСКОГО СОСТАВА ГОСУДАРСТВЕННОГО ПРИРОДНОГО ЗАКАЗНИКА КРАЕВОГО ЗНАЧЕНИЯ «БЕШТАУГОРСКИЙ» СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЯ	
<i>Окрут С.В., Зеленская Т.Г., Степаненко Е.Е., Безгина Ю.А., Шкиря А.С.</i>	179
АККУМУЛЯЦИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ДРЕВЕСНЫМИ ПОРОДАМИ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫМИ КУЛЬТУРАМИ В УСЛОВИЯХ ПРИМАГИСТРАЛЬНОЙ ЭКОСИСТЕМЫ	
<i>Олива Т.В., Колесниченко Е.Ю., Панин С.И., Манохина Л.А.</i>	184
ОПЫТ МОДЕЛИРОВАНИЯ ГИДРОГРАФА ПРОРЫВНОГО ПАВОДКА ПРИ РАЗРУШЕНИИ ГРУНТОВЫХ ПЛОТИН В РЕЗУЛЬТАТЕ ПЕРЕЛИВА	
<i>Распутина В.А., Пряхина Г.В., Попов С.В.</i>	194
ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ЛИНИИ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ	
<i>Цыганков Д.А., Пирумova И.В., Воронцова Ю.В., Звягина Е.А.</i>	205
ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ТЕРРИТОРИИ ПОД СТРОИТЕЛЬСТВО АЗОВСКОГО ЗЕРНОВОГО ТЕРМИНАЛА	
<i>Шишкина Д.Ю., Баумара М.А., Латун В.В.</i>	211

#### **Сельскохозяйственные науки (06.01.00, 06.03.00)**

#### **СТАТЬИ**

ЛЕСОВОДСТВЕННО-МЕЛИОРАТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПОЛЕЗАЩИТНЫХ НАСАЖДЕНИЙ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ	
<i>Михин В.И., Михина Е.А.</i>	218

---

**CONTENTS**
**Agricultural sciences (06.01.00, 06.03.00)**
**ARTICLES**

STUDY OF THE PERIOD OF PHOTOSYNTHETIC ACTIVITY OF THE FLAG LEAF OF BREAD WHEAT DEPENDING ON WATER SUPPLY <i>Jahangirov A.A., Mamedova S.M., Allahverdiev T.I., Huseynova I.M., Hamidov H.N.</i>	9
MEASUREMENT ACCURACY IN LEAF BLADE ASYMMETRY TESTING <i>Zykov I.E., Baranov S.G., Vinokurov I.Yu., Fedorova L.V., Biryukova T.S.</i>	15
PHENOLOGICAL FORMS OF QUERCUS ROBUR L. IN PLANTS OF THE VOLGOGRAD REGION. <i>Iozus A.P., Zavyalov A.A., Kryuchkov S.N.</i>	21
INFLUENCE OF GROWTH-GENERATING SUBSTANCES ON INDICATORS OF SIMILARITY AND PHENOLOGICAL STATE PINE SEEDLING (PINUS SYLVESTRIS) AND SIBERIAN PINE (PINUS SIBIRICA) <i>Konovalova E.V., Kisova S.V., Stavnikov D.Y.</i>	27
FEATURES OF LANDSCAPING OF THE GORKY SUMMER GARDEN – A SHORT-TERM RECREATION AREA IN THE CENTER OF IZHEVSK <i>Kuzmina N.M., Fedorov A.V., Ardasheva O.A., Cheremnykh E.N.</i>	33
EFFECT OF BIOFERTILIZER WITH MYCORRHIZAL FUNGI ON PLANT GROWTH AND THE MYCORRHIZATION OF CROP PLANTS <i>Kuramshina Z.M., Sviridova K.V.</i>	39
BIOMORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS OF FOREST COMMUNITIES WITH THE PARTICIPATION OF THE RED BOOK SPECIES <i>TAXUS BACCATA</i> L. <i>Omarova P.K.</i>	44
ROLE OF TILLAGE OF BLACK EARTH, AND CROP ROTATION LINK IN FORMATION OF AGROPHYSICAL INDICES, WEEDINESS AND EFFICIENCY OF CULTIVATION OF OILSEED FLAS, WINTER WHEAT, MOGAR AND PEA <i>Polous V.S., Osaulenko S.N.</i>	49
TRANSFORMATION OF MICROCLIMATE AND HYDROLOGICAL CONDITIONS OF DRAINED DWARF SHRUB-SPHAGNUM PINE FORESTS OF THE NORTHERN TAIGA OF THE ARKHANGELSK REGION <i>Ponomareva T.I., Shtang A.K., Yarygina O.N., Selyanina S.B.</i>	56
NEEDLES OF SIBERIAN SPRUCE ( <i>PICEA OBOVATA</i> L.) AS AN INDICATOR OF AEROGENIC POLLUTION OF THE URBAN ENVIRONMENT <i>Popelnitskaya I.M., Palkina A.A., Shilina N.G., Popelnitskiy E.V., Pochekutov S.I., Gerashchenko S.M.</i>	64
SIBERIAN CEDAR – INDICATOR OF THE SYNERGY OF GEOACTIVE ZONES <i>Rogozin M.V.</i>	71
STATISTICAL ANALYSIS OF QUALITATIVE TRAITS, PRODUCTIVITY, AND SOME TECHNOLOGICAL INDICES OF CHICKPEA ( <i>CICER ARIETINUM</i> L.) GENOTYPES <i>Salmanova M.R.</i>	76
ECOSYSTEM FUNCTIONS OF FORESTS OF THE ORENBURG REGION IN THE CONTEXT OF THE DEPLOYMENT OF ESG-STANDARDS <i>Safonov M.A., Safonova T.I.</i>	83
STRUCTURE OF HUMIC ACIDS OF DRY-STEPPE SOILS OF ZABAİKALYA <i>Chimitdorzhieva G.D., Chimitdorzhieva E.O.</i>	89

**ARTICLES**

INTERNATIONAL CROSS-BORDER THREE-LINK REGIONS: THEORETICAL GENERALIZATION OF THE EXPERIENCE OF INTEGRATION OF BORDER SPECIALLY PROTECTED NATURAL TERRITORIES <i>Biksaleev A.A., Novikov A.N.</i> .....	95
THE INFLUENCE OF AIR FLOW ON THE ACCURACY OF TEMPERATURE FORECAST IN THE MINE WORKINGS <i>Galkin A.F.</i> .....	101
POTENTIAL CONSEQUENCES OF CLIMATE CHANGE IN THE SOUTH OF THE EUROPEAN TERRITORY OF RUSSIA <i>Zalikhanov M.Ch., Fedchenko L.M., Ashabokov B.A., Kesheva L.A., Teunova N.V.</i> .....	107
INTEGRATED GEOTECHNOLOGY FOR COAL DEPOSITS <i>Zarovnyaev B.N., Iliin A.A., Shubin G.V.</i> .....	114
ANALYSIS OF NATURAL AND TECHNOSPHERIC SAFETY OF SUBJECTS OF THE SIBERIAN FEDERAL DISTRICT OF RUSSIA USING THE INFORM METHODOLOGY <i>Ignateva A.V., Knaub R.V.</i> .....	120
THE CONTENT OF BIOGENIC ELEMENTS IN WATER OF DRAINLESS OPEN RESERVOIRS OF THE TYUMEN REGION <i>Kaygorodov R.V.</i> .....	127
ASSESSMENT OF BACKGROUND ACCUMULATION LEVEL PRIORITY ECOTOXICANTS IN SOIL COVER INDUSTRIAL AREAS AND SOIL-TECHNOGENIC MIXTURE AT WASTE DISPOSAL FACILITY IN THE NIZHNY NOVGOROD REGION <i>Kozlov A.V., Bodyakshina M.A., Kalinicheva Z.S., Ronzhin S.S., Zakharova A.A.</i> .....	132
SOME FEATURES OF THE CLIMATE OF THE FOOTHILL AND MOUNTAIN AREAS OF KABARDINO-BALKARIA AND THEIR IMPACT ON THE HUMAN BODY <i>Kondratieva N.V., Uzdenova A.B.</i> .....	138
ESTIMATION OF THE EFFICIENCY OF IMPLEMENTATION OF THE PRIORITY FEDERAL PROJECT «RECOVERY OF THE VOLGA» AT THE REGIONAL LEVEL IN THE CONDITIONS OF THE NIZHNY NOVGOROD REGION <i>Koposova N.N., Vershinina I.V., Khabotilova E.I.</i> .....	143
ELECTROPHYSICAL METHODS IN THE PROCESSES OF CONCENTRATES INSPISSATION AND FROTH DESTRUCTION <i>Korostovenko V.V., Stepanov A.G., Strekalova T.A., Galaiko A.V., Sukhanova A.V.</i> .....	148
MODERN NATURAL AND ANTHROPOGENIC GEOSYSTEMS OF THE VORONEZH STATE BIOSPHERE RESERVE AND THE PROBLEMS OF BIODIVERSITY CONSERVATION <i>Letin A.L., Mezhova L.A.</i> .....	154
GEODYNAMIC SETTINGS OF FORMATION OF LATE PHANEROZOIC DEPOSITS OF THE SOUTH OF THE LAOELING-GRODEKOV TERRANE (PRIMORYE) BY GEOCHEMISTRY OF SANDY ROCKS <i>Malinovskiy A.I.</i> .....	160
RUSSIAN LAKES WATER LEVEL MULTISCALE VARIABILITY. THE ARCTIC REGION. LAKE UMBOZERO <i>Myakisheva N.V., Davydenko E.V., Orlov D.A.</i> .....	166
ASSESSMENT OF THE FERTILITY STATE OF AGRICULTURAL AREAS WITH THE USE OF GIS TECHNOLOGIES <i>Nikonorova I.V., Gumenyuk A.E., Pivovarov I.A.</i> .....	173

---

ESTIMATION OF THE FLORISTIC COMPOSITION OF THE STATE NATURAL RESERVE OF LAND VALUE «BESHTAUGORSKY», STAVROPOL REGION <i>Okrut S.V., Zelenskaya T.G., Stepanenko E.E., Bezgina Yu.A., Shkirya A.S.</i> .....	179
HEAVY METALS ACCUMULATION BY WOOD SPECIES AND AGRICULTURAL PLANT IN CONDITIONS OF ROADSIDE ECOSYSTEM <i>Oliva T.V., Kolesnichenko E.Yu., Panin S.I., Manokhina L.A.</i> .....	184
MODELLING EXPERIENCE OF THE OUTBURST FLOOD HYDROGRAPH DUE TO THE EARTH DAMS DESTRUCTION AS A RESULT OF OVERFLOW <i>Rasputina V.A., Pryakhina G.V., Popov S.V.</i> .....	194
ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT OF RAILWAY LINE CONSTRUCTION <i>Tsygankov D.A., Pirumova I.V., Vorontsova Yu.V., Zvyagina E.A.</i> .....	205
ECOLOGICAL AND GEOCHEMICAL ASSESSMENT OF THE TERRITORY FOR CONSTRUCTION OF THE AZOV GRAIN TERMINAL <i>Shishkina D.Y., Baumara M.A., Latun V.V.</i> .....	211

**Agricultural sciences (06.01.00, 06.03.00)****ARTICLES**

FORESTRY-RECLAMATION FEATURES PROTECTIVE PLANTATIONS OF KRASNODAR REGION <i>Mikhin V.I., Mikhina E.A.</i> .....	218
--	-----

УДК 633.111.1:581.1:631.52

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРИОДА ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ФЛАГОВОГО ЛИСТА МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВОДОБЕСПЕЧЕННОСТИ

<sup>1</sup>Джахангиров А.А., <sup>1,2</sup>Мамедова С.М., <sup>1</sup>Аллахвердиев Т.И.,  
<sup>3</sup>Гусейнова И.М., <sup>1</sup>Гамидов Г.Н.

<sup>1</sup>Научно-исследовательский институт земледелия Министерства сельского хозяйства  
Азербайджанской Республики, Баку, e-mail: a.cahangir@hotmail.com;

<sup>2</sup>Институт генетических ресурсов НАНА, Баку;

<sup>3</sup>Институт молекулярной биологии и биотехнологий НАНА, Баку

В статье представлены результаты исследования периода фотосинтетической активности флагового листа (ФАФЛ) у сортов мягкой пшеницы местного и зарубежного происхождения в зависимости от водообеспеченности. Из 21 генотипа озимой пшеницы, изученного в условиях засухи и орошения, период фотосинтетической активности флагового листа в условиях засухи у сортов Муров 2, Зирва 85 и Гырмызы гул 1 составлял 587, 557, 592 °С и 662, 657, 630 °С в условиях орошения, что выше, чем у других генотипов. Самый низкий результат наблюдался у сортов Безостая 1 (460 °С), Восторг (468 °С), Гызыл бугда (469 °С), Гобустан (466 °С), а также у линий 12<sup>th</sup>IWWYT №9 (443 °С) в условиях засухи. Снижение периода ФАФЛ в условиях засухи по сравнению с условиями орошения для всех генотипов составило в среднем 15,8%. Наибольшее снижение этого показателя наблюдалось у сортов Гобустан (20,1%) и Фатима (17,5%), а также у линий 12<sup>th</sup>IWWYT №6, 12<sup>th</sup>IWWYT №17, 12<sup>th</sup>IWWYT №8 и 7<sup>th</sup>WONSA №465. В то же время наименьшее снижение наблюдалось у генотипов Муров 2 (11,3%), Шеки 1 (12,8%), Безостая 1 (12,9%) и Сонмез (13,9%). Корреляция была исследована, обратная корреляция между временем колошения и периодом ФАФЛ = -0,547 \* была обнаружена. Низкий период ФАФЛ у раннеколосящихся генотипов Гобустан, Гызыл бугда, 12<sup>th</sup>IWWYT №6, 12<sup>th</sup>IWWYT №17 и 4FEFWSN №50 объясняется их слабой физиологической устойчивостью. Установлено, что сумма активных температур (САТ) генотипов озимой пшеницы в условиях орошения выше, чем в условиях засухи, что также зависит от генотипических характеристик растения. Помимо связи САТ с временем колошения, здесь также играет роль физиологическая устойчивость генотипа. Таким образом, несмотря на раннее колошение некоторых генотипов, их слабая физиологическая устойчивость привела к низкой САТ. У некоторых позднеколосящихся генотипов САТ была высокой.

**Ключевые слова:** озимая пшеница, водообеспечение, флаговый лист, фотосинтетическая активность

## STUDY OF THE PERIOD OF PHOTOSYNTHETIC ACTIVITY OF THE FLAG LEAF OF BREAD WHEAT DEPENDING ON WATER SUPPLY

<sup>1</sup>Jahangirov A.A., <sup>1,2</sup>Mamedova S.M., <sup>1</sup>Allahverdiev T.I., <sup>3</sup>Huseynova I.M., <sup>1</sup>Hamidov H.N.

<sup>1</sup>Research Institute of Crop Husbandry of the Ministry of Agriculture  
of the Republic of Azerbaijan, Baku, e-mail: a.cahangir@hotmail.com;

<sup>2</sup>Institute of Genetic Resources of ANAS, Baku;

<sup>3</sup>Institute of Molecular Biology and Biotechnology of ANAS, Baku

The article presents results of a study of flag leaf photosynthetic activity period (PAFL) in local and different origin bread wheat varieties, depending on the water supply. Of the 21 genotypes of winter wheat studied under drought and irrigation conditions, period of photosynthetic activity of flag leaf under drought conditions of varieties Murov 2, Zirva 85 and Gyrgyzy gul 1 was 587, 557, 592°C and 662, 657, 630°C under irrigation, which is higher than other genotypes. The lowest result was observed in varieties Bezostaya 1 (460°C), Vostorg (468°C), Gyzyly bugda (469°C), Gobustan (466°C), as well as in lines 12<sup>th</sup>IWWYT №9 (443°C) under drought conditions. The decrease in the FLFA period under drought conditions compared to irrigation for all genotypes averaged 15.8%. The greatest decrease in this indicator was observed in varieties Gobustan (20.1%) and Fatima (17.5%), as well as in lines 12<sup>th</sup>IWWYT №6, 12<sup>th</sup>IWWYT №17, 12<sup>th</sup>IWWYT №8 and 7<sup>th</sup>WONSA №465. №6, 12<sup>th</sup>IWWYT №17, 12<sup>th</sup>IWWYT №8 и 7<sup>th</sup>WONSA №465. At the same time, the smallest decrease was observed in genotypes Murov 2 (11.3%), Sheki 1 (12.8%), Bezostaya 1 (12.9%) and Sonmez (13.9%). The correlation was investigated, an inverse correlation between the heading time and the period of FLFA = -0.547\* was found. The low period of FAFL in early heading genotypes Gobustan, Gyzyly bugda, 12<sup>th</sup>IWWYT №6, 12<sup>th</sup>IWWYT №17 and 4FEFWSN №50 is explained by their weak physiological resistance. It was found that the sum of active temperatures (SAT) of winter wheat genotypes under irrigation conditions is higher than under drought conditions, which also depends on the genotypic characteristics of plant. In addition to relationship of SAT with the time of heading, the physiological resistance of genotype also plays a role here. Thus, despite the early heading of some genotypes, their weak physiological resistance led to a low SAT. SAT was high in some late heading genotypes.

**Keywords:** winter wheat, water supply, flag leaf, photosynthetic activity

Пшеничный хлеб является основным источником питания в Азербайджане. Удовлетворение потребности населения без увеличения площади пахотных земель, за счет повышения продуктивности с единой площади, является главным эффективным спо-

собом в сельском хозяйстве. Частые засухи, происходящие в последнее время, являются одним из снижающих урожайность пшеницы климатических факторов. Существует много аспектов засухоустойчивости растений. С точки зрения засухоустойчивости физиологические, морфологические и биохимические системы растений образуют сложные структуры. В условиях засухи взаимодействие между этими системами и их связь с урожайностью еще больше усложняют ситуацию. Несмотря на проведение многочисленных исследований по некоторым морфологическим и физиологическим параметрам, которые могут быть использованы в качестве критериев засухоустойчивости, все же существует необходимость в продолжении этих исследований и применении их результатов в селекции.

Использование оптимальных морфобиологических, физиологических и агрономических признаков при выборе сортов пшеницы, которые можно выращивать в условиях водного стресса, является одним из ключевых условий успеха. Для достижения лучших результатов, полученных в этой области, считается необходимым использование физиологических параметров на всех этапах отбора [1-3].

При селекции пшеницы важно определение физиологических параметров, таких как устойчивость к засухе и другим стрессовым факторам, и оценка на этой основе исходного материала [4; 5].

Так, изучение периода фотосинтетической активности флагового листа (ФАФЛ) у отличающихся по морфофизиологическим характеристикам генотипов озимой мягкой пшеницы в условиях водного стресса считается актуальным.

Представленная работа посвящена изучению периода фотосинтетической активности флагового листа генотипов озимой мягкой пшеницы в различных условиях водообеспечения.

#### **Материалы и методы исследования**

Исследования проводились на Гобустанской зональной опытной станции (ЗОС) НИИ Земледелия в 2013 и 2014 годах. В 2012-2013 гг. за вегетационный период (октябрь–май) количество осадков составило 385,3 мм, что было равно норме, а в 2013-2014 гг. – 222,8 мм, что значительно ниже нормы (данные Гобустанской гидрометеостанции). В качестве объекта исследования были взяты 12 сортов и 9 линий мягкой пшеницы, различающихся по мор-

фофизиологическим характеристикам. Площадь каждой опытной делянки составила 1,0 м<sup>2</sup>, и произвольно размещенные блоки высаживались в трех повторностях, норма высева составила 450 на 1 м<sup>2</sup>. Для дифференцирования водообеспечения в начале мая в одном блоке было создано условие искусственной засухи, путем накрывания одного блока прозрачным полиэтиленовым покрытием, а на втором блоке производился полив. Значения SPAD (общее количество хлорофилла) флагового листа, измеренные в разные даты с помощью SPAD-метра, приняты как зависимые переменные (y), дневная степень роста (ДСР – GDD), рассчитанные с даты колошения до даты измерения SPAD, как свободные переменные (x), и построен между ними график квадратичной регрессии. На основе графика была найдена теоретическая точка, в которой содержание хлорофилла падает до нуля, и сумма активных температур (САТ), соответствующая этой точке, была использована для количественной оценки активности флагового листа [6].

#### **Результаты исследования и их обсуждение**

*Динамика хлорофилла во флаговом листе.* Общее количество хлорофилла во флаговом листе генотипов в условиях засухи и орошения в 2012-2013 и 2013-2014 гг. в вегетационный период измерялось несколько раз в разные даты с помощью SPAD-метра и оценивалось в единицах SPAD. За исключением сорта Аран в варианте засухи, максимальное содержание хлорофилла во флаговом листе у изученных генотипов наблюдалось 20 и 26 мая 2013 г. В последующих измерениях в этом варианте в зависимости от генотипа содержание хлорофилла снизилось и приблизилось к нулю 16, 18 и 20 июня. В том же году максимальное содержание хлорофилла в условиях орошения наблюдалось 8 и 11 июня. В последующих измерениях 20 июня значение упало почти до нуля для генотипов Гобустан, Тале 38, Ferrigineum 2/19, 12<sup>th</sup>IWWYT № 6, 12<sup>th</sup>IWWYT № 8, 12<sup>th</sup>IWWYT № 9, 12<sup>th</sup>IWWYT № 17, 4<sup>th</sup>FEFWSN №50, 24 июня – для генотипов Безостая 1, Гызыл Бугда, Фатима, 7<sup>th</sup>WON-SA № 465, 11<sup>th</sup>IWWYT №20, 7<sup>th</sup>WON-SA № 477 и 26 июня – для генотипов Шеки 1, Аран и Восторг. В 2013 году содержание хлорофилла оставалось максимальным в течение более длительного периода времени, а затем за более поздний период

приблизилось к нулю. Максимальное содержание хлорофилла во флаговом листе генотипов в обоих вариантах эксперимента было зафиксировано 19 и 27 мая 2014 г. Позже, 6 и 9 июня, величина этого параметра в условиях засухи приблизилась к нулю, что в условиях орошения наблюдалось 12 и 16 июня.

В 2014 году максимальный уровень содержания хлорофилла сохранялся непродолжительное время и вскоре достиг нуля.

*Фотосинтетическая активность флагового листа.* Существуют литературные данные о зависимости продуктивности от скорости фотосинтеза флагового листа и продолжительности его активности [7; 8]. Также по фотосинтетической активности у пшеницы отмечалось наличие генетических различий [9; 10].

Фотосинтетическая активность для каждого генотипа была рассчитана на основе того дня, когда значения SPAD-CAT теоретически упали до нуля. Этот параметр позволяет количественно оценить активность растения в период формирования зерна. Такая оценка генотипов также помогает сравнить характеристики флаговых листьев во время стресса, вызванного засухой.

Значения ФАФЛ исследуемых сортов и линий, полученные в условиях засухи и орошения, приведены на рис. 1.

лись у генотипов Безостая 1 (528 °С), Восторг (534 °С), Тале 38 (549 °С), 12<sup>th</sup>IWWYT №9 (522 °С) и 12<sup>th</sup>IWWYT №17 (535 °С). А в условиях засухи самые высокие значения этого параметра были у сортов Муров 2, Зирва 85, Гырмызы гюл 1 и составили 587, 557 и 532 °С соответственно. Самые низкие значения наблюдались у генотипов Безостая 1 (460 °С), Восторг (468 °С), Гызыл бугда (469 °С), Гобустан (466 °С), 12<sup>th</sup>IWWYT №17 (420 °С), 12<sup>th</sup>IWWYT №6 (437 °С) и 12<sup>th</sup>IWWYT №9 (443 °С). Ожидалось, что значения САТ будут выше из-за раннего колошения сортов Сонмез 01, Зирва 85, Муров 2 и позднего высыхания флаговых листьев, но это значение также было высоким у позднеколосящегося Гырмызы гюл 1. Это можно объяснить тем, что, несмотря на позднее колошение, он обладает физиологической устойчивостью и сохраняет листья зелеными в течение более длительного периода времени. Следует отметить, что повышение среднесуточной температуры к концу периода налива зерна может привести к увеличению значений ФАФЛ у сортов с поздним колошением, таких как Гырмызы гюл 1.

Средние значения САТ исследуемых генотипов за два года в условиях засухи и орошения представлены на рис. 2.

В 2013 и 2014 годах среднее значение САТ для всех генотипов в условиях засу-

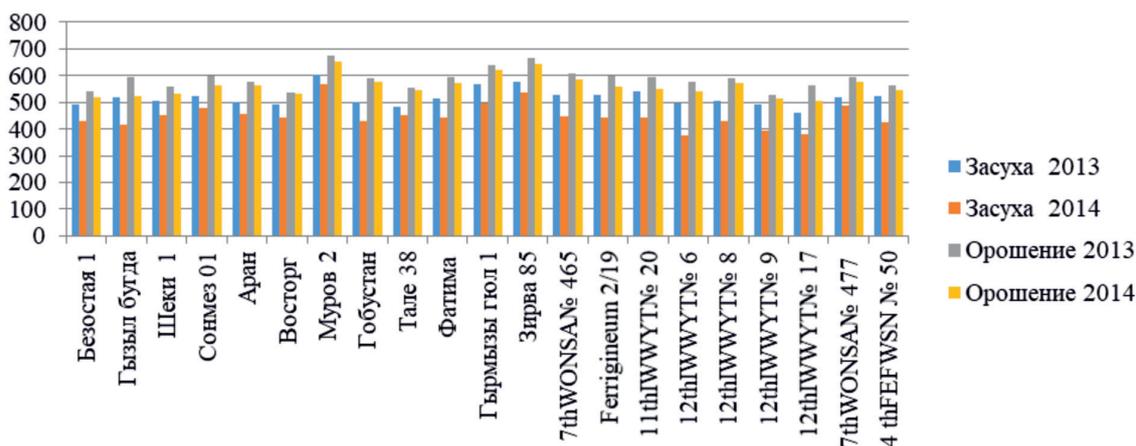


Рис. 1. Фотосинтетическая активность флагового листа (ФАФЛ), (САТ), °С

По среднему показателю за два года самые высокие значения САТ наблюдались у сортов Муров 2 (662 °С), Зирва 85 (657 °С) и Гырмызы гюл 1 (630 °С), и у линий 7<sup>th</sup>WONSA №465 (597 °С), 7<sup>th</sup>WONSA №477 (586 °С). В этом варианте наименьшие значения по этому параметру наблюда-

ли и орошения составило 518, 588 и 449, 561 °С, и в 2013 году среднее значение, соответственно, выше. В этом случае разница между годами в условиях засухи была высокой, а в условиях орошения – низкой. Как видно из рис. 2, в условиях засухи по значению этого параметра сорта были разделены

на две группы. В первую вошли Безостая 1, Гобустан, Восторг, Гызыл Бугда, Тале 38, Шеки 1, Аран и Фатима со значениями САТ 460-480°, а во вторую – Сонмез 01, Гырмызы гул 1, Зирва 85 и Муров 2, у которых значения САТ более 500°. Здесь низкий период ФАФЛ у сортов Безостая 1, Восторг, Тале 38, Шеки 1, Аран и Фатима можно объяснить их поздним колошением.

На рис. 3 сравниваются кривые определения по САТ раннеколосящихся сортов Муров 2 и Зирва 85 с высокой САТ в условиях засухи и позднеколосящихся Тале 38 и Безостая 1 с низкой САТ в условиях засухи. Несмотря на раннее колошение сортов Гобустан и Гызыл бугда, низкое значение их

САТ можно объяснить быстрым высыханием флаговых листьев из-за их физиологической нестабильности.

Как отмечалось выше, взаимосвязь между ранним колошением и значениями степени дневного роста (GDD – СДР) может быть оценена как показатель адаптации к условиям засухи, особенно к поздним периодическим засухам. Наиболее типичным примером разницы между вариантами засухи и орошения является сорт Тале 38, который выведен для орошаемых земель и имеет плохую засухоустойчивость. Кривые снижения содержания хлорофилла в вариантах засухи и орошения для этого сорта за два года исследований показаны на рис. 4.

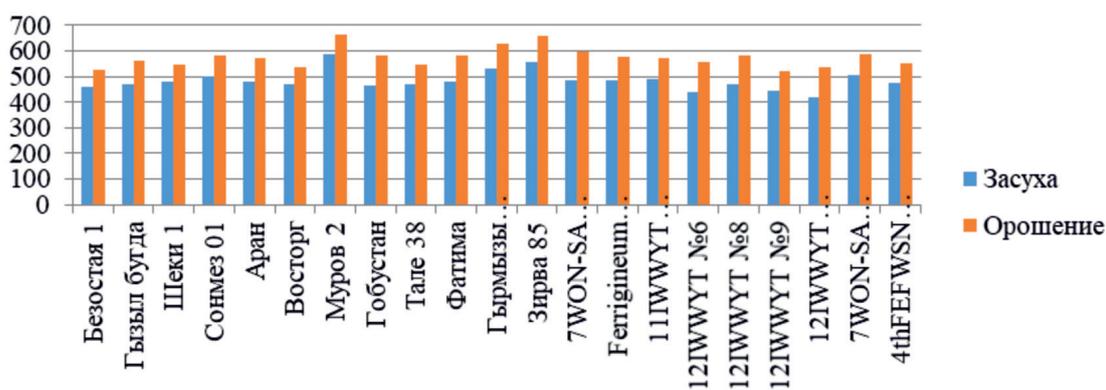


Рис. 2. Период фотосинтетической активности флагового листа в условиях засухи и орошения (в среднем за 2013 и 2014 гг.)

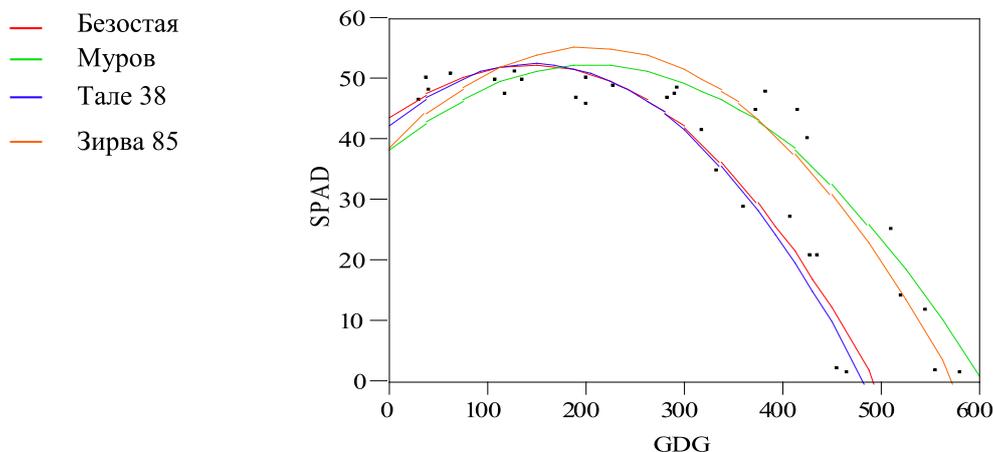


Рис. 3. Снижение содержания хлорофилла во флаговых листьях некоторых сортов в условиях засухи (2013 г.)

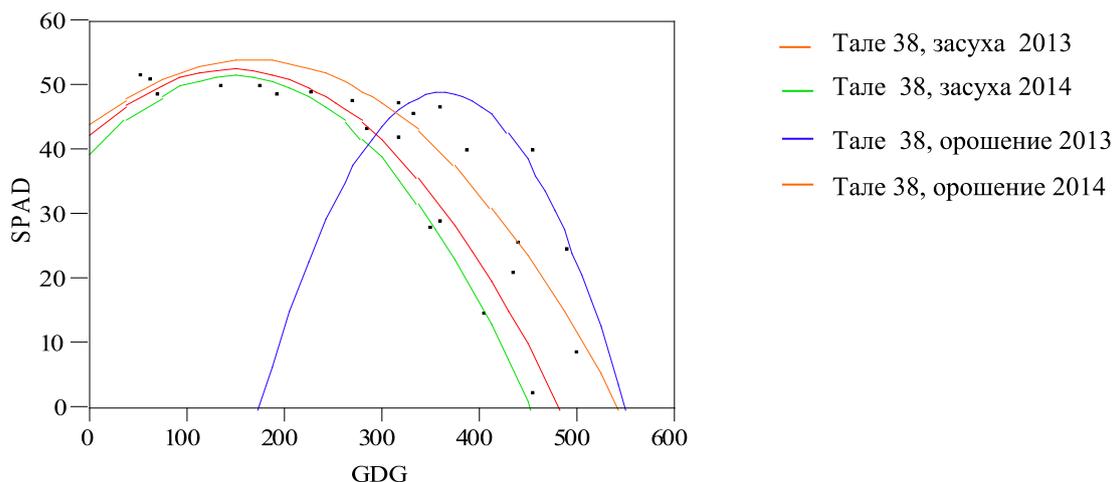


Рис. 4. Снижение содержания хлорофилла во флаговых листьях сорта Тале 38 в вариантах засухи и орошения за 2013 и 2014 гг.

Как видно из рис. 4, снижение GDD (СДР) в варианте засухи не было связано только с поздним колошением. У сорта Тале 38 динамика снижения содержания хлорофилла во флаговом листе быстрее, чем у позднеколосящихся Гырмызы гюл 1, Аран и Шеки 1. Таким образом, можно сказать, что низкая GDD (СДР) у сорта Тале 38 в условиях засухи связана не только с его поздним колошением, но и со слабой засухоустойчивостью.

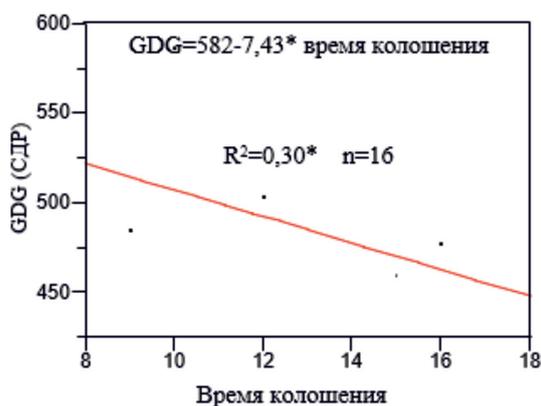


Рис. 5. Корреляция между временем колошения в варианте засуха и САТ (время колошения принималось как количество дней с 1 мая) (в среднем за два года)

В литературе встречается информация о существовании прямой корреляции между периодом ФАФЛ пшеницы и временем колошения в условиях засухи [11]. Суще-

ственная корреляция между колошением и фотосинтетической активностью флагового листа в наших опытах не наблюдалась. Как мы уже упоминали, принимая во внимание, что некоторые генотипы с физиологически слабой засухоустойчивостью (Гызыл бугда, Гобустан, 12<sup>th</sup>IWWYT №6, 12<sup>th</sup>IWWYT №17, 4<sup>th</sup>FEFWSN №50), несмотря на их раннее колошение, отрицательно влияли на результаты, они были отстранены от исследования. После этого в варианте засуха наблюдалась обратная корреляция между периодом ФАФЛ и временем колошения, равная  $r = -0,547^*$ . Между датами наблюдалась корреляция, равная  $r = -0,547^*$  (рис. 5).

При наступлении засухи в послевсходовый период есть реальная основа для высокого GDD (СДР) и продуктивности у генотипов раннего колошения, чем у генотипов позднего колошения. Однако в этом случае также необходимо продолжение фотосинтетической активности флагового листа генотипа в течение более длительного периода времени. Примерами могут послужить генотипы Гызыл бугда, Гобустан, 12<sup>th</sup>IWWYT №6, 12<sup>th</sup>IWWYT №17, 4<sup>th</sup>FEFWSN №50. Несмотря на их раннее колошение, быстрое высыхание флаговых листьев привело к низкому периоду ФАФЛ у этих генотипов. Особого упоминания заслуживает сорт Гобустан. Несмотря на низкий период ФАФЛ, по нашему мнению, на его высокую урожайность повлияло не только раннее колошение, но и другие морфофизиологические параметры. В богарных районах, где про-

дуктивность зависит от количества осадков, при влиянии стресса засухи на растения на более ранних этапах, раннее колошение теряет свое значение, а параметры физиологической устойчивости генотипа становятся более важными.

В связи с этим имеются литературные данные, где отмечается, что сорта раннего колошения, которые сохраняют ФАФЛ в течение более длительного периода времени, с точки зрения урожайности более эффективны [12]. Также можно сделать вывод, что из генотипов, колосящихся в один и тот же срок, генотипы, физиологически более устойчивые к засухе и с ФАФЛ более длительного периода времени, будут более высокоурожайными в условиях засухи.

### Закключение

Было установлено, что САТ у генотипов озимой пшеницы в условиях орошения выше в условиях засухи, что также зависит от генотипических характеристик растения. В дополнение к тому факту, что САТ связана с временем колошения, физиологическая устойчивость генотипа также играет роль. Таким образом, несмотря на раннее колошение некоторых генотипов, их слабая физиологическая устойчивость привела к низким значениям САТ. У некоторых генотипов позднего колошения САТ была высокой. Учитывая длительность периода фотосинтетической активности флагового листа, сорта Муров 2, Гобустан, Гырмызы гюл 1, Зирва 85 и линия 7<sup>th</sup>WON-SA №465 обладают наибольшей засухоустойчивостью, и использование этих генотипов в селекционной работе для условий богары считается целесообразным.

### Список литературы / References

1. Aliev J.A. Physiological bases of wheat breeding tolerant to water stress: Proceedings of the 6<sup>th</sup> International Wheat Conference: Wheat in a global environment. Hungary: Budapest. 2000. Vol. 9. P. 693–698.
2. Long S.P., Marshall C.A., Zhu X.G. Meeting the global food demand of the future by engineering crop photosynthesis and yield potential. *Cell*. 2015. Vol. 161. P. 56–66.
3. Allahverdiyev T.I. Impact of soil water deficit on some physiological parameters of durum and bread wheat genotypes. *Agriculture & Forestry*. 2016. Vol. 62 (1). P. 131–144.
4. Лисицын Е.М., Амунова О.С. Генетическое разнообразие сортов яровой мягкой пшеницы по алюмоустойчивости // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2014. Т. 18. № 3. С. 497–505.
5. Lisitsyn E.M., Amunova O.S. Genetic diversity of spring bread wheat varieties in terms of aluminum resistance // *Vavilovskiy zhurnal genetiki i seleksii*. 2014. Vol. 18. No 3. P. 497–505 (in Russian).
5. Reynolds M., Langridge P. Physiological breeding. *Current Opinion in Plant Biology*. 2016. Vol. 31. P. 162–171.
6. Ram H., Gupta N., Saini J.S. Growing degree day requirements and yield ability of irrigated durum wheat as influenced by sowing time. *Agric. Res. J.* 2016. Vol. 53. P. 303–306.
7. Aliev J.A. Diversity of photosynthetic activity of wheat genotypes and breeding of high-yield varieties tolerant to water stress: Proceedings of the 12<sup>th</sup> International Congress on Photosynthesis. Australia: Brisbane, 2001. P. 28–006.
8. Голева Г.Г. Морфо-биологические и селекционные аспекты формирования продуктивности озимой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) в Центральном Черноземье: дис. ... докт. сельскохозяйств. наук. Воронеж, 2017. 328 с.
9. Goleva G.G. Morpho-biological and breeding aspects of the productivity formation of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) in the Central Chernozem Region: dis. ... dokt. sel'skokhoz. nauk. Voronezh, 2017. 328 p. (in Russian).
9. Kumari M., Pudake R.N., Singh V.P., Joshi A.K. Association of stay green trait with canopy temperature depression and yield traits under terminal heat stress in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Euphytica*. 2013. Vol. 190. P. 87–97.
10. Allahverdiyev T.I. Physiological Traits of Durum Wheat (*Triticum durum* Desf.) and Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.) Genotypes under Drought Stress. *Agricultural Sciences*. 2015. Vol. 6. P. 848–859.
11. Albayrak O., Bayhan M., Ozkan R., Akinci C., Yildirim M. Effect of drought on morphological and physiological development of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes at pre and post heading period. *Applied Ecology and Environmental Research* 2021, ALÖKIKft., Budapest, Hungary. 2021. Vol. 19(6). P. 4251–4263. DOI: 10.15666/aeer/1906\_42514263.
12. Киризий Д.А. Фотосинтез и донорно-акцепторные отношения между органами как составляющие продукционного процесса пшеницы // Физиол. Раст. и Генетика. 2015. Т. 47. № 5. С. 393–419.
12. Kiriziy D.A. Photosynthesis and donor-acceptor relationships between organs as components of the wheat production process // *Fiziol. Rast. i Genetika*. 2015. Vol. 47. No. 5. P. 393–419 (in Russian).

УДК 633.111.1:631.58:631.81(470.314)

## СИСТЕМАТИЧЕСКИЕ ОШИБКИ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ АСИММЕТРИИ ЛИСТОВЫХ ПЛАСТИН

<sup>1</sup>Зыков И.Е., <sup>2</sup>Баранов С.Г., <sup>3</sup>Винокуров И.Ю., <sup>4</sup>Федорова Л.В., <sup>1</sup>Бирюкова Т.С.

<sup>1</sup>Государственный гуманитарно-технологический университет,  
Орехово-Зуево, e-mail: zukov-oz@yandex.ru;

<sup>2</sup>Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых,  
Владимир, e-mail: bar.serg58@gmail.com;

<sup>3</sup>Верхневолжский федеральный аграрный научный центр,  
Владимирская область, п. Новый, e-mail: i.u.vin@mail.ru;

<sup>4</sup>Первый государственный Московский медицинский университет,  
Москва, e-mail: fedorova-oz@yandex.ru

В геометрической морфометрии точность измерения образцов зависит от многих методических нюансов, влияющих на репрезентативность результатов. В настоящей работе использовались флаговые листовые пластины озимой пшеницы (*Triticum aestivum* L., сорт Поэма), выращенной на серых лесных почвах Суздальского Ополья в 2019–2021 гг. Под систематической ошибкой подразумевали необъясненную дисперсию, возникавшую при: а) повторных измерениях сфотографированных листовых пластин и нанесении меток; б) использовании различного числа меток, а также количества образцов листьев. Таким образом, целью работы было изучение влияния систематических ошибок на статистическую значимость билатеральной асимметрии в прокрустовом анализе, который показывает отклонение в координатах меток вдоль оси симметрии. Статистическая значимость направленной и флуктуирующей асимметрии в прокрустовом анализе была высокой ( $p < 0.0001$ ). На основе данных прокрустова анализа из четырех значений ошибок было проведено генерирование 100 значений с нормальным распределением. При объеме выборки  $n = 100$  ошибка снижалась на 44,4% по отношению к выборке с объемом  $n = 25$  и на 23,5% по отношению к выборке с объемом  $n = 50$ . В выборке с объемом  $n = 100$  и числе меток  $LM = 100$  ошибка была наименьшей. При числе меток  $LM = 24$  ошибка увеличивалась на 28–30%. Значения флуктуирующей и направленной асимметрии (F Goodall) уменьшались при снижении числа меток и объема выборки, хотя статистическая значимость обоих видов асимметрии оставалась неизменной. Для тестирования асимметрии методом геометрической морфометрии рекомендуется использовать 100 меток (по 50 с каждой стороны листовой пластины) при количестве пластин по 100 в каждой выборке, а также проводить 4-кратное нанесение меток на каждое изображение листовой пластины. Авторы допускают необязательность повторного фотографирования, т. к. ошибка при получении повторного изображения была незначительной (около 11% от общей систематической ошибки).

**Ключевые слова:** систематическая ошибка, прокрустов дисперсионный анализ, направленная асимметрия, флуктуирующая асимметрия, озимая пшеница

## MEASUREMENT ACCURACY IN LEAF BLADE ASYMMETRY TESTING

<sup>1</sup>Zykov I.E., <sup>2</sup>Baranov S.G., <sup>3</sup>Vinokurov I.Yu., <sup>4</sup>Fedorova L.V., <sup>1</sup>Biryukova T.S.

<sup>1</sup>State Humanitarian Technological University, Orekhovo-Zuevo, e-mail: zukov-oz@yandex.ru;

<sup>2</sup>Vladimir State University named after A.G. and N.G. Stoletov, Vladimir, e-mail: bar.serg58@gmail.com;

<sup>3</sup>Upper Volga Federal Agrarian Research Center, Vladimir region, Noviy, e-mail: i.u.vin@mail.ru;

<sup>4</sup>I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, e-mail: fedorova-oz@yandex.ru

In geometric morphometrics, the measurement accuracy depends on many methodological nuances that affect the representativeness of the results. In this work, we used flag leaf blades of winter wheat (*Triticum aestivum* L., Poem variety) grown on gray forest soils of the Suzdal Opolye in 2019–2021. By systematic error we meant the unexplained variance arising from: a) the error measurement during photographing and labeling; b) the error caused by number of applied marks, as well as the number of lamina samples. Thus, the aim of the work was to study the influence of systematic errors on the statistical significance of bilateral asymmetry in the Procrustes analysis, which showed the deviation in the coordinates of the landmarks along the axis of symmetry. The statistical significance of directional and fluctuating asymmetry in Procrustes analysis was high ( $p < 0.0001$ ). Based on the Procrustes analysis data, 100 values with a normal distribution were generated from four error values. With a sample size of  $n = 100$ , the error decreased by 44.4% in regard to a sample with a volume of  $n = 25$  and by 23.5% in regard to a sample with a volume of  $n = 50$ . In the sample with the volume  $n = 100$  and the number of labels  $LM = 100$ , the error was the smallest. With the number  $LM = 24$ , the error increased on 28–30%. The values of fluctuating and directional asymmetries (F Goodall) decreased with a decrease in the number of landmarks and sample size, although the statistical significance of both types of asymmetry remained unchanged. To test asymmetry by the method of geometric morphometrics, it is recommended to use 100 landmarks (50 on each side of the leaf blade) with the number of laminae of 100 in each sample and to 4-fold landmarks labeling at the each image of leaf sample. The authors admit the optionality of repeated photographing, since the reimaging error was low (about 11% of the total systematic error).

**Keywords:** systematic error, Procrustes analysis of variance, directional asymmetry, fluctuating asymmetry, winter wheat

Для исследования формы и асимметрии органов и частей организмов широко используется метод геометрической морфоме-

три, особенность которого – в измерении расстояний в прокрустовом (усредненном) пространстве. В подобных исследованиях

важной является репрезентативность получаемых результатов, т.е. возможность получить сходный результат при повторном сборе материала через промежуток времени. Вопрос о мнимых и настоящих повторностях широко дискутировался в работах зарубежных и отечественных ученых [1; 2]. Итог дискуссии – строгий подход к повторным измерениям и тщательное описание методики подготовки выборочного экспериментального и контрольного материала.

В отличие от сельскохозяйственных методов сбора с нескольких делянок, в предыдущих работах нами предлагался трехкратный сбор с одной делянки, что может восприниматься критически, учитывая неоднородность ландшафта или пестроту почвенных горизонтов [3]. При определении разных видов асимметрии точность измерения повышается как при повторном измерении, так и при увеличении объема выборки, например это продемонстрировано в работе с листовыми пластинами березы повислой (*Betula pendula* Roth.) при тестировании флуктуирующей асимметрии линейным методом [4]. Замечено, что индивидуальный подход исследователя играет также важную роль – воспроизводимость результатов, полученных разными лицами, была крайне низка при работе с одним гербарным материалом [5]. Таким образом, точность измерения зависит от многих методологических нюансов, влияющих на репрезентативность результатов.

В нашей работе под листовой пластиной мы подразумевали мнимую повторность, полагая, что это имеет лишь теоретический смысл, поскольку лист уникален, за исключением гомогенных гаметных особей, например происходящих от одного растения, которые генетически однородны, но развиваются и функционируют в неповторимых условиях освещенности. Промежуток между сборами нами сокращался до минимума (3-4 часа), и в течение одного дня сбор проводился в три подхода к каждой делянке. Учитывался опушечный эффект, т.е. не собирались листья с границы участка – полосы шириной 1 м. Площадь делянки составляла 35 м<sup>2</sup>, что позволяло собирать равномерно листовые пластины без учета количества листьев с одного растения, главное условие – одинаковая длина листовых пластин.

В отличие от образцов с жестким скелетом, листовая пластина крайне неоднородна по длине, ширине и форме, поэтому ошибка в размере центра (усредненно-

го консенсуса) бывает очень велика. Влияет ли изменчивость листьев на ошибку измерения асимметрии и в конечном счете на ее величину? Между ошибкой, вызванной изменчивостью величины центра, и ошибкой, возникающей при определении асимметрии в прокрустовом дисперсионном анализе, нет строгой корреляции. Другими словами, асимметричным может быть как крупный лист, так и лист среднего или малого размера. Вместе с тем известно, что статистически значимая величина флуктуирующей асимметрии (ФА) связана с ошибкой в прокрустовом дисперсионном анализе обратной зависимостью. Если ФА существует в смеси с направленной асимметрией (НА), то ошибка не коррелирует с величиной флуктуирующей асимметрии. Влияние случайной и систематической ошибки на результат прокрустова анализа рассматривалось в основном в антропологических и зоологических исследованиях [6-8]. Число степеней свободы, как правило, зависит от числа расставляемых меток или полуметок, а ошибка включает погрешности, вызванные повторным нанесением меток и повторным фотографированием или сканированием. Повышение числа степеней свободы при увеличении повторностей измерения приводило к существенному снижению ошибки [9; 10].

Под случайной ошибкой мы подразумевали ошибку, вызванную сбором листовых пластин с различающимися геометрическими характеристиками. В то же время известно, что метод геометрической морфометрии нивелирует гетерогенность формы, следовательно, ожидаемо, что влияние формы на асимметрию будет незначительно.

В настоящей работе мы под систематической ошибкой подразумевали необъясненную дисперсию, возникавшую при повторных измерениях и связанную: а) с ошибками фотографирования и нанесения меток; б) ошибками при использовании разного числа наносимых меток; в) ошибками при использовании разного числа образцов в выборке. В предыдущей работе ошибка, вызванная повторным фотографированием, была ничтожно мала [3].

Увеличение числа меток для большей точности измерения может повышать ошибку и быть бесполезным для оценки формы и асимметрии [11]. В предыдущих работах расстановка 25 меток проводилась по обеим сторонам листовой пластины, выравнивалась форма образцов и выпол-

нялся прокрустов дисперсионный анализ, т.е. определялись статистически значимые различия дисперсии левых и правых меток в зависимости от дозы удобрения и методов предпосевной обработки почвы [12].

Цель исследования – нахождение оптимального числа меток для определения асимметрии в прокрустовом анализе и оптимального числа образцов в выборке, когда дальнейшее их увеличение уже не влияет на статистическую значимость, т.е. изучение влияния систематических ошибок на статистическую значимость билатеральной асимметрии.

#### Материалы и методы исследования

Для исследования были выбраны образцы листовых пластин озимой пшеницы (*Triticum aestivum* L., сорт Поэма), выращенной с использованием четырех разных составов минеральных удобрений в 2019-2021 гг. Использовались флаговые листовые пластины длиной 12-16 см без механических повреждений, включая повреждения, вызванные болезнями или насекомыми-фитофагами. Листовые пластины обладали асимметричными свойствами в виде смеси флуктуирующей и направленной асимметрии.

Методы сбора, оцифровывания, нанесения меток и алгоритм проведения анализа формы и асимметрии подробно описаны в предыдущей работе [3]. Систематическая ошибка тестирования асимметрии в прокрустовом дисперсионном анализе определялась по величине MS остатков и сравнивалась с помощью регрессии с показателями F Гудолла ФА и НА. Для получения регрессии проводилось моделирование значений ошибки и показателей F Гудолла. За отправные значения брались 4 величины, полученные в прокрустовом анализе. По стандартному отклонению и значению среднего арифметического генерировалось 100 значений с нормальным распределением (горизонтальная ось на рисунках). При моделировании ошибки использовались результаты прокрустова анализа с числом образцов: 25, 50, 100 и с числом меток: 24, 50 и 100 с четным количеством на каждой стороне листовой пластины, за исключением двух меток, лежавших на оси симметрии, в основании и на верхушке листа. Оценка полученных трендовых зависимостей в порядке возрастания проводилась по коэффициентам регрессии, а сами ряды значений сравнивались в однофакторном дисперсионном анализе.

#### Результаты исследования и их обсуждение

Кривые регрессии получены на основе аргументов  $n$ , расположенных в порядке возрастания значений (рис. 1 и 2). Это позволило найти различие ошибки и ее тенденцию к росту по углу наклона кривой, представленной в виде логарифмической линии тренда с коэффициентом детерминации  $R^2 = 0,83-0,93$ . Заметим, что линии тренда не несли смысла корреляционной зависимости, а показывали лишь степень регрессии.

*Систематическая ошибка в прокрустовом дисперсионном анализе.* Прокрустов дисперсионный анализ показывает значимость отклонения координат парных меток относительно оси симметрии. Увеличение числа образцов в выборке до 100 приводило к существенному снижению величины ошибки  $MS_{\text{остог}}$  ANOVA (рис. 1).

При использовании 100 образцов листьев ошибка снижалась на 44,4% от ошибки, полученной при объеме выборки, равной 25, и на 23,5% от ошибки для выборки с числом листовых пластин, равным 50. Статистическая значимость прокрустова анализа оставалась высокой для всех объемов выборки ( $p \ll 0.0001$ ), при этом линии тренда существенно отличались ( $F = 93.75$ ). При увеличении числа меток до 100 ошибка была близка к постоянной, при числе наносимых меток  $LM = 24 MS_{\text{остог}}$  ANOVA – увеличивалась на 28-30%. Статистическая значимость направленной и флуктуирующей асимметрии сохранялась на прежнем уровне, межгрупповые различия (F) между рядами генерируемых значений оставались высокими ( $p \ll 0.001$ ).

*Влияние числа меток на изменчивость флуктуирующей и направленной асимметрии.* Основная задача методов геометрической морфометрии – тестирование изменчивости формы и асимметрии. Принято считать, что ошибка зависит от дисперсии значений, которая связана в свою очередь с погрешностью измерения.

Мы исследовали влияние числа меток в выборке на изменчивость ФА и НА с помощью критерия F Гудолла. Использовалась выборка из 100 образцов, обладавшая высокой НА и ФА (соответственно,  $F = 14,3$ ;  $F = 1,18$ ;  $p \ll 0.0001$ ). Как и ожидалось, при числе меток  $LM = 50-100$  отмечалась наименьшая дисперсия в ряду сгенерированных значений. Коэффициенты регрессии были меньше ( $k = 0,09$  и  $k = 0,07$ ) по сравнению с числом меток, равным 24 ( $k = 0,72$ ) (рис. 2).

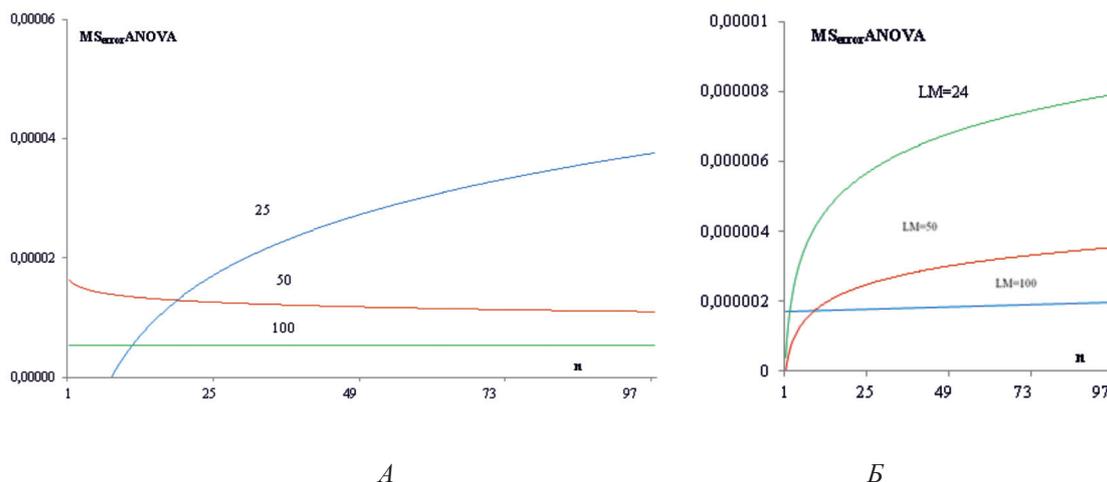


Рис. 1. Зависимость ошибки измерения ( $MS_{\text{error ANOVA}}$ ) от числа образцов (А) и меток (Б). По оси ОХ (здесь и на рисунке 2) – ряд сгенерированных значений ( $n = 100$ )

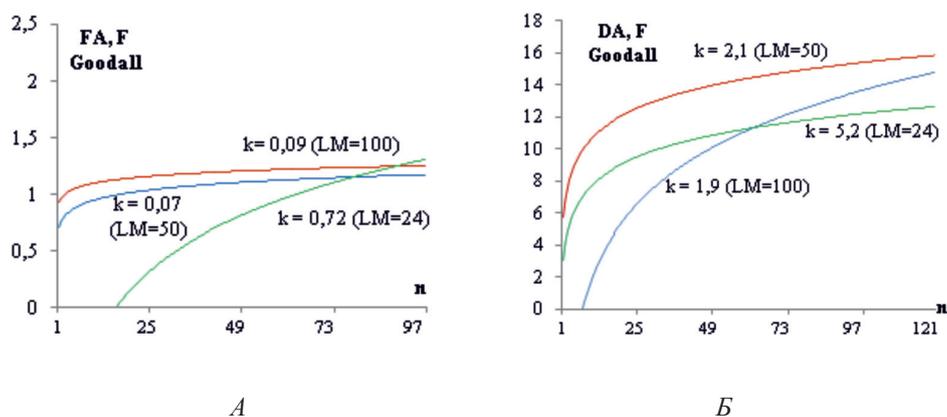


Рис. 2. Влияние числа меток на флуктуирующую (А) и направленную асимметрию (Б)

Аналогичная проверка была проведена для оценки изменчивости направленной асимметрии. Наименьший коэффициент регрессии ( $k = 1,9$ ) был получен при  $LM = 100$ , наибольший – при  $LM = 24$  ( $k = 5,2$ ) (рис. 2).

Направленная асимметрия заметно превышала флуктуирующую асимметрию по величине  $F$  Гудолла при одинаковом  $p$ , меньше 0,0001. Уровень  $p$  двух видов асимметрии оставался по-прежнему высоким при различном числе меток. Проведенный анализ дал значимый результат уже при  $LM = 24$ , т. е. при 12 метках на правой и левой стороне листовой пластины. Однако нельзя ограничиваться малым числом меток, т. к. при сравнении большого числа выборок статистическая значимость может снижаться.

Таким образом, увеличение числа меток и объема выборки снижает ошибку прокрустов дисперсионного анализа и повышает значимость флуктуирующей и направленной асимметрии только в терминах межгрупповой изменчивости критерия Гудолла  $F$ , как аналога критерия Фишера.

Материал, собранный с одной делянки (с установленным составом удобрений) как экспериментальной единицы исследования, не может в строгом терминологическом понимании считаться истинной повторностью. Использование материала с повторных делянок может стать источником ошибки из-за пространственной неоднородности, т.к. увеличение степеней свободы нейтрализуется физико-химическими неучтенными факторами ландшафта.

Используемые метки, строго говоря, обладают свойствами полуметок, т.к. расставляются равномерно вдоль края листовой пластины, в отличие от меток первого типа, наносимых на определенные морфологические структуры. Это тоже может служить источником ошибки при определении формы листа, однако при определении асимметричности полуметки могут условно играть роль истинных меток первого типа. В некоторых работах [13; 14] полуметки рекомендуется менять на скользящие (sliding) метки, что, безусловно, следует принять во внимание в предстоящих исследованиях.

Количество меток несущественно влияло на значения направленной асимметрии, в то время как флуктуирующая асимметрия была более чувствительной к их числу, что объясняется меньшей долей ФА в общей асимметрии.

Большое значение имела систематическая ошибка измерения, зависящая от числа повторных измерений. Ошибка фотографирования занимала 11% от общей ошибки в прокрустовом дисперсионном анализе, соответственно, 89% приходилось на ошибку нанесения меток. При  $LM = 100$  общая ошибка составляла около 4% от суммы средних квадратов  $MS$ , включавшей: индивидуальную изменчивость (образец), различия в координатах меток (сторона) и взаимодействие обоих факторов (образец×сторона). При 24 метках ошибка занимала около 9% от суммы  $MS$  [3]. В целом ошибка тестирования ФА составляла лишь доли процента (0,1-0,5%) от величины ФА.

Предлагаем следующие рекомендации для проведения работ в области геометрической морфометрии:

а) наносить кривые в повторности по часовой и против часовой стрелки, с последующим разбиением на метки;

б) количество наносимых меток по краю листа должно быть не менее 50, за исключением неспаренных меток, наносимых по условной оси симметрии;

в) длина листовой пластины, зависящая от особенностей вегетации растения, должна быть стандартизирована в пределах 17-18 см или в другом узком диапазоне, например 19-20 см;

г) повторное фотографирование можно исключить в связи с незначительным влиянием на погрешность. Число повторностей нанесения меток на одно изображение мы рекомендуем увеличить до 4.

## Заключение

При моделировании ошибки в прокрустовом дисперсионном анализе установлено, что сокращение числа наносимых меток менее 50 и количества образцов в выборке менее 100 приводит к систематической ошибке, снижающей величину  $F$  Goodall, т.е. различие между внутригрупповой и межгрупповой дисперсией, до 50%.

Для определения такой популяционной характеристики, как стабильность развития, важно тестирование чистой ФА, лишенной примеси направленной асимметрии. Результат тестирования асимметрии зависит от обоих видов ошибки, как случайной, так и систематической. Частотная характеристика выборки, например гетерогенность длины листовой пластины, может как снижать, так и увеличивать значение флуктуирующей асимметрии. Предпочтительнее использовать крупные листовые пластины, как более морфологически сформированные. Минимальный разброс в длине листьев теоретически снижает гетерогенность. Дальнейшее исследование будет направлено на рандомизацию выборок и определение случайной ошибки, связанной с методическими особенностями сбора полевого материала.

## Список литературы / References

1. Козлов М.В. Мнимые повторности (pseudoreplication) в экологических исследованиях: проблема, не замеченная российскими учеными // Журнал общей биологии. 2003. Т. 64. № 4. С. 292–307.
2. Kozlov M.V. Pseudoreplication in ecological research: the problem overlooked by Russian scientists // Zhurnal Obshchei Biologii. 2003. Vol. 64. № 4. P. 292–307 (in Russian).
3. Татарников Д.В. О методических аспектах постановки экологических экспериментов (реплика на статью М.В. Козлова) // Журнал общей биологии. 2005. Т. 66. № 1. С. 90–93.
4. Tatarnikov D.V. On methodological aspects of ecological experiments (Comments on M.V. Kozlov Publication) // Zhurnal Obshchei Biologii. 2005. Vol. 66. № 1. P. 90–93 (in Russian).
5. Baranov S.G., Vinokurov I.Y., Schukin I.M., Schukina V.I., Malcev I.V., Zykov I.E., Fedorova L.V. Does Fertilizer Influence Shape and Asymmetry in Wheat Leaf? Computer Science On-line Conference, 2020. P. 153–160.
6. Kozlov G., Pushkarev M. Sample size for bioindication of pollution level by the method of fluctuating asymmetry. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020. Vol. 1001. No.1. P. 012104.
7. Kozlov M.V. How reproducible are the measurements of leaf fluctuating asymmetry? Peer J. 2015. Vol. 3. № 1027.
8. Arnqvist G., Martensson T. Measurement error in geometric morphometrics: empirical strategies to assess and reduce its impact on measures of shape. Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae. 1998. Vol. 44. № 1–2. P. 73–96.
9. Cardini A., Seetah K., Barker, G. How many specimens do I need? Sampling error in geometric morphometrics: testing the sensitivity of means and variances in simple randomized selection experiments. Zoomorphology, 2015. Vol. 134. № 2. P. 149–163.

8. Fruciano C. Measurement error in geometric morphometrics. *Development genes and evolution*. 2016. Vol. 226. № 3. P. 139–158.
9. Vincenzo V., Antonecchia G., Lepais O., Fortini P., Gerber S., Loy A. Leaf shape and size differentiation in white oaks: assessment of allometric relationships among three sympatric species and their hybrids. *International Journal of Plant Sciences*. 2012. Vol. 173. № 8. P. 875–884.
10. Savriama Y. A step-by-step guide for geometric morphometrics of floral symmetry. *Frontiers in Plant Science*. 2018. Vol. 9. P. 1433.
11. Cardini A. Less tautology, more biology? A comment on «high-density» morphometrics. *Zoomorphology*. 2020. Vol. 139. № 4. P. 513–529.
12. Баранов С.Г., Бибик Т.С., Винокуров И.Ю. Опыт тестирования стабильности развития пшеницы в агроценозах Владимирского Ополя // *Успехи современного естествознания*. 2018. № 12. С. 51–55.
- Baranov S.G., Bibik T.S., Vinokurov I.Yu. Wheat testing developmental stability measurement test in agrocenosis of Vladimir high plain // *Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya*. 2018. № 12. P. 51–55 (in Russian).
13. Gardere M.L., Dubuisson J.Y., Muller S., Savriama Y. Geometric morphometrics of corolla shape in *Campanula* (Campanulaceae) from Cabo Verde archipelago. *Botanical Journal of the Linnean Society*. 2019. Vol. 191. № 3. P. 339–352.
14. Gunz P., Mitteroecker P. Semilandmarks: a method for quantifying curves and surfaces. *Hystrix, the Italian journal of mammalogy*. 2013. Vol. 24. № 1. P. 103–109.

УДК 630\*161

## ФЕНОЛОГИЧЕСКИЕ ФОРМЫ QUERCUS ROBUR L. В НАСАЖДЕНИЯХ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

<sup>1</sup>Иозус А.П., <sup>1</sup>Завьялов А.А., <sup>2</sup>Крючков С.Н.

<sup>1</sup>Камышинский технологический институт (филиал) ГОУ «Волгоградский государственный технический университет», Камышин, e-mail: ttp@kti.ru;

<sup>2</sup>ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук», Волгоград

В Волгоградской области осуществляется пилотный проект по восстановлению лесных насаждений, созданных ранее, в 1948-1953 годах. Пять из семи государственных полос было создано тогда в Волгоградской области. В настоящее время сохранность деревьев в них составляет 30-40%. В условиях глобального потепления и аридизации климата области необходимо восстановить государственные полосы на площади 21,2 тыс. га и создать новые. Основной породой для восстановления государственных полос является дуб черешчатый (*Quercus robur* L.). Создание лесных насаждений из желудей различных форм без учета экологической принадлежности и формового разнообразия материнских растений нередко является причиной совместного произрастания различных фенологических форм, в значительной мере отличающихся по биологическим и лесоводственным свойствам, что и отмечается в насаждения 1948-1953 годов. Необходимо изучить биологию форм дуба черешчатого в крайне засушливых условиях региона для проведения семеноводческой работы с целью повышения устойчивости защитных лесных насаждений и определить возможные перспективы использования рано- и позднезасушливых форм дуба в защитном лесоразведении Волгоградской области. При проведении многолетних исследований было установлено, что ранняя форма дуба в условиях Волгоградской области имеет преимущество перед поздней по величине годичного прироста, так как процесс прироста протекает в оптимальный по климатическим показателям весенний период. После засушливых лет ранняя форма быстрее восстанавливает приросты, что позволяет получить в итоге более высокие таксационные показатели. У ранней формы лучше складывается водный режим, она более экономно расходует влагу в неблагоприятный засушливый период. Проведенные исследования позволяют предположить, что в условиях Волгоградской области ранняя форма обладает рядом преимуществ перед поздней.

**Ключевые слова:** дуб черешчатый, защитные лесные насаждения, ранняя форма, поздняя форма, засухоустойчивость

## PHENOLOGICAL FORMS OF QUERCUS ROBUR L. IN PLANTS OF THE VOLGOGRAD REGION.

<sup>1</sup>Iozus A.P., <sup>1</sup>Zavyalov A.A., <sup>2</sup>Kryuchkov S.N.

<sup>1</sup>Kamyshinsky Technological Institute (branch) of the State Educational Institution «Vologograd State Technical University», Kamyshin, e-mail: ttp@kti.ru;

<sup>2</sup>Federal Research Center for Agroecology, Comprehensive Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences, Volgograd

The Volgograd region is becoming a pilot project for the restoration of forest plantations created earlier in 1948-1953. Five of the seven state lanes were created then in the Volgograd region. Currently, the safety of trees in them is 30-40%. In the conditions of global warming and aridization of the climate of the region, it is necessary to restore state strips on an area of 21.2 thousand hectares and create new ones. The main breed for the restoration of state stripes is the common oak (*Quercus robur* L.). The creation of forest plantations from acorns of various forms, without taking into account the ecological affiliation and the form diversity of the parent plants, is often the reason for the joint growth of various phenological forms that differ significantly in biological and forestry properties, which is noted in the plantings of 1948-1953. It is necessary to study the biology of the common oak forms in the extremely arid conditions of the region in order to carry out seed work in order to increase the stability of protective forest plantations and to determine possible prospects for the use of early and late oak forms in protective afforestation of the Volgograd region. During many years of research, it was found that the early form of oak in the conditions of the Volgograd region has an advantage over the late one in terms of annual growth, since the growth process takes place in the spring period optimal for climatic indicators. After dry years, the early form recovers faster growth, resulting in higher taxation rates. The early form has a better water regime, it consumes moisture more economically during an unfavorable dry period. The conducted studies suggest that in the conditions of the Volgograd region, the early form has a number of advantages over the late one.

**Keywords:** common oak, protective forest stands, early form, late form, drought resistance

В Волгоградской области осуществляется пилотный проект по восстановлению лесных насаждений, созданных по «Сталинскому плану преобразования природы» в 1948-1953 годах. Пять из семи государственных полос тогда было создано

в Волгоградской области. В настоящее время сохранность деревьев в них составляет 30-40%. В условиях глобального потепления и аридизации климата области необходимо восстановить государственные полосы на площади 21,2 тыс. га и создать новые. Ле-

систость Волгоградской области в настоящее время составляет 4,1%, тогда как в целом по России 46%. В перспективе лесистость области планируется увеличить до 6-8%, что позволит смягчить последствия глобального потепления, снизить эрозию почв, улучшить условия для земледелия. За два ближайших года в рамках нацпроекта «Экология» планируется восстановить не менее 4,5 тыс. га лесных насаждений. В настоящее время работы по лесовосстановлению в области ведутся только на землях лесного фонда [1; 2]. Преобладающей породой, составляющей до 60% общей площади посадок, является робиния псевдоакация (*Robinia pseudoacacia* L.). Доля дуба (*Quercus robur* L.) составляет всего около 10% [1]. В ходе реализации проекта ее планируется увеличить до 40%, внеся соответствующие изменения в «Лесной план» Волгоградской области. Уже в этом году планируется заготовить 12,5 тонн желудей. При этом задачи по заготовке семенного материала ставятся лесничествам без учета фенологической формы, что является неправильным, так как при проектировании и создании новых насаждений фенологическую форму нужно обязательно учитывать [3].

Выращивание лесных насаждений из желудей различных форм без учета экологической принадлежности и формового разнообразия материнских растений нередко является причиной совместного произрастания различных фенологических форм, в значительной мере отличающихся по биологическим и лесоводственным свойствам [4].

В защитных лесных насаждениях одним из факторов, определяющих эффективность главной породы, является не только ее высота, но и плотность кроны, густота и продолжительность периода облиствения, что в немалой степени связано с воздействием на растение заморозков, вредителей и болезней [4; 5].

Цель исследования: изучить биологию форм дуба черешчатого в крайне засушливых условиях региона, что важно для проведения семеноводческой работы с целью повышения устойчивости защитных лесных насаждений, и определить возможные перспективы использования рано- и поздне-распускающихся форм дуба при защитном лесоразведении в Волгоградской области.

#### **Материалы и методы исследования**

Изучение особенностей роста и прохождения фенофаз разных форм дуба проводилось вблизи г. Камышина на участке гослесополосы Волгоград – Камышин

в гнездовых посевах 1952 г. на светло-каштановой выщелоченной почве при размещении гнезд 5×3 м и в культурах дуба, заложенных в 1953 году на «Нижевожской станции по селекции древесных пород ВНИАЛМИ» в городе Камышине посевом желудей строчно-луночным способом 1,5×0,7 м на каштановой выщелоченной почве.

Фенологические формы в гослесополосе выделены 4 мая 2009 г. в период распускания листьев у поздних дубов, ранораспускающиеся имели полное облиствение. На пробной площади 0,08 га из 96 деревьев дуба выделено 56 поздне-распускающихся экземпляров и 40 ранораспускающихся. Феноформы по площади размещены стохастично. Фенологические наблюдения проводились по методике Н.Е. Булыгина [6]. Оценку таксационных показателей проводили по общепринятым в селекции методикам [5].

#### **Результаты исследования и их обсуждение**

Фенологическими наблюдениями за фазами развития в 2010 и в 2011 гг. был выявлен существенный сдвиг в сроках прохождения фенофаз у разных форм, который в весенний период не является постоянным, так как зависит от сложившихся погодных условий. В 2010 г. он составил 21 день, а в 2011 – 16, что связано с более интенсивным нарастанием положительных температур после распускания ранних деревьев дуба в 2011 г.

Такая же закономерность отмечалась и в культурах «Нижевожской станции по селекции древесных пород ВНИАЛМИ» в 2010-2012 гг., когда разница в сроках распускания между формами составляла ежегодно от 11 до 16 дней. Анализ погодных условий с момента набухания почек раннего дуба до распускания позднего показал, что для распускания последних необходима в 2 раза большая сумма эффективных температур (> 10°C), которая является универсальным критерием оценки сезонного развития растений (табл. 1).

Вегетационный период у ранних и поздних дубков также колеблется по годам, причем разница, обычно равна интервалу между их распусканьем в весенний период. Заканчивают вегетацию они всегда одновременно.

В результате наблюдений отмечено, что период роста у дубов поздней формы был на 6-9 дней меньше, чем у ранней формы. Таким образом, рост побегов у ранней формы протекает в более благоприятный по влажности воздуха и почвы период (табл. 2).

**Таблица 1**

Сумма эффективных температур (> 10 °С) при весеннем распускании разных форм дуба

Фенологическая форма	2010		2011		2012	
	Сумма температур, °С	%	Сумма температур, °С	%	Сумма температур, °С	%
Ранняя	202,1	100	226,9	100	158,6	100
Поздняя	420,3	207	397,3	175	318,2	200

**Таблица 2**

Линейный рост побегов у различных фенологических форм дуба

Годы наблюдений	Продолжительность роста побегов, дней		Средний прирост, см											
			За вегетацию						За сутки					
			ранняя форма			поздняя форма			ранняя форма			поздняя форма		
			x	S	V	x	S	V	x	S	V	x	S	V
Гослесополоса 1952 г., посадки														
2010	31	22	10,5	0,9	8,6	7,0	1,1	15,7	0,32	0,03	9,3	0,30	0,02	6,7
2011	29	20	9,4	1,0	10,6	6,7	0,6	9,0	0,30	0,02	6,7	0,30	0,02	6,7
Культуры «Нижевожской станции по селекции древесных пород ВНИАЛМИ»														
2010	30	22	8,9	0,8	9,0	5,0	0,7	14,0	0,28	0,02	7,1	0,23	0,01	4,3
2011	28	21	7,1	0,7	9,9	5,6	0,8	14,3	0,25	0,01	4,0	0,28	0,02	7,1
2012	29	23	8,5	0,8	9,4	6,5	0,9	13,8	0,29	0,02	6,9	0,27	0,02	7,4

x – средний прирост, см; S – среднее квадратичное отклонение, см; V – коэффициент вариации, %.

**Таблица 3**

Таксационные показатели разных фенологических форм в 60-летнем возрасте

Фенологическая форма	Число деревьев на пробе	Высота, м				Диаметр, см			
		x	S	V	максимальная	x	S	V	максимальный
Гослесополоса 1952 г., посадки									
Ранняя	40	7,9	1,2	15,2	10,5	22	1,5		26
Поздняя	56	7,1	0,4	5,6	9,3	21	1,4		24
Культуры «Нижевожской станции по селекции древесных пород ВНИАЛМИ»									
Ранняя	54	7,5	0,4	5,3	10,0	24	1,6		28
Поздняя	50	6,3	0,28	4,4	8,4	22	1,4		26

x – средняя величина высоты деревьев, м, и средняя величина диаметра ствола, см; S – среднее квадратичное отклонение, м (см); V – коэффициент вариации, %.

Длинный период роста у дубов ранней формы можно обосновать тем, что он приходится на ранневесенний период, климатические условия которого являются наиболее оптимальными по температуре, влажности воздуха. Прирост дубов поздней формы происходит в более сложных метеорологических условиях, выше температура и меньше относительная влажность воздуха. Данное преимущество ранораспускающейся формы реализуется в виде большей величины годичного прироста.

В засушливый период разница между сезонными приростами дубов разной формы становится особенно заметна. Ранняя форма здесь имеет определенное преимущество.

Различия в цикле развития приводят к определенной разнице таксационных показателей (табл. 3).

По данным таблицы можно отметить, что ранние дубки превосходят поздние по высоте и диаметру. Преимущество в росте отмечалось разными исследователями до 20 лет [5; 6]. К сожалению, в гослесополосе к возрасту 60 лет от первоначально высаженных сохранилось всего около 40%, остальные элиминировались под воздействием тяжелых почвенно-климатических условий, у 10% оставшихся отмечается суховершинность. Исследователями сообщалось [4; 5], что при совместном произрастании в биогруппах дубов поздней и ранней

формы поздняя форма испытывала световое угнетение. Наиболее высокорослые растения у ранних дубков в гослесополосе достигают 10,5, поздние – 9,3 м. Однако деревья позднораспускающейся формы, как правило, отличаются более узкой, компактной кроной и лучшей очищенностью стволов. Масса листьев на среднем модельном дереве позднего дуба в переводе на сухое вещество составила 1,4, а раннего – 2,6 кг.

Анализируя рост по высоте и диаметру модельных деревьев разных феноформ в гослесополосе, можно убедиться, что позднораспускающаяся форма по сравнению с ранней более резко снижает прирост после засушливых лет, что, видимо, характеризует ее недостаточную засухоустойчивость.

Степень засухоустойчивости растений зависит от их физиолого-биохимических особенностей. Физиологические исследования, проводимые на модельных деревьях разных феноформ в гослесополосе и у их потомства в вегетационных сосудах, позволили получить дополнительные сведения по их засухоустойчивости.

Исследования 2010-2012 гг. показали, что в период с достаточной водообеспеченностью повышенной водоудерживающей способностью обладает поздняя форма, а в засушливый – ранняя. Подобная закономерность наблюдалась и в вегетационном опыте при создании искусственной засухи. Большая водоудерживающая способность ранней формы в условиях недостатка влаги свидетельствует о лучшей ее сопротивляемости обезвоживанию тканей и более высокой способности приспособления к данным условиям.

Моделирование искусственной засухи в вегетационных сосудах показало, что при искусственной засухе значительное снижение транспирации наблюдалось у обеих

форм. При повышении влажности почвы она повышалась, однако даже в этих условиях ранняя форма дуба расходовала влагу более экономно.

При нехватке влаги в почве оводненность тканей выше у ранораспускающейся формы дуба на 5% (табл. 4).

Путем снижения интенсивности транспирации и повышения оводненности тканей растения приспособляются к условиям засухи.

Таким образом, исследования водного режима раннего и позднего дуба показывают, что первый обладает повышенной способностью удерживать влагу, а также медленнее ее теряет.

Наблюдения за степенью повреждения дубков разных фенологических форм весенними заморозками и листогрызущими вредителями проводились в культурах дуба на территории «Нижеволжской станции по селекции древесных пород ВНИАЛМИ» в 2010-2012 гг. За этот период наблюдалось 2 поздних весенних заморозка: 3 мая 2010 г. (-3 °С) и 21 мая 2012 г. -2 °С). От первого пострадали 28% ранораспускающихся растений, в первую очередь запоздавших с началом вегетации и находившихся в фазе распускания почек, и 16% позднораспускающихся. У каждого из поврежденных ранних дубков было обморожено от 5 до 10% листьев и единично пострадали верхушечные и боковые побеги. У поздних же наблюдалось подмерзание только молодых листочков. Заморозок 21 мая 2012 г., совпал с массовым распусканьем листьев у позднего дуба, поэтому у 15% деревьев были поражены листья и у единичных экземпляров верхушечные и боковые побеги. У ранних, которые находились в это время в состоянии полного облиствения, пострадали лишь отдельные, запоздавшие с началом распускания растения.

Таблица 4

Влияние засухи на влажность листьев разных фенологических форм дуба (вегетационный опыт 2010 г.)

Фенологическая форма	Вариант опыта	25 мая		6 июля	
		содержание воды в % к абсолютно сухой массе	% к контролю	содержание воды в % к абсолютно сухой массе	% к контролю
Ранняя	Засуха	129,7	116,2	105,1	107,3
	Контроль	111,6	100	97,9	100
Поздняя	Засуха	121,5	110,7	101,3	102,1
	Контроль	109,7	100	99,2	100

Из листогрызущих вредителей наибольшее распространение имели дубовая листовертка, непарный шелкопряд и орехотворка яблоковидная, единично встречалась златогузка.

По нашим наблюдениям, листоверткой ежегодно, в различной степени, повреждалось 22-34% дубков ранней и 16-32% поздней формы. За 3 года непарный шелкопряд как на ранних, так и поздних дубках встречался сравнительно в небольшом количестве.

Таким образом, дубки разных фенологических форм в равной степени подвергались воздействию низких температур и энтомовредителей.

В экстремальных условиях, под действием быстро нарастающих температур у дубков крайних феноформ проявляется тенденция к сокращению интервала между фазами роста, в том числе и при распускании листьев, что, видимо, и явилось причиной их одинаковой подверженности влиянию этих отрицательных факторов.

В литературе имеются данные о разном характере плодоношения рано- и поздне-распускающихся форм, связанном с их фенологией [6; 7].

В насаждениях Нижневолжской станции по селекции древесных пород ВНИАЛМИ первое плодоношение у ранней формы отмечено в 8 лет, у поздней в 11. Цветение у дубков ранней феноформы протекало более стабильно, чем у поздних, которые в отдельные годы совершенно не цвели.

Визуальные фенологические наблюдения за распусканием дуба в байрачных и пойменных насаждениях в весенний период 2001-2005 гг. показали, что расхождение сроков распускания у разных особей в пределах каждого насаждения не превышало 5-6 дней. Причем сравнительно позднее распускание отдельных особей, как правило, объясняется их ослабленным состоянием или недостаточной освещенностью.

Такая довольно выраженная синхронность в прохождении фенофаз у дуба в условиях сухой степи, видимо, объясняется жесткими, экстремальными климатическими условиями этой зоны, способствующими довольно быстрому и стабильному прохождению фаз роста и развития у всех растений в естественных популяциях. Этой особенностью, вероятно, и объясняется отсутствие в естественных дубравах на юго-восточной границе ареала фенологических форм. Поэтому при использова-

нии в семеноводческой работе генофонда из местных естественных популяций нет основания для разграничения маточных деревьев по фенологическим формам, как это принято для большинства районов России [5; 7], и опасения несовместимости в сроках цветения растений на будущих семенных плантациях.

### Выводы

1. Ранняя форма дуба в условиях Волгоградской области имеет преимущество перед поздней по величине годичного прироста, так как процесс прироста протекает в оптимальный по климатическим показателям весенний период.

2. После засушливых лет ранняя форма быстрее восстанавливает приросты, что позволяет получить в итоге более высокие таксационные показатели.

3. У ранней формы лучше складывается водный режим, она более экономно расходует влагу в неблагоприятный засушливый период.

4. Проведенные исследования позволяют предположить, что в условиях Волгоградской области ранняя форма обладает рядом преимуществ перед поздней.

5. При создании лесосеменных плантаций дуба в условиях Волгоградской области нет необходимости разделять потомство ранней и поздней формы, так как в условиях региона отличия между ними становятся минимальными.

### Список литературы / References

1. Постановление Губернатора Волгоградской области от 20.02.2019 № 81 «Об утверждении Лесного плана Волгоградской области». [Электронный ресурс]. URL: <https://vlg-gov.ru/doc/104964> (дата обращения: 08.11.2021).  
Resolution of the Governor of the Volgograd Region dated 20.02.2019 No. 81 «On approval of the Forest Plan of the Volgograd region». [Electronic resource]. URL: <https://vlg-gov.ru/doc/104964> (date of access: 08.11.2021) (in Russian).
2. Об утверждении Методических указаний по осуществлению лесозащитного районирования: Приказ Рослесхоза от 25.04.2017 № 179. [Электронный ресурс]. URL: <http://base.garant.ru/71723350/> (дата обращения: 08.11.2021).  
About the approval of Methodical instructions on implementation of forest protection zoning: Order of Rosleskhoz of 25.04.2017 No. 179. [Electronic resource]. URL: <http://base.garant.ru/71723350/> (date of access: 08.11.2021) (in Russian).
3. Научно-методические указания по сортоводству деревьев и кустарников для защитного лесоразведения в аридных регионах. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2013. 51 с.  
Scientific and methodological guidelines for cultivating trees and shrubs for protective afforestation in arid regions. Volgograd: VNIALMI, 2013. 51 p. (in Russian).
4. Ефимов Ю.П. Влияние осадков на прирост дуба черешчатого ранней и поздней формы в Центральной лесостепи // Генетика, селекция и интродукция лесных пород: тема-

тический сборник научных трудов. Воронеж: ЦНИИЛГиС, 1974. Вып. 1. С. 70–79.

Efimov Yu.P. Influence of precipitation on the growth of early and late pedunculate oak in the Central forest-steppe // *Genetika, selektsiya i introduktsiya lesnykh porod: tematicheskii sbornik nauchnykh trudov*. Voronezh: TSNILGiS, 1974. Вып. 1. P. 70–79 (in Russian).

5. Иозус А.П., Крючков С.Н., Морозова Е.В. Селекция и репродукция древесных пород для защитного лесоразведения: монография. Волгоград: ВолГТУ, 2016. 184 с.

Iozus A.P., Kryuchkov S.N., Morozova E.V. Selection and reproduction of tree species for protective afforestation: monografiya. Volgograd: VolgGTU, 2016. 184 p. (in Russian).

6. Булыгин Н.Е. Фенологические наблюдения над лиственными древесными растениями: учеб. пособие. Л.: ЛТА, 1976. 70 с.

Bulygin N.E. Phenological observations on deciduous woody plants: textbook manual. L.: LTA, 1976. 70 p. (in Russian).

7. Уткина И.А., Рубцов В.В. Устойчивость фенологических форм дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) к неблагоприятным внешним факторам // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии*. 2017. Вып. 220. С. 200–211.

Utkina I.A., Rubtsov V.V. Resistance of the phenological forms of the petiolate oak (*Quercus robur* L.) to unfavorable external factors // *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii*. 2017. Вып. 220. P. 200–211 (in Russian).

УДК 631.962.4:582

**ВЛИЯНИЕ РОСТОГЕНЕРИРУЮЩИХ ВЕЩЕСТВ НА ПОКАЗАТЕЛИ  
ВСХОЖЕСТИ И ФЕНОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ СЕЯНЦЕВ  
СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (PINUS SYLVESTRIS)  
И СОСНЫ СИБИРСКОЙ (PINUS SIBIRICA)**

**<sup>1</sup>Коновалова Е.В., <sup>1</sup>Кисова С.В., <sup>2</sup>Ставников Д.Ю.**

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Бурятская государственная сельскохозяйственная академия имени В.Р. Филиппова»,  
Улан-Удэ, e-mail: konovelena@mail.ru, kisova.svetlana@mail.ru;

<sup>2</sup>Автономное учреждение Республики Бурятия «Лесресурс», Улан-Удэ, e-mail: stavnikov\_d@mail.ru

В статье представлены результаты исследований по влиянию предпосевной обработки семян сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) и сосны сибирской (*Pinus sibirica*) на фенологическое состояние сеянцев. Авторы ставили перед собой цель выяснить, насколько предпосевная обработка семенного материала влияет на фенологическое состояние однолетних сеянцев сосны обыкновенной и сосны сибирской. В качестве ростогенерирующих веществ были выбраны коммерческие препараты Эпин-Экстра, Циркон, Гумат калия, а также сок алоэ и микробиологический препарат БИЭМ. Результаты исследования позволяют говорить об эффективности предпосевной обработки семян, так, лабораторная всхожесть в различных вариантах опыта увеличилась на 0,3–12,6% по отношению к контролю, дружность прорастания семян увеличилась на 9,8–40,8%, энергия прорастания превышала контроль на 8,8–31,9%. Предпосевная обработка семян опытных культур не оказала значительного влияния на фенологическое состояние однолетних сеянцев, хотя увеличила их линейный прирост. Предпосевная обработка сосны обыкновенной и сосны сибирской не оказала влияния на прирост высоты стволика однолетних сеянцев и была на уровне контроля, при этом максимальный прирост показали сеянцы, обработанные раствором Гумата калия и соком алоэ. Предпосевная обработка семян опытных культур микробиологическим препаратом БИЭМ не выявила существенных различий морфометрических показателей по сравнению с контролем. Предпосевная обработка не оказала влияния на толщину корневой шейки, все растения соответствовали стандартным показателям. Анализ фенологического состояния сеянцев позволил говорить лишь о незначительном колебании в датах наступления фаз на 1–6 дней в различных вариантах опыта.

**Ключевые слова:** сосна обыкновенная, сосна сибирская, морфометрические показатели, ростогенерирующие вещества, фенологическое состояние

**INFLUENCE OF GROWTH-GENERATING SUBSTANCES  
ON INDICATORS OF SIMILARITY AND PHENOLOGICAL STATE  
PINE SEEDLING (PINUS SYLVESTRIS) AND SIBERIAN PINE (PINUS SIBIRICA)**

**<sup>1</sup>Konovalova E.V., <sup>1</sup>Kisova S.V., <sup>2</sup>Stavnikov D.Y.**

<sup>1</sup>Buryat State Academy of Agriculture named after V. Philippov, Ulan-Ude,  
e-mail: konovelena@mail.ru, kisova.svetlana@mail.ru;

<sup>2</sup>Autonomous Institution of the Republic of Buryatia «Lesresurs», Ulan-Ude,  
e-mail: stavnikov\_d@mail.ru

The article presents the results of studies on the effect of pre-sowing treatment of seeds of Scots pine (*Pinus sylvestris*) and Siberian pine (*Pinus sibirica*) on the phenological state of seedlings. The authors aimed to find out to what extent the pre-sowing treatment of seed material affects the phenological state of annual seedlings of Scots pine and Siberian pine. Commercial preparations Epin-Extra, Zircon, Potassium humate, as well as aloe juice and the microbiological preparation BIEM were chosen as growth-generating substances. The results of the study allow us to speak about the effectiveness of pre-sowing seed treatment, so laboratory germination in various variants of the experiment increased by 0.3–12.6% in relation to the control, the germination of seeds increased by 9.8–40.8%, the germination energy exceeded control by 8.8–31.9%. Presowing treatment of seeds of experimental crops did not have a significant effect on the phenological state of one-year-old seedlings, although it increased their linear growth. Presowing treatment of Scots pine and Siberian pine did not affect the growth of the stem height of annual seedlings and was at the control level, while the maximum growth was shown by seedlings treated with a solution of Potassium Humate and aloe juice. Presowing treatment had no effect on the thickness of the root collar, all plants corresponded to standard parameters.

**Keywords:** *Pinus sylvestris*, *Pinus sibirica*, morphometric indicators, growth-generating substances, phenological state

Искусственное лесовосстановление позволяет решить многие задачи современно-го лесоводства: повышение продуктивности и улучшение качественного состава лесов, оптимизация процессов механизации лесовыращивания. При этом нужно отметить,

что восстановление лесов методом посадки – наиболее надежный способ, в результате которого получаем насаждения с заранее заданными характеристиками.

С 2019 г. начата реализация регионального проекта «Сохранение лесов», его ре-

ализация рассчитана до 2025 года. Национальный проект «Сохранение лесов» – один из 11 национальных проектов в Российской Федерации. Проводится в рамках национального проекта «Экология». Основная цель – добиться, чтобы вырубленные и погибшие леса на 100% восстанавливались. Основной задачей Проекта, помимо увеличения площади лесовосстановления и лесоразведения и снижения площади погибших лесных насаждений, значится «...увеличить количество выращенного посадочного материала лесных растений на 214 млн штук...». Возросшие объемы лесокультурных работ обуславливают необходимость увеличения эффективности традиционных и разработки новых способов выращивания посадочного материала. Поэтому необходимо оптимизировать и интенсифицировать приемы агротехники при выращивании сеянцев, с учетом биологических характеристик опытных растений [1].

Многие особенности роста сеянцев древесных пород определяются климатическими условиями района их произрастания. Нужно отметить, что экологические условия открытого и закрытого грунта, при выращивании сеянцев, могут значительно различаться [2].

При выращивании сеянцев основных лесобразующих пород важной задачей является повышение выхода стандартного посадочного материала, улучшение его качества. Эффективного выращивания сеянцев можно достигнуть, соединив знания в биологии роста и развития с агротехническими мероприятиями, в первую очередь с применением удобрений.

Цель исследования: определить влияние ростогенерирующих веществ на показатели всхожести и морфогенез сеянцев хвойных культур.

Задачи исследования:

1. Оценка влияния стимуляторов роста на показатели всхожести сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) и сосны сибирской (*Pinus sibirica*).

2. Влияние ростогенерирующих препаратов на фенологическое состояние сеянцев сосны обыкновенной и сосны сибирской.

3. Оценка морфометрических показателей сеянцев сосны обыкновенной, сосны сибирской при обработке стимуляторами роста.

#### **Материалы и методы исследования**

В качестве объекта исследования изучались семена и сеянцы сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) и сосны сибирской

(*Pinus sibirica*). А также изучалось влияние ростогенерирующих веществ на показатели всхожести и рост и развитие опытных культур. Стимулирующий эффект выявляли у препаратов: Эпин-Экстра, Циркон, Гумат калия, а также оценивали влияние раствора сока алоэ и микробиологического препарата БИЭМ [3]. Показатели всхожести в лабораторных условиях определяли согласно ГОСТ 13056.6-97. Семена деревьев и кустарников. Метод определения всхожести. Перед посевом семена опытных культур замачивали в рабочих (рекомендованных производителем) растворах ростогенерирующих веществ на 12 часов. После этого семена помещали на марлю и подсушивали до сыпучего состояния.

Для определения показателей всхожести подготовленные семена помещали в чашки Петри по 100 шт., повторность 4-кратная.

Для оценки морфометрических показателей и влияния ростогенерирующих препаратов на фенологическое состояние однолетних сеянцев сосны обыкновенной и сосны сибирской семена высевали в кассеты. Кассета состоит из 81 ячейки, размером 38,5×38,5×8,5 см. У каждой ячейки в стенках нарезаны вертикальные щелевидные отверстия, книзу ячейки сужаются, размер отдельной ячейки 4,1×4,1×8,5 см с общим объемом 100 см<sup>3</sup>.

В период вегетации однолетних сеянцев проводились фенологические наблюдения. За начало фазы развития принимали день, когда в неё вступали 10% растений, а полное наступление фазы – когда она наблюдалась у 75% растений.

Схема опыта

Контроль – замачивание в дистиллированной воде.

1. Обработка раствором стимулятора Эпин-Экстра.

2. Обработка раствором стимулятора Циркон.

3. Обработка раствором стимулятора Гумат калия.

4. Обработка раствором сока алоэ.

5. Обработка микробиологическим препаратом БИЭМ.

#### **Результаты исследований и их обсуждение**

В феврале 2021 г. специалистами учреждения была собрана шишка сосны, переработана на шишкосушилке и получены семена. Класс качества семян определяли согласно ГОСТ 14161-86. Семена оказались 1 класса качества.

Для оценки влияния стимуляторов роста на показатели лабораторной всхожести, энергии и дружности прорастания семян сосны обыкновенной произвели посев семян в чашки Петри на ложе из фильтровальной бумаги. Анализ влияния ростогенерирующих веществ, в условиях модельного опыта, позволяет говорить о положительном влиянии всех препаратов на показатели всхожести сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) и сосны сибирской (*Pinus sibirica*), что согласуется с исследованиями различных авторов [4-6]. Лабораторная всхожесть сосны обыкновенной в контроле (замачивание в дистиллированной воде) составила 77,6%. БИЭМ – микробиологический препарат, не оказал влияния на показатель лабораторной всхожести (на уровне контроля), но усилил энергию прорастания семян опытных культур на 8,8% по отношению к контролю. Наилучший результат отмечен в вариантах с предпосевным замачиванием в растворе гумата калия и сока алоэ, где показатели лабораторной всхожести показали 90,2% и 88,4% соответственно. Нужно отметить, что препараты гумата калия и сока алоэ оказали значительный эффект на энергию прорастания, превышая показатели с контролем на 31,9–31,1%. Обработка семян сосны обыкновенной растворами Эпина-Экстра и Циркона увеличила лабораторную всхожесть на 3,7–5%.

Дружность прорастания во всех вариантах опыта превышала показатели контроля, что говорит о положительном эффекте от предпосевной обработки семян росто-

генерирующими препаратами. Увеличение показателей энергии и дружности прорастания позволит получить однотипные сеянцы. Дружность прорастания семян сосны обыкновенной в контроле составила 7,1 шт. Во всех вариантах опыта дружность прорастания увеличилась, при этом минимальный прирост отмечен в варианте с обработкой препаратом БИЭМ – 9,8%, дружность прорастания при обработке гуматом калия увеличилась на 40,8% по отношению к контролю. Выровненные всходы позволяют растениям проходить стадии начального онтогенеза в одинаковых условиях, при этом каждое дерево формируется и занимает свое место в пространстве и биоценозе. Происходит формирование фенотипа дерева, обусловленное сложным взаимодействием внутренних и внешних причин. В течение всего этого периода индивидуум испытывает сильное конкурентное давление, адаптируясь к условиям внешней среды.

Анализ влияния предпосевной обработки ростогенерирующими препаратами сосны сибирской позволяет говорить об аналогичной тенденции показателей всхожести. Наименьший эффект был получен при обработке семян сосны сибирской препаратом БИЭМ, наилучшие результаты при предпосевной обработке гуматом калия и соком алоэ.

При посеве семян в кассеты применялась система агротехнических мероприятий, которая включала в себя системное внесение корневых подкормок и обработку растворами препаратов (табл. 1).

Таблица 1

Система подкормок при выращивании сеянцев в закрытом грунте

Возраст сеянцев, дни	Вид подкормки, способ внесения	Применяемые удобрения	Расход удобрений	Состав
15	Корневая органоминеральная. Рассев гранул по поверхности	Гуми-Оми «Фосфор»	4-6 г на 1 погонный метр	Азот – 0,5%, фосфор – 25%, калий – 0,5%, бор – 100-150 мг/кг, медь – 50-60 мг/кг, гуми – 0,4-0,6% и др.
30	Внекорневая	«Кристалон»	60 мл/м2 раствора	азот, фосфор, магний, сера, калий; микроэлементы – бор, железо, марганец, медь, молибден, цинк.
45	Корневая	«Сотка» – двойной суперфосфат	15-20 г/кв. м	8-9% азота, 46% фосфора
60	Корневая органоминеральная. Рассев гранул по поверхности	Гуми-Оми «Фосфор»	4-6 г на 1 погонный метр	Азот – 0,5%, фосфор – 25%, калий – 0,5%, бор – 100-150 мг/кг, медь – 50-60 мг/кг, гуми – 0,4-0,6% и др.
75	Внекорневая	«Кристалон»	60 мл/м2 раствора	азот, фосфор, магний, сера, калий; микроэлементы – бор, железо, марганец, медь, молибден, цинк.

Окончание табл. 1				
Возраст сеянцев, дни	Вид подкормки, способ внесения	Применяемые удобрения	Расход удобрений	Состав
90	Корневая	«Сотка» – двойной суперфосфат	15-20 г/кв. м	8-9% азота, 46% фосфора
115	Корневая	Гуми-Оми «Фосфор»	4-6 г на 1 погонный метр	Азот – 0,5%, фосфор – 25%, калий – 0,5%, бор – 100-150 мг/кг, медь – 50-60 мг/кг, гуми – 0,4-0,6% и др.

Таблица 2

Данные фенологических наблюдений за развитием сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) и сосны сибирской (*Pinus sibirica*)

Варианты	Фенологические фазы сеянцев 1 года (дни)						
	Прорастание семян	Появление всходов	Развертывание семядолей	Появление почки зачаточного побега	Развертывание хвои	Рост эпикотильной части стволика	Переход растения в состояние покоя
Сосна обыкновенная							
Контроль	5	14	16	21	27	36	126
Эпин-Экстра	5	14	15	20	25	34	118
Циркон	5	13	15	20	26	34	119
Гумат калия	4	11	14	18	24	31	109
БИЭМ	5	14	16	22	26	35	120
Сок алоэ	4	11	13	19	24	31	109
Сосна сибирская							
Контроль	7	17	20	25	32	42	129
Эпин-Экстра	6	16	18	24	30	40	121
Циркон	6	16	19	23	30	39	122
Гумат калия	5	12	16	21	28	35	119
БИЭМ	6	16	19	25	30	40	126
Сок алоэ	5	13	17	23	28	36	119

Линейный рост стволика и корней сеянцев древесных пород наряду с проявлениями морфологических признаков в процессе органогенеза – наиболее наглядный показатель их сезонного развития. Результаты наблюдений позволяют выявить влияние предпосевной обработки семян опытных культур на морфометрические показатели сеянцев первого года, при этом значительных изменений в ходе сезонного роста сеянцев не наблюдается.

Анализ фенологического состояния сеянцев (табл. 2) позволил говорить лишь о незначительном колебании в датах наступления фаз на 1–6 дней в различных вариантах опыта.

В соответствии с Приказом Минприроды России от 04.12.2020 № 1014 [1] сеянцы сосны должны иметь высоту не менее 10 см, а толщину корневой шейки не менее

2 мм. Нами проводилась оценка основных параметров сеянцев, ежемесячно в течение периода вегетации случайно отбирались сеянцы исследуемых растений и проводились измерения (табл. 3).

В результате экспериментов было выявлено, что предпосевная обработка опытных растений ростогенерирующими веществами оказала положительное воздействие на все исследуемые параметры. Нужно отметить, что измерения проводились в сентябре, в фазу перехода растений в состояние покоя, при этом явно прослеживается пролонгирующий эффект от предпосевной обработки семян стимуляторами роста. Наиболее эффективно на морфометрические показатели сеянцев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) и сосны сибирской (*Pinus sibirica*) оказали влияние предпосевные обработки семян соком алоэ и гуматом калия.



Рис. 1. Фаза разворачивания семядолей у сосны обыкновенной в кассетах



Рис. 2. Фаза роста эпикотильной части стволика у сосны обыкновенной в кассетах

Таблица 3

Морфометрические признаки однолетних сеянцев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) и сосны сибирской (*Pinus sibirica*)

Варианты	Высота стволика, см		Толщина корневой шейки, мм		Длина хвои, см	
	<i>Pinus sylvestris</i>	<i>Pinus sibirica</i>	<i>Pinus sylvestris</i>	<i>Pinus sibirica</i>	<i>Pinus sylvestris</i>	<i>Pinus sibirica</i>
Контроль	10,8 ± 0,92	10,5 ± 0,78	2,1 ± 1,12	3,1 ± 0,55	4,8 ± 0,76	5,8 ± 2,09
Эпин-Экстра	11,4 ± 1,12	11,3 ± 1,12	2,1 ± 0,76	3,1 ± 1,32	4,9 ± 1,12	6,1 ± 0,84
Циркон	11,6 ± 0,68	11,4 ± 2,11	2,1 ± 1,45	3,2 ± 1,46	5,0 ± 2,32	6,2 ± 1,43
Гумат калия	12,2 ± 1,32	12,1 ± 0,87	2,1 ± 2,32	3,2 ± 0,73	5,2 ± 1,45	6,3 ± 1,45
БИЭМ	10,9 ± 2,09	10,5 ± 1,57	2,1 ± 0,93	3,1 ± 2,13	4,8 ± 2,09	5,8 ± 1,09
Сок алоэ	12,1 ± 1,24	12,1 ± 2,19	2,1 ± 1,75	3,2 ± 1,25	5,1 ± 1,24	6,1 ± 1,24

Научно-исследовательская работа выполнена в 2021 году по заказу Министерства сельского хозяйства России в рамках тематики «Искусственное и естественное возобновление леса на гарях и вырубках в Республике Бурятия».

**Список литературы / References**

1. Приказ Минприроды России от 04.12.2020 N 1014 Об утверждении Правил лесовосстановления, состава проекта лесовосстановления, порядка разработки проекта лесовосстановления и внесения в него изменений (Зарегистрировано в Минюсте России 18.12.2020 N 61556). [Электронный ресурс]. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/74983471/> (дата обращения: 18.11.2021).

The Order of the Russian Natural Resources Ministry under N 1014 dated December 4, 2020 on the approval of the Rules for reforestation, the composition of the reforestation project, the procedure for the development of the reforestation project

and amending it (Registered in the Ministry of Justice of Russia on December 18, 2020 under N 61556). [Electronic resource]. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/74983471/> (date of access: 18.11.2021) (in Russian).

2. Романов Е.М. Выращивание сеянцев древесных растений: биоэкологические и агротехнологические аспекты. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2000. 500 с.

Romanov E.M. The Growing seedlings of woody plants: bioecological and agrotechnological aspects. Yoshkar-Ola: PSTU, 2000. 500 p. (in Russian).

3. Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации. 2020. (утв. Минсельхозом России). [Электронный ресурс]. URL: <https://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=EXP&n=750664#9kNXOiS71pgUtPUD> (дата обращения: 24.11.2021).

4. The State catalog of pesticides and agrochemicals permitted for using on the territory of the Russian Federation. 2020. (approved by the Ministry of Agriculture of Russia). [Electronic resource]. URL: <https://www.consultant.ru/cons/cgi/>

online.cgi?req=doc&base=EXP&n=750664#9kNXOiS71pgUtP Ud (date of access: 24.11.2021) (in Russian).

5. Кабанова С.А., Данченко А.М., Данченко М.А. Влияние стимуляторов на всхожесть семян и рост сеянцев сосны обыкновенной в Северном Казахстане // Успехи современного естествознания. 2016. № 8. С. 88–92.

Kabanova S.A., Danchenko A.M., Danchenko M.A. The Influence of stimulants on seed germination and growth of Scots pine seedlings in Northern Kazakhstan // Uspekhi sovremenogo yestestvoznaniya. 2016. No. 8. P. 88–92 (in Russian).

6. Поломошнова Н.Ю., Бессмольная М.Я., Бессмольный И.С., Кисова С.В. Перспективы применения ростостимулирующих препаратов в послепожарном восстановлении лесов // Аграрная наука, образование, производство: актуальные вопросы»: сборник трудов всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Новосибирск: изд-во НГАУ, 2014. С. 262–263.

Polomoshnova, N.Yu., Bessmolnaya, M.Ya., Bessmolnyi, I.S., Kisova, S.V. The perspectives for the use of growth-stimulating drugs in the post-fire restoration of forests // Agrarnaya nauka, obrazovaniye, proizvodstvo: aktual'nyye voprosy»: sbornik trudov vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem. Novosibirsk: izd-vo NGAU, 2014. P. 262–263 (in Russian).

7. Кулагин А.А., Сахнов В.В., Прокопьев А.П. Влияние биологических активных веществ на рост сохранность сеянцев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) первого года выращивания // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2012. № 3(35). С. 12–13.

Kulagin A.A., Sakhnov V.V., Prokopyev A.P. The Influence of biological active substances on growth and safety of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) seedlings of the first year of cultivation // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2012. № 3(35). P. 12–13.

УДК 63:712.4

**ОСОБЕННОСТИ ОЗЕЛЕНЕНИЯ ЛЕТНЕГО САДА  
ИМ. ГОРЬКОГО – КРАТКОВРЕМЕННОГО МЕСТА ОТДЫХА  
В ЦЕНТРЕ ГОРОДА ИЖЕВСКА**

**Кузьмина Н.М., Федоров А.В., Ардашева О.А., Черемных Е.Н.**

*УдмФИЦ УрО РАН Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения  
Российской академии наук, Отдел интродукции и акклиматизации растений, Ижевск,  
e-mail: kuzmina1956@mail.ru*

Многочисленные загрязнители визуальной среды города повышают риск развития у жителей депрессии и ряда психических заболеваний. Зеленые насаждения снижают визуальный дискомфорт. Поэтому степень озеленения и его состояние имеют большое значение для оптимизации городской среды. Актуальной на сегодняшний день является организация комфортных мест отдыха в урбанизированной среде. Летний сад им. Горького (бывший Генеральский сад и дом) – единственная сохранившаяся дворянская усадьба в г. Ижевске. Он является самым благоустроенным местом отдыха в историческом центре города Ижевска. Проведено исследование насаждений данного исторического объекта культуры и отдыха, в результате которого была дана характеристика 136 выявленным объектам декоративного оформления сада и оценены их качество и декоративность. Отмечен довольно широкий типовой состав цветников – 13 типов. В агроценозе цветочного оформления определено 96 видов растений 81 рода, принадлежащих 46 семействам. Было выявлено, что качество цветников Летнего сада соответствует 2,86 балла из 3 возможных, а декоративность – 3,07 балла по 4-балльной шкале. Отмечено 7 видов травянистых декоративных растений, редко встречающихся в обследованных цветниках садов и парков Удмуртии. Объемную структуру Летнего сада создают древесно-кустарниковые растения, состоящие из 28 видов, 8 из которых являются высокодекоративными. В результате исследования выявлены факторы привлекательности озеленения парка Летний сад им. Горького – высокое качество и декоративность насаждений, широкое типовое разнообразие цветочных объектов, непрерывное цветение цветущих растений в течение вегетационного периода, широкий видовой состав цветочных культур, удачное расположение и выразительный рельеф местности.

**Ключевые слова:** насаждения садов и парков, комфортность мест отдыха, видовой состав, цветочное оформление, типовой состав, качество, декоративность

**FEATURES OF LANDSCAPING OF THE GORKY SUMMER  
GARDEN – A SHORT-TERM RECREATION AREA IN THE CENTER OF IZHEVSK**

**Kuzmina N.M., Fedorov A.V., Ardasheva O.A., Cheremnykh E.N.**

*UdmFRC UrB RAS Federal State Budgetary Institution of Science «Udmurt Federal Research  
Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences», Department of Plant  
Introduction and Acclimatization, Izhevsk, e-mail: kuzmina1956@mail.ru*

Numerous pollutants in the city's visual environment increase the risk of depression and a range of mental illnesses. Green spaces reduce visual discomfort. Therefore, the degree of greening and its condition is of great importance in optimizing the urban environment. The organization of comfortable recreation places in an urbanized environment is relevant today. Summer garden them. Gorky (former General's Garden and House) is the only surviving Noble estate in Izhevsk. It is the most comfortable resting place in the historical center of the city of Izhevsk. A study of the plantings of this historical object of culture and recreation was carried out, as a result of which a characteristic was given to 136 identified objects of flower decoration of the garden and their quality and decorativeness were assessed. A fairly wide typical composition of flower beds is noted – 13 types. In the agroцenosis of flower decoration, 96 plant species of 81 genera belonging to 46 families have been identified. It was revealed that the quality of the flower beds in the Summer Garden is 2.86 points out of 3 possible, and decorativeness – 3.07 points on a 4-point scale. 7 species of herbaceous ornamental plants, rarely found in the surveyed flower beds of gardens and parks of Udmurtia, were recorded. The volumetric structure of the Summer Garden is created by trees and shrubs, consisting of 28 species, 8 of which are highly decorative. As a result of the study, the factors of the attractiveness of landscaping in the Park Summer Garden named after V.I. Gorky – high quality and decorative plantings, a wide typical variety of flower objects, continuous flowering of flowering plants during the growing season, a wide species composition of flower crops, a good location and expressive terrain.

**Keywords:** plantings of gardens and parks, comfort of recreation areas, species composition, floral design, typical composition, quality, decorative effect

Организация комфортных мест отдыха в городской среде является одной из важнейших составляющих для формирования городской среды. Многочисленные рекламные щиты, антенны, нависающие провода и другие загрязнители визуальной среды, изобилие которых наблюдается в урбанизи-

рованной среде, повышают риск развития депрессии и ряда психических заболеваний [1]. С помощью озеленения в садово-парковых ландшафтах можно создать многообразие цветовых оттенков, которых так не хватает в урбанизированной среде города. Деревья, кустарники, цветы благо-

приятно воздействуют на человека [1]. Излюбленным местом отдыха в г. Ижевске является Летний сад им. Горького, который находится в центре города и относится к историческим объектам культуры. Летний сад им. Горького (бывший Генеральский сад и дом) – единственная сохранившаяся дворянская усадьба в г. Ижевске. В оптимизации городской среды немаловажное значение для комфортного отдыха имеют насаждения садов и парков.

Летний сад им. Горького (бывший Генеральский сад) был построен на высоком берегу Ижевского пруда по проекту архитектора Ивана Трофимовича Коковихина в 1857 г. и принадлежал управляющему Ижевского завода. Генеральский дом и сад были спроектированы и построены по трехслойной архитектурной модели мира снизу вверх — водоем (Ижевский пруд), дом и сад. Небольшой огород примыкал к набережной и имел больше эстетическое значение, чем продовольственное. По предположению историка И.И. Кобзева, там произрастали кусты смородины, малины, крыжовника, классическая для дворянских имений душистая сирень, черемуха. Сад использовался как домашний сад для семьи начальника завода и как площадка для проведения мероприятий с участием офицеров завода и местной интеллигенции. В 1917 г. дом лишился своего «генеральского» звания, а сад стал общественным. В советское время в Летнем саду проводили политические акции и выставки, устраивали народные гуляния, танцы, лотереи, по вечерам играл духовой оркестр. В Летнем саду 31 мая 1928 г. в Летнем театре состоялась премьера пьесы М. Горького «На дне». Работники парка послали телефонограмму самому автору пьесы. В ответ Горький выслал ижевчанам в подарок свой литографический портрет. В 1936 г., после кончины великого русского писателя, Летний сад и улицу, на которой он расположен, назвали в честь Максима Горького [2].

В настоящее время в Летнем саду работают аттракционы, проводятся различные конкурсы, творческие фестивали. В бывшем генеральском доме расположен музей г. Ижевска. Сегодня это самый благоустроенный и самый посещаемый парк г. Ижевска, находящийся в историческом центре города. На протяжении всего периода существования в саду было много зелени и богатое цветочное оформление. Цветы не только украшают сад, но и выполняют ряд других полезных функций. Цветочные культуры на Руси вводились в сады состоятельной

части населения еще в XVII в. [3]. С тех пор цветочное оформление стало обязательным элементом ландшафтного садово-паркового строительства. Цветники обозначают акценты и скрывают нежелательные стороны ландшафта. Правильное использование цветочных растений гармонизирует ландшафты, что благотворно влияет на настроение людей.

Формирование гармоничной (приближенной к природной) среды проживания человека является наиболее распространенным средством оптимизации урбанизированной среды [4].

Цель исследования: выявить факторы привлекательности и дать оценку качества и декоративности цветочного оформления.

#### **Материалы и методы исследования**

Исследование насаждений сада проводилось маршрутным методом [5]. Все объекты цветочного оформления были сфотографированы фотокамерой «Canon» и пронумерованы. В процессе обследования давалась краткая характеристика цветникам и оценивались их качество и декоративность. Для оценки декоративности цветников применялась разработанная авторами статьи методика, основанная на учете законов композиции [6-8]. При этом учитывались: поверхность цветника, габитус и декоративность растений, наличие опада, засоренность; проводилась оценка экологического состояния зеленых насаждений общего пользования на основе 3-балльной методики [9]. Видовой состав древесных и декоративных травянистых растений, а также типовой состав цветочного оформления определялись по общепринятым методикам [10-12].

Впервые проведено исследование цветочного оформления Летнего сада им. Горького. Дана оценка качества и декоративности цветников исторического Летнего сада им. Горького г. Ижевска в сравнении с подобными объектами других городов Удмуртии (8). Выявлены редко встречающиеся декоративные травянистые растения. Определены положительные и отрицательные стороны цветочного оформления, которые позволяют провести эффективное планирование формирования комфортной городской среды на научной основе.

#### **Результаты исследования и их обсуждение**

При обследовании территории Летнего сада было выявлено 136 объектов цветоч-

ного оформления, довольно широкого типового разнообразия (13 типов). Это самое широкое типовое разнообразие цветочных объектов в исследованных садах и парках городов Удмуртии. При обследовании цветочных объектов на территории Летнего сада им. Горького выявлено и определено 68 видов декоративных травянистых растений.

Преимущество по видовому составу имеют многолетние культуры – 55 видов. Однолетних культур – 13 видов. Металлические конструкции с вазонами *P. x hybrida* (Hook.) Vilm. эффектно украшают зеленые газоны сада. Вазоны с *P. x hybrida* украшают все аттракционы. В клумбах и рабатках преимущественно используются: *Ageratum houstonianum* Mill., *Begonia semperflorens* Link et Otto., *Tagetes patula* L., *Salvia splendens* Sellow ex Schult., *Cineraria maritima* L. Клумба возле памятника Горькому на главной аллее исполнена в уплотненной ковровой посадке, что повышает качество и декоративность данного цветника.

Цветочное оформление в исторической части сада выполнено преимущественно в пейзажном стиле в виде миксбордеров, альпинария с ручьем. При анализе видового состава было выявлено 3 группы декоративных травянистых растений по периоду цветения: раннецветущие (май – начало июня), летнецветущие (со второй декады июня, июль, август), позднецветущие (с начала третьей декады августа до заморозков) – и определена их доля в агроценозе. Ко второй группе относятся 69% видов, невысок процент раннецветущих – 18% растений, которые так необходимы в нашем регионе после продолжительной зимы, позднецветущие виды составляют 13%. В результате исследования было выявлено, что недостаток позднецветущих растений компенсирует яркая осенняя окраска листья древесных растений. В цветочных композициях отмечено широкое использование почвопокровных многолетних растений (22%): *Glechoma hederacea* L., *Lysimachia nummularia* L., *Diáanthus deltoides* L., *Geranium sanguineum* L., *Ajuga reptans* L., *Convallaria majalis* L., *Pulmonaria saccharata* Mill., *Euphorbia cyparissias* L., *Sedum spurium* M. Bieb., *Oxalis corniculata* L., *Aegopodium podagraria* L. «Variegata», *Phlox subulata* L. Данные почвопокровные культуры, плотно закрывающие почву в миксбордерах, представлены в различных цветовых тонах (в основном зеленых оттенков) и создают благоприятный фон для более эффективного восприятия

цветочных культур. *Aegopodium podagraria* «Variegata» под кронами деревьев эффектно контрастирует с другими растениями.

В групповые посадки высажены многолетние культуры: *Astilbe x arendsii*, *Paеonia hybrida* Pall., *Iris x hybrida hort*, *Convallaria majalis* L.

Наличие в композициях цветников декоративно цветущих многолетников различных групп по периоду цветения дает возможность создавать цветники по принципу непрерывного цветения с ранней весны и до поздней осени. Принцип непрерывного цветения является важным для рекреационных объектов, так как цветущие растения благотворно влияют на эмоциональное состояние людей.

Однолетние культуры дополняют миксбордеры с многолетними культурами и придают им яркий колорит в течение всего вегетационного сезона. В любой части сада радуют глаз яркие *Petunia x hybrida* в подвесных вазонах. Благодаря многообразию видов и сортов однолетних культур цветочное оформление сада изменяется каждый год, а непрерывное цветение многолетних декоративных культур делает его динамичным. В построении растительных композиций используются законы гармонии: симметрия, контраст, нюанс, цветовая гармония, которые вызывают положительные эмоции у посетителей сада. Дизайнером цветочного оформления сада является Петрова Гульнара Мигдатовна – начальник Отдела озеленения и ландшафтного дизайна Летнего сада.

Отмечено 7 видов травянистых декоративных растений, редко встречающихся в обследованных цветниках садов и парков г. Ижевска: *Astrantia major* L., *Glechoma hederacea* L., *Veronica spicata* L., *Geranium sanguineum* L., *Echinacea purpurea* L., *Centaurea dealbata* Willd., *Polygonatum multiflorum* (L.) All. (астранция белая, будра плющелистная, вероника колосовая розовая, герань кроваво-красная, эхинацея пурпурная, василек подбеленный, купена многоцветковая).

При анализе цветочного оформления садов и парков городов Удмуртии (Сарапула, Глазова, Воткинска) высокодекоративные цветники отмечены только в садах и парках г. Ижевска. В парке им. Кирова 23% цветников и в Летнем саду им. Горького 19% цветников имели высокую оценку декоративности (4 балла). На втором месте – цветники садов и парков г. Глазова – 48% цветников имели среднюю декоративность (3 балла). На третьем месте по декоратив-

ности – цветники садов и парков г. Сарапула – 30% с оценкой 3 балла. Самая низкая оценка декоративности – у цветников садов и парков г. Воткинска: всего 9% средней декоративности (3 балла), остальные ниже среднего. Более всего цветников с высоким качеством отмечено в Летнем саду им. Горького г. Ижевска – 84%.

Высокое качество цветников достигается при правильном использовании приемов агротехники. Своевременные прополки, поливы, подкормки необходимыми удобрениями по сезону производятся озеленителями сада под руководством начальника Отдела озеленения и ландшафтного дизайна Г.М. Петровой. Работы проводятся в утренние часы до прихода отдыхающих. Растения высаживаются с учетом условий произрастания. Рассада однолетних культур предварительно выращивается в оранжереях и высаживается в цветники цветущей, взамен весенних культур (виолы, тюльпанов).

По полученным данным оценки качества и декоративности цветочных объектов в табл. 1 представлена средняя оценка качества и декоративности цветников Летнего сада им. Горького г. Ижевска в сравнении с подобными объектами других городов Удмуртии.

Самая высокая средняя оценка качества (2,86 балла) и декоративности (3,07 балла) получена в Летнем саду им. Горького г. Ижевска. Низкий коэффициент изменчивости говорит о том, что качество

и декоративность цветников на территории Летнего сада им. Горького наиболее равномерны по всей территории данного объекта в сравнении с другими исследованными объектами.

Древесно-кустарниковая растительность наполняет сад объемом, создает тень для отдыха от летнего зноя. На территории сада произрастает 28 видов древесно-кустарниковых культур (табл. 2).

В аллеиных посадках произрастают *T. corbata* и *B. Pendula*. Они являются ведущими породами. Насаждения *T. corbata* в районе главной аллеи были высажены еще в Генеральском саду. Возраст некоторых особей – более 100 лет. Сохранилась одна старовозрастная *T. corbata*, возраст которой более 200 лет. Сотрудники Музея Ижевска, находящегося в бывшем Генеральском доме, подали заявку на внесение долгожительницы *T. corbata* в реестр старовозрастных деревьев России. Сотрудники Музея уже получили сертификат, удостоверяющий уникальность дерева [13]. Старые деревья создают атмосферу преемственности и историчности [14].

Основным древесным насаждениям сада более 60 лет. *Q. robur* произрастает в рядовой посадке вдоль ограды со стороны Ижевского пруда. Остальные породы представлены единично или небольшими группами, высаженными на газонах. Экзотическими породами для Среднего Урала можно считать: *Padus pensylvanica*, *Populus alba* x *Populus. bolleana* и *Picea pūngens*.

Таблица 1

Средняя оценка качества и декоративности цветочного оформления в исследованных объектах культуры и отдыха городов Удмуртии.

Объекты исследования в городах Удмуртии	$X_{\text{ср.к}}$	V	$X_{\text{ср.д}}$	V	Всего объектов цветочного оформления, шт.
ЦПКиО им. Кирова, Ижевск	2,67 ± 0,05	17,63 ± 0,44	2,75 ± 0,09	31,26 ± 0,59	92
Летний сад им. Горького, Ижевск	2,86 ± 0,03	12,19 ± 0,36	3,07 ± 0,07	21,34 ± 0,46	136
Городской сад им. Горького, Глазов	2,31 ± 0,21	32,55 ± 1,65	2,08 ± 0,26	45,94 ± 1,96	13
Парковый комплекс «Россия», Глазов	2,44 ± 0,11	29,48 ± 0,88	2,36 ± 0,11	29,96 ± 0,89	39
Городской сад им. Пушкина, Сарапул	2,30 ± 0,07	25,79 ± 0,60	2,37 ± 0,07	25,85 ± 0,60	73
Детский парк, Сарапул	2,15 ± 0,06	16,82 ± 0,66	2,08 ± 0,04	12,86 ± 0,57	40
Детский парк, Воткинск	1,64 ± 0,15	30,83 ± 1,76	1,73 ± 0,19	37,44 ± 1,93	11
Всего:					404

$X_{\text{ср.к}}$  – Средняя оценка качества цветочного оформления объектов исследования,

$X_{\text{ср.д}}$  – Средняя оценка декоративности цветочного оформления объектов исследования,

V – коэффициент изменчивости.

Таблица 2

Видовой состав древесно-кустарниковых растений, используемый в оформлении Летнего сада им. Горького в г. Ижевске

Видовой состав древесно-кустарниковой растительности			
№	Деревья	№	Кустарники
1.	<i>Tilia corbata</i> Mill.	15.	<i>Syringa vulgaris</i> L.
2.	<i>Betula pendula</i> Roth	16.	<i>Syringa josikaea</i> J. Jacq ex Rchb.
3.	<i>Acer platanoides</i> L.	17.	<i>Symphoricarpos albus</i> (L.) S.F. Blake
4.	<i>Quercus robur</i> L.	18.	<i>Spiraea media</i> Franz.
5.	<i>Ulmus laevis</i> Pall.	19.	<i>Spiraea crenata</i> L.
6.	<i>Fraxinus Americana</i> L.	20.	<i>Spiraea japonica</i> L, f.
7.	<i>Padus pensylvanica</i> (L. fil.) Sokolov	21.	<i>Berberis vulgaris</i> L.
8.	<i>Sorbus aucuparia</i> L.	22.	<i>Physocarpus opulifolius</i> (L.) Maxim.
9.	<i>Populus alba</i> L. x <i>Populus Bolleana</i> Lauche	23.	<i>Dasiphora fruticosa</i> (L.) O. Schwars
10.	<i>Populus balsamifera</i> L.	24.	<i>Cornus alba</i> (L.)
11.	<i>Pinus sylvestris</i> L.	25.	<i>Parthenocissus quinquefolia</i> L. Planch.
12.	<i>Picea pūngens</i> Engelm.	26.	<i>Prunus tenella</i> Batsch
13.	<i>Picea abies</i> (L.) Karst	27.	<i>Caragana arborescens</i> Lam.
14.	<i>Juniperus communis</i> L.	28.	<i>Rosa hybrid tea</i>

*Padus pensylvanica* – небольшое дерево, родом из Северной Америки. Данная порода имеет высокую декоративность. Весной декоративно цветет белыми мелкими цветами. Крона благодаря гибким ветвям и узким длинным листьям выглядит очень изящно. Осенняя окраска листьев и плодов отличается своей яркостью. В зимнее время *Padus pensylvanica* привлекает внимание своей необычной блестящей корой вишнево-красного цвета. Цвет коры изменяется в зависимости от месторасположения.

*Populus alba* x *Populus. Bolleana*, или Свердловский пирамидальный серебристый тополь селекции Н.А. Коновалова (1957) [15]. Данная порода имеет эффектную узкопирамидальную форму кроны и очень декоративные серебристые листья.

*Picea pūngens* благодаря серебристо-голубоватому цвету хвои является одним из самых красивых хвойных деревьев. Естественный ареал данного вида – запад Северной Америки.

Кустарники являются важным композиционным элементом в садах и парках. На территории Летнего сада им. Горького используется 14 видов кустарниковой растительности. К красивоцветущим можно отнести: *Syringa vulgaris*, *Syringa josikaea*, *Dasiphora fruticosa*, *Prunus tenella*, *Rosa hybrid tea*. В живые изгороди высажены: *Caragana arborescens*, *Spiraea media*. Кустарники вносят в миксбордеры новые формы и фактуры. Высокие кустарники на заднем плане или в центре миксбордера

(*Syringa vulgaris*, *Syringa josikaea*, *Berberis vulgaris*, *Physocarpus opulifolius*, *Cornus alba*) создают хороший фон для цветущих растений. Эффектно используется *Parthenocissus quinquefolia*, создавая большие вертикальные зеленые стены. Все древесно-кустарниковые насаждения на территории Летнего сада находятся в хорошем состоянии. Вовремя удаляются аварийные деревья, производится уборка сухих сучьев.

Всего при обследовании территории Летнего сада им. Горького выявлено 96 видов растений 81 рода, принадлежащих 46 семействам. Ведущими семействами являются *Asteraceae* Bercht. & J. Presl. и *Rosaceae* Juss. К семейству *Asteraceae* принадлежат 15 видов травянистых растений. К семейству *Rosaceae* относятся 9 видов древесных растений. По 4 вида принадлежат двум семействам: *Campanulaceae* Juss. и *Lamiaceae* Lindl.

Высокое качество и декоративность насаждений повышают комфортность среды в Летнем саду им. Горького. Большое видовое и типовое разнообразие цветочного оформления делает сад еще более привлекательным.

### Заключение

В результате проведенных исследований территории Летнего сада им. Горького г. Ижевска было выявлено несколько факторов привлекательности объекта: высокое качество и декоративность насаждений, широкое типовое разнообразие цветочных

объектов, непрерывное цветение травянистых растений в течение всего вегетационного периода, широкий видовой состав растительности (96 видов), нахождение объекта в историческом центре города, спуск на благоустроенную набережную Ижевского пруда. Одним из главнейших факторов является цветочное оформление территории. Определено, что цветочное оформление Летнего сада имело высокое качество – 2,86 балла по 3-балльной шкале оценки, а декоративность составила 3,07 балла по 4-балльной шкале оценки. Низкий коэффициент изменчивости ( $12,19 \pm 0,36$ ) говорит о том, что качество и декоративность цветников на территории Летнего сада им. Горького наиболее равномерны по всей территории данного объекта. Следующим важным фактором привлекательности и создания эстетически полноценной среды для отдыха посетителей Летнего сада являются древесно-кустарниковые растения, создающие объемную структуру сада, состоящие из 28 видов, 8 из которых являются высокодекоративными.

#### Список литературы / References

1. Ступакова О.М. Современные тенденции видеоэкологии // II молодежный экологический форум: сборник материалов форума (Кемерово, 10-11 июня, 2014 г.). Кемерово, Изд-во Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, 2014. С. 69.
2. Stupakova O.M. Modern trends in videoecology // II molo-dezhnyy ekologicheskiy forum: sbornik materialov foruma (Kemerovo, 10-11 iyunya, 2014 g.). Kemerovo, Izd-vo Kuzbasskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet im. T.F. Gorbacheva, 2014. P. 69 (in Russian).
3. Кобзев И.И. Планировочная структура усадьбы начальника Ижевского оружейного завода и господского квартала набережной. Ижевск: история, повседневность, образы, Ижевск: Пешта, 2014. [Электронный ресурс]. URL: <https://tehne.com>...planirovochnaya...usadby...i-gospodskogo... (дата обращения: 27.11.2021).
4. Kobzev I.I. Planning structure of the estate of the chief of the Izhevsk Arms Factory and the manor quarter of the embankment. Izhevsk: history, everyday life, images, Izhevsk: Pest, 2014. [Electronic resource]. URL: <https://tehne.com>...planirovochnaya...usadby...i-gospodskogo... (date of the application: 27.11.2021) (in Russian).
5. Максименко М.Ф. Использование ассортимента цветочных растений в русских регулярных парках // Лесной вестник. 2008. № 4. С. 22–25.
6. Maksimenko M.F. The use of the assortment of flower plants in Russian regular parks // Lesnoy vestnik. 2008. № 4. P. 22–25 (in Russian).
7. Храпко О.В., Копьева А.В. Оптимизация внутрисредской среды средствами ландшафтного дизайна, Территория новых возможностей // Вестник ВГУЭС. Владивосток. 2015. № 2 (29). С. 154–158.
8. Khrapko O.V., Kopyeva A.V. Optimization of the inner-city environment by means of landscape design, the territory of new opportunities // Vestnik VGUES. Vladivostok. 2015. № 2 (29). P. 154–158 (in Russian).
9. Туганаев В.В. Руководство к познанию природы и населения Удмуртии: учебно-методические материалы. Ижевск. УдГУ. 1993. 132 с.
10. Tuganaev V.V. Guide to the knowledge of nature and the population of Udmurtia: educational and methodological materials. Izhevsk. Udmurt state University. 1993. 132 p. (in Russian).
11. Кузьмина Н.М. Зависимость эффективности использования цветочных культур от группировки в фитодизайне, на примере научного учреждения Института механики, г. Ижевск // Сборник научных трудов Государственного Никитского Ботанического сада. 2017. Т. 145. С. 197–204.
12. Kuzmina N.M. The dependence of the effectiveness of the use of flower crops on grouping in phytodesign, on the example of the scientific institution of the Institute of Mechanics, Izhevsk // Sbornik nauchnykh trudov Gosudarstvennogo Nikitskogo Botanicheskogo sada. 2017. V. 145. P. 197–204 (in Russian).
13. Федоров А.В., Кузьмина Н.М., Ардашева О.А. Улучшение визуальной городской среды посредством декоративно-цветочного оформления // Астраханский вестник экологического образования. 2018. № 3(45). С. 155–163.
14. Fedorov A.V., Kuzmina N. M., Ardasheva O. A. Improving the visual urban environment through decorative and floral design // Astrakhanskiy vestnik ekologicheskogo obrazovaniya. 2018. № 3 (45). P. 155–163 (in Russian).
15. Федоров А.В., Кузьмина Н.М., Ардашева О.А. История озеленения и цветочное оформление города Ижевска: монография. Ижевск: Изд-во Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения РАН», 2020. 132 с.
16. Fedorov A.V., Kuzmina N.M., Ardasheva O.A. The history of landscaping and flower decoration of the city of Izhevsk: monograph. Izhevsk: Izd-vo Federal'noye gosudarstvennoye byudzhethnoye uchrezhdeniye nauki «Udmurtskiy federal'nyy issledovatel'skiy tsentr Ural'skogo otdeleniya RAN», 2020. 132 p. (in Russian).
17. Методика оценки экологического состояния зеленых насаждений общего пользования Санкт-Петербурга // Комитет по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности. СПб., 2007. 10 с.
18. Methodology for assessing the environmental status of public green spaces in St. Petersburg // Komitet po prirodoopol'zovaniyu, okhrane okruzhayushchey sredy i obespecheniyu ekologicheskoy bezopasnosti. SPb., 2007. 10 p. (in Russian).
19. Вахрушева И.В. Цветоводство. Учебно-методическое пособие для обучающихся по специальности 35.02.12 «Садово-парковое и ландшафтное строительство». Екатеринбург: УГЛТУ, 2016. 36 с.
20. Vakhrusheva I.V. Floriculture. Teaching aid for students in the specialty 35.02.12 «Garden and park and landscape construction». Ekaterinburg: UGLTU, 2016. 36 p. (in Russian).
21. Соколова Т.А. Декоративное растениеводство. Цветоводство: учебник для студентов вузов, обучающихся по направлению «Ландшафтная архитектура» квалификация «бакалавр». 6-е изд., стер. М.: Академия, 2014. 432 с.
22. Sokolova T.A. Ornamental plant growing. Floriculture: uchebnik dlya studentov vuzov, obuchayushchikhsya po napravleniyu «Landshaftnaya arkhitektura» kvalifikatsiya «bakalavr». 6-ye izd., ster. M.: Akademiya, 2014. 432 p. (in Russian).
23. The plant list. A working list of all plant species. [Electronic resource]. URL: <https://www.theplantlist.org> (date of the application: 23.11.2021).
24. Липа – долгожитель в летнем саду Ижевска. 2016. [Электронный ресурс]. URL: <http://udm-info.ru>Новости/Политика...-sada-izhevsk-vnesli-v... (дата обращения: 25.11.2021).
25. Linden tree-long-lived in the summer garden of Izhevsk. 2016. [Electronic resource]. URL: <http://udm-info.ru>Новости/Политика...-sada-izhevsk-vnesli-v... (date of the application: 27.11.2021) (in Russian).
26. Валиуллина А. Художественные средства садово-паркового искусства // Мир искусств: вестник международного института антиквариата. Казань. 2013. № 3 (03). С. 120–123.
27. Valiullina A. Artistic means of garden and park art // Mir iskusstv: vestnik mezhdunarodnogo instituta antikvariata. Kazan. 2013. № 3 (03). P. 120–123 (in Russian).
28. Сродных Т.Б., Кожевников А.П., Медведева Е.Ю. Способы размножения тополя свердловского пирамидального серебристого селекции Н.А. Коновалова // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 6. [Электронный ресурс]. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=16004> (дата обращения: 25.11.2021).
29. Srodnykh T.B., Kozhevnikov A.P., Medvedeva E.Yu. Ways of reproduction of the Sverdlovsk pyramid silver poplar of N.A. Konovalov's selection // Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya. 2014. № 6. [Electronic resource]. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=16004> (date of the application: 25.11.2021) (in Russian).

УДК 631.8:633.11:635.656

## ВЛИЯНИЕ БИОУДОБРЕНИЯ НА ОСНОВЕ МИКОРИЗНЫХ ГРИБОВ НА РОСТ И МИКОРИЗАЦИЮ КОРНЕЙ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ

Курамшина З.М., Свиридова К.В.

Стерлитамакский филиал ФГБОУ ВО «Башкирский государственный университет»,  
Стерлитамак, e-mail: kuramshina\_zilya@mail.ru

Исследовано влияние биоудобрения «Кормилица Микориза» на рост и формирование арбускулярной микоризы культурных растений (пшеница мягкая, горох посевной, лук репчатый). Показано, что биопрепарат на основе микоризных грибов, состоящий из мицелия и спор гриба рода *Glomus*, колонизированных фрагментов корней, торфа, увеличивал рост и формирование эндомикоризы исследованных растений, однако стимулирующий эффект биопрепарата по-разному проявлялся у растений. У *Triticum aestivum* L. положительный эффект препарата был сильнее выражен на побегах, чем корнях. У *Pisum sativum* L. лучше стимулировался рост корней, чем побегов. У *Allium cepa* L. стимуляция роста корня и побега была практически одинакова. Биомасса растений пшеницы, гороха и лука, выросших в почве с добавлением биопрепарата, была выше на 8, 4,2 и 2,6%, чем у контрольных растений. Внесение биопрепарата на основе микоризных грибов способствовало повышению показателей микоризации. У всех исследованных растений был выявлен высокий показатель частоты микоризации корневой системы, однако интенсивность и количество арбускул были низкие. Биопрепарат «Кормилица Микориза» рекомендован для разных растений, однако эффект действия препарата может зависеть от вида растения. Наиболее отзывчивой культурой на внесение препарата в среду выращивания оказалась пшеница. Недостаточно изученным остается вопрос о взаимодействии микоризных грибов с разными видами растений, уже имеющими свои эндосимбиозы. Эти результаты подтверждают необходимость проведения дальнейших исследований для получения более эффективных биопрепаратов. При создании биопрепаратов для растений необходимо понимать механизмы, а также знать условия, которые могут повлиять на микоризацию растений.

**Ключевые слова:** растения, биопрепарат, рост, биомасса, микоризная инфекция

## EFFECT OF BIOFERTILIZER WITH MYCORRHIZAL FUNGI ON PLANT GROWTH AND THE MYCORRHIZATION OF CROP PLANTS

Kuramshina Z.M., Sviridova K.V.

Sterlitamak branch of Bashkir State University, Sterlitamak, e-mail: kuramshina\_zilya@mail.ru

The effect of the biofertilizer «Wet nurse Mycorrhiza» on the growth and on the mycorrhization crop roots (wheat, pea, onions). It was shown that biofertilizer, which consists of mycorrhizal fungi, mycelium and spores of the fungus of the genus *Glomus*, peat has a positive effect on the growth and formation of endomycorrhiza of the studied plants; however, the stimulating effect of that biofertilizer manifested itself in different ways in plants. The positive effect of biofertilization was more pronounced on the shoots than on the roots of *Triticum aestivum* L. The roots were better stimulated than the shoots of *Pisum sativum* L. The root and shoot of the plants *Allium cepa* L., were stimulated in almost the same way. The biomass of wheat, pea, and onion plants grown in soil with the addition of a biofertilizer was 8%, 4.2%, and 2.6% higher, respectively, compared to control plants. Biofertilization increased the rates of mycorrhization of roots. The indicator of the frequency of mycorrhization of the root system was very high with the use of biofertilizer, however, the indicators of the intensity of mycorrhization and the abundance of arbuscules were low in all studied plants. Biofertilizer is recommended for a wide range of plants, but the type of plant can determine the effect of the drug. Wheat was a more responsive crop to biofertilizing the growing medium. The question of the interaction of mycorrhizal fungi with different plant species that already have their own endophytic symbiosis (AMG) remains insufficiently studied. These results confirm the need for further research to obtain more effective biofertilizers. Biofertilizers for plant growing based on mycorrhizal fungi should be developed with an understanding of the mechanisms and conditions that affect the process of colonization of roots of various plants by microorganisms.

**Keywords:** crop roots, biofertilizer, growth, biomass, mycorrhization

В середине двадцатого века сельское хозяйство начало радикально меняться и перешло от крестьянского земледелия к более интенсивным методам ведения хозяйства, которые направлены на максимальное увеличение урожайности с определенного участка земли. Такой высокий уровень урожайности достигается за счет использования удобрений и пестицидов, уменьшающих гниение почвы. Однако непрерывное возделывание одно-

го и того же участка земли из года в год приводит к снижению плодородия почвы, так что даже при применении химических неорганических удобрений мало что можно получить взамен [1]. Использование химических удобрений ослабляет корни растений, делая их восприимчивыми к нежелательным заболеваниям, вызывает загрязнение воздуха и грунтовых вод [2]. В связи с этим для обеспечения биобезопасности в последнее время были

предприняты попытки получения биоудобрений, которые признаны альтернативой химическим удобрениям для повышения плодородия почвы и повышения урожайности в условиях устойчивого земледелия. Биоудобрения – это продукты, содержащие живые клетки различных микроорганизмов, которые обладают способностью преобразовывать важные для питания элементы из недоступной для растений формы в доступную посредством биологических процессов. Обычно от 60% до 90% общего количества внесенных удобрений теряется, и только оставшиеся 10-40% усваиваются растениями. Эти потенциальные биологические удобрения должны сыграть ключевую роль в продуктивности и устойчивости почвы, а также в защите окружающей среды. Органическое земледелие – одна из таких стратегий, которая не только обеспечивает безопасность пищевых продуктов, но и увеличивает биоразнообразие почвы. Биоудобрения, применяемые в качестве инокулянтов для семян или почвы, участвуют в круговороте питательных веществ и приводят к урожайности сельскохозяйственных культур [3].

Применение полезных микроорганизмов в сельскохозяйственной практике доказало, что полезные микробы также могут повышать устойчивость растений к неблагоприятным воздействиям окружающей среды (дефицит воды и питательных веществ, загрязнение тяжелыми металлами и др.). Следовательно, биоудобрения могут быть важным компонентом интегрированных питательных веществ, системы управления для поддержания продуктивности сельского хозяйства и здоровой окружающей среды [4].

Таким образом, сегодня традиционные методы ведения сельского хозяйства превращаются в агроэкологические методы, которые лучше учитывают биологические механизмы и сохраняют экосистемы. Агроэкология пропагандирует методы ведения сельского хозяйства с помощью различных почвенных микроорганизмов, одними из которых являются арбускулярные микоризные грибы (АМГ). АМГ являются наиболее распространенными грибами-симбионтами корней растений и важным экологическим партнером в агроэкосистемах. Они считаются ключевыми организмами в экосистемах, так как способствуют усвоению и переносу минеральных питательных веществ, таких как фосфор,

азот, сера, калий, кальций, медь и цинк, из почвы в растения [5]. Однако, несмотря на то что микоризные грибы образуют симбиоз с большинством видов растений, хорошо известно, что ответы на инокуляцию АМГ сильно различаются у разных видов растений и даже сорта в пределах одного вида [6]. Поэтому необходимо тщательное изучение механизмов взаимодействия грибов и растений для получения максимального взаимовыгодного сотрудничества микро- и макроорганизмов.

Цель данной работы заключалась в определении влияния препарата на основе микоризных грибов «Кормилица Микориза» на рост и микоризацию различных культурных растений и определение их отзывчивости.

### Материалы и методы исследования

Объектами исследования служили: пшеница (*Triticum aestivum* L., сорт Омская 35), горох посевной (*Pisum sativum* L., сорт Чижминский 95), лук репчатый (*Allium cepa* L., сорт Штутгартер Ризен). В работе использовали биопрепарат «Кормилица Микориза» (ООО НВП «БашИнком», состоящий из мицелия и спор гриба рода *Glomus*, колонизированных фрагментов корней, торфа).

Для выращивания растений использовали чернозем, который предварительно подготавливали (убирали посторонние корни, дробили крупные комки почвы). Далее почву помещали в пластиковые сосуды. Для этого вначале насыпали часть почвы и раскладывали семена, затем засыпали остатком почвы слоем 1-1,5 см. Затем почву поливали из расчета достижения 70% от полной полевой влагоемкости (ППВ).

В контрольных вариантах семена вносили в почву без удобрения. В вариантах опыта перед посевом биоудобрение раскладывали на поверхность почвы (6 г на 1 кв. м) и перемешивали. Нестерилизованные семена высевали в вегетационные сосуды в трехкратной повторности. Растения выращивали в течение 30 дней, затем растения осторожно удаляли из почвы вместе с корневой системой. Корни растений удаляли, промывали их, с помощью фильтровальной бумаги удаляли избыток влаги, затем взвешивали. Корни анализировали гистохимическим анализом и проводили учет показателей микоризации по методу Травло [7]. Корни очищали в 10%-ном KOH, промывали затем HCl (2%-ным раствором) и окрашивали с применением красителя трипанового синего. Окрашенные

корни анализировали при помощи световой микроскопии и рассчитывали показатели микоризной инфекции. Опыт был проведен в трехкратной повторности. У растений в каждом повторении определяли показатели микоризации и среди значений трех повторений выводили среднее. С помощью стандартных программ пакета Microsoft Excel проводили статистическую обработку результатов. В тексте работы в таблицах представлены данные среднего арифметического значения и стандартное отклонение. Для расчета применяли t-критерий Стьюдента с целью выявления различий между растениями, выращенными с применением и без применения препарата. Между вариантами контроля и опыта различия как достоверные оценивали при  $p < 0,05$ .

### Результаты исследования и их обсуждение

Нами было установлено в результате проведенных исследований, что внесение препарата «Кормилица Микориза» в почву способствовало увеличению роста всех исследованных растений (табл. 1).

Стимулирующий эффект биопрепарата по-разному проявлялся у исследованных растений. У *Triticum aestivum* L. положительный эффект биопрепарата был сильнее выражен на побегах, чем корнях. Так, при выращивании пшеницы в почве с добавлением биопрепарата длина побегов и корней растений была больше на 24.4% и 16.2% соответственно, чем у контрольных растений. У *Pisum sativum* L. под действием биопрепарата лучше стимулировался рост корней, чем побегов (на 41.2% и 17.4% соответственно, по сравнению с растениями, выросшими без внесения биопрепарата). У *Allium cepa* L. стимуляция роста корня

и побега была практически одинакова (побеги увеличились на 23.3%, корни на 22.3%, по сравнению с контролем).

Биомасса культурных растений после внесения биопрепарата «Кормилица Микориза» также увеличилась (табл. 2). Биомасса растений пшеницы, гороха и лука, выросших в почве с добавлением биопрепарата, была на 8, 4.2 и 2.6% выше, соответственно, по сравнению с контрольными растениями.

Полученные нами данные хорошо согласуются с литературными, так как известно, что применение арбускулярной микоризы в качестве биоудобрения может увеличивать рост и продуктивность растений за счет усиления поглощения относительно неподвижных элементов в почве, таких как фосфор, медь и цинк, а также благодаря значительному расширению области поглощения воды [8; 9]. Микориза считается симбиозом между мицелием грибов и корнями растений. Это взаимодействие за годы эволюции стало сильным, и растения и грибы – жизненно необходимы друг другу, так как корневая система растений поставляет грибам аминокислоты, гормоны, углеводы, а взамен от грибов получает воду, макро- и микроэлементы, в том числе и фосфор. Корневая система растения значительно меньше, в отличие от образуемых микоризными грибами гиф, которые вступают в контакт с ними, и благодаря чему растение получает много питательных веществ и воды. АМГ, за счет увеличения поглощения фосфора и других питательных веществ, способствуют усилению фотосинтеза, смягчают стресс окружающей среды, улучшают фиксацию азота, увеличивают рост и урожайность растений. Значение микоризы особенно велико на бедных почвах [9; 10].

Таблица 1

Влияние биопрепарата на длину корней и побегов растений

Культура	Контроль		Биопрепарат	
	побег, см	корень, см	побег, см	корень, см
<i>Triticum aestivum</i> L.	28.7 ± 2.8	12.3 ± 1.3	35.7 ± 3.4	14.3 ± 1.9
<i>Pisum sativum</i> L.	31.7 ± 3.2	10.2 ± 1.1	37.2 ± 3.1	14.4 ± 1.14
<i>Allium cepa</i> L.	31.8 ± 3.1	10.3 ± 1.9	39.2 ± 3.5	12.6 ± 1.8

Таблица 2

Влияние биопрепарата на биомассу побегов растений (1 растение, г)

Вариант	Пшеница	Горох	Лук
Контроль	0.25 ± 0.01	1.68 ± 0.09	1.5 ± 0.08
Биопрепарат	0.27 ± 0.01	1.75 ± 0.08	1.54 ± 0.07

Таблица 3

Влияние удобрения на показатели микоризной инфекции сельскохозяйственных культур

Вариант	Пшеница	Горох	Лук
Частота микоризной инфекции в корневой системе, F%			
Контроль	79.0 ± 1.9	85.3 ± 5.1	90.0 ± 5.6
Биопрепарат	96.0 ± 4.3	97.3 ± 8.7	92.2 ± 4.1
Интенсивность колонизации микоризной инфекции в корневой системе микоризой, M%			
Контроль	3.2 ± 4.8	3.0 ± 1.6	4.2 ± 2.7
Биопрепарат	7.3 ± 3.6	8.4 ± 2.9	11.2 ± 9.8
Обилие арбускул микоризной инфекции в корневой системе, A%			
Контроль	0.9 ± 3.8	0.6 ± 0.5	0.4 ± 0.6
Биопрепарат	1.5 ± 0.7	0.8 ± 0.2	1.1 ± 3.3

Эффективность же ассоциации симбиоза в агроценозе зависит от разнообразия и типа растений, штаммов микроорганизмов и грибов, типа почвы, агро- и метеорологических условий, удобрений и средств защиты растений. Продуктивный потенциал растительно-микробных систем определяется генетически и зависит от комплементарности генотипов фито- и микросимбионтов [9-11].

Арбускулярная микориза имеется у большинства растений, в том числе и культурных, и каждый вид растений имеет различную степень микоризации. Считается, что специфику, диапазон хозяев и степень колонизации трудно анализировать из-за сложности взаимодействия между арбускулярными грибами и корневой системой различных растений [10-12].

Нами было исследовано влияние препарата «Кормилица Микориза» на формирование арбускулярной микоризы у различных растений. Как показали результаты, внесение биопрепарата на основе микоризных грибов способствовало повышению показателей микоризации. Так, частота микоризы в корневой системе пшеницы, гороха и лука увеличилась на 21, 14 и 2.4% соответственно, по сравнению с контролем. Интенсивность микоризной инфекции в корневой системе пшеницы, гороха и лука увеличилась в 2.3, 2.8 и 2.7 раза соответственно (по сравнению с контрольными растениями, выращенными без внесения препарата). Обилие арбускул в корневой системе пшеницы, гороха и лука увеличилось в 1.6, 1.3 и 2.7 раза соответственно, по сравнению с контрольными растениями (табл. 3).

Как видно из табл. 3, у всех исследованных растений выявлен высокий показатель частоты микоризации корневой системы, однако показатели интенсивности микоризной инфекции и обилие арбускул были низкие, даже после внесения биопрепарата.

В настоящее время проводится большое количество исследований по изучению влияния факторов и условий на формирование эндомикоризы растений. Арбускулярные грибы, как известно, являются облигатными биотрофными организмами и, как полагают, размножаются через споры, везикулы и гифы [1; 2]. При благоприятных условиях споры начинают прорастать в корнях хозяев и создают новый микоризный симбиоз. Гифы АМГ проникают в клетки корня и образуют особые «маленькие древовидные» грибковые структуры, называемые арбускулами, которые представляют собой связанные с мембраной органеллы различной формы внутри или вне клеток. Несмотря на то что арбускулы существуют лишь несколько дней, затем лизируются, в них осуществляется тесный обмен веществами между микоризными грибами и клетками корня [1; 2]. Проникновение микоризных грибов внутрь клеток корня – процесс сложный и до конца не понятный, но установлено, что связь микоризных грибов с корневым эпидермисом происходит из-за секреции полисахаридов корня. Перемещение продуктов фотосинтеза к корню увеличивает концентрацию углеродных соединений в корневых экссудатах. Это в основном аминокислоты, белки, соединения углерода, органические кислоты и регуляторы роста растений. Минеральный баланс и концентрация регуляторов роста растений непосредственно контролируют проницаемость клеток и механизм адгезии грибов на корне при микоризации [1; 2; 6; 9].

Очень низкие показатели интенсивности микоризной инфекции и обилие арбускулярных структур могут объяснять и невысокие показатели роста и биомассы исследуемых растений при внесении биопрепарата «Кормилица Микориза» в среду выращивания. Вероятно, полученные ре-

зультаты могли быть связаны с различными факторами, в частности с тем, что происходила конкуренция видов АМГ, содержащихся в препарате, и грибов, находящихся в почве.

### Заключение

В результате проведенных нами исследований показано, что биопрепарат «Кормилица Микориза» повышает рост и микоризацию (частоту, интенсивность колонизации и обилие арбускул в корневой системе) корней культурных растений (пшеница, горох, лук). Биопрепарат «Кормилица Микориза», состоящий из мицелия и спор гриба рода *Glomus*, колонизированных фрагментов корней, торфа, рекомендован для разных видов растительных организмов, однако от вида растения может зависеть эффект действия биопрепарата, так же как и сами арбускулярные микоризные грибы могут оказывать разные воздействия на растительные организмы. Таким образом, наши исследования показали: несмотря на то что все исследованные растения хорошо отзывались на внесение биопрепарата в почву, стимулирующий эффект препарата определяется видом сельскохозяйственной культуры. Наиболее отзывчивой культурой на внесение препарата в среду выращивания оказалась пшеница, менее – горох и лук.

При разработке для растениеводства препаратов, содержащих микоризные грибы, важным является понимание всех механизмов, а также условий, определяющих заселение корней различных растений микоризной инфекцией.

### Список литературы / References

1. Noceto P.A., Bettenfeld P., Boussageon R., Hériché M., Sportes A., Tuinen D., Courty P.E., Wipf D. Arbuscular mycor-

rhizal fungi, a key symbiosis in the development of quality traits in crop production, alone or combined with plant growth-promoting bacteria. *Mycorrhiza*. 2021. Vol. 31. P. 655–669.

2. Youssef M.M.A., Eissa M.F.M. Biofertilizers and their role in management of plant parasitic nematodes: A review. *Biotechnology Pharmaceutical Resources*. 2014. Vol. 5 (1). P. 1–6.

3. Itelima J.U., Bang W.J., Onyimba I.A., Egbere O.J. A review: biofertilizer; a key player in enhancing soil fertility and crop productivity. *Journal of Microbiology and Biotechnology*. 2018. Vol. 2(1). P. 22–28.

4. Sinha R.K., Valani D., Chauhan K., Agarwal S. Embarking on a second green revolution for sustainable agriculture by vermiculture biotechnology using earthworms. *International Journal of Agricultural Health Safety*. 2014. Vol. (1). P. 50–64.

5. Mfilinge A., Mtei K., Ndakidemi P. Effect of *Rhizobium* inoculation and supplementation with phosphorus and potassium on growth leaf chlorophyll content and nitrogen fixation of bush bean varieties. *American Journal of Research Communication*. 2014. Vol. 2 (10). P. 49–87.

6. Thiouy B., Mania de Faria S., Kane A., Ndiaye C., Ould Soule A., Fall D., Duponnois R., Sylla S.N., Bâ A.M. Growth response of different species of *Ziziphus* to inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi. *Fruits*. 2017. Vol. 72 (3). P. 174–181.

7. Trouvelot A., Kough C., Gianinazzi-Pearson V. Mesure du taux de mycorrhization VA d'un système racinaire. Recherche de méthodes d'estimation ayant une signification fonctionnelle. *Physiological and Genetical Aspects of Mycorrhizae / V. Gianinazzi-Pearson, S. Gianinazzi (eds)*. Paris: INRA Press, 1986. P. 217–221.

8. Khan S.W., Yaseen T., Naz F., Abidullah S., Kamil M. Influence of Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) Inoculation on growth and mycorrhizal dependency of (*Lens culinaris* L.) Varieties. *International Journal of Bioorganic Chemistry*. 2019. № 4 (1). P. 1–4.

9. Didovich S., Gorgulko T., Didovich A. Control of productivity of agrocenosis / BIO Web of Conferences. 2020 17. 00138. DOI: 10.1051/bioconf/20201700138.

10. Bolandnazar S., Aliasgarzad N. Mycorrhizal colonization improves onion (*Allium cepa* L.) yield and water use efficiency under water deficit condition. *Scientia Horticulture*. 2007. Vol. 114. P. 11–15.

11. Ibrahim M. Role of arbuscular mycorrhizal fungi in biological nitrogen fixation and nitrogen transfer from legume to companion species. *Journal of stress. Physiology and Biochemistry*. 2021. Vol. 17. No. 2. P. 121–134.

12. Курамшина З.М. Реакции растений на стресс в сообществе с эндофитными представителями *Bacillus subtilis* Cohn.: дис. ... докт. биол. наук. Уфа, 2018. 252 с.

Kuramshina Z.M. Plant responses to stress in community with endophytic representatives of *Bacillus subtilis* Cohn.: dis. ... doct. biol. sciences. Ufa, 2018. 252 p. (in Russian).

УДК 630:581.1:581.522

**БИОМОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЛЕСНЫХ СООБЩЕСТВ С УЧАСТИЕМ КРАСНОКНИЖНОГО ВИДА *TAXUS BACCATA* L.****Омарова П.К.***ФГБУН «Горный ботанический сад ДФИЦ РАН», Махачкала, e-mail: parizat.omarova.87@mail.ru*

Леса в исследуемом регионе имеют в своем составе много реликтовых, эндемичных, ресурсных, редких видов, что делает интересным их изучение. Проанализированы предгорные (800, 980 и 1050 м над ур. м.) и внутригорные (1540 м над ур. м) леса с присутствием краснокнижного вида *Taxus baccata* L. в республике Дагестан, по классификационной системе К. Раункиера, объясняя, почему выбран именно его метод их характеристики. Проведение такой работы объясняется недостатком информации биоморфологических характеристик сообществ лесов с участием редкого вида *Taxus baccata* L. на горной территории. Исследования проводились автором в 2010-2012 гг. методом детально-маршрутного обследования территории. Был осуществлен сбор травянистой растительности в местах произрастания тиса ягодного в виде гербария для дальнейшего определения видов. При сравнении каждого флористического района (буйнакский, кайтагский, казбековский, хунзахский) сделаны заключения о морфологических особенностях каждого изученного вида растений. В изученных сообществах распределены по количеству и процентным соотношениям основные биоморфологические формы растений. Были оценены 200 видов сосудистых растений, имеющие 65 семейств и 135 родов. В основном преобладают многолетники, затем древесные и только потом однолетники и кустарники. Исходя из полученных результатов, флору можно назвать флорой геми-крип-фанерофитов. Показано, что биоморфологические формы изученных лесов имеют сходные показатели со всей флорой Дагестана, где основное положение занимают многолетние виды растений.

**Ключевые слова:** биоморфологическая характеристика, классификация, флора, лес, *Taxus baccata*, анализ

**BIOMORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS OF FOREST COMMUNITIES WITH THE PARTICIPATION OF THE RED BOOK SPECIES *TAXUS BACCATA* L.****Omarova P.K.***Of Federal state budgetary institution of science Mountain botanical garden of the Dagestan Federal research center of the Russian Academy of Sciences, Makhachkala, e-mail: parizat.omarova.87@mail.ru*

Forests in the studied region have many relict, endemic, resource, rare species in their composition, which makes their study interesting. Foothill (980 m above sea level; 800 m above sea level and 1050 m above sea level) and intra-mountain (1540 m above sea level) forests with the presence of the red book species *Taxus baccata* L. were analyzed. in the Republic of Dagestan, according to the classification system K. Raunkier, explaining why his method of their characterization was chosen. Such work is explained by the lack of information on the biomorphological characteristics of forest communities with the participation of the rare species *Taxus baccata* L. in a mountainous area. The research was carried out by the author in 2010-2012 by the method of a detailed route survey of the territory. Herbaceous vegetation was collected in the places where berry yew grows in the form of a herbarium, for further identification of species. When comparing each floristic districts (buiaksky, kaitagky, kazbekovsky, khunzakhsky), conclusions were made about the morphological features of each studied plant species. In the studied communities, the main biomorphological forms of plants are distributed by number and percentage. 200 species of vascular plants with 65 families and 135 genera were evaluated. Mostly perennials predominate, then woody and only then annuals and shrubs. Based on the results obtained, the flora can be called the flora of hemi-crip-phanerophytes. It is shown that the biomorphological forms of the studied forests have similar indicators with the entire flora of Dagestan, where the main position is occupied by perennial plant species.

**Keywords:** biomorphological characteristics, classification, flora, forest, *Taxus baccata*, analysis

Любое растительное сообщество представлено определенными видами растений, различающимися внешними, географическими, морфологическими, биологическими, экологическими и другими признаками.

При этом, изучая флору, невозможно обойтись без анализа жизненных форм растений, так как биоморфологические спектры отражают характер адаптации растений к набору условий среды, сложившихся в определенных экологических условиях.

Возникновение жизненной формы происходит в процессе длительной эволюции растений, её признаки закладываются в геном и проявляются в онтогенезе расте-

ний при удобных условиях существования. Вследствие выработанных в процессе развития растений жизненные формы являются важной характерной особенностью структуры растительного покрова и взаимоотношений растительных группировок со средой обитания [1].

На сегодняшний день нет подробно разработанных и общепринятых систем жизненных форм, несмотря на то что в уже начале XIX века приводится немало попыток таких разработок, как русских, так и зарубежных авторов [2] Наиболее практичными в использовании в настоящее время являются классификации Раункиера [3] и Серебрякова [4; 5].

Классификация Серебрякова основана на продолжительности жизни всего растения сплошь до скелетных осей. Классификация Раункиера организована на степени защищенности почек возобновления и концов побегов от неблагоприятного холодного или засушливого сезонных периодов.

В нашей работе мы использовали систему жизненных форм К. Раункиера [3], считая, что не следует использовать очень мелкие единицы классификации, так как соотношение биоморфологических форм во флоре может отличаться от таковых в конкретных типах сообществ и в разных экологических и эколого-ценотических группах видов, входящих в данную флору.

Растительные сообщества нашего региона являются территорией большинства реликтовых, эндемичных, ресурсных, редких и других ценных лекарственных видов, что делает интересным их исследование. Одним из интересных объектов для изучения флористического состава являются леса, имеющие множество факторов для создания и формирования условий их существования. Для изучения были исследованы влажные широколиственные буково-грабовые и сосновые смешанные леса, с произрастанием редкого вида *Taxus baccata* L. с разными высотными градиентами. В Дагестане этот уникальный вид чаще встречается по всей полосе предгорных буковых лесов и небольшими группами во внутреннегорном Дагестане.

Цель исследования: изучить биоморфологическую структуру сообществ, с участием редкого вида *Taxus baccata* L. в лесах горной республики Дагестана, позволяющую выявить оригинальность флор и взаимосвязь с их происхождением.

Актуальность работы, в первую очередь, связана с недостатком информации биоморфологического анализа Предгорного и Внутреннегорного участков лесов Дагестана, с участием краснокнижного вида *Taxus baccata* L.

#### Материалы и методы исследования

В основу настоящей работы положены исследования авторов, проведенные в 2010-2012 гг. методом детально-маршрутного обследования территории изученных лесов.

Для сравнительной характеристики нами проведены исследования в лесах Предгорного (980; 800 и 1050 м над ур. м.) и Внутреннегорного Дагестана (1540 м над ур. м.). Климат изученных популяций имеет следующие особенности: предгорный рай-

он представлен бурными лесными почвами, с ежегодным количеством осадков от 400 мм в предгорных и до 750 мм во внутреннегорных лесах. Температура холодных и самого теплого месяцев колеблется от -7 и до +23 °С. Растительность имеет в своем составе широколиственные леса, основными породами являются: *Fagus orientalis*, *Carpinus caucasica*, *Taxus baccata*, *Rubus caucasica*, *Euonymus verrucosus*, *Sambucus nigra*, *Swida australis*, *Euonymus latifolius*.

Внутреннегорная популяция отличается преобладанием луговых и лесных почв; выпадает 450-750 мм количество осадков; температура колеблется от -7 °С холодно-го до + 16 °С теплого месяцев. Леса здесь в основном сосновые и частично смешанные, главным образом выделяющиеся: с участием *Pinus kochiana*, *Taxus baccata*, *Arctostaphylos caucasica*.

Анализ жизненных форм проведен по системе жизненных форм Раункиера [3].

#### Результаты исследования и их обсуждение

В изученных лесах зарегистрировано 200 видов высших растений, которые относятся к 65 семействам, 135 родам. Наибольшим по количеству видов является семейство *Asteraceae*, затем *Rosaceae* и семейство *Poaceae*. Меньшим количеством видов представлены: *Apiaceae*, *Lamiaceae*, *Ranunculaceae*, *Cyperaceae*, *Violaceae*, *Scrophulariaceae*, *Rubiaceae* и др.

Биоморфологический анализ показал преобладание травянистой (75,4%) над древесно-кустарниковой (24,6%) растительностью (табл. 1). Больше всего в исследованных сообществах представлены гемикриптофиты, имеющие 36,5% от общего числа изученных видов (табл. 1). В основном представители многолетних трав, с остающимися на неблагоприятный период почками возобновления, располагающимися на уровне почвы. Почки имеют защиту собственными чешуями, отмершими нацело, надземными органами и т.д. Представители данной группы составляют около половины травянистых растений и в исследованных лесах наиболее приспособлены к перенесению неблагоприятного холодного периода (*Primula macrocalyx*, *Pachyphragma macrophyllum*, *Ajuga reptans*, *Viola reichenbachiana*, *Fragaria vesca*, *Dryopteris filix-mas*, *Plantago major* и др.). Доля в предгорных районах составляет 31% (40 видов), во внутреннегорном районе – 45,7% (43 вида).

Таблица 1

Результаты анализа жизненных форм изученных лесов по Раункиеру

Местность Высота	Ph		Ch		Hк		Кр		Th	
	Всего	%	всего	%	всего	%	Всего	%	всего	%
Казбековский – 1040 м	24	32,4	0	0	21	28,3	25	33,8	4	5,4
Буйнакский – 980 м	16	27,9	0	0	18	31,0	18	31,0	6	10,3
Кайтагский – 800 м	27	42,9	0	0	13	20,6	22	34,9	1	1,6
Н – 800-1050 м	37	28,7	0	0	40	31	44	34,1	8	6,2
Н – 1540 м	15	16	3	3,2	43	45,7	28	29,8	5	5,3
Общий	47	23,2	3	1,5	74	36,5	68	33,5	11	5,4

Примечание: Тг – терофиты (Therophyta), Кр – криптофиты (Cryptophyta), Hк – гемикриптофиты (Hemikryptophyta), Ph – фанерофиты (Phanerophyta), Ch – хамефиты (Chamaephyta).

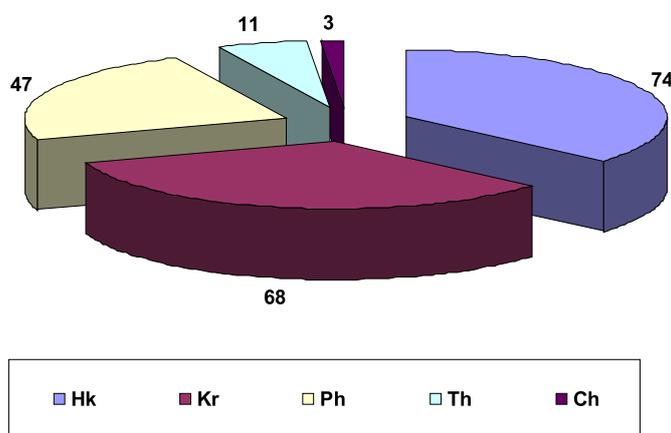


Рис. 1. Соотношение жизненных форм изученных лесов (по классификации Раункиера)

Далее по количеству встречается группа криптофитов – 68 вида (33,5%), у которых почки возобновления находятся под землей на корневищах, луковичах или клубнях. Очень хорошо переносят длительные засухи, в нашей работе к ним относятся: *Polygonatum orientale*, *Scilla siberica*, *Carex sylvatica*, *Vicia cracca*, *Anemone ranunculoides* и др.). Количество видов в предгорных районах – 44 (34,1%), во внутреннегорном – 28 (29,8%).

Терофиты, включающие однолетние растения и переживающие неблагоприятные условия в виде покоящихся семян, составляют 5,4% от общего числа видов (6,2% приходится на предгорья и 5,3% – на внутреннегорья). Они представлены: *Bromus commutatus*, *Lathyrus hirsutus*, *Trifolium arvense*, *Erigeron canadensis*, *Galium aparine*, *Silene italica* и др.

Фанерофиты представлены 47 видами, большая часть из которых принадлежит мезофанерофитам (именно деревья) (23,2%). Почки возобновления данной группы растений расположены высоко над землей

и защищены только почечными чешуями, в связи с чем растения плохо переносят неблагоприятные условия в умеренно холодном климате: *Fagus orientalis*, *Quercus petraea*, *Tilia begoniifolia*, *Carpinus caucasica*, *Salix caprea* и др. Развитие фанерофитов происходит благодаря теплоте и влажному климату, в котором они доминируют [6].

Наименьшим по числу видов является группа хамефитов (3-1,5%), это полукустарнички, почки у которых располагаются высоко над почвой и в зависимости от снежного покрова, который их защищает. На исследуемых территориях встречаются три вида: *Rubus saxatilis*, *Sedum caucasicum*, *Sedum oppositifolium*.

Анализ полученных результатов показывает, что биоморфологические формы изученных лесов (рис. 1, табл. 1) имеют сходные показатели со всей флорой Дагестана [7-9], где основное положение занимают многолетние виды растений.

Общее лидирующее положение гемикриптофитов объясняется присутствием в исследованных лесах эфемероидов, ис-

пользующих в своем индивидуальном развитии весенний период, пока почки древесных видов не пробудились.

Если расположить жизненные формы изученных участков в убывающей последовательности их участия в исследуемой флоре (табл. 1, рис. 1), получается следующий ранжированный ряд:

Hk – Kr – Ph – Th – Ch

74 – 68 – 47 – 11 – 3

Данный ряд демонстрируют общую тенденцию спектра.

При анализе жизненных форм отдельных изученных районов (рис. 2) можно сказать, что внутреннегорный диапазон биоморф очень схож с диапазоном всей флоры лесов Дагестана, предгорные районы имеют некоторые различия в расположении криптофитов и гемикриптофитов. Здесь мы видим преобладание криптофитов: от 18 (31,0%) видов Центрального до 25 (33,8%) видов Северо-Западного подрайонов, присутствие гемикриптофитов колеблется от 13 (20,6% – Юго-Восточный район) до 21 (28,3% – Северо-Западный район) вида.

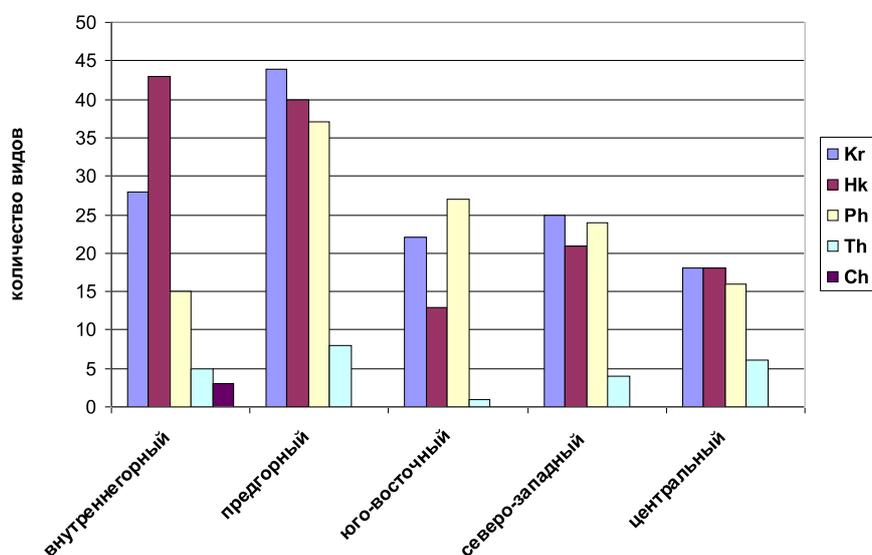


Рис. 2. Биоморфологическая структура лесов Дагестана с участием *Taxus baccata* L.

Kr – Hr – Ph – Th – Ch  
44 – 40 – 37 – 8 – 0  
предгорный

Hk – Kr – Ph – Th – Ch  
43 – 28 – 15 – 5 – 3  
внутреннегорный

Ph – Kr – Hk – Th – Ch  
27 – 22 – 13 – 1 – 0  
юго-восточный

Kr – Ph – Hk – Th – Ch  
25 – 24 – 21 – 4 – 0  
северо-западный

Hk – Kr – Ph – Th – Ch  
18 – 18 – 16 – 6 – 0  
центральный

Небольшая разница между терофитами и хамефитами не влияет на общее расположение жизненных форм во флоре лесов Дагестана, подтверждая довольно высокое сходство общих условий в сообществах с участием тиса ягодного.

Подобная работа была проведена многими авторами для регионов Кавказа

и Средиземноморской области, при сравнении которых с нашими данными были обнаружены немалые различия (табл. 2).

Результаты выявили значительное преобладание в лесах Дагестана гемикриптофитов (36,5%) и криптофитов (33,5%), далее фанерофиты (23,23%), с минимальным участием терофитов (5,4%) и хамефитов (1,5%).

Таблица 2

Спектры жизненных форм районов с разными климатическими условиями,  
% от общего количества видов

Местность	Жизненные формы				
	Ph	Ch	Нк	Кг	Тг
Леса с участием <i>Taxus baccata</i> (Дагестан)	23,2	1,5	36,5	33,5	5,4
Аридные редколесья Южной Армении	13,05	5,55	24,53	28,09	28,78
Средиземноморская зона Италии	12	6	29	11	42
Тальш (Азербайджан)	7,73	4,02	42,60	9,25	36,39
Западная часть Центрального Кавказа	7	5	56	15	17
Умеренная зона (Костромская область)	7	4	52	19	18
Предкавказье	5,2	3,4	54,4	9,9	27,0

В других регионах доля терофитов значительно больше (17-36,39%). Заметное присутствие в изученных лесах криптофитов и фанерофитов говорит о последствии древнесредиземноморских элементов климата. О нем свидетельствует и участие хамефитов. В то же время встречаемость гемикриптофитов указывает на бореальный, а фанерофитов – на неморальный характер изучаемой флоры.

Значительное совпадение по количеству жизненных форм исследуемой территории замечается с флорой Южной Армении. Есть некоторые различия по доле участия фанерофитов (их больше в Дагестане) и терофитов (их несколько меньше).

### Выводы

На основании наших исследований в изученных сообществах выявлено 200 видов, относящихся к 65 семействам и 135 родам. Господствующими семействами являются: *Asteraceae*, *Rosaceae*, *Poaceae*. Выявлено преобладание травянистой растительности (75,4%) над древесно-кустарниковой (24,6%).

Результаты биоморфологического анализа в сообществах тиса ягодного показали значительное преобладание гемикриптофитов – 74 (36,5%) и криптофитов – 68 (33,5%), что указывает на их сходство с флорой умеренного климата Дагестана, где основное положение занимают многолетние виды растений.

Флора в исследуемых сообществах представлена флорой геми-крипто-фанерофитов.

### Список литературы / References

1. Алексанян А.С. Биоморфологическая структура флоры аридных редколесий Южной Армении // Биологический журнал Армении. 2011. № 2 (63). С. 31–36.
- Aleksanyan A.S. Biomorphological structure of flora of arid woodlands of Southern Armenia // Biologicheskii zhurnal Armenii. 2011. № 2 (63). P. 31–36 (in Russian).

2. Солтанмурдова З.И., Теймуров А.А. Биоморфологическая структура флоры прибрежных экосистем Дагестана // Юг России: Экология, развитие. 2014. № 4. С. 91–95.

Soltanmuradova Z.I., Teymurov A.A. Biomorphological structure of flora of coastal ecosystems of Dagestan // Yug Rossii: Ekologiya, razvitiye. 2014. № 4. P. 91–95 (in Russian).

3. Raunkiaer C. The life forms of plants and statistical plant geography. Oxford: Clarendon Press, 1934. 632 p.

4. Серебряков И.Г. Экологическая морфология растений. Жизненные формы покрытосеменных и хвойных. М.: Высшая школа, 1962. 378 с.

Serebryakov I.G. Ecological morphology of plants. Life forms of angiosperms and conifers. M.: Vysshaya shkola, 1962. 378 p. (in Russian).

5. Бухарова Е.В., Лужкова Н.М., Бурдуковский А.И. Особенности флоры островов Забайкальского национального парка // Проблемы ботаники южной Сибири и Монголии. 2019. Т. 18. № 1. С. 216–221. DOI: 10.14258/pbssm.2019044.

Bukharova E.V., Luzhkova N.M., Burdukovsky A.I. Features of the flora of the islands of the Trans-Baikal National Park // Problemy botaniki yuzhnoy Sibiri i Mongolii. 2019. T. 18. № 1. P. 216–221 (in Russian). DOI: 10.14258/pbssm.2019044.

6. Кулешова Ю.В. Об особенностях биоморфологической структуры флоры урбанизированных территорий (на примере г. Сосновоборска, Красноярский край) // Ботанические науки. 2018. № 2 (137). С. 253–259.

Kuleshova Yu.V. On the features of the biomorphological structure of the flora of urbanized territories (on the example of Sosnovoborsk, Krasnoyarsk Krai) // Botanicheskiye nauki. 2018. № 2 (137). P. 253–259 (in Russian).

7. Лепехина А.А. Флора и растительность Дагестана. Ботанические факторы ноосферы. Махачкала, 2002. 352 с.

Lepekhina A.A. Flora and vegetation of Dagestan. Botanical factors of the noosphere. Makhachkala, 2002. 352 p. (in Russian).

8. Алиев Х.У. Сравнительная характеристика буковых лесов Дагестана: дис. ... канд. биол. наук. Махачкала, 2013. 197 с.

Aliyev H.U. Comparative characteristics of beech forests of Dagestan: dis. ... kand. biol. nauk. Makhachkala, 2013. 197 p. (in Russian).

9. Муртазалиев Р.А. Анализ распределения видов флоры Дагестана // Ботанический журнал. 2016. № 9. С. 1056–1074.

Murtazaliev R.A. Analysis of the distribution of species of flora of Dagestan // Botanicheskiy zhurnal. 2016. № 9. P. 1056–1074 (in Russian).

УДК 631.1:338.43

**РОЛЬ ОБРАБОТКИ ЧЕРНОЗЕМА ОБЫКНОВЕННОГО И ЗВЕНА СЕВООБОРОТА В ФОРМИРОВАНИИ АГРОФИЗИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ, ЗАСОРЕННОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ЛЬНА МАСЛИЧНОГО – ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ – МОГАРА И ГОРОХА**

<sup>1</sup>Полоус В.С., <sup>2</sup>Осауленко С.Н.

<sup>1</sup>ООО АПК «Кубань Агро» Брюховецкого района Краснодарского края,  
с. Свободное, e-mail: s.polous@list.ru;

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО Ставропольский ГАУ, Ставрополь

Экономические тенденции и климатические факторы способствуют разработке и внедрению почво-защитных технологий в земледелии. Учитывая это, в центральной зоне Краснодарского края в стационарном севообороте в 2013-2018 гг. изучали комплексное влияние вспашки 22-24 см (контроль), поверхностной 6-8 см и нулевой (химической) обработки при возделывании льна масличного, озимой пшеницы, могоара, гороха. По no-till в слое 0-100 см весной доступной влаги накапливалось на 2,8-5,6% меньше от контроля (152,0-158,4 мм). Плотность почвы слоя 0-30 см не существенно различалась по вариантам (1,07-1,15 г/см<sup>3</sup>). Засоренность почвы и посевов возрастала (до применения гербицидов) при уменьшении глубины обработки. Преимущество по урожайности озимой пшеницы 6,48 т/га и содержанию протеина в количестве 14,3% отмечено при поверхностной обработке почвы. На данном варианте сбор льна масличного составил 1,75 т/га при содержании масла в семенах 48,5%, или на 0,09 т/га ниже, чем на контроле. Урожайность гороха 3,71 т/га и содержание белка 22,0% не отличались существенно от показателя, полученного по вспашке (при НСР<sub>05</sub> = 0,10 т/га). Могоар пожнивной 0,51 т/га и 1,78 т/га не имел существенных отличий в сборе зерна и сена по вариантам обработки почвы под предшественник (озимую пшеницу). По no-till отмечено наибольшее формирование органического вещества – 2,19 т/га. На данном варианте опыта суммарный условный чистый доход составил 58,6 тыс. руб./га; расход горючего – 127 кг/га и затраты труда 16,98 чел.час/га, что было на 5%, 43% и 11% соответственно меньше, чем на контроле. Возделывание четырех культур в звене севооборота за три с.-х. года стабилизирует экономические показатели и почвенное плодородие.

**Ключевые слова:** глубина обработки, агрофизические показатели, лен, пшеница, могоар (пожнивной), горох, засоренность, урожайность, доход, органика

**ROLE OF TILLAGE OF BLACK EARTH, AND CROP ROTATION LINK IN FORMATION OF AGROPHYSICAL INDICES, WEEDINESS AND EFFICIENCY OF CULTIVATION OF OILSEED FLAS, WINTER WHEAT, MOGAR AND PEA**

<sup>1</sup>Polous V.S., <sup>2</sup>Osaulenko S.N.

<sup>1</sup>AIC Kuban Agro, LLC, Bryukhovetsky district, Svobodnoe, e-mail: s.polous@list.ru;

<sup>2</sup>Stavropol State Agrarian University, Stavropol

Economic trends and climatic factors contribute to the development and implementation of soil-protective technologies in agriculture. Taking this into account in the central area of Krasnodar region in a stationary crop rotation in 2013-2018 we studied complex influence of 22-24 cm tillage (control), surface 6-8 cm and no-till (chemical) cultivation for oil flax, winter wheat, cowpea, peas. Spring available water in no-till layer 0-100cm was 2,8-5,6% less than control (152,0-158,4mm). Soil density of 0-30 cm layer didn't essentially differ in variants (1,07-1,15 g/cm<sup>3</sup>). Soil and crop infestation increased (before the use of herbicides) with decreasing tillage depth. The advantage in winter wheat yield of 6.48 t/ha and protein content of 14.3% were noted with surface tillage. On this variant the harvest of oilseed flax was 1.75 t/ha with the oil content in seeds of 48.5%, or 0.09 t/ha lower than on the control. Pea yield 3.71t/ha and protein content 22.0% did not differ significantly from the indicator obtained by plowing (with NCP<sub>05</sub>=0.10t/ha). Mogar reaped 0.51t/ha and 1.78t/ha had no significant differences in the collection of grain and hay on the variants of tillage under the precursor (winter wheat). On no-till there was the greatest formation of organic matter – 2.19 t/ha. At this option of experiment the total net income was 58.6 thousand rubles/ha; fuel consumption – 127kg/ha and labor costs – 16.98 people/ha, which was 5%, 43% and 11% respectively less than the control. Cultivation of 4 crops in a crop rotation link for 3 s.-h. years stabilizes the economic indicators and soil fertility.

**Keywords:** tillage depth, agrophysical indicators, oilseed flax, winter wheat, mogoar and pea weediness, yield, income, organics

Экономические тенденции развития общества отражаются и на сельскохозяйственном производстве. В прошедшее десятилетие возникло и становится значимым противоречие между возможностью земледельцев получать стабильные урожаи полевых культур и необходимостью снижать энергетические и материальные затра-

ты, сохраняя при этом плодородие почвы [1; 2]. В современной земледелии почвенное плодородие в значительной степени стало зависеть от климата [3], рационального использования средств плодородия и защиты растений [4; 5], приемов основной обработки почвы [6; 7] и биологических особенностей культур звена или севооборота.

В настоящее время на полях Северного Кавказа и других регионов, где преобладают черноземы обыкновенные, используются комбинированные системы их подготовки в звене или севообороте, при которых применяются (а часто сочетаются) отвальные, минимальные, поверхностные и даже нулевые (химические) обработки [8; 9]. Применение ресурсосберегающих технологий и прямого посева способствует экономии ГСМ и трудовых ресурсов; сдерживает развитие водной и ветровой эрозии почв, оптимизирует водонакопление и плотность сложения пахотного слоя [10], а также его биологическую активность [11], при одновременном увеличении засоренности посевов [12]. Энергосберегающие и no-till технологии как в начальный, так и последующий период применения требуют активного накопления пожнивно-корневых остатков [13]. Следовательно, необходимо получать урожай как с основных, так и пожнивных посевов.

Цель исследования: провести комплексную оценку влияния способов и приемов основной обработки почвы и культур звена севооборота на элементы почвенного плодородия, засоренность почвы и посевов; экономическую и биоэнергетическую эффективность.

#### Материалы и методы исследования

Исследования проводились с 2013 по 2018 год в стационарном севообороте ООО АПК «Кубань-Агро», расположенного в центральной зоне Краснодарского края.

Среднегодовое количество осадков в районе составляет 614 мм. Фактически их выпало: 1,3 нормы 2016 году и по 0,9 в остальные периоды исследований. Многолетняя температура воздуха достигает +12,1 °С. Но в 2015, 2018 годах данный показатель повышался на 0,8-1,2 °С соответственно. Сумма температур свыше +5 °С – 2990-3000 °С. Продолжительность безморозного периода достигает 235 дней. Почвы чернозема обыкновенного сверхмощные, среднесуглинистые. Содержание гумуса в слое 0-20 см составляет 3,8%; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 22-28 мг/кг; K<sub>2</sub>O – 350-380 мг/кг почвы (по Мачигину); рН – 7,2. Учетная площадь делянок 5000 м<sup>2</sup>, повторность четырехкратная.

Схема опытов состояла из различных вариантов.

Под лен и пшеницу проводили:

1. Лушение стерни 8-10 см, отвальную вспашку 22-24 см, культивацию 8-10 см, прикатывание, культивацию до 6 см (контроль).

2. Лушение стерни 6-8 см, повторное лушение 6-8 см, внесение гербицидов: Раундапа 2 л/га и Банвела 0,1 л/га.

3. Нулевая. Прямой посев культур. Внесение гербицидов: Раундапа 2 л/га и Банвела 0,1 л/га – трехкратно.

Для гороха посевного:

1. Лушение стерни 8-10 см, отвальную вспашку 22-24 см, культивацию 8-10 см, прикатывание.

2. Лушение стерни 6-8 см.

3. Нулевая. Прямой посев культуры. Механические и химические обработки не проводились.

Для могоара пожнивного посева:

1. Лушение стерни 6-8 см и прикатывание – двукратно.

#### *Система удобрений и ухода за культурами звена севооборота*

Лен масличный – при посеве N<sub>6</sub> P<sub>26</sub>. Гербицид Гербитокс-Л 1,5 л/га и ростостимулирующий состав (РС) Вермисол 1 л/га и НВ 101 5 мм/га в фазу «елочки». При влажности семян льна 32-35% гербицид Раундап 3 л/га.

Озимая пшеница – при посеве N<sub>12</sub> P<sub>32</sub> и в подкормки весной N<sup>68</sup>. Препарат Балерина 0,4 л/га и (РС) в тех же дозах для уничтожения сорняков. От вредителей и болезней соответственно препараты Фагот – 0,15 л/га и Колосаль Про – 0,5 л/га, а также (РС) в фазу колошения.

Могоар – N<sub>34</sub> при полных всходах. В фазу кушения гербицид Балерина 0,3 л/га совместно с (РС). При влажности семян 30-35% Раундап 3 л/га.

Горох – при посеве N<sub>6</sub> P<sub>26</sub>. В фазу 4-5 листьев гербицид Базагран 3,5 л/га и (РС). Инсектицид Фагот 0,15 л/га и (РС) в начале цветения. Десикант Реглон Супер 2 л/га при влажности семян 30-35%.

Через 2-3 дня после посева (до всходов) делянки льна масличного, озимой пшеницы и гороха посевного обрабатывались Раундапом 2 л/га для уничтожения оставшихся сорняков и падалицы.

Посев – сеялкой для прямого посева Рапид 600. Внесение гербицидов – опрыскиватель ОП-2000. Сбор урожая – комбайном Клаас Тукан. Листостебельная масса могоара и побочная продукция льна масличного укладывалась в валки, тюковалась и удалялась с варианта 1, 2, 3 опытного участка. Стебли озимой пшеницы и гороха измельчались и равномерно рассеивались по поверхности делянок при обмолоте.

Влажность почвы определяли термостатно-весовым методом (ГОСТ 28268-89).

Плотность сложения почвы устанавливали патронным методом в горизонтах 0-10, 10-20 и 20-30 см при ненарушенном строении перед посевом и накануне уборки культур.

Учет засоренности проводили в летне-осенний период; перед применением гербицидов -количественно-видовым методом; накануне уборки культур – с взвешиванием массы. Урожайность каждой культуры определяли по вариантам опыта. В опытах выполняли расчет экономических и биоэнергетических [14] показателей. Проводилась статистическая обработка данных [15].

**Результаты исследования и их обсуждение**

После использования почвообрабатывающих агрегатов изменяется соотношение твердой, жидкой, газообразной и биологической компонент почвы, а следовательно, и направленность химических и биологических процессов [16].

Одним из важных показателей состояния используемой в производстве почвы является ее водопроницаемость.

Наибольшее количество влаги проникло в почву за 3 часа на делянках с вспашкой; и колебалось от 63 мм в 2017 г. до 88 мм в 2016 г. Поверхностная обработка также способствовала ее проникновению в почву, но в количестве меньшем на 2 мм, чем в среднем на контроле. На делянках без механической обработки почвы водопроницаемость составила 72 мм и несущественно уступала предыдущим вариантам.

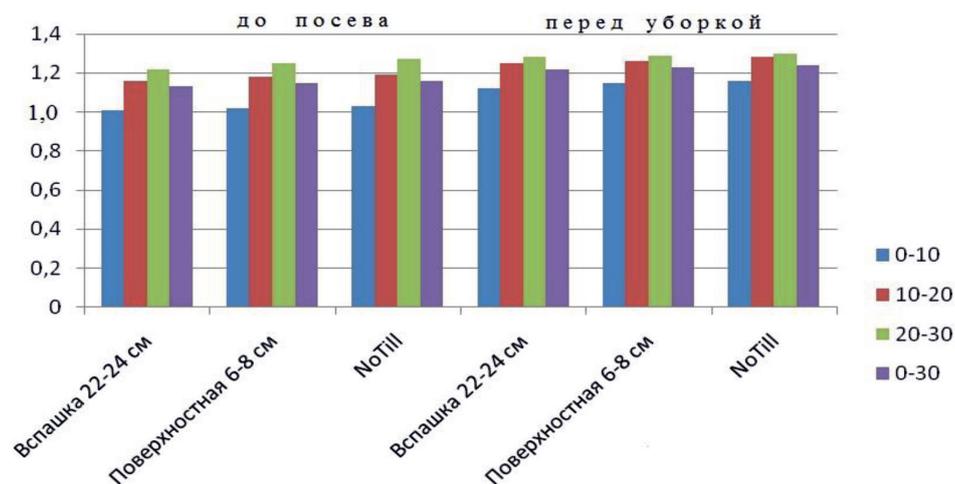
Определение запасов продуктивной влаги и плотности сложения почвы, при взаимовлиянии способов и приемов ее основной обработки, выпадающих осадков, а также корневой системы растений, представляло научный и производственный интерес (табл. 1).

Наибольшее содержание продуктивной влаги в слое почвы 0-100 см отмечено весной перед посевом гороха. На вспаханных и поверхностно обработанных делянках – 167,2 и 164,4 мм, что не отличало существенно эти варианты. По нулевой обработке влаги накапливалось весной на 4,2 мм и 8,8 мм, и перед уборкой культур на 1,1-2,8 мм меньше (существенно), чем по вспашке.

**Таблица 1**

Влияние способов и приемов основной обработки почвы на содержание продуктивной влаги и плотность сложения

Основная обработка почвы	Содержание продуктивной влаги в слое 0-100 см, мм		Плотность сложения почвы в слое 0-30 см, г/см <sup>3</sup>	
	весной	перед уборкой	весной	перед уборкой
лен масличный 2014, 2015, 2016 гг.				
вспашка	152,6	60,8	1,07	1,20
поверхностная	151,5	60,2	1,12	1,22
нулевая	152,0	59,7	1,14	1,24
НСР <sub>05</sub>	1,30	0,32	0,15	0,11
озимая пшеница 2015, 2016, 2017 гг.				
вспашка	156,0	64,1	1,08	1,016
поверхностная	153,3	62,5	1,11	1,20
нулевая	151,8	61,3	1,16	1,21
НСР <sub>05</sub>	1,4	2,2	0,16	0,16
могар пожнивного посева 2015, 2016, 2017 гг.				
поверхностная	57,0	57,8	1,15	1,21
НСР <sub>05</sub>	0,4	1,6	0,16	0,15
горох посевной 2016, 2017, 2018 гг.				
вспашка	167,2	64,1	1,08	1,15
поверхностная	164,4	63,3	1,13	1,17
нулевая	158,4	61,5	1,15	1,18
НСР <sub>05</sub>	4,01	0,40	0,16	0,11



*Последствие основной обработки почвы на плотность сложения под культурой могара в пожнивном посеве. Среднее за 2015, 2016, 2017 гг.*

Плотность сложения чернозема обыкновенного в оба срока определения не имела значительных различий по вариантам обработки. При проведении пожнивных посевов также полезно иметь эти данные. По результатам определения плотности сложения чернозема обыкновенного перед посевом могара и накануне его уборки (рисунок) не установлено существенных различий по вариантам обработки почвы под озимую пшеницу – предшественник могара.

Различные способы основной обработки почвы существенно изменяют ее структурный состав по глубине механической обработки. Наиболее высокое содержание частиц, меньше 0,25 мм в диаметре, отмечено в слое 0-10 см на вспаханных участках, многократно обработанных различными орудиями, и составило до посева 8,7%. Это в 1,3 раза превышало их содержание на варианте без механической обработки почвы. При возобновлении весенней вегетации в слое почвы 0-10 см происходило значительное уменьшение данной фракции: по вспашке до – 6,9% и прямому посеву – 5,2%, что обусловлено естественным оструктурированием почвенных частиц в погодных условиях осенне-зимнего и весеннего периода, а также деятельностью корневой системы зерновой культуры.

Перед уборкой озимой пшеницы количество частиц < 0,25 мм в диаметре в слое 0-10 см стало иным: до 8,3% по вспашке; 6,6% при поверхностной подготовке почвы и 4,5% на участках с прямым посевом. Изменению фракционного состава почвы способствовали: осветление посевов, повы-

шение температуры почвы; разрушающее действие осадков на почвенные частицы. В слое почвы 0-30 см наименьшее количество пылеватых частиц было при исключении механической обработки почвы и составило 2,4%. Поверхностная и особенно плужная обработка обыкновенного чернозема увеличивала этот показатель до 3,3% и 5,0% соответственно.

Количество фракций меньше 10 мм и больше 0-25 мм составляло разницу от содержания пылеватых частиц, т.е. 91,3-97,6%, что положительно сказалось на содержании продуктивной влаги и плотности сложения почвы.

За период проведения исследований складывались различные условия по выпадению осадков и температурному режиму, что способствовало прорастанию сорняков не только при вегетации культур, но и после их уборки.

Общее количество взошедших и уничтоженных сорняков зависело от выпавших осадков и вариантов основной обработки почвы. За период июнь-сентябрь количество осадков в 2013 г. составило 197,5 мм; 2014 – 58,2 мм; 2015 – 72,8 мм; 2016 – 201 мм; 2017 – 94,6 мм. А сумма активных температур (более +5 °С) – 1200-1300 °С. До проведения обработок почвы под первую культуру – лен масличный – насчитывалось 32 шт./м<sup>2</sup> однолетних сорняков. Применение различных почвообрабатывающих орудий и способов обработки чернозема обыкновенного создавали неодинаковые условия для прорастания однолетних и многолетних сорняков, а, следовательно, их уничтожения (табл. 2).

Таблица 2

Влияние способов и приемов основной обработки почвы и гербицидов на уничтожение сорняков в летне-осенний период, шт./м<sup>2</sup>. Среднее за 2013-2017 гг.

Культура звена севооборота	Основная обработка почвы		
	вспашка	поверхностная	нулевая
Лен масличный	60/0,4	102/0,2	200/0,7
Озимая пшеница	39/0,0	74/0,4	114/0,4
Могар	13/0,0	16/0,1	22/0,2
Горох посевной	5/0,0	8/0,0	10/0,0
Всего	117/0,4	200/0,7	346/1,3

Примечания: в числителе – однолетние; в знаменателе – многолетние сорняки.

Лен масличный был 1-й культурой звена севооборота. Наибольшее количество однолетних сорняков проросло и было уничтожено в летне-осенний период гербицидами на фонах без механической обработки почвы и достигало 200 шт./м<sup>2</sup>, что превосходило вариант с отвальной вспашкой 22-24 см в 3,3 раза. Этому способствовал постоянный контакт семян с более плотной почвой. Многолетние сорняки, в количестве 0,2-0,7 шт./м<sup>2</sup>, также проросли, но угнетались проведенными технологически операциями.

За период подготовки почвы под 2-ю культуру численность проросших и уничтоженных сорняков снизилась; в том числе на 35% на контроле и 27% в варианте с поверхностной обработкой.

Поверхностные обработки почвы под могар способствовали уничтожению 13-22 шт./м<sup>2</sup> однолетних и 0,1-0,2 шт./м<sup>2</sup> многолетних сорняков. После его уборки подготовка почвы под горох посевной проводилась в ноябре. В этот период интенсивность отрастания однолетних сорняков многократно снизилась и не превышала 5-10 шт./м<sup>2</sup>, которые были уничтожены обработками.

В итоге механическими и (или) химическими обработками под культуры звена севооборота удалось уничтожить 117,4-200-346 шт./м<sup>2</sup> однолетних и 0,4-1,3 шт./м<sup>2</sup> многолетних сорняков в летне-осенний период соответственно по вспашке, при поверхностной и нулевой обработке.

Зимне-весенние осадки (декабрь-март), в том числе 176,2 мм в 2014/2015 с.-х. году; 239,4 мм в 2017/2018 с.-х. году, увеличивали запасы продуктивной влаги до 19-21 мм в слое 0-10 см и др. горизонтах. При повышении температуры воздуха и почвы возшедшие сорняки засоряли опытные посевы. Этот показатель также ежегодно зависел от вариантов основной обработки почвы

и культуры звена севооборота. Перед применением гербицидов на делянках с поверхностной обработкой и no-till насчитывалось 112 шт./м<sup>2</sup> и 131 шт./м<sup>2</sup> соответственно однолетних сорняков по льну масличному; 91 шт./м<sup>2</sup> и 136 шт./м<sup>2</sup> по озимой пшенице. На контрольных делянках эта группа сорняков имела в 1,5-2,3 раза меньшую численность. Многолетние сорняки в количестве 0,1-0,2 шт./м<sup>2</sup> активнее проросли при энергосберегающих обработках почвы. Суммарное количество проросших до гербицидной обработки сорняков за ротацию звена севооборота составило: по вспашке 183/0,1 шт./м<sup>2</sup> и без механической обработки 350/0,5 шт./м<sup>2</sup>. Обработка культур звена севооборота в рекомендованные сроки гербицидами: Гербитокс-Л1 – 1,5 л/га (лен масличный), Балерина – 0,4-0,3 л/га (озимая пшеница, могар – соответственно) и Базагран – 3,5 л/га (горох посевной), обеспечивала снижение засоренности однолетними сорняками на 92-95% и заметные угнетения многолетников, которые в основном были представлены выюнком полевым и осотом розовым.

После гербицидной обработки культуры звена севооборота продолжали рост и развитие в более благоприятных условиях. Накануне уборки засоренность посевов была слабой и средней. Так, при прямом посеве засоренность льна масличного составила 28,2 шт./м<sup>2</sup> при воздушно-сухой массе сорняков 51 г/м<sup>2</sup>, что превысило контроль по количеству в 1,6 и весу в 1,8 раза. Количество и масса сорняков на делянках озимой пшеницы уменьшилась по способам основной обработки почвы соответственно на 23-30% и 14-47% по сравнению с первой культурой звена севооборота.

Трехлетнее применение различных механических и гербицидных обработок почвы способствовало значительному

снижению засоренности полянок гороха посевного по количеству и массе: по вспашке 22-24 см в 1,7-1,4 раза; поверхностной 1,9-1,5 раза; и нулевой в 2,0-1,8 раза по сравнению с льном масличным.

Количество сорняков накануне уборки могоара было наименьшим, 5-10 шт./м<sup>2</sup>, однако на этой культуре проявлялось последствие засоренности по вариантам основной обработки почвы под предшествующую – озимую пшеницу.

В зависимости от количества выпадающих осадков, которые формировали запасы продуктивной влаги; вариантов основной обработки почвы; засоренности посевов и других факторов формировалась урожайность культур зернопропашного звена севооборота. Лен обеспечил более высокий намолот – 1,84 т/га при содержании масла в семенах 48,9% по отвалной вспашке, превысив на 5% и 8% остальные варианты (НСР<sub>05</sub> – 0,08 т/га). Средняя урожайность озимой пшеницы 6,48 т/га при содержании протеина 14,3% сложилась по поверхностной обработке почвы, существенно превышала контроль, на 0,25 т/га, и no-till – на 0,43 т/га, (НСР<sub>05</sub> – 0,11 т/га). Сбор зерна могоара и сена в пожнивном посевах культуры не имел существенных различий по последствию обработок под озимую пшеницу и составил 0,49-0,51 т/га и 1,73-1,78 т/га (НСР<sub>05</sub> – 0,05 т/га). Горох посевной обеспечил близкую урожайность по вспашке и при поверхностной обработке почвы – 3,79-3,71 т/га, но при технологии с прямым посевом снизил ее до 3,62 т/га (НСР<sub>05</sub> – 0,10 т/га).

По no-till отмечено наибольшее формирование органического вещества – 2,19 т/га. На данном варианте опыта суммарный условный чистый доход составил 58,6 тыс. руб./га; расход горючего – 127 кг/га и затраты труда 16,98 чел. час/га, что было на 5%, 43% и 11% соответственно меньше, чем на контроле. Возделывание четырех культур в звене севооборота за три с.-х. года стабилизирует экономические показатели и почвенное плодородие.

При выполнении технологических операций на опытных полянках количество полученной энергии с основным и побочным урожаем по каждой культуре превосходило затраченную и обеспечило ее значительный прирост.

Наиболее высокий прирост энергии произошел на полянках, которые обрабатывались поверхностно под все культуры звена севооборота, и в сумме составил

220 998 Мдж/га при коэффициенте энергетической эффективности, равном 3,5.

Структура энергетических затрат по культурам была неодинаковой и зависела от производственных затрат на дизельное топливо, удобрения, гербициды, семена и другие статьи расхода. Их доля на семена озимой пшеницы составила 17,4%, гороха посевного – 34,2%. Применение минеральных удобрений также формировало эти затраты, например по гороху они составили 4,5%, по озимой пшенице – 34,5%.

### Выводы

1. По технологии no-till весной накапливалось меньше на 2,8-5,6% продуктивной влаги в слое почвы 0-100 см, чем по вспашке (152,0-158,4 мм). Плотность и структура почвы различались несущественно.

2. Снижение глубины обработки увеличивает засоренность почвы в летне-осенний период в 1,7-2,9; посевах в 1,5-1,9 раза. Применение разрешенных гербицидов на культурах звена севооборота снижает засоренность однолетними сорняками до низкой и средней 10-28 шт./м<sup>2</sup> и сдерживает развитие многолетних.

3. Лучшая урожайность льна масличного – 1,84 т/га и гороха – 3,79 т/га получена по вспашке; озимой пшеницы – 6,48 т/га при поверхностной обработке. По технологии no-till условный чистый доход составил 58,6 тыс. руб./га и лишь на 4,7% уступил контролю.

### Список литературы / References

1. Gray R.S., Taylor J.S., Brown W.J. Economic factors contributing to the adoption of reduced tillage technologies in central Saskatchewan. *Canadian Journal of Plant Science*. 1996. Vol. 76. № 4. P. 661–668.
2. Турусов В.И., Гармаш В.М. Эффективность различных приемов и систем обработки почвы в звене севооборота горох озимая пшеница в условиях юго-востока ЦЧР // *Земледелие*. 2018. № 2. С. 33–35.
3. Turusov V.I., Garmash V.M. The effectiveness of various methods and systems of soil cultivation in the link of crop rotation peas, winter wheat in the southeast of the Central Black Sea region // *Zemledeliye*. 2018. № 2. P. 33–35 (in Russian).
4. Jones A., Stolbovov V., Rusco E., Climate change Europe. Impact on soil. A review *Agron. Sustain. Dev.* 2009. Vol. 29. P. 423–432.
5. Еремин Д.И., Ахтямова А.А. Минерализация гумуса в пахотном черноземе при использовании минеральных удобрений // *Земледелие*. 2018. № 7. С. 16–18.
6. Eremin D.I., Akhtyamova A.A. Mineralization of humus in arable chernozem using mineral fertilizers // *Zemledeliye*. 2018. № 7. P. 16–18 (in Russian).
7. Селезнева Н.А., Тишкова А.Г., Федорова Т.Н., Савченко Н.Е., Асеева Т.А. Изменение химических и микробиологических свойств почвы при антропогенном воздействии в полевом севообороте // *Достижение и науки и техники АПК*. 2020. Т. 34. № 6. С. 5–10.
8. Selezneva N.A., Tishkova A.G., Fedorova T.N., Savchenko N.E., Aseeva T.A. Changes in the chemical and microbiologi-

- cal properties of soil under anthropogenic impact in a field crop rotation // *Dostizheniya i nauki i tekhniki APK*. 2020. T. 34. № 6. P. 5–10 (in Russian).
6. Koch A., Brathey A. Mc. Soil security: Solving the global soil crisis. *Glob.Policy*. 2013. Vol. 4. № 4. P. 434–441.
7. Кулинцев В.В., Дридигер В.К. Эффективность использования пашни и урожайность полевых культур при возделывании по технологии прямого посева // *Достижения науки и техники АПК*. 2014. № 4. С. 16–18.
- Kulintsev V.V., Dridiger V.K. The efficiency of the use of arable land and the yield of field crops during cultivation using direct sowing technology // *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2014. № 4. P. 16–18 (in Russian).
8. Власова О.И. Плодородие черноземных почв и приемы его воспроизводства в условиях Центрального Предкавказья. Ставрополь: «Агрус», 2014. С. 202–243.
- Vlasova O.I. Fertility of chernozem soils and methods of its reproduction in the conditions of the Central Ciscaucasia. Stavropol: «Agrus», 2014. P. 202–243 (in Russian).
9. Кузина Е.В. Влияние основной обработки почвы на запасы продуктивной влаги и агрофизические свойства почвы чернозема выщелоченного // *Пермский вестник*. 2016. № 3. С. 35–41.
- Kuzina E.V. Influence of the main tillage on the reserves of productive moisture and agrophysical properties of the leached chernozem soil // *Permskiy vestnik*. 2016. № 3. P. 35–41 (in Russian).
10. Кураченко Н.А., Картавых А.А. Эффективность обработки почвы в севообороте на различных типах почв Центрального Предкавказья // *Земледелие*. 2017. № 2. С. 17–19.
- Kurachenko N.A., Kartavykh A.A. Efficiency of tillage in crop rotation on different types of soils of the Central Ciscaucasia // *Zemledeliye*. 2017. № 2. P. 17–19.
11. Полоус В.С., Осауленко С.Н., Прокопова Л.О., Сокирко В.П. Влияние способов и приёмов обработки чернозема обыкновенного на активность и разнообразие почвенной биоты и урожайность озимой пшеницы // *Труды КубГАУ*. 2020. № 6 (87). С. 95–99.
- Polous V.S., Osaulenko S.N., Prokopova L.O., Sokirko V.P. The influence of methods and techniques of processing ordinary chernozem on the activity and diversity of soil biota and the yield of winter wheat // *Trudy KubGAU*. 2020. № 6 (87). P. 95–99 (in Russian).
12. Ивенин А.В., Саков А.П. Влияние систем обработки светло-серой лесной почвы и применения удобрений и биопрепаратов на ее засоренность и урожайность гороха в Нижегородской области // *Аграрная наука*. 2019. № 2. С. 77–80.
- Ivanin A.V., Sakov A.P. Influence of systems for processing light gray forest soil and the use of fertilizers and biopreparations on its weediness and yield of peas in the Nizhny Novgorod region // *Agramaya nauka*. 2019. № 2. P. 77–80 (in Russian).
13. Гутино Б.К., Идову О.Дж., Шнидельбек Р.Р., Ван-Эс Х.М., Вольфе Д.В., Тиеси Дж.Е., Абави Г.С. Учебное пособие по оценке здоровья почвы Университета Корнелл / пер. с англ. Днепропетровск, Агро-Союз 2007. 56 с.
- Gutino B.K., Idovu O.Dzh., Shnidelbek R.R., Vanes Kh.M., Wolfe D.V., Tiesi J.E., Abavi G.S. Cornell University Soil Health Assessment Study Guide / trans. from English. Dnepropetrovsk, Agro-Soyuz 2007. 56 p. (in Russian).
14. Бионергетическая оценка агротехнических приемов и ресурсосберегающих технологий в растениеводстве: учеб.-метод. пособие / под ред. И.Т. Трубилина. Краснодар, КУБГАУ, 1995. 65 с.
- Bionergetic assessment of agrotechnical methods and resource-saving technologies in crop production: *ucheb.-metod. posobiye* / pod red. I.T. Trubilina. Krasnodar, KUBGAU, 1995. 65 p. (in Russian).
15. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
- Dospekhov B.A. Field experiment technique. M.: Agropromizdat, 1985. 351 p. (in Russian).
16. Дридигер В.К., Кулинцев В.В., Стукалов Р.С., Гаджиумаров Р.Г. Динамика изменения агрофизических свойств почвы при возделывании полевых культур по технологии no-till // *Известия Оренбургского Государственного аграрного университета*. 2018. № 5 (73). С. 35–38.
- Dridiger V.K., Kulintsev V.V., Stukalov R.S., Gadzhiumarov R.G. Dynamics of changes in the agrophysical properties of soil during the cultivation of field crops using no-till technology // *Izvestiya Orenburgskogo Gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2018. № 5 (73). P. 35–38 (in Russian).

УДК 630\*385:630\*182.21

## ТРАНСФОРМАЦИЯ МИКРОКЛИМАТА И ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ОСУШАЕМЫХ СОСНЯКОВ КУСТАРНИЧКОВО-СФАГНОВЫХ СЕВЕРОТАЕЖНОЙ ПОДЗОНЫ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

Пономарева Т.И., Штанг А.К., Ярыгина О.Н., Селянина С.Б.

*ФГБУН «Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики  
им. академика Н.П. Лаврова» УрО РАН, Архангельск, e-mail: ponomtamara@gmail.com*

Гидромелиорация лесов в таежной зоне имеет своей целью, прежде всего, отвод избыточной влаги с лесных территорий. Изменение гидрологических условий приводит к изменению микроклимата осушаемых участков. В статье представлены результаты изучения особенностей микроклимата осушаемых северо-таежных сосняков кустарничково-сфагновых с различной эффективностью осушения. Для исследования выбраны три ключевых участка: интактный, с эффективным и неэффективным осушением. Проведена оценка сезонной динамики температурного и влажностного режима ключевых участков, а также сезонной динамики уровня болотных вод и количества поступающих осадков. Установлено, что на осушаемых участках изменяются механизмы регулирования температурного режима. На интактном участке температурный режим регулирует в основном обводненная торфяная залежь, на участке с эффективным осушением главным регулятором температурного режима выступает древостой. На участках с неэффективным осушением колебания уровня болотных вод, сильно зависящие от количества поступающих осадков, в совокупности с функционированием древесного полога приводят к формированию парникового эффекта. Уровень грунтовых вод на нарушенных гидромелиорацией участках сосняков кустарничково-сфагновых сильно зависит от эффективности осушительных мероприятий. Сохранность осушительных каналов, сомкнутый древостой и отсутствие сфагновых мхов в доминантах растительного покрова обеспечивают поддержание болотных вод на уровне, комфортном для лесных экосистем, что и является основной целью лесосоосушения, тогда как на участке с неэффективным осушением обильный сфагновый покров, зарастающие каналы и угнетенный древостой не в состоянии эффективно регулировать уровень болотных вод.

**Ключевые слова:** осушаемые леса, верховые болота, температурный режим, уровень болотных вод, количество осадков

## TRANSFORMATION OF MICROCLIMATE AND HYDROLOGICAL CONDITIONS OF DRAINED DWARF SHRUB-SPHAGNUM PINE FORESTS OF THE NORTHERN TAIGA OF THE ARKHANGELSK REGION

Ponomareva T.I., Shtang A.K., Yarygina O.N., Selyanina S.B.

*N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch  
of the Russian Academy of Science, Arkhangelsk, e-mail: ponomtamara@gmail.com*

The main target of the drainage of taiga forests is the removal of excess moisture from forest areas. Changes in hydrological conditions lead to changes in the microclimate of the drained areas. The article presents the results of studying the microclimate features of drained northern taiga dwarf shrub-sphagnum pine forests with effective and non-effective drainage. An assessment of the seasonal dynamics of the temperature and humidity regime, the water table level and the amount of incoming precipitation of index plots has been carried out. Three index plots were selected for the study: intact, effectively drained and non-effectively drained. Mechanisms for regulating the temperature regime are changing in the drained areas. If the temperature regime in the intact index plot is mainly regulated by a watered peat deposit, then in the index plot with effective drainage the temperature regime is mainly regulated by the forest stand. In the index plot with non-effective drainage, fluctuations in the level of bog waters, which strongly depend on the amount of incoming precipitation, together with the functioning of the tree canopy, lead to the formation of a greenhouse effect. The groundwater level in the index plots of dwarf-sphagnum pine forests disturbed by drainage strongly depends on the efficiency of drainage measures. The preservation of drainage canals, a closed forest stand, and the absence of sphagnum mosses in the dominants of the vegetation cover ensure the maintenance of bog waters at a level comfortable for forest ecosystems as the main target of forest drainage. The abundant sphagnum cover, overgrown canals, and suppressed forest stand are not able to regulate the level of bog waters in the plots with non-effective drainage.

**Keywords:** drained forests, raised bogs, temperature regime, bog water level, precipitation

Климатические особенности таежной зоны (низкие среднегодовые температуры, большое количество осадков) способствуют активному развитию болотообразовательного процесса. Заболоченные леса и болота занимают до 30% лесного фонда Европейского Севера России [1]. Причем на данных территориях преобладают про-

цессы олиготрофного заболачивания (доля верховых болот на территории Архангельской области составляет около 80%) [2]. Высокая заболоченность лесного фонда делает гидромелиорацию неотъемлемой частью современного хозяйственного освоения территории. Однако осушение верховых болот признано экономически не-

эффективным [3], поэтому на осушаемых верховых болотах практически не ведется хозяйственная деятельность, а уходы за осушительной сетью не проводятся. В результате осушаемые участки заболоченных лесов на верховых торфяных почвах развиваются в ходе естественных или прогрессивных, или восстановительных сукцессий [4].

Гидромелиорация – это, прежде всего, изменение гидрологического режима участков, что впоследствии приводит к изменению микроклимата, фитоценоза и почвы, а также микробиоты и фауны осушаемого участка. Изменение гидрологических условий тесно связано с микроклиматом территории [5]. Трансформация микроклиматических условий на небольших участках заболоченных лесов в результате осушения не оказывает влияния на климат обширных территорий. Однако, при активном промышленном освоении арктических и приарктических территорий и увеличении осушаемых площадей, совокупный эффект смены микроклимата может сказаться и на климатических условиях региона в целом. Понимание сущности процессов изменения микроклимата на эффективно и неэффективно осушаемых участках необходимо как для разработки мер по рациональному и эффективному ведению лесного хозяйства на таких участках, так и для эффективного восстановления болот с целью сохранения их экосистемных функций.

Цель исследования состояла в оценке влияния гидромелиорации на микроклимат участков осушаемых сосняков кустарничково-сфагновых, не испытывающих хозяйственной деятельности человека.

#### **Материалы и методы исследования**

Районом исследования выбран сильно заболоченный водораздел трех рек: Брусовица, Шухта и Бабья, бассейна Северной Двины в 55 км от Двинского залива Белого моря. Здесь сформировалась обширная система верховых болот (площадью около 89 га) с преобладанием сосново-кустарничково-сфагновых фитоценозов на мощных верховых торфяниках, подстилаемых мореной легкого и среднего гранулометрического состава. Климат района исследования характеризуется как умеренный холодный, слабо континентальный атлантико-арктический, с выраженным влиянием Белого и Баренцева морей [6].

Ключевые участки выбраны в сосняках кустарничково-сфагновых с различной степе-

ню нарушенности гидрологического режима в результате гидромелиорации: интактный (64°18'54"N; 40°41'14"E), с эффективным (64°19'16" N; 40°41'01"E) и неэффективным осушением (64°19'22"N; 40°40'29"E). Осушительная сеть в районе исследования проложена в 1972-1974 гг. методом открытого дренажа со средним расстоянием между каналами 100 м.

Замеры температуры и влажности воздуха на ключевых участках проводили на высоте 2,0 м от земли один раз в 14 дней в течение всего вегетационного сезона (май-октябрь 2021 г.) с применением комбинированного термогигрометра-люксметра-УФ-радиометра «ТКА-ПКМ-42» (ООО «Научно-техническое предприятие «ТКА», Санкт-Петербург). Температурный режим напочвенного покрова и торфяной залежи на глубину до 1,0 м отслеживали в непрерывном режиме в течение всего вегетационного сезона (май-октябрь 2021 г.) с применением логгеров «Термохрон», помещенных в наблюдательные скважины. Данные по количеству осадков получали с метеопоста ТДБС «Брусовица». Уровень болотных вод измеряли один раз в 14 дней на каждом ключевом участке в течение всего вегетационного сезона (май-октябрь 2021 г.) в гидрологических скважинах диаметром 110 мм. На интактном участке использовали стационарные гидрологические скважины ТДБС «Брусовица». Кроме того, проанализирован массив метеорологических данных с ближайших к району исследований метеостанций «Архангельск» и «Холмогоры» [6].

Статистическую обработку полученных данных проводили с применением пакета анализа данных программы MS Excel.

#### **Результаты исследования и их обсуждение**

Анализ полученного массива данных за вегетационный сезон 2021 года по температуре и влажности воздуха показал, что между значениями данных параметров на ближайших метеостанциях и на ключевых участках существует тесная связь. Для показателей температуры воздуха корреляция линейна. Для влажности воздуха зависимости разнятся. Зависимость от влажности воздуха на метеостанции «Архангельск» полиномиальная 2 порядка, тогда как от влажности воздуха на метеостанции «Холмогоры» – линейна. Корреляционные уравнения и коэффициент корреляции приведены в таблице.

Корреляционные уравнения и коэффициенты корреляции между температурными показателями на ключевых участках и на метеостанциях

Ключевой участок	Метеостанция «Архангельск»		Метеостанция «Холмогоры»	
	уравнение	коэффициент корреляции (R)	уравнение	коэффициент корреляции (R)
Температура воздуха				
Интактный участок	$y = 1,0861x - 1,1481$	0,99	$y = 1,1224x - 1,325$	0,99
С эффективным осушением	$y = 0,9948x + 0,9445$	0,97	$y = 1,0072x + 0,5483$	0,97
С неэффективным осушением	$y = 1,1404x - 0,2956$	0,98	$y = 1,1457x - 0,5562$	0,97
Влажность воздуха				
Интактный участок	$y = -0,0098x^2 + 1,9356x - 16,268$	0,97	$y = 0,725x + 15,045$	0,91
С эффективным осушением	$y = -0,0105x^2 + 2,0791x - 16,391$	0,95	$y = 0,7673x + 16,423$	0,77
С неэффективным осушением	$y = -0,0093x^2 + 1,9545x - 17,748$	0,99	$y = 0,9316x + 3,7211$	0,95

График динамики температуры и влажности воздуха за вегетационный сезон 2021 года для ключевых участков построен на основании полученных зависимостей (рис. 1). График динамики температуры растительного покрова и торфяной залежи построен по данным логгеров (рис. 2).

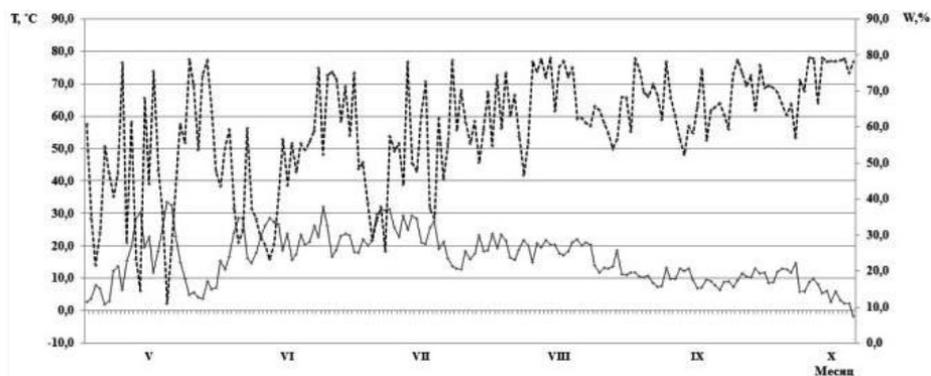
Вегетационный период на исследованной территории в 2021 г. длился 159 дней (7.05.2021-12.10.2021), что выше средне-многолетнего показателя длительности вегетационного сезона в 1,6-2,0 раза. Средняя температура июля для исследованных интактного участка составила 22,3 °С, при максимуме в 31,3 °С; для эффективно осушаемого участка – 22,1 °С, при максимуме в 30,1 °С; для неэффективно осушаемого – 24,8 °С, при максимуме в 34,1 °С. Максимумы температур в вегетационный сезон 2021 года наблюдались не только в июле, но и в мае. Во второй половине мая температура воздуха на исследованных участках кратковременно достигала 29,3-36,4 °С, сменяясь резкими снижениями до показателей 4,4-9,0 °С, что характерно для весеннего периода на территории районов Архангельской области, испытывающих влияние морских воздушных масс. Стабильное повышение температуры воздуха наблюдается с конца мая, температурные показатели достигают максимума в конце июня-начале июля (28,3-34,0 °С). Пик хода температур наблюдается в середине июля, после чего температура воздуха постепенно снижается, достигая ко 2-й декаде октября отрицательных значений.

В диапазоне низких температур, в течение всего вегетационного периода, воздух на открытом интактном участке прогревается хуже, чем на осушаемых участках, что связано с повышенным испарением и наличием ветра на участках с отсутствием древостоя. При повышении количества солнечной радиации наименьшие показатели температуры воздуха отмечаются на эффективно осушаемом участке, где поступающая солнечная радиация экранируется сомкнутым древесным пологом. На неэффективно осушаемом участке температура воздуха максимальна относительно остальных площадок в течение всего вегетационного сезона. Вероятно, здесь из-за избыточного увлажнения торфяной залежи и наличия древесного полога, пусть и разреженного, проявляется своеобразный парниковый эффект. При этом следует отметить, что разница температур воздуха на эффективно и неэффективно осушаемых участках увеличивается с повышением температуры, а при низких температурах она минимальна или отсутствует.

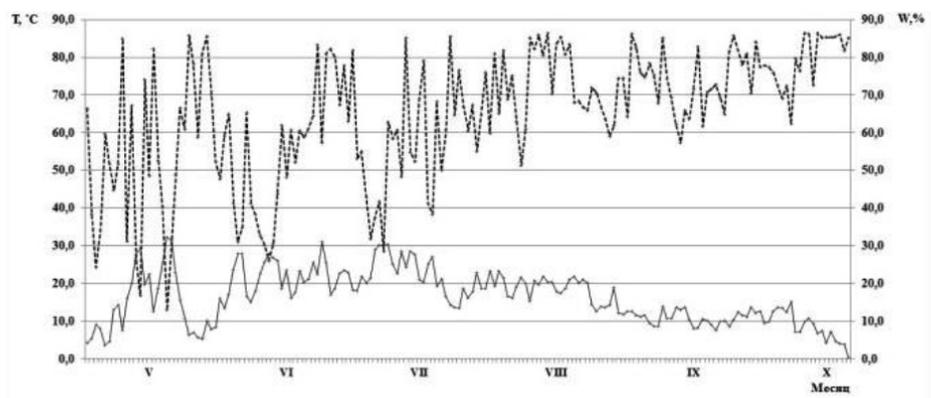
Влажность воздуха на ненарушенном участке изменяется в течение вегетационного сезона в пределах 11,0-82,1%; на участке с эффективным осушением в пределах 10,0-88,4%; на участке с признаками вторичного заболачивания 10,0-88,6%. На графиках (рис. 1) видно, что при повышении температуры воздуха его влажность снижается. Такая тенденция характерна для метеоусловий на всех исследованных участках. Однако статистически достоверной связи при про-

ведении двухфакторного корреляционного анализа не выявлено. На интактном участке обводненная торфяная залежь способствует меньшей амплитуде ежедневных колебаний влажности воздуха в течение всего вегетационного сезона, по сравнению с осушае-

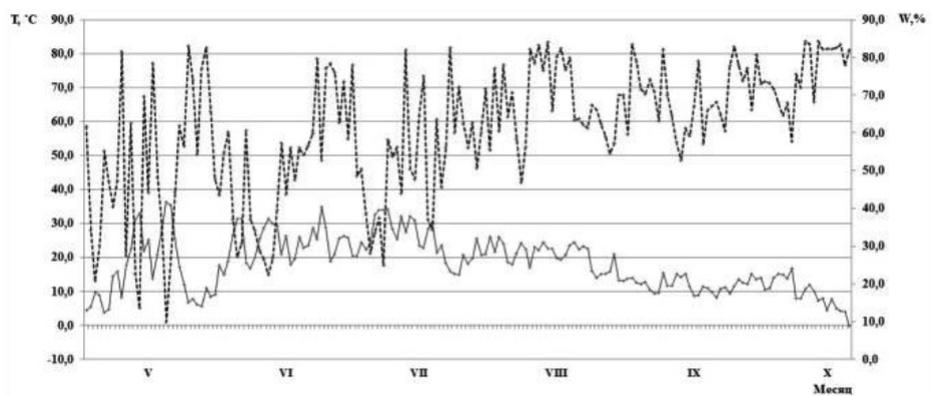
мыми участками. В диапазоне повышенной влажности (60-90%) амплитуды колебания влажности становятся значительно меньше на всех исследованных участках. В целом тенденции колебания влажности идентичны для всех исследованных участков.



а)



б)



в)

————— температура воздуха      - - - - - влажность воздуха

Рис. 1. Динамика температуры и влажности воздуха в течение вегетационного периода 2021 г.:  
а) интактный ключевой участок; б) ключевой участок с эффективным осушением;  
в) ключевой участок с неэффективным осушением

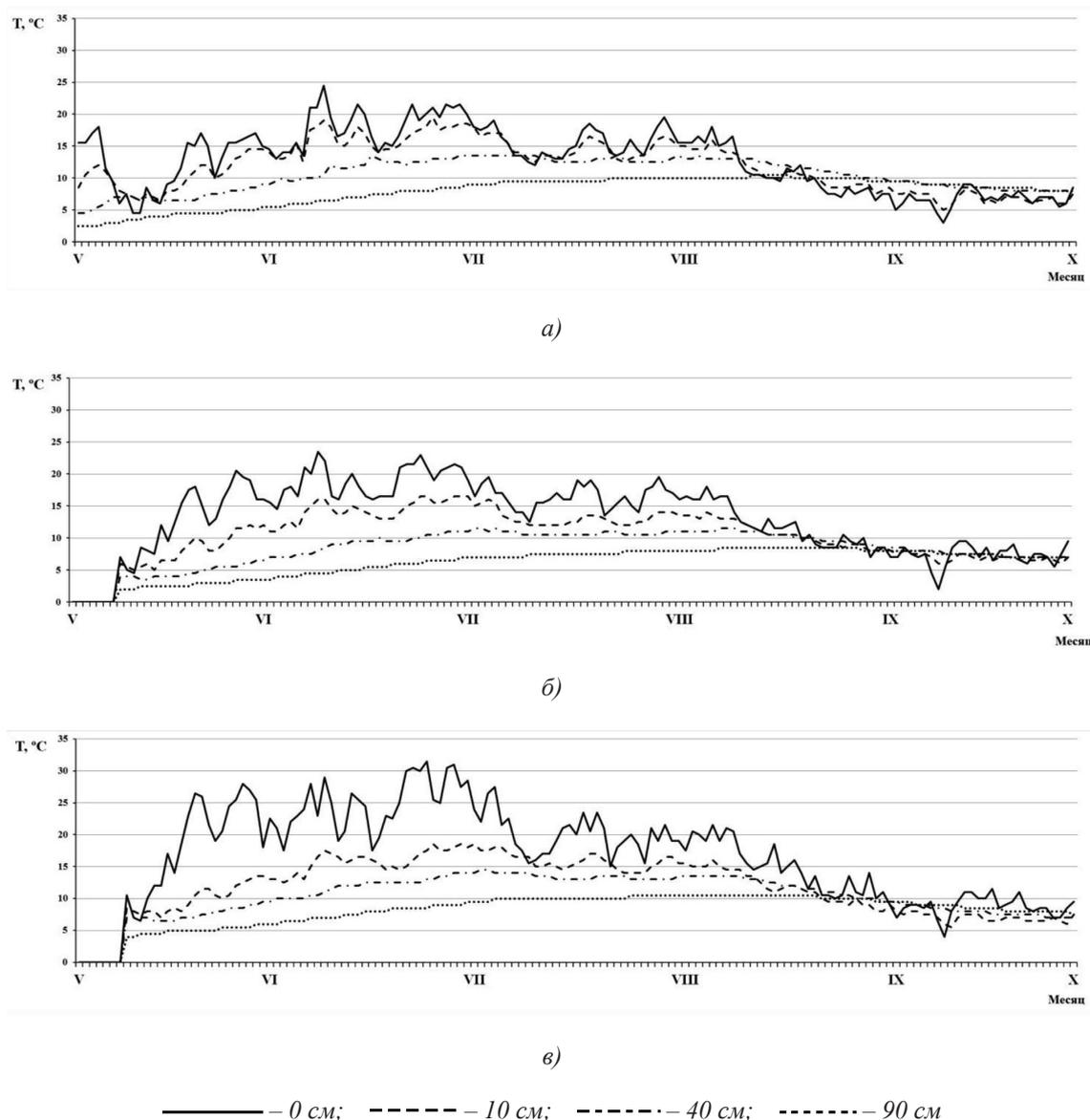


Рис. 2. Динамика температуры напочвенного покрова и торфяной залежи в течение вегетационного периода 2021 года: а) интактный ключевой участок; б) ключевой участок с неэффективным осушением; в) ключевой участок с неэффективным осушением

Тенденции, выявленные в динамике температурного режима воздуха на исследованных участках, подтверждаются термограммами торфяной залежи (рис. 2). В поверхностном слое и на глубине 10 см пиковые значения температур наблюдаются в те же даты, а максимальные значения также характерны для неэффективно осушаемого участка. Максимальные значения температуры поверхностного слоя торфяной залежи достигают  $24,5^{\circ}\text{C}$ , при этом температура воздуха составляет  $30,7^{\circ}\text{C}$ . В аналогичные периоды максимум температуры

поверхностного слоя торфяной залежи эффективно осушаемого участка не превышает  $29^{\circ}\text{C}$  при температуре воздуха  $30,1^{\circ}\text{C}$ , а для ненарушенного участка не превышает  $23,5^{\circ}\text{C}$  при температуре воздуха  $33,7^{\circ}\text{C}$ .

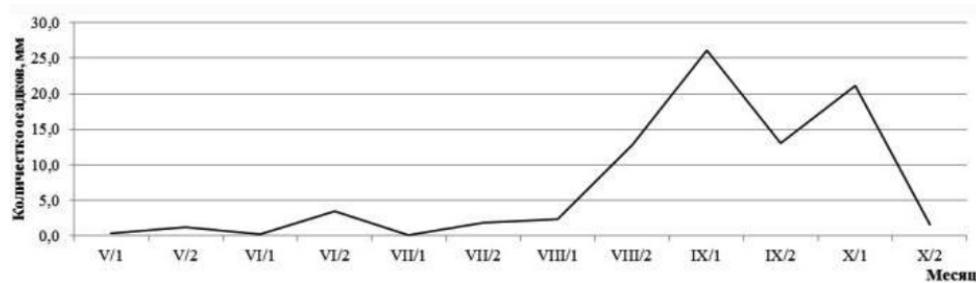
Особенности прогрева глубинных слоев торфяной залежи исследованных участков имеют ряд особенностей. В отличие от верхних слоев, колебания температуры практически отсутствуют уже на глубине 40 см. На всех участках наблюдается плавный рост температуры залежи, а затем торфяная залежь также равномерно начинает остывать. Ход

температур торфяной залежи на этих глубинах слабо зависит от температурного режима поверхностного слоя и воздуха. Плавность термограмм торфяной залежи исследованных участков связана с постепенным прогревом тела залежи в течение вегетационного сезона, а в конце августа-начале сентября нижние слои начинают также постепенно отдавать тепло верхним горизонтам. Нижние слои торфяной залежи на интактном участке максимально прогреваются к середине июля на глубине 40 см (до 13,5 °С), а на глубине 90 см максимальный прогрев (до 10,5 °С) наступает только в 3-й декаде августа. Торфяная залежь участка с эффективным осушением максимально прогревается на глубине 40 см на 2 недели раньше – в конце июня, а на глубине 90 см максимум температур наступает одновременно с максимумом температур на интактном участке. При этом максимальные значения температуры залежи в обоих слоях идентичны температурным максимумам на ненарушенном участке (13,5 и 10,5 °С соответственно). На участке с неэффективным осушением тенденции прогрева торфяной залежи по всей глубине залежи идентичны интактному. Однако максимумы температур ниже на 2,5-3,0 °С. Более быстрый прогрев торфяной залежи участка с эффективным осушением объясняется отводом талых вод осушительными канавами и хорошей аэрацией залежи, тогда как на остальных участках обводненные залежи тормозят процесс прогрева. Пониженные относительно остальных участков температурные максимумы в торфяной залежи участка с неэффективным осушением можно связать с совокупным действием древесного полога, экранирующего часть поступающей солнечной радиации, и высоким содержанием воды в залежи. Следует отметить, что остывать торфяные залежи всех исследованных участков начинают практически одновременно. Видимо, постепенное снижение температуры воздуха и повышение количества осадков в осенний период приводят к некоторому выравниванию микроклимата исследованных участков.

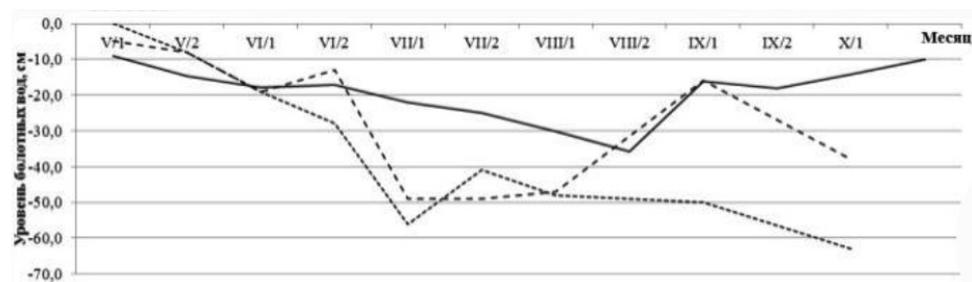
Термический режим болотных экосистем неотделим от гидрологического. С одной стороны, содержание воды в торфяной залежи является лимитирующим фактором не только для болотной флоры, но и важным регулятором микроклимата заболоченных территорий [5]. С другой, уровень болотных вод напрямую зависит от количества осадков и температурного режима конкретной территории [7]. Динамику

количества осадков за вегетационный период на исследованных участках отслеживали по данным, полученным на метеопосте ТДБС «Брусовица», расположенном в центре исследованного болотного массива (рис. 3а). Динамика уровня болотных вод на исследованных участках отражена на рисунке 3б. Максимальный уровень болотных вод наблюдается в период активного снеготаяния, когда торфяная залежь еще не оттаяла и внутренний сток затруднен. После периода активного снеготаяния уровень болотных вод на всех исследованных участках близок к дневной поверхности. На интактном участке в начале вегетационного сезона уровень несколько ниже (-9 см) за счет более эффективного испарения с открытой поверхности болота. Вегетационный сезон 2021 года, как видно из графика на рис. 3а, характеризовался малым количеством осадков (месячное количество осадков было намного ниже среднегодовой нормы).

При отсутствии осадков наблюдается постепенное снижение уровня болотных вод на всех участках. При этом на интактном участке уровень болотных вод остается выше, чем на осушаемых участках. Это можно объяснить как началом активной жизнедеятельности древесного и травянокустарничкового яруса на осушаемых участках по мере прогрева залежи в совокупности с работой осушительных каналов, так и тем фактом, что верхний слой сфагновых мхов – доминант фитоценозов олиготрофных болот – подсыхает, и процессы жизнедеятельности в напочвенном покрове затухают, а, соответственно, сокращается капиллярное поступление воды из нижних слоев залежи, что подтверждается другими исследователями [5]. Важно отметить, что в период исследования выпадение осадков происходило залпово. Преобладание ливневых осадков, а значит отсутствие глубокого смачивания напочвенного покрова интактного участка, способствовало плавному снижению уровня болотных вод, практически независимо от количества поступающих осадков. Такой характер осадков на осушаемых участках вызывал резкие колебания уровня болотных вод. Если на участке с эффективным осушением уровень болотных вод в целом имел тенденцию на снижение, то на участке с неэффективным осушением он нередко поднимался к дневной поверхности из-за зарастания каналов сфагновыми мхами и задержки воды в них после осадков, а также выхода в доминанты растительного покрова сфагновых мхов на межканальном пространстве.



а)



б)

Рис. 3. Динамика по двухнедельным периодам в течение вегетационного сезона: а) количества осадков; б) уровня болотных вод (— интактный участок; - - - - - участок с эффективным осушением; ······ - участок с неэффективным осушением)

### Заключение

Таким образом, микроклимат участков лесоболотных экосистем, вне зависимости от антропогенной нарушенности, формируется под влиянием геоклиматических условий региона. Однако изменение гидрологического режима в результате гидромелиорации способствует появлению особенностей микроклимата на осушаемых участках по сравнению с интактными. Изменяются механизмы регулирования температурного режима на участках с эффективным осушением. Если на интактном участке температурный режим регулирует в основном обводненная торфяная залежь, то на участке с эффективным осушением главным регулятором температурного режима выступает уже древесной. На участках с неэффективным осушением микроклимат, как и гидрологический режим, менее устойчивы. Дискретно обводняющаяся торфяная залежь в совокупности с функционированием древесного полога приводит к формированию парникового эффекта на таких участках. Уровень грунтовых вод на нарушенных гидромелиорацией участках сосняков кустарничково-сфагновых сильно

зависит от эффективности осушительных мероприятий. Сохранность осушительных каналов, сомкнутый древостой и отсутствие сфагновых мхов в доминантах растительного покрова обеспечивают поддержание болотных вод на уровне, комфортном для лесных экосистем, что и является основной целью лесоосушения. Тогда как на участках с неэффективным осушением обильный сфагновый покров, зарастающие каналы и угнетенный древостой не в состоянии эффективно регулировать уровень болотных вод. В результате уровень болотных вод зависит от поступления осадков, что вызывает его частые колебания в течение вегетационного сезона.

### Список литературы / References

1. Юрковская Т.К. Взаимоотношения таежных лесов и болот в пространстве и времени // Известия Самарского научного центра РАН. 2012. № 1–5. С. 1–4.
2. Соколов О.М., Ивко В.Р. Торфяные ресурсы Архангельской области и их использование. Архангельск: РИО АГТУ, 2000. 37 с.
- Sokolov O.M., Ivko V.R. Peat resources of the Arkhangelsk region and its use. Arkhangelsk: RIO AGTU, 2000. 37 p. (in Russian).

3. Тараканов А. М. Рост осушаемых лесов и ведение хозяйства в них. Архангельск: СевНИИЛХ, 2004. 228 с.

Tarakanov A.M. Growth of drained forests and management them. Arkhangelsk: SevNIILH, 2004. 228 p. (in Russian).

4. Нешатаев В.Ю. Антропогенная динамика таёжной растительности европейской России: дис.... докт. биол. наук. Санкт-Петербург, 2017. 312 с.

Neshataev V.Yu. Anthropogenic dynamics of taiga vegetation in European Russia: dis .... dokt. biol. nauk. St. Petersburg, 2017. 312 p. (in Russian).

5. Davis K.T., Dobrowski S.Z., Holden Z.A., Higuera P.E., Abatzoglou J.T. Microclimatic buffering if forests of the future: the role of the local water balance. *Ecography*. 2019. no. 42. P. 1–11.

6. Справочно-информационный портал «Гидромет-центр России» [Электронный ресурс]. URL: [http:// meteoinfo.ru/archive/russia/arkhangelsk-area/arkhangelsk](http://meteoinfo.ru/archive/russia/arkhangelsk-area/arkhangelsk) (дата обращения: 25.11.2021).

Reference and information portal «Hydrometeorological Center of Russia». [Electronic resource]. URL: [http:// meteoinfo.ru/archive/russia/arkhangelsk-area/arkhangelsk](http://meteoinfo.ru/archive/russia/arkhangelsk-area/arkhangelsk) (date of the application: 25.11.2021) (in Russian).

7. Инишева Л.И., Инишев Н.Г. Гидротермический режим лесных болот в условиях воздействия природных и антропогенных факторов // *Вестник АГАУ*. 2019. № 6 (176). С. 71–78.

Inisheva L.I., Inishev N.G. Hydrothermal regime of forest bogs under the influence of natural and anthropogenic factors // *Vestnik AGAU*. 2019. No. 6 (176). P. 71–78 (in Russian).

УДК 630\*17

## ХВОЯ ЕЛИ СИБИРСКОЙ (*PICEA OBOVATA* L.) КАК ИНДИКАТОР АЭРОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

<sup>1</sup>Попельницкая И.М., <sup>1</sup>Палкина А.А., <sup>2</sup>Шилина Н.Г., <sup>3</sup>Попельницкий Е.В.,  
<sup>1</sup>Почекутов С.И., <sup>1</sup>Герашенко С.М.

<sup>1</sup>ФГАО ВО «Сибирский федеральный университет», Институт экологии и географии,  
Институт архитектуры и дизайна, Красноярск, e-mail: office@sfu-krsk.ru;

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Красноярский государственный медицинский университет  
им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого», Красноярск, e-mail: shilinang@yandex.ru;

<sup>3</sup>Сибирский юридический институт МВД Российской Федерации,  
Красноярск, e-mail: evilmorning@mail.ru

В работе изучалось состояние искусственно высаженных деревьев ели сибирской (*Picea obovata* L.), произрастающей на двух площадях: в зоне активного загрязнения автомагистрали и условно чистой рекреационной зоне. Измерялась длина и ширина хвои 1, 2 и 3-го года жизни. Средние значения длины и ширины хвои ели, произрастающей в условно чистой зоне, больше для всех лет ее жизни. При этом отмечено увеличение скорости прироста длины для всех лет жизни хвои у деревьев, произрастающих вдоль автодороги. Доказан флуктуирующий характер асимметрии. По величине интегрального показателя оценено жизненное состояние 20 деревьев ели сибирской (*Picea obovata* L.), произрастающих на исследованных площадях Октябрьского района г. Красноярска. Средние значения интегрального показателя флуктуирующей асимметрии хвои ели, произрастающей в зоне активного загрязнения автотранспорта, статистически достоверно отличаются в зависимости от года жизни, для ели, произрастающей в рекреационной зоне эко-парка «Гремячая Грива», данные отличия отсутствуют. Интегральный показатель флуктуирующей асимметрии хвои первого и второго года в зоне активного загрязнения в два раза превышает таковой в рекреационной зоне, а для хвои третьего года прироста – в 4 раза соответственно. Выявлены различия в степени поражения хлорозом хвои ели, произрастающей на исследуемых участках, испытывающих разную антропогенную нагрузку. По всем полученным показателям уровень загрязнения вдоль автомобильной трассы выше, чем в рекреационной зоне, что свидетельствует о возможности использования ели сибирской как индикатора аэрогенного загрязнения городской среды.

**Ключевые слова:** морфометрические признаки, флуктуирующая асимметрия, направленная асимметрия, антисимметрия, ель сибирская, хлороз

## NEEDLES OF SIBERIAN SPRUCE (*PICEA OBOVATA* L.) AS AN INDICATOR OF AEROGENIC POLLUTION OF THE URBAN ENVIRONMENT

<sup>1</sup>Popelnitskaya I.M., <sup>1</sup>Palkina A.A., <sup>2</sup>Shilina N.G., <sup>3</sup>Popelnitskiy E.V.,  
<sup>1</sup>Pochekutov S.I., <sup>1</sup>Gerashchenko S.M.

<sup>1</sup>Siberian Federal University, Institute of Ecology and Geography,

Institute of Architecture and Design, Krasnoyarsk, e-mail: office@sfu-kras.ru;

<sup>2</sup>Krasnoyarsk State Medical University named after Prof. V.F. Voyno-Yasenyetsky,  
Krasnoyarsk, e-mail: shilinang@yandex.ru;

<sup>3</sup>Siberian Law Institute of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation,  
Krasnoyarsk, e-mail: evilmorning@mail.ru

The paper presents the features of artificially planted Siberian spruce (*Picea obovata* L.) trees growing in two areas: in the zone of fume pollution of the highway and conditionally clean recreational zone. The length and width of needles of the 1st, 2nd and 3rd year of life were measured. The average values of the length and width of the needles of a spruce growing in a conditionally clean zone are larger for all years. At the same time, the higher rate of length increase for all years of life of needles in trees growing along the highway was noted. The fluctuating nature of the asymmetry is proved. The vital condition of 20 Siberian spruce trees (*Picea obovata* L.) growing on the studied areas of the Oktyabrsky district of Krasnoyarsk was estimated by the value of the integral indicator. The average values of the integral indicator of the fluctuating asymmetry of spruce needles growing in the zone of exhaustive fumes statistically differ significantly depending on the year of life. As for the spruce growing in the recreational zone of the eco-park Gremyachaya Griva, these differences are absent. The integral indicator of the fluctuating asymmetry of the needles of the first and second year in the zone of active pollution is twice as high as that in the recreational zone, and for the needles of the third year the increase is 4 times, respectively. Differences in the degree of chlorosis damage to spruce needles growing in the studied areas experiencing different anthropogenic loads were revealed. According to all the obtained indicators, the level of pollution along the highway is higher than in the recreational zone, which indicates the possibility of using Siberian spruce as an indicator of aerogenic pollution for the urban environment.

**Keywords:** morphometric features, fluctuating asymmetry, directional asymmetry, antisymmetry, Siberian spruce, chlorosis

Современный город трудно представить функцией – очищения приземных слоев без древесных растений и кустарников, атмосферного воздуха, также выполняют которые наряду с важной экологической эстетическую функцию.

В озеленении города Красноярска в последние десятилетия достаточно активно используются искусственные посадки хвойных растений, в частности, ели сибирской (*Picea obovata* L.), которая является вечнозеленым растением и с эстетической точки зрения наиболее выигрышным, особенно в продолжительный зимний период. При этом необходимо учитывать, что состояние древесных растений очень сильно зависит от здоровья окружающей среды. Уровень загрязнения атмосферного воздуха города Красноярска, на протяжении последних десятилетий, характеризуется как очень высокий и высокий. Для Красноярска, как и для большинства больших городов, существует острая проблема загрязнения атмосферного воздуха передвижными источниками, вклад которых в валовые выбросы загрязняющих веществ составляет более 40% [1]. Ранее проводилась оценка стабильности развития тополя бальзамического, произрастающего вдоль автотрассы [2], в связи с чем возник интерес оценить стабильность развития ели сибирской, произрастающей в зоне активного загрязнения транспортной магистрали.

Цель исследования: оценить жизненное состояние ели сибирской, произрастающей в зоне активного загрязнения автотранспорта и в рекреационной зоне Октябрьского района г. Красноярска.

#### Материалы и методы исследования

Для исследования были выбраны две площади с простыми чистыми искусственными посадками ели сибирской на проспекте Свободном города Красноярска. Первая – в зоне активного загрязнения, на расстоянии менее 50 м от центра дороги (ПП-1), вторая площадь (ПП-2) расположена на территории эко-парка «Гремячая Грива» в этом же районе, вдали от транспортной развязки и туристических троп, в связи с чем ее можно считать условно чистой и отнести к контрольной.

На каждой исследованной площади было выбрано по 10 деревьев, высоту которых измеряли при помощи измерителя VERTEXIY.

Предварительная оценка состояния ели сибирской проводилась в соответствии с приказом Рослесхоза для хвойных пород [3].

Для изучения морфометрических признаков с каждого дерева собирали по 20 пар хвоинок первого, второго и третьего года прироста хвои. Хвоя была собрана из од-

ной и той же части кроны равномерно вокруг дерева на расстоянии вытянутой руки, что соответствует высоте рекомендованной методикой [4]. Длину хвои определяли с помощью штангенциркуля, ширину под микроскопом с помощью объект-микрометра. Материал обрабатывали сразу после сбора.

Для определения флуктуирующей асимметрии необходимо было разделить часть ветки ели пополам, так, чтобы четко можно было наблюдать побег. Затем находили иголки, лежащие симметрично друг перед другом. С каждой пары иголок снимали показатели по двум промерам с левой и правой сторон хвои (рис. 1).



Рис. 1. Схема промеров хвои ели сибирской: 1 – длина хвои, 2 – ширина хвои; 3 и 4 – левая и правая части измерений соответственно

Для оценки флуктуирующей асимметрии использовали два билатеральных признака: длину и ширину хвои [5].

Показатель флуктуирующей асимметрии для каждой пары хвоинок рассчитывали как отношение разности величин слева и справа к их среднему значению, согласно методике [6]:

$$2|(W_{л} - W_{п}) / (W_{л} + W_{п})|, \quad (1)$$

где  $W_{л}$ ,  $W_{п}$  – измеряемое значение признака с левой и правой стороны соответственно.

Распределение билатеральных признаков и их разности должно подчиняться нормальному закону распределения. Необходимо также исключить направленную асимметрию. Для оценки характера распределения использовали критерий Колмогорова – Смирнова (К-С), для оценки на-

правленности – дисперсионный анализ [7]. Обработка результатов проводилась в пакете анализа «Статистика Version10».

Для оценки стабильности деревьев использовали балльную шкалу, предложенную О.Н. Блащинской.

**Таблица 1**

Шкала балльной оценки показателей стабильности развития

Балл	Величина показателя стабильности развития (ФА)	Состояние среды
I	< 0,020	условная норма
II	0,020-0,030	умеренное загрязнение
III	0,030-0,040	значительное загрязнение
IV	0,040-0,050	сильное загрязнение
V	> 0,050	экстремальное загрязнение

Для оценки выраженности на хвое хлорозов по бонитетным классам с каждого дерева в хаотичном порядке изымалась хвоя (по 160 шт.), и для каждой хвоинки определяли класс хлороза. Хлорозы: нет сухих участков, кончик на 2-5 мм усох, усохла треть хвоинки, вся хвоинка желтая или более половины ее сухая.

#### Результаты исследования и их обсуждение

Высота деревьев на площади ПП-1  $h = 4,5 \pm 0,04$  м, на ПП-2  $h = 4,45 \pm 0,03$  м. Достоверных различий по высоте не выявлено.

В целом состояние деревьев соответствует первому баллу: хвоя зеленая, блестящая, крона густая, прирост текущего года для данной породы нормальный, таким образом, их можно отнести к здоровым без признаков ослаблений. У двух деревьев на площади ПП-1 и одного дерева на площади ПП-2 крона светлее обычного, слабо ажурная, прирост уменьшен, но незначительно, в связи с чем данные ели можно отнести к категории ослабленные. Сильно ослабленных или усыхающих деревьев на исследованных площадях нет. В результате визуальной оценки елей, произрастающих на исследуемых площадях, существенных различий не выявлено.

Флуктуирующая асимметрия хвои не должна иметь четко выраженной направленности, и характер ее изменения должен быть случайным. Правая и левая хвоинка, так же как правая и левая стороны листовой пластины, должны изменяться независи-

мо друг от друга, не должно быть направленной асимметрии (НА) и антисимметрии (АС) [8]. Для этого необходимо оценить характер распределения используемых билатеральных признаков и отсутствие достоверных различий между их значениями справа и слева.

Для исключения АС были оценены на нормальность распределения используемых признаков: длина, ширина хвои слева и справа и разность между ними для хвои первого, второго и третьего года для всех исследуемых деревьев. Так как исследовались выборки большого объема (по 200 хвоинок для каждого года жизни), оценивать характер распределения целесообразно с использованием критерия Колмогорова – Смирнова. В нашем случае, если  $K-C D_{кр} < 0,155$ , распределение подчиняется нормальному закону.

В связи с большим объемом статистических данных и графиков для подтверждения полученных результатов приведены материалы для хвои первого года для двух исследованных площадей. В качестве примера на рис. 2 приведены нормальные вероятностные графики для ширины хвои 1-го года деревьев, произрастающих в зоне активного загрязнения.

Полученные графики свидетельствуют о нормальном распределении данных билатеральных признаков, так как присутствуют лишь незначительные отклонения. При этом значения К-С равны для ширины на ПП-1:  $D_{левая} = 0,094$  и  $D_{правая} = 0,09$  для хвои 1 года;  $D_{левая} = 0,119$  и  $D_{правая} = 0,13$  для хвои 2 года;  $D_{левая} = 0,112$  и  $D_{правая} = 0,11$  для хвои 3 года. Для ширины на ПП-2:  $D_{левая} = 0,132$  и  $D_{правая} = 0,089$  для хвои 1 года;  $D_{левая} = 0,028$  и  $D_{правая} = 0,132$  для хвои 2 года;  $D_{левая} = 0,081$  и  $D_{правая} = 0,11$  для хвои 3 года. Во всех случаях статистическое значение К-С для распределения левых и правых хвоинок меньше его критического значения  $D_{ст} = 0,155$ , что свидетельствует о нормальном распределении признака.

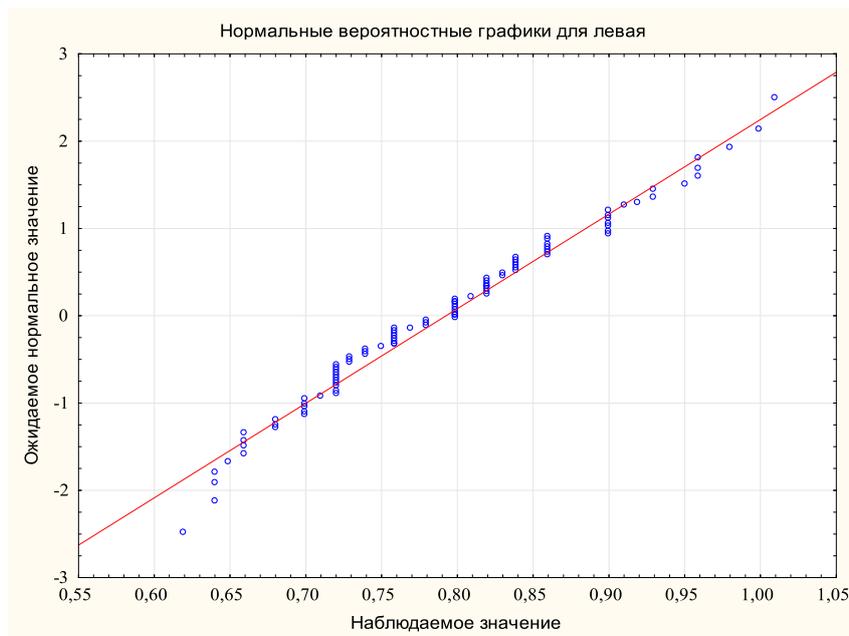
Результаты статистического анализа, распределения ширины хвои первого года ели сибирской, произрастающей в рекреационной зоне ПП-2, приведены на рис. 3.

Согласно полученным данным статистического анализа, распределение ширины хвои слева и справа (рис. 3) для площади ПП-2 подчиняется закону нормального распределения. Для ширины хвои К-С равны для ПП-1:  $D_{левая} = 0,12$  и  $D_{правая} = 0,089$  для хвои 1 года;  $D_{левая} = 0,111$  и  $D_{правая} = 0,123$  для хвои 2 года;

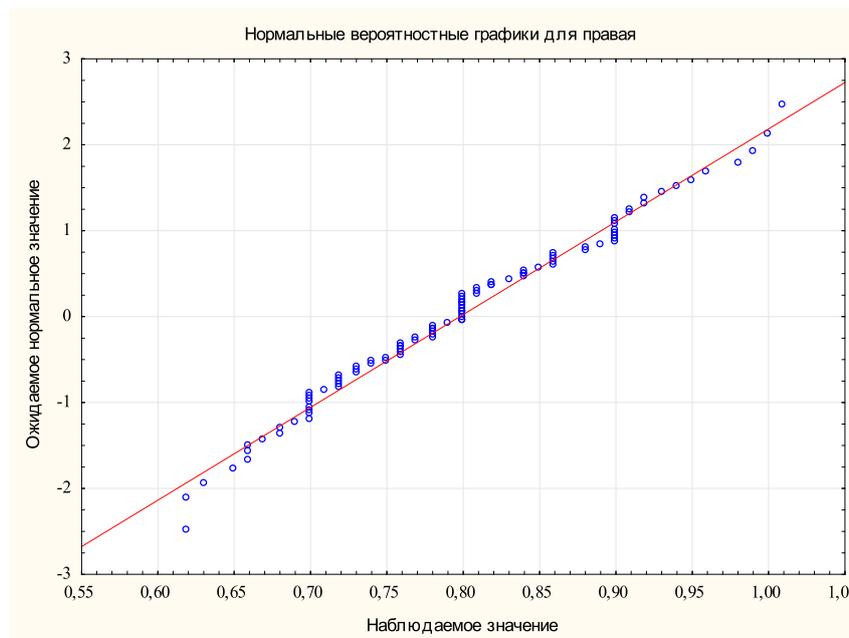
$D_{\text{левая}} = 0,081$  и  $D_{\text{правая}} = 0,101$  для хвои 3 года. Для ПП-2:  $D_{\text{левая}} = 0,0807$  и  $D_{\text{правая}} = 0,089$  для хвои 1 года;  $D_{\text{левая}} = 0,068$  и  $D_{\text{правая}} = 0,100$  для хвои 2 года;  $D_{\text{левая}} = 0,103$  и  $D_{\text{правая}} = 0,08$  для хвои 3 года. Во всех случаях статистическое значение К-С для распределения левых и правых хвоинок меньше его критического

значения  $D_{\text{ст}} = 0,155$ , что свидетельствует о нормальном распределении признака ширина хвои.

Наличие или отсутствие направленной асимметрии выявляли с помощью дисперсионного анализа, где в качестве фактора выступала «сторона» (левая, правая).



а)



б)

Рис. 2. Ширина хвои первого года ПП-1: а) левая хвоинка, б) правая хвоинка

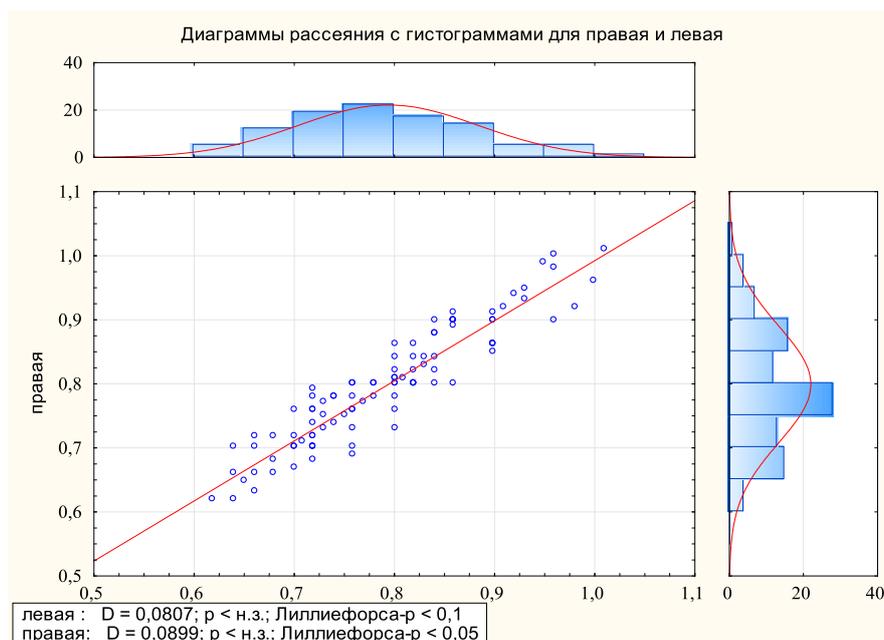


Рис. 3. Распределение ширины хвои первого года слева и справа на площади ПП-2

Таблица 2

Результаты однофакторного дисперсионного анализа  
 билатеральных признаков хвои ( $F_{кр} = 3,86$ )

Год жизни	ПП-1				ПП-2			
	Длина		Ширина		Длина		Ширина	
	$F_{эксп}$	$p$	$F_{эксп}$	$p$	$F_{эксп}$	$p$	$F_{эксп}$	$p$
1	0,19	0,66	0,32	0,57	0,09	0,76	0,16	0,68
2	0,40	0,53	0,85	0,36	1,15	0,21		
3	0,7	0,38	1,05	0,3	0,88	0,35	0,56	0,45

Для всех лет жизни хвои нет достоверных различий между значениями признаков слева и справа. Все полученные экспериментальные значения критерия меньше его критического значения  $F_{кр} = 3,86$  (табл. 3). То есть отклонения правой и левой хвоинки для каждого признака относятся к одной выборочной совокупности, следовательно, мы можем считать, что направленная асимметрия (НА) отсутствует.

Статистический анализ значений длины и ширины хвои ели сибирской подтвердил случайный характер асимметрии, что позволяет использовать интегральный показатель флуктуирующей асимметрии для оценки стабильности развития деревьев.

Расчетные значения интегрального показателя ФА приведены в табл. 3.

Значения ФА для различных лет жизни хвои ели в условно чистой рекреационной зоне не имеют статистически достоверных

отличий и соответствуют I баллу стабильности развития (табл. 1). Для ели, произрастающей в зоне активного загрязнения, значение ФА для хвои третьего года жизни статистически достоверно отличается от асимметрии хвои первого и второго года жизни ( $p < 0,05$ ). Значения ФА хвои первого и второго года жизни соответствуют III баллу стабильности развития, а третьего года – IV, что свидетельствует о значительном загрязнении (табл. 1). При этом можно отметить, что значение интегрального показателя ФА хвои первого и второго года в зоне активного загрязнения в два раза превышает значение ФА хвои ели, произрастающей в условно чистой зоне, а для хвои третьего года прироста в 4 раза соответственно. По-видимому, последнее можно объяснить уменьшением транспортного потока, связанного с пандемическими ограничениями, а также способностью хвои накапливать загрязняющие вещества [9].

**Таблица 3**

Интегральный показатель флуктуирующей асимметрии (ФА) для хвои разных лет жизни

ПП-2 эко-парк «Гремячая Грива»			
	1 год	2 год	3 год
ФА	0,014 ± 0,0015	0,016 ± 0,001	0,015 ± 0,002
ПП-1 автомагистраль			
ФА	0,033 ± 0,002	0,039 ± 0,003	0,052 ± 0,004

**Таблица 4**

Влияние участка произрастания на размеры хвои

Возраст хвои, год	ПП-1		ПП-2	
	Длина хвои, мм	Ширина хвои, мм	Длина хвои, мм	Ширина хвои, мм
1	12,8 ± 0,05	0,78 ± 0,002	14,05 ± 0,025	0,97 ± 0,002
2	15,7 ± 0,05	0,81 ± 0,005	16,8 ± 0,05	1,1 ± 0,004
3	16,4 ± 0,07	0,9 ± 0,001	17,8 ± 0,033	1,39 ± 0,005

**Таблица 5**

Процентное соотношение хвои, пораженной хлорозом

№ дерева	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ПП-1	15	25	20	33	20	15	35	20	20	15
ПП-2	8	10	15	10	10	9	25	11	10	10

Усредненные показатели длины и ширины хвои ели, произрастающей на исследуемых участках, приведены в табл. 3. Можно отметить, что эти величины варьируют в зависимости от года жизни хвои и их значения на площади ПП-1 ниже, чем на ПП-2, что совпадает с работами других авторов, отмечавших уменьшение размеров хвои при загрязнении среды [10].

Также можно отметить некую закономерность в изменении морфометрических показателей хвои. Темпы прироста длины хвои на загрязненном участке несколько выше, чем на контрольном. По-видимому, это можно объяснить некоей адаптацией растений к условиям произрастания [10].

Процентное соотношение хвои, пораженной хлорозом на исследованных участках, представлено в табл. 5.

Наибольший процент повреждения хлорозом выявлен у деревьев, относящихся к ослабленным: деревья № 4, 7 (ПП-1) и № 7 (ПП-2) (табл. 5). При этом на условно чистой площади 90% составляют хлорозы 1 и 2 класса, на площади в зоне активного загрязнения 50% составляют хлорозы 1 и 2 класса, 10% – хлорозы 4-го класса, которые в основном выявлены на ослабленных деревьях. Средние показатели поражения хлорозом для площадки ПП-1 составили  $22,5 \pm 2,21\%$ , для площадки ПП-2 –  $11,5 \pm 1,57\%$ . Степень поражения

хвои хлорозом статистически достоверно отличается  $F_{ст} = 15,02$ ,  $F_{кр} = (p = 0,001)$  для деревьев, произрастающих на различных исследуемых площадях.

### Заключение

Проведенные исследования не выявили отличий в состоянии деревьев, произрастающих на различных площадях, по их визуальной оценке.

Проведенный статистический анализ доказал случайный характер изменения билатеральных морфометрических признаков, что позволяет использовать интегральный показатель ФА для оценки состояния изученных древостоев.

Значения интегрального показателя ФА для хвои 1, 2, 3-го годов жизни на условно чистой контрольной площади (ПП-2) не имеют статистически достоверных различий, соответствуют первому баллу по шкале стабильности развития, что соответствует условной норме. Значения интегрального показателя ФА для хвои 1, 2-го годов жизни в зоне активного загрязнения также не имеют статистически достоверных различий и соответствуют третьему баллу по шкале, что свидетельствует о значительном загрязнении, для хвои третьего года на данной площади ФА соответствует четвертому баллу. Среднее значение интегрального показателя для площади ПП-1 можно отнести

к третьему баллу и оценить данную территорию как значительно загрязненную.

Длина и ширина хвои 1, 2, 3-го года жизни на площади ПП-1 меньше, чем на площади ПП-2 ( $p < 0,05$ ), при этом темпы прироста длины хвои выше на площади ПП-1, что также может свидетельствовать о более высоком уровне загрязнения на данной исследуемой площади.

Степень поражения хвои хлорозом статистически достоверна для деревьев, произрастающих на различных исследуемых площадях, и значительно выше на площади в зоне активного загрязнения.

По всем полученным показателям уровень загрязнения вдоль автомобильной трассы (ПП-1) выше, чем в рекреационной зоне (ПП-2), что свидетельствует о возможности использования ели сибирской как индикатора аэрогенного загрязнения городской среды.

#### Список литературы / References

1. Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае» за 2020 год. Красноярск. 2021. 337 с.  
State report «On the state and protection of the environment in the Krasnoyarsk Territory» for 2020. Krasnoyarsk. 2021. 337 p. (in Russian).
2. Popelnitskaia I.M., Semenova A.R., Bukharova Y.B., Popelnitskii Popov A.O. The impact of vehicle emissions on sustainability of balsam poplar (*populusbalsamifera*) in the urban environment of Krasnoyarsk. International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM, 2018. Vol. 18. Is. 5.2. P. 973–980. DOI: 10.5593/sgem2018/5.2/S20.125.
3. Приказ Рослесхоза от 10.11.2011 N 472 (ред. от 15.03.2018) Об утверждении Методических рекомендаций по проведению государственной инвентаризации лесов. [Электронный ресурс]. URL: [https://sudact.ru/law/prikaz-rosleskhoza-ot-10112011-n-472-ob-metodicheskie-rekomendatsii-po-provedeniiu-gosudarstvennoi-prilozhenie-29/zashchita-lesov/2\\_6/tablitisa-2/](https://sudact.ru/law/prikaz-rosleskhoza-ot-10112011-n-472-ob-metodicheskie-rekomendatsii-po-provedeniiu-gosudarstvennoi-prilozhenie-29/zashchita-lesov/2_6/tablitisa-2/) (дата обращения: 13.11.2021).  
The Order of the Federal Forestry Agency of 10.11.2011 N 472 (ed. of 15.03.2018) On the approval of Methodological recommendations for the state forest inventory. [Electronic resource]. URL: [https://sudact.ru/law/prikaz-rosleskhoza-ot-10112011-n-472-ob-metodicheskie-rekomendatsii-po-provedeniiu-gosudarstvennoi-prilozhenie-29/zashchita-lesov/2\\_6/tablitisa-2/](https://sudact.ru/law/prikaz-rosleskhoza-ot-10112011-n-472-ob-metodicheskie-rekomendatsii-po-provedeniiu-gosudarstvennoi-prilozhenie-29/zashchita-lesov/2_6/tablitisa-2/) (date of application: 13.11.2021).
4. Захаров В.М., Чубинишвили С.Г., Дмитриев С.Г., Баранов А.С., Борисов В.И., Валецкий А.В., Крысанов Е.Ю., Кряжева Н.Г., Пронин А.В., Чистякова Е.К. Здоровье среды: практика оценки. Центр экологической политики России. М., 2000. 320 с.  
Zakharov V.M., Chubinishvili S.G., Dmitriev S.G., Baranov A.S., Borisov V.I., Valetsky A.V., Krysanov E.Yu., Kryazheva N.G., Pronin A.V., Chistyakova E.K. Environmental health: assessment practice. Center for Environmental Policy of Russia. M., 2000. 320 p. (in Russian).
5. Скрипальщикова Л.Н., Стасова В.В. Биоиндикационные показатели стабильности развития насаждений в нарушенных ландшафтах // Сибирский лесной журнал институт леса. 2014. № 2. С. 62–72.  
Skripalshchikova, L.N., Stasova V.V. Bioindicational indicators of the stability of the development of plantings in disturbed landscapes // Sibirskiy lesnoy zhurnal institut lesa. 2014. № 2. P. 62–72 (in Russian).
6. Palmer R.A., Strobeck C. Fluctuating asymmetry analyses revisited. In: Polak, M. (Ed.), Developmental instability. Causes and consequences. Oxford University Press. 2003. P. 279–319.
7. Козлов М.В. Исследование флуктуирующей асимметрии растений в России: Мифология и методология // Российская академия наук. 2017. № 1. С. 3–12.  
Kozlov M. V. Study of fluctuating asymmetry of plants in Russia: Mythology and methodology // Rossiyskaya akademiya nauk. 2017. № 1. P. 3–12 (in Russian).
8. Попельницкая И.М., Попов А.О. Флуктуирующая асимметрия листьев тополя Бальзамического (*Populus Balsamifera* L.) в городской среде // Успехи современного естествознания. 2017. № 12. С. 72–78.  
Popelnitskaya I.M., Popov A.O. Fluctuating asymmetry of leaves of Balsamic poplar (*Populus Balsamifera* L.) in urban environment // Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya. 2017. № 12. P. 72–78 (in Russian).
9. Михайлова Т.А., Шергина О.В., Калугина О.В., Тараненко Е.Н. Хвойные деревья как биоиндикаторы загрязнения городской среды полициклическими ароматическими углеводородами // Успехи современного естествознания. 2020. № 7. С. 13–18.  
Mikhailova T.A., Shergina O.V., Kalugina O.V., Taranenko E.N. Coniferous trees as bioindicators of urban environment pollution by polycyclic aromatic hydrocarbons // Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya. 2020. № 7. P. 13–18 (in Russian).
10. Есякова О.А., Степень Р.А. Индикация загрязнения атмосферы Красноярска по морфометрическим и химическим показателям ели сибирской // Химия растительного сырья. 2008. № 1. С. 143–148.  
Yesyakova O.A., Degree R.A. Indication of Krasnoyarsk atmospheric pollution by morphometric and chemical parameters of Siberian spruce // Khimiya rastitel'nogo syr'ya. 2008. № 1. P. 143–148 (in Russian).

УДК 630\*165:630\*181.35:630\*182

## КЕДР СИБИРСКИЙ – ИНДИКАТОР СИНЕРГЕТИКИ ГЕОАКТИВНЫХ ЗОН

Рогозин М.В.

*Пермский государственный национальный исследовательский университет,  
Пермь, e-mail: rog-mikhail@yandex.ru*

Сосну сибирскую (*Pinus sibirica* Du Tour), или кедр сибирский (далее кедр), изучали в Красновишерском районе (Пермский край) в числе 25 феноменов на экологической тропе на г. Полюд. Обследовали деревья на скалах, необычные биогруппы и другие феномены. Геоактивные зоны (далее зоны) с размерами 1, 3, 8, 16, 32, 55, 76 и 110 м определяли с использованием фито- и биоиндикации. Цель работы – определить, может ли кедр служить индикатором их благоприятного действия. Выяснилось, что его деревья-феномены и благонадёжный подрост (8 объектов) формируются на сочетаниях трёх-пяти типов зон. Это подтвердило данные для 33 самых крупных его деревьев, изученных в заповеднике «Вишерский». По данным 2-8 измерений установлены пояса комфорта для его роста, равные следующим минимальным и максимальным радиусам от центров зон: на зонах размером 1 и 3 м – 0,38-0,56 м; на зонах размером 8 м – 2,6-3,4 м; на зонах размером 16 м – 2,6-6,1 м; на зонах размером 32 м – 5,5-10,8 м; на зонах размером 55 м – 6,6-10,1 м; на зонах размером 76 м – 6,6-10,1 м; на зонах размером 110 м – 48,0 м. Подтверждена гипотеза, объясняющая появление природных феноменов синергетикой излучаемых через эти зоны энергий Земли. Истечение энергий по ним происходит миллионы лет, и они скрепляют горные породы, препятствуя их разрушению, а у растений повышает выживаемость. При синергетике возможно повышение температуры почвы, поэтому нужна её термометрия. В практическом плане можно использовать сочетания поясов комфорта 3-5 геоактивных зон при проектировании рокариев и необычных композиций из деревьев в ландшафтном дизайне. В перспективе необходимо изучить их возможный оздоровительный эффект.

**Ключевые слова:** *Pinus sibirica*, древостой, геодинамические активные зоны

## SIBERIAN CEDAR – INDICATOR OF THE SYNERGY OF GEOACTIVE ZONES

Rogozin M.V.

*Perm State National Research University, Perm, e-mail: rog-mikhail@yandex.ru*

Siberian pine (*Pinus sibirica* Du Tour) or Siberian cedar (hereinafter cedar) was studied in Krasnovishersky district (Perm Krai) among 25 phenomena on the ecological trail to Mount Polyud. Trees on rocks, unusual biogroups and other phenomena were examined. Geoactive zones (hereinafter referred to as zones) with dimensions 1, 3, 8, 16, 32, 55, 76 and 110 m were determined using phyto- and bioindication. The purpose of the work is to determine whether cedar can serve as an indicator of their beneficial effect. It turned out that his phenomenon trees and trustworthily undergrowth (8 objects) are formed on combinations of three to five types of zones. This confirmed the data for 33 of its largest trees studied in the Vishersky Nature Reserve. According to the data of 2-8 measurements, comfort belts for his growth are set equal to the following minimum and maximum radii from the centers of zones: on zones 1 and 3 m in size – 0.38-0.56 m; on zones 8 m in size – 2.6-3.4 m; on zones 16 m in size – 2.6-6.1 m; on zones 32 m in size – 5.5-10.8 m; on zones 55 m in size – 6.6-10.1 m; on zones 76 m in size – 6.6-10.1 m; on zones 110 m in size – 48.0 m. The hypothesis explaining the appearance of natural phenomena by the synergetics of the Earth's energies radiated through these zones has been confirmed. Energy flows through them for millions of years, and they hold rocks together, preventing their destruction, and in plants increases survival. With synergetics, it is possible to increase the temperature of the soil, so their thermometry is needed. In practical terms, it is possible to use combinations of comfort belts 3-5 geoactive zones for human health, when designing rockeries and unusual compositions of trees of different species in landscape design. In the future, it is necessary to investigate their possible health-improving effect.

**Keywords:** *Pinus sibirica*, tree stand, geodynamic active zones

Вопросы структуры насаждений [1; 2] по-прежнему актуальны в связи с тем, что при исследованиях как молодняков, так и спелых насаждений было установлено, что конкуренция деревьев-соседей оказывала на развитие каждого дерева неожиданно очень слабое влияние, в пределах всего лишь 0.2-11% [3; 4]. Поэтому мы начали изучать влияние так называемых малых геоактивных зон (МГА-зон) [5]. Эти зоны благоприятны для биоты, и они фрактальны недавно открытым «малым кольцевым структурам рыхлых отложений земной коры» Ю.И. Фивенского [6; 7]. Однако природа их энергий,

по-видимому, иная, так как они встречаются и на равнине, и в горах, и имеют постоянные размеры 1, 3, 8, 16, 32, 55 и 110 м. Расположены эти зоны обычно через 3-7 м, иногда через 1-2 м. Каждая имеет пояс комфорта для роста растений, расположенный от центра зоны на следующих расстояниях (данные по сосне [5, с. 174]):

- зона 1 м – в радиусе 31-48 см (ослабленное влияние до 75 см);
- зона 3 м – в радиусе 31-48 см (ослабленное влияние до 150 см);
- зона 8 м – в радиусе 91-320 см;
- зона 16 м – в радиусе 145 см и далее;

– зона 32 м – в радиусе 175 см и далее;  
– зона 55 м – примерно от радиуса 270 см (данных пока недостаточно).

Эти радиусы определяли на диаграммах со многими сотнями точек-деревьев, где по горизонтали откладывали расстояние от центра основания дерева до центра ближней зоны, а по вертикали – диаметр дерева. «Старшие» зоны размером 16-55 м в поясах комфорта нейтральны для роста сосны, и на них она имела достоверно не отличающиеся от контроля диаметры. Однако если в них встраивалась комбинация сразу из двух «младших» зон размером 1 и 3 м, то в поясах комфорта этих МГА-зон сосна увеличивала диаметр на 34% и формировала стволы при объёмах в 1,9 раза больших, чем на контроле [5, с. 187].

Цель исследования: изучить поселение отдельных деревьев кедр сибирского (*Pinus sibirica* Du Tour) на геоактивных зонах, выявить пояса их комфорта для этой породы и определить, может ли кедр служить индикатором их благоприятного действия.

#### Материалы и методы исследования

Кедр сибирский (далее кедр) изучался в Красновишерском районе (Пермский край) в числе 25 природных феноменов, выделенных в 2021 г. как объекты для будущей экологической тропы на г. Полюд. Здесь проводили поиск деревьев на скалах, необычных композиций из растений и другие феномены. У каждого определяли координаты, описывали внешний вид, размеры, морфологические признаки, давали объекту рабочее название и фотографировали. Далее определяли уклон территории, тип почвы, тип леса, возраст и полноту древостоя, густоту подлеска и подростка. Затем, ориентируясь на центр объекта, мерной лентой определяли расстояние до центров малых геоактивных зон (далее просто зон), классифицированных по размерам 1, 3, 8 м («младшие» зоны) и 16, 32, 55, 76 и 110 м («старшие» зоны), из которых последние два типа определяли впервые. Использовали биолокационный метод, детально описанный в нашей монографии [5].

#### Результаты исследования и их обсуждение

После систематизации все объекты оказались локализованы на сочетании трёх-пяти типов МГА-зон в их поясах комфорта. Для анализа были выбраны 8 объектов с кедром. В качестве наиболее интересных покажем некоторые из них (рис. 1–3).



*Рис. 1. Подрост кедр в «ловушке» куста из четырёх рябин. Возраст кедр 12 лет, высота 60 см. Растёт в поясах комфорта пяти геоактивных зон*

Так, на рис. 1 подрост кедр успешно растёт на пяти МГА-зонах в окружении четырёх рябин намного старше его, которые в виде «розочки» отклоняются от него под углом до 50°, причём два самых крупных её ствола надломлены навалими снега. Вполне очевидно, что стволы рябин также испытывают благоприятное действие этих зон.

Не менее удивительно поселение кедр на плоской наклонной скале (рис. 2), где слой почвы редуцирован до 1–2 см и представлен фрагментами в виде полуразложившейся подстилки на почти голой поверхности камня, с которого мелкозём выносит вода.



*Рис. 2. Камень-скала высотой 7 м, вид с севера на её вершину и подрост кедр*

Самой же поразительной была биогруппа из сросшихся кедр и ели. Эти деревья росли вместе с раннего возраста, и ствол кедр буквально «зарастил» собой ствол ели диаметром 13 см. Оба дерева имеют возраст не менее 250 лет, а возможно, и около 300 лет, и для ели здесь он пре-

дельный (рис. 3). Центр основания ствола кедр размещается на следующих расстояниях от зон: зона 1 м – 0,55 м (слева); зона 3 м – 0,55 м (справа); зона 16 м – 5,7 м (за деревом); зона 55 м – 6,6 м (перед деревом).



Рис. 3. Кедр сибирский диаметром 70 см в возрасте 250 лет и «вырастающая» из него ель диаметром 13 см

За 50 лет работы в лесах подобное сравнение деревьев автор наблюдает лишь второй раз, тогда как «наползание» стволов деревьев на камни (а в городах на железные ограды) встречается не так уж редко. С позиций гипотезы подпитки растений энерги-

ями Земли формирование таких необычных деревьев вполне объяснимо: дерево более успешно растет там, где клетки камбия его ствола получают эти энергии в избытке.

Не менее интересными были и остальные пять объектов, фото которых оказались не столь выразительны, так как выбрать удачный ракурс мешали деревья, валеж и крупные камни. Расстояния от центров деревьев и до центров геоактивных зон показаны ниже (таблица).

Итоговые данные в таблице подтвердили наши данные о размещении 33 самых крупных деревьев кедр в заповеднике «Вишерский» на зонах размером 1 и 3 м при *обязательном* их сочетании с одной – тремя зонами размером от 16 м и более [5, с. 53, с. 96]. Подтвердились и пояса комфорта для зон 1 и 3 м, равные здесь в среднем 0,42 и 0,49 м, которые для сосны обыкновенной имели радиусы от 30 до 46 см [5]. Данных для кедр по зонам с размерами от 8 до 110 м пока недостаточно для определения точных параметров поясов их комфорта, поэтому укажем минимальные и максимальные радиусы, на которых обнаружены его деревья-феномены: на зонах размером 1 и 3 м 0,38-0,56 м (по 8 измерений); на зонах размером 8 м 2,6–3,4 м (2 измерения); на зонах размером 16 м 2,6-6,1 м (4 измерения); на зонах размером 32 м 5,5-10,8 м (4 измерения); на зонах размером 55 м 6,6-10,1 м (2 измерения); на зонах размером 76 м 6,6-10,1 м (2 измерения) и на зонах размером 110 м – по 48,0 м (2 измерения).

Объекты-феномены с кедром сибирским на г. Полуд и благоприятные зоны

№	Рабочее название объектов	Обозначение	Радиусы от центров зон размером от 1 до 110 м, м:							Итого зон	
			1 м	3 м	8 м	16 м	32 м	55 м	76 м		110 м
1	Кедр в «ловушке» куста из четырёх рябин	К	0,40	0,52		2,6			37,0	48,0	5
2	Кедр на краю камня	К 20	0,38	0,42		3,2			19,0		4
3	Кедр, подрост на скале 7 м	К	0,41	0,45	3,4	6,1	10,4				5
4	Подрост кедр на камне	К	0,40	0,56				10,1			3
5	Подрост кедр	К	0,38	0,45			8,8				3
6	Биогруппа К + Е, между ними 64 см	К 38	0,40	0,48	2,56		5,6				4
		Е 39*	0,42*	0,50*	2,5*		4,9*				4*
7	Старый кедр и вросшая в него ель	К 70	0,55	0,55		5,7		6,6		48,0	5
8	Красивый подрост кедр	К	0,40	0,46			10,8				3
Статистические показатели:											
число			8	8	2	4	4	2	2	2	32
минимум			0,38	0,42	2,56	2,6	5,6	6,6	19,0	48,0	
среднее			0,42	0,49	2,98	4,4	8,9	8,35	28,0	48,0	
максимум			0,55	0,56	3,4	6,1	10,8	10,1	37,0	48,0	

Примечание: Е – ель. К – кедр; цифра указывает диаметр дерева, а если её нет, то это подрост; \* – данные для ели не учитывали.

На меньших радиусах внутри этих зон живые деревья уже не встречались, и эти радиусы следует отнести к поясу ингибирования.

Мы привели лишь несколько фотографий, и они выступают здесь как некий собирательный образ явления, причины которого традиционные науки объяснить не могут. Чтобы подойти к таким объяснениям, мы долго занимались исследованиями по лесной селекции, лесным культурам, лесоведению, лесной таксации, моделированию, а в настоящее время изучаем несколько тысяч деревьев с учётом площади питания каждого. Нами опубликовано более 200 статей и восемь монографий. И только вполне убедившись за многие годы, что эти исследования не дают *полной количественной оценки* причин подобных феноменов, мы начали привлекать геоактивные зоны и статистический анализ их влияния. В этом направлении мы работаем 15 лет, расширяя тем самым спектр абиотических условий существования фитоценозов включением в эти условия глубинных энергий Земли.

Показанные выше феномены классическое лесоведение и почвоведение объяснить не могут и уходят от ответов на прямо поставленные вопросы – почему деревья успешно растут на скалах почти без почвы и почему образуют биогруппы из конкурирующих пород?

Перед полевым сезоном 2021 г. мы опубликовали статью [8], где на космоснимке г. Муни-Тумп в заповеднике «Вишерский» были найдены десятки мест с кольцевыми структурами размером 30-220 м из скал и растений, которые можно посмотреть в нашей статье [8]. Их выявляли на космоснимках по прогалинам, цепочкам деревьев и скальным обнажениям. По результатам обследований оказалось, что эти необычные кольцевые структуры располагаются на геоактивных зонах размером 32, 55, 76, 110 и 220 м. Они подобны кольцевым структурам Ю.И. Фивенского, однако их фрактальность, по-видимому, чисто внешняя, и они представляют собой особый класс глубинных энергий Земли, так как их размеры постоянны и в горах, и на равнине [8]. Их центры не заняты деревьями, но напочвенный покров там есть. Это похоже на пояс депрессии, а так как с увеличением размера зон он увеличивается [5, с. 174], то для кедра следует ожидать его в радиусе 5-6 м от центра для зон размером 32 м и более, что подтверждается данными в таблице (таблица).

В той же статье [8] была выдвинута гипотеза, что излучение энергий из недр

Земли по геоактивным зонам происходит миллионы лет, и они скрепляют горные породы, препятствуя их разрушению, а у растений способствуют их лучшей выживаемости и росту. Это может быть вызвано их синергичностью, а также интерференцией излучаемых Землей волн нескольких типов с усилением их положительного действия на деревья кедра в данном случае, а также на биоту в целом. Так как в микросейсмомагнитных исследованиях существует проблема сильных помех [9], то в данное время фито- и биоиндикация представляют собой пока более эффективные методы регистрации таких геоактивных зон.

Для использования на практике, например в ландшафтном дизайне, при проектировании композиций из скал и деревьев, необходимо сочетать пояса комфорта 3-5 геоактивных зон: двух «младших» и одной-трёх «старших». Тогда успех будет обеспечен.

Эти же сочетания зон следует использовать и при поиске мест для проверки гипотезы синергичности МГА-зон, а также второй её части, где возможна их синергичность с излучением Солнца. Гипотеза может быть проверена мониторингом термометрии почвы на глубине 2-5 см в течение нескольких суток на серии опытных точек, где сочетаются пояса комфорта 3-5 зон. Закладка контрольных точек возможна по нескольким вариантам: 1) отсутствие зон размером 1, 3 и 8 м; 2) отсутствие зон размером от 1 до 32 м; 3) отсутствие зон размером от 1 до 110 м. Последний вариант найти труднее всего, так как даже по варианту 2 нейтральные места занимают всего 3-7% территории [5, с. 146].

Высказанные гипотезы объясняют появление описанных феноменов взаимодействием биоты с излучениями Земли. Открытые Ю.И. Фивенским кольцевые структуры [6] и гипотеза этого автора, объясняющая их появление микросейсмическими «встряхиваниями» поверхности на 0,001 мм каждые 6-10 секунд, подводит нас к принятию идеи о том, что Земля «живёт» как физический мегаорганизм. Часть её энергий можно назвать «тонкими», и приборы их пока не регистрируют, но их «знают» деревья. И мы надеемся, что наши работы подвигнут исследователей к созданию приборов для измерения этих тонких энергий, столь необходимых для выживания растений в самых суровых условиях. Поэтому от восхищения природными феноменами нужно переходить к их изучению

самыми разными методами, которые можно отнести к разделу лесной биофизики [10].

Все описанные объекты можно включить в экологическую тропу. Очарование необычности в объяснениях причин природных феноменов, возникающих под влиянием глубинных энергий Земли и излучаемых миллионы лет, будет её уникальной особенностью.

### Заключение

Таким образом, кедр сибирский успешно выживает и растёт с самого раннего возраста только на сочетании поясов комфорта 3–5 геоактивных зон размером от 1 до 110 м. Подтверждена гипотеза, объясняющая появление природных феноменов синергетикой излучаемых через эти зоны энергий при определенном положении их центров; излучение энергий из недр Земли по ним происходит миллионы лет, и они скрепляют горные породы, препятствуя их разрушению, а у растений максимально улучшают их рост и выживаемость. При синергетике возможно повышение температуры почвы и её минеральных включений, и для её проверки нужна термометрия в местах-аналогах. Так как в микросейсмомагнитных исследованиях существует проблема сильных помех, то пока фито- и биоиндикация более эффективны. В практическом плане можно использовать геоактивные зоны при проектировании рокариев и необычных композиций деревьев в ландшафтном дизайне. В перспективе необходимо исследовать их возможный оздоровительный эффект.

### Список литературы / References

1. Колобов А.Н. Моделирование пространственно-временной динамики древесных сообществ: индивидуально-ориентированный подход // Лесоведение. 2014. № 5. С. 72–82.  
 Kolobov A.N. Modeling of the spatial-temporal dynamics of tree communities: an individually oriented approach // Lesovedeniye . 2014. № 5. P. 72–82 (in Russian).  
 2. Суховольский В.Г., Захаров Ю.В., Ковалев А.В. Моделирование дефектов в горизонтальной структуре лесных насаждений // Хвойные boreальной зоны. 2016. Т. 34. № 3–4. С. 174–179.

Sukhovolsky V.G., Zakharov Yu.V., Kovalev A.V. Modeling of defects in the horizontal structure of forest plantations // Khvoynyye boreal'noy zony. 2016. Vol. 34. № 3–4. P. 174–179 (in Russian).

3. Усольцев В.А. Продукционные показатели и конкурентные отношения деревьев. Исследование зависимостей. Екатеринбург: УГЛТУ, 2013. 556 с.

Usoltsev V.A. Production indicators and competitive relations of trees. Dependency research. Yekaterinburg: UGLTU, 2013. 556 p. (in Russian).

4. Рогозин М.В. Структура древостоев: конкуренция или партнерство? Пермь: ПГНИУ, 2019. 223 с.

Rogozin M.V. Structure of forest stands: competition or partnership? Perm: PGNIU, 2019. 223 p. (in Russian).

5. Рогозин М.В., Михалев В.В., Рыбальченко А.А. Лесные экосистемы и факторы неотектоники. Пермь: ПГНИУ, 2020. 249 с.

Rogozin M.V., Mikhalev V.V., Rybalchenko A.A. Forest ecosystems and factors of neotectonics. Perm: PGNIU, 2020. 249 p. (in Russian).

6. Фивенский Ю.И. Малые кольцевые структуры рыхлых отложений земной коры. Научное открытие. Диплом ОТП РАН № 02-д/02 от 22.10.2002.

Fivenskiy Yu.I. Small ring structures of loose deposits of the Earth's crust. Scientific discovery. Diploma of OTP RAS No. 02-d/02 dated 10/22/2002 (in Russian).

7. Фивенский Ю.И. Использование материалов аэрокосмических съёмок для изучения земной коры // Геодезия и картография. 2006. №1. С. 44–52.

Fivenskiy Yu.I. The use of aerospace survey materials for the study of the Earth's crust // Geodeziya i kartografiya. 2006. № 1. P. 44–52 (in Russian).

8. Рогозин М.В., Михалев В.В. Высшие растения – фитоиндикаторы геоактивных зон в горах и на равнине // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии. 2021. Т. 20. № 1. С. 373–378. DOI: 10.14258/pbssm.2021075.

Rogozin M.V., Mikhalev V.V. Higher plants – phyto-indicators of geoactive zones in the mountains and on the plain // Problemy botaniki Yuzhnoy Sibiri i Mongolii. 2021. Vol. 20. № 1. P. 373–378. DOI: 10.14258/pbssm.2021075 (in Russian).

9. Гульельми А.В. Ультранизкочастотные электромагнитные волны в коре и в магнитосфере Земли // Успехи физических наук. 2007. Т. 177. № 12. С. 1257–1276.

Guglielmi A.V. Ultra-low-frequency electromagnetic waves in the Earth's crust and magnetosphere // Uspekhi fizicheskikh nauk. 2007. Vol. 177. № 12. P. 1257–1276 (in Russian).

10. Тихонова И.В. Четыре опоры к фундаменту современного устойчивого лесоводства // Лесные экосистемы: современные вызовы, состояние, продуктивность и устойчивость. Материалы междунар. научно-практ. конф., посвященной 90-летию Института леса НАН Беларуси (Гомель, 13–15 ноября 2020 г.). Гомель: Институт леса НАН Беларуси, 2020. С. 97–101.

Tikhonova I.V. Four pillars to the foundation of modern sustainable forestry Lesnyye ekosistemy: sovremennyye vyzovy, sostoyaniye, produktivnost' i ustoychivost'. Materialy mezhdunar. nauchno-prakt. konf., posvyashchennoy 90-letiyu Instituta lesa NAN Belarusi (Gomel', 13–15 noyabrya 2020 g.). Gomel': Institut lesa NAN Belarusi, 2020. P. 97–101 (in Russian).

УДК 633.1

**СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КАЧЕСТВЕННЫХ ПРИЗНАКОВ, УРОЖАЙНОСТИ И НЕКОТОРЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ГЕНОТИПОВ НУТА (*CICER ARIETINUM* L.)****Салманова М.Р.***Институт генетических ресурсов НАНА, Баку, e-mail: salmanovamahbuba@gmail.com*

В исследовательской работе изучены количественные и качественные показатели интродуцированных из генбанка ICARDA 76 генотипов нута (*Cicer arietinum* L.), и на основе полученных результатов был проведен статистический анализ. Каждый из исследованных признаков показал высокую генетическую вариацию. Самую высокую широту вариации среди признаков показала высота растения, его коэффициент вариации был  $KV = 84,8$ , а самая низкая широта вариации была у ширины боба, коэффициент вариации которой составил  $KV = 0,012$ . Кластерный анализ был построен на основании индекса генетического евклидова расстояния метода UPGMA пакета статистических программ PAST. Исследованные генотипы, согласно показанным признакам, были сгруппированы в 3 основных кластера. Генотипы, близкие друг к другу по различным признакам, были отобраны в соответствующие кластеры. В результате корреляционного анализа, в ходе определения связей между признаками, было обнаружено, что между высотой растения и высотой первого боба ( $r = 0,689^*$ ), шириной боба ( $r = 0,316^*$ ), количеством бобов на одном растении ( $r = 0,358^*$ ), урожайностью с одного квадратного метра площади ( $r = 0,388^*$ ), урожайностью с одного растения ( $r = 0,365^*$ ) существует положительная значимая зависимость, между массой 100 семян и урожайностью с одного растения ( $r = -0,315^*$ ) – отрицательная, а между массой 100 семян и количеством бобов с одного растения ( $r = 0,470^*$ ) – положительная значимая зависимость. Между содержанием жиров и количеством белка ( $r = -0,415^*$ ), высотой до первого боба ( $r = -0,428^*$ ), урожайностью с одного квадратного метра площади ( $r = -0,389^*$ ) существует отрицательная значимая зависимость. Из всех исследуемых образцов Flip13-70c, Flip13-364c, Flip 13-258c, Flip10-345c, Flip11-08c, Flip11-198c, Flip11-45c были оценены как наиболее урожайные, перспективные образцы.

**Ключевые слова:** нут, белок, качество, урожайность, водопоглощающая способность**STATISTICAL ANALYSIS OF QUALITATIVE TRAITS, PRODUCTIVITY, AND SOME TECHNOLOGICAL INDICES OF CHICKPEA (*CICER ARIETINUM* L.) GENOTYPES****Salmanova M.R.***Institute of Genetic Resources, Baku, e-mail: salmanovamahbuba@gmail.com*

In the research work, the quantitative and qualitative indicators of 76 chickpea genotypes (*Cicer arietinum* L.) introduced from the ICARDA genebank were studied, and on the basis of the results obtained, a statistical analysis was carried out. Each of the traits studied showed high genetic variation. Among the traits, the highest variation range was found for the plant height with  $CV = 84.8$ , and the lowest variation range was observed for the pulse width with  $CV = 0.012$ . Cluster analysis is based on the Euclidean genetic distance index of the UPGMA method of the PAST statistical software package and based on these indices, the studied genotypes were grouped into three main clusters. Genotypes having close genetic characteristics were selected and separated according to the clusters. As a result of correlation analysis, a positive significant relationship was detected between the plant height and height of the first pulse ( $r = 0.689^*$ ), pulse width ( $r = 0.316^*$ ), the number of pulses per plant ( $r = 0.358^*$ ), productivity per square meter ( $r = 0.388^*$ ), productivity per plant ( $r = 0.365^*$ ). Whereas, a negative significant relationship was found between mass of 100 seeds and productivity per plant ( $r = -0.315^*$ ) and a positive significant correlation was detected between the number of pulses per plant ( $r = 0.470^*$ ). A negative significant correlation was found between the oil and protein content ( $r = -0.415^*$ ), the height of the first pulse ( $r = -0.428^*$ ), and productivity per area of 1m<sup>2</sup> ( $r = -0.389^*$ ). The samples Flip13-70c, Flip13-364c, Flip 13-258c, Flip10-345c, Flip11-08c, Flip11-198c, Flip11-45c were chosen as the most productive and promising genotypes.

**Keywords:** Chickpea, protein, quality, productivity, water absorption capacity

Почвенно-климатические условия нашей республики очень пригодны для выращивания бобовых культур. Из бобовых растений нут, культивируемый с древних времен, считается ценным растением. Нут (*Cicer arietinum* L.) – самоопыляемое, обладающее диплоидным числом хромосом ( $2n = 16$ ), однолетнее растение с величиной генома 740 Мб. Это растение принадлежит к роду *Cicer* ряда *Viceae*, объединяющего в себе основные виды семейства *Papilionacea* семьи *Leguminosae* [1]. Нут

(*Cicer arietinum* L.) является одним из самых важных бобовых растений с экономической точки зрения. Он выращивается на территории общей площадью приблизительно 14,56 миллиона гектаров. Более 55 стран производят 14,78 миллиона тонн нута [2]. Одной из самых важных особенностей нута является то, что он играет роль предшественника для других растений. Наряду с накоплением в почве в большом количестве азота, он улучшает питание фосфором и калием растений, посаженных после

себя [3]. Нут является источником большого количества углеводов и белка. В нуте они составляют приблизительно 80% общей массы семян (6,7), что значительно превышает их содержание в сравнении с семенами других бобовых культур. С этой точки зрения повышение составных элементов, то есть качества бобовых, является серьезной задачей [4]. Являясь ценным зернобобовым растением, нут занимает важное место в рационе населения мира [5]. Образцы нута в соответствии с цветом, формой и размером семян подразделяются на два вида: кабули и деси. В Азербайджане больше всего используется тип нута кабули. Площадь произрастания высококачественного нута кабули в Азербайджане составляет около 100 000 гектаров. Это указывает на то, что наша страна среди стран-экспортеров занимает положение более значимое, чем Мексика. Нут типа кабули используется как в виде зеленой массы, так и в виде сухой, нут типа деси используется в качестве кормового [6]. Сорты нута кабули выращиваются в основном в Западной Азии, Северной Африке, Северной Америке и Европе. 75% производства мирового нута выращивается в Индии. По объемам мирового урожая нут является второй бобовой культурой после фасоли. Увеличение урожайности нута, улучшение его качества является самой актуальной задачей данного периода. Цель

исследования – изучение качественных характеристик местных и индуцированных образцов гороха, выращиваемых в Азербайджане, и создание более качественных сортов путем отбора.

#### Материалы и методы исследования

В исследовательской работе были использованы образцы нута, интродуцированные из ICARDA. На Апшеронской опытной базе Института генетических ресурсов НАНА было высажено 76 образцов нута, привезенных из ICARDA. Полевые опыты были поставлены во II-III декаде ноября, в период вегетации над изучаемыми образцами регулярно проводились фенологические наблюдения, было определено количество дней до цветения и полного созревания, были определены: рост растений, число веток первой-второй степени, урожайность, масса 100 семян, число бобов с одного растения, ширина-длина боба, число семян с одного растения, масса семян с одного растения. Были проведены биохимические и технологические анализы образцов, определены и сравнительно изучены по отношению к показателям урожайности биохимические анализы белка [7], жиров [8], технологические анализы влажности, водопоглощающей способности [9], соотношения оболочки к ядру. В табл. 1 представлены изученные генотипы.

Таблица 1

Исследуемые местные и интродуцированные генотипы нута (*Cicer Arietinum* L.)

Название образца	Происхождение	Название образца	Происхождение
1 Flip13-70c	ICARDA	39 Flip11-21c	ICARDA
2 Flip13-151c	ICARDA	40 Flip10-338c	ICARDA
3 Flip13-153c	ICARDA	41 Flip11-167c	ICARDA
4 Flip13-154c	ICARDA	42 Flip11-76c	ICARDA
5 Flip13-194c	ICARDA	43 Flip11-175c	ICARDA
6 Flip13-227c	ICARDA	44 Flip11-70c	ICARDA
7 Flip13-234c	ICARDA	45 Flip10-332c	ICARDA
8 Flip13-240c	ICARDA	46 Flip11-125c	ICARDA
9 Flip13-247c	ICARDA	47 Flip11-05c	ICARDA
10 Flip13-250c	ICARDA	48 Flip11-208c	ICARDA
11 Flip13-251c	ICARDA	49 Flip93-93c	ICARDA
12 Flip13-253c	ICARDA	50 Flip11-32c	ICARDA
13 Flip13-258c	ICARDA	51 Flip11-66c	ICARDA
14 Flip13-261c	ICARDA	52 Flip11-205c	ICARDA
15 Flip13-277c	ICARDA	53 Flip11-140c	ICARDA
16 Flip13-278c	ICARDA	54 Flip11-08c	ICARDA
17 Flip13-282c	ICARDA	55 Flip11-198c	ICARDA
18 Flip13-308c	ICARDA	56 Flip11-11c	ICARDA
19 Flip13-314c	ICARDA	57 Flip11-209c	ICARDA
20 Flip13-320c	ICARDA	58 Flip11-215c	ICARDA

Окончание табл. 1			
Название образца	Происхождение	Название образца	Происхождение
21 Flip13-330c	ICARDA	59 Flip11-45c	ICARDA
22 Flip13-335c	ICARDA	60 Flip11-72c	ICARDA
23 Flip13-336c	ICARDA	61 Flip11-210c	ICARDA
24 Flip13-338c	ICARDA	62 Flip10-318c	ICARDA
25 Flip13-340c	ICARDA	63 Flip11-16c	ICARDA
26 Flip13-343c	ICARDA	64 Flip11-58c	ICARDA
27 Flip13-356c	ICARDA	65 Flip11-138c	ICARDA
28 Flip13-358c	ICARDA	66 Flip10-345c	ICARDA
29 Flip13-364c	ICARDA	67 Flip88-85c	ICARDA
30 Flip13-369c	ICARDA	68 Flip11-105c	ICARDA
31 Flip13-376c	ICARDA	69 Flip11-01c	ICARDA
32 İLC-48c(st)	ICARDA	70 İLC-482c	ICARDA
33 Flip82-150c	ICARDA	71 Flip11-216c	ICARDA
34 Flip88-85c	ICARDA	72 Flip82-150c	ICARDA
35 Flip93-93c	ICARDA	73 Flip11-214c	ICARDA
36 Ст Нармин	Азербайджан	74 Султан	Азербайджан
37 Flip11-12c	ICARDA	75 Flip11-190c	ICARDA
38 Flip11-104c	ICARDA	76 Flip11-15c	ICARDA

### Результаты исследования и их обсуждение

В результате биоморфологических наблюдений была определена пигментация растения, волосистость, форма стебля, тип листьев, размеры молодых листьев, цвет и число цветков. В фенологических наблюдениях были отмечены дни всходов, процент прорастания семян на поле, число дней до фаз цветения и созревания. После сбора урожая был проведен структурный анализ 5 растений каждого образца: определены высота растения, число ветвей, число бобов на одном растении, размеры боба, число семян в каждом бобе, масса 100 семян, урожайность одного растения. Образцы посева были посажены и изучены в сравнении со стандартным местным сортом Нармин. Сроки вегетации составляли 220-225 дней. Фаза цветения в образцах нута составляла 158-165 дней, фаза образования боба – 176-182 дня. Цветение образцов Flip13-250c, Flip13-258c, Flip13-261c, Flip13-277c, Flip13-278c, Flip13-340c, Flip13-343c в сравнении с сортом Нармин наступало позднее. Сроки образования боба также происходили соответственно позднее. Согласно исследованию, проведенному российскими учеными, эти фазы меняются в зависимости от погодных условий и генотипа сортов. Они делили генотипы по срокам созревания на 3 группы: ранне-созреваемые (75-82 дней), поздне-созреваемые (96-102 дней) и созревающие в средние

сроки (83-95 дней). На основании их опытов у образцов период зацветания бобов очень затягивался, через 50 дней после посева семян оно продолжалось 20-35 дней. Образование бобов наступало на 4-7 дней позже после начала цветения [10]. В наших опытах высота растений в образцах составила 43-81 см, число продуктивных веток I и II степени составили 2-1; 2-3 единицы. У изучаемых образцов число бобов на одном растении было 5-106 единиц, высота, на которой располагался первый боб – 19-53 см, ширина боба варьировала между 1,2 и 2,5 см, длина – 1,7-3 см, масса 100 семян была равна 26,5-54,5 г. Урожайность этого растения варьировала между 3 и 22,9 г, урожайность на 1 м<sup>2</sup> – 36,9-280 г. При исследовании 76 образцов нута изучали влажность, водопоглощающую способность семян, соотношение оболочки к ядру. По результатам исследования образцы Flip13-70c (12%), Flip11-70c (15%), Flip11-125c (17%), Flip11-208c (15%), Flip11-198c (14%) обладали высоким процентом влажности. По толщине оболочки были отобраны генотипы с самыми толстыми оболочками: Flip13-343c (7%), Flip13-364c (8%), Flip13-247c (7%), Flip11-11c (8%), STNarmin (7%). Из этих генотипов толщина оболочки у образцов Flip13-364 (8%), Flip11-11c (8%) выше по сравнению со стандартным сортом Нармин (7%). У остальных образцов толщина оболочки была равна 5-6%. В исследованиях, проводимых в Турции, толщина оболочки нута измеряется гравиметрически

с точностью до 0,001 мм с помощью цифрового микрометра. Ими было определено, что оболочка семени нута равна 5-19%. В сравнении с нашими исследованиями водопоглощающая способность нута высчитывалась согласно разнице между мокрой и сухой мукой [11]. В наших исследованиях водопоглощающая способность была высока в образцах Flip13-70с (97%), Flip13-151с (95%), Flip13-335с (99%), Flip13-336с (99%), Flip13-369с (98%), Flip11-58с (97%), Flip11-15с (99%), Flip11-214с (96%), Flip11-21с (96%), Flip10338с (99%). Нами был проведен анализ жиров и белков, и по его результатам отобраны образцы с их высоким содержанием. В образцах нута Flip82-85с (26,2%), Flip93-93с (24,4%), Flip10-338с (24,4%), Flip11-76с (25,3%), Flip11-70с (24,4%), Flip10-332с (24,4%), Flip11-205с (24,0%), Flip11-215с (24,4%), Flip11-45с (26,2%), Flip11-210с (24,0%), Flip10-318с (24,4%), Flip11-16с (29,3%), Flip11-138с (25,3%), Flip11-214с (25,3%), Sultan (24,0%), Flip11-190с (24,4%) показатели результатов анализа были выше, чем у стандартного сорта Нармин (23,5%). Если обратиться к показателям анализа жиров, то самые высокие результаты показали образцы Flip13-70с (12%), Flip13-234с (12%), Flip13-240с (11%), Flip13-251с (11%), Flip13-261с (11%), Flip13-277с (11%), Flip13-308с (11%), Flip13-338с (11%), Flip13-340с (14%), тогда как у стандартного сорта Нармин он составлял 7%. Согласно результатам исследовательских работ ученых Саудовской Аравии, процент белка в генотипах нута варьировал между 19,8 и 24,9%, а процентное содержание жира варьировало между 3,6 и 5,1% [12]. Полученные ими результаты показателей процентного содер-

жания белка и жира были ниже, чем в генотипах нута, выращиваемых на территории Азербайджана. Среднее значение каждого параметра было использовано для статистических подсчетов в статистической компьютерной программе PAST, SPSS.

Статистический анализ информации. Среднее значение каждого параметра использовалось для статистических расчетов. Статистические анализы осуществлялись с помощью статистической компьютерной программы SPSS. Для всех исследуемых признаков было дано среднее значение, стандартное отклонение (Сот.), стандартная ошибка (СОш.) и коэффициент вариации (КВ%), широта вариации (диапазон), минимальные, максимальные оценки указаны в табл. 2. Каждый из исследованных признаков показал высокую генетическую вариацию. Самую высокую широту вариации среди признаков показала высота растения, его коэффициент вариации был КВ = 84,8, а самая низкая широта вариации была у ширины боба, коэффициент вариации которой составил КВ = 0,01. Высота растения до первого боба обладала высоким коэффициентом вариации (КВ = 58,1), а масса 100 семян (КВ = 29,8), урожайность одного растения (КВ = 20,9), водопоглощающая способность (КВ = 26,6) имели средний коэффициент вариации. Несмотря на то что водопоглощающая способность показала низкую широту вариации, коэффициент вариации был достаточно высоким. Коэффициент вариации у жиров и белков составил соответственно КВ = 4,42; 4,09, и показал относительно влажности и толщины оболочки более высокую вариацию, а также в сравнении с общей вариацией имел показатели ниже средних.

Таблица 2

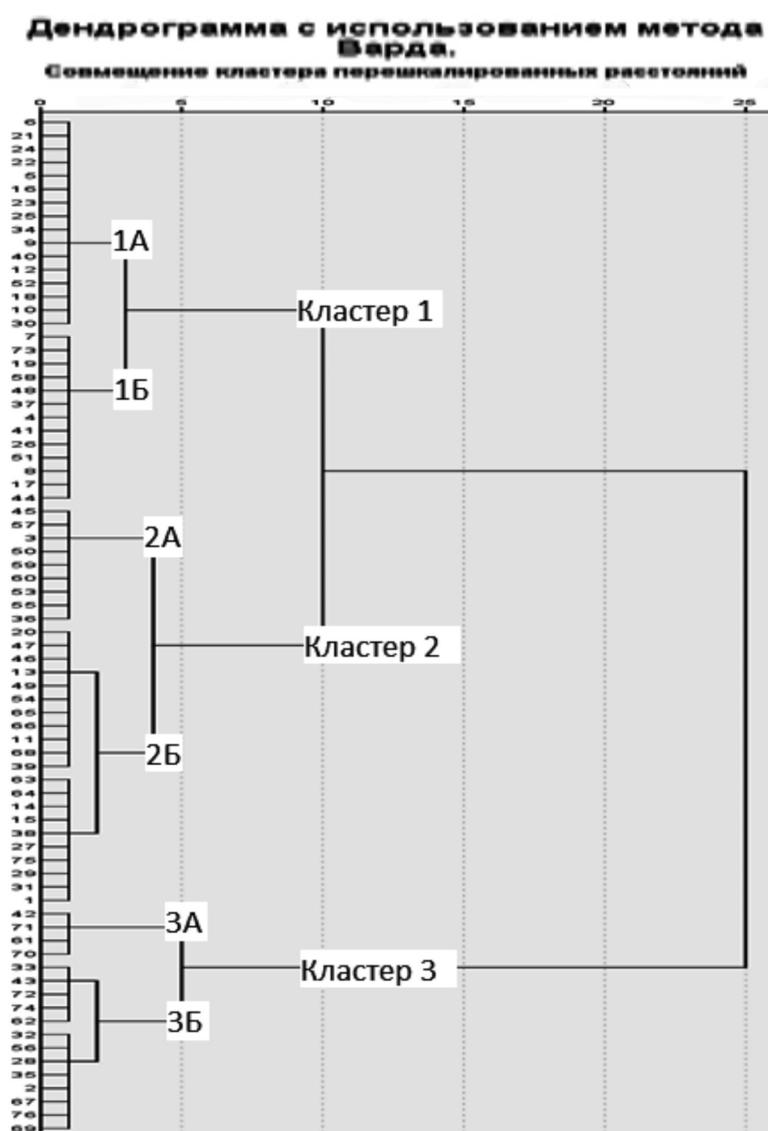
Статистические показатели генотипов нута

	ЖИРЫ	БЕЛКИ	ВР	ВПБ	ШБ	ДБ	МСС	УОР	ВЛЖ	ООС	ВС
СОш.	0,24	0,23	1,05	0,87	0,01	0,02	0,62	0,52	0,14	0,08	0,5
Сот.	2,10	2,02	9,20	7,61	0,11	0,23	5,46	4,57	1,29	0,77	5,1
КВ%	4,42	4,09	84,8	58,06	0,01	0,05	29,8	20,9	1,68	0,60	26,6
Диапазон	9,00	12,0	38,0	34,00	0,50	1,80	28,0	19,9	8,0	4,00	19
Минимум	5,00	17,3	43,0	19,00	1,20	1,50	26,5	3,00	9,0	4,00	80
Максимум	14,0	29,3	81,0	53,00	1,70	3,30	54,5	22,9	17,0	8,00	99

Примечания: ВР – высота растений, см, ВПБ – высота первого боба, см, ШБ – ширина боба, см, ДБ – длина боба, см, МСС – масса ста семян, г, УОР – урожайность оого растения, г, ВС – водопоглощающая способность, %, ООС – отношение оболочки к семени, %, СОш. – стандартная ошибка, Сот. – стандартное отклонение, КВ – коэффициент вариации, %, Влж – влажность, %.

*Кластерный анализ.* Кластерный анализ был построен на основании индекса евклидова генетического расстояния пакета статистических программ SPSS. Известно, что кластерный анализ является важным методом для выявления сходств и отличий генотипов. Как показано на рисунке, изучаемые нами генотипы по указанным признакам сгруппированы в 3 кластера. Первый кластер содержит 29 генотипов, которые разделены на 2 субкластера. Из них 21 генотип находился в субкластере 1А, а 8 генотипов – в субкластере 1В. Образцы в первом субкластере представляют собой генотипы, близкие по высоте растений, высоте до первого боба, ширине и длине бобов, содержанию влаги и толщине скорлупы. Образцы Flip13-234с, Flip13-369с, Flip10-338с

показали высокий результат по высоте растения, Flip13-308с, Flip11-214с, Flip11-70с – по массе 100 семян, а также они близкие друг к другу генотипы. Образцы, находящиеся во втором субкластере, близки друг к другу по процентному содержанию жиров и белков, а также по водопоглощающей способности. Среди новых элитных образцов, сгруппированных в этом кластере, у образцов Flip13-227с, Flip13-330с оказался самый низкий индекс евклидова расстояния (4,567), то есть эти генотипы считаются самыми близкими друг к другу. Второй кластер расположен в более широком диапазоне. Это включает 30 генотипов. Они разделены на 2 субкластера. В первом субкластере 2А было 25 генотипов, а во втором субкластере 2В – 5 генотипов.



*Группирование образцов согласно индексу евклидова генетического расстояния*

Таблица 3

Корреляционная зависимость между признаками

	БЕЛКИ	ВР	ВПБ	ЧБР	ШБ	ДБ	МСС	УОР	УМ <sup>2</sup>	ВЛЖ	ООС	ВС
ЖИРЫ	-0.415**	-0,188	-0.428**	-0,008	-0,167	-0.245*	-0,113	0,013	-0.389**	0,047	0,05	-0,072
БЕЛКИ		0,094	0.365**	-0,055	0.284*	0,07	0,070	0,134	0,177	-0,03	-0,01	0,046
ВР			0.689**	0.358**	0.316**	0,098	-0,09	0.365**	0.388**	-0,03	0,171	-0,04
ВПБ				-0,127	0,209	0,135	0,059	0,01	0.340**	0,02	-0,027	-0,02
ЧБР					0,068	-0,120	-0.470**	0.733**	0.354**	-0,06	0,176	-0,15
ШБ						0.370**	0.239*	0,180	-0,041	0,21	0,03	0,168
ДБ							0,095	-0,04	-0,09	0,11	-0,08	0,172
МСС								-0.315**	-0,225	0,20	-0.282*	0.256*
УОР									0.341**	0,018	0,03	-0,00
УМ <sup>2</sup>										-0,15	-0,075	-0,21
ВЛЖ											0,006	0,036
ООС												0,036

Примечания: ЧБР – число бобов с растения, число; УМ<sup>2</sup> – урожайность с площади в 1 м<sup>2</sup>, г.

Образцы из первого субкластера являются генотипами, близкими друг к другу по ширине-длине боба, влажности, форме оболочки, водопоглощающей способности, а образцы из второго субкластера, помимо этих признаков, близки по урожайности с одного растения, числу бобов на одном растении, массе 100 семян, урожайности на один квадратный метр и процентному содержанию белков и жиров. Образцы второго кластера являются образцами, отличающимися по высоте растений, урожайности одного растения, урожайности на квадратный метр, форме оболочки и водопоглощающей способности. В отличие от образцов других кластеров, они по всем признакам обладают высокой урожайностью. Стандартный сорт Нармин также относится ко второму кластеру.

Третий кластер включает 17 генотипов, и генотипы в этом кластере также расположены в двух субкластерах. Из них 12 генотипов располагались в субкластере 3А, у которых наблюдалось сходство в ширине-длине боба, урожайности на один квадратный метр, урожайности с одного растения, влажности и водопоглощающей способности. Оставшиеся 5 образцов находятся во втором субкластере 3В. Эти генотипы близки друг к другу, наряду с некоторыми признаками образцов первого подкластера, по высоте растений и форме оболочки. Самыми высокоурожайными генотипами являются образцы Flip13-70с, Flip13-364с, Flip 13-258с, Flip10-345с, Flip11-08с, Flip11-198с, Flip11-45с. Образцы из третьего кластера по показателям урожайности относятся к среднеурожайным. Образцы Flip82-150с, Flip11-76с, Flip11-11с, Flip11-

210с, Flip10-318с, Flip11-01с, наряду с тем что являются высокоурожайными, близкие друг к другу генотипы. Так как генетическое расстояние между первым и вторым образцами очень отдаленное, эти генотипы самые близкие друг к другу.

*Корреляционный анализ.* Была подсчитана корреляция между двумя признаками. Корреляционный анализ может стать источником ценной информации о самых важных особенностях при оценке генотипов [13; 14]. Определив признаки, показавшие значительную корреляцию, по одному признаку можно заранее сделать прогноз о другом, и это может облегчить выбор подходящего генотипа. Из табл. 3 становится ясно, что некоторые из изученных признаков показывают настолько значительную зависимость друг от друга, что могут участвовать в селекционных программах. Между высотой растения и высотой первого боба ( $r = 0,689$ ), шириной боба ( $r = 0,316$ ), числом бобов на одном растении ( $r = 0,358$ ), урожайностью с одного квадратного метра ( $r = 0,388$ ), урожайностью с одного растения ( $r = 0,365$ ) существует положительная значимая зависимость. В отличие от этой работы в исследованиях генотипов нута индийскими учеными между высотой растения и фазой цветения, фазой формирования бобов, между урожайностью одного растения и фазой формирования бобов, образованием веток первой и второй степени наблюдалась положительная значимая зависимость [15]. Было обнаружено, что между массой 100 семян и урожайностью с одного растения существует отрицательная ( $r = -0,315$ ), а числом бобов на одном растении – положительная ( $r = 0,470$ ) зна-

чимая зависимость. Также было обнаружено, что между урожайностью одного растения и числом бобов с одного растения ( $r = 0,733$ ), между урожайностью с одного квадратного метра площади и высотой до первого боба ( $r = 0,340$ ), числом бобов с одного растения ( $r = 0,354$ ) и урожайностью с одного растения ( $r = 0,341$ ), между шириной боба и его длиной ( $r = 0,370$ ) существуют положительные значимые зависимости. Между содержанием жиров и количеством белка ( $r = -0,415$ ), высотой до первого боба ( $r = -0,428$ ), урожайностью с одного квадратного метра площади ( $r = -0,389$ ) существует отрицательная значимая зависимость. Между содержанием белка и высотой до первого боба ( $r = 0,365$ ) обнаружена положительная значимая зависимость, а шириной боба ( $r = 0,284$ ) – мало значимая зависимость.

### Заклучение

По результатам данной исследовательской работы можно прийти к заключению, что среди местных и интродуцированных образцов есть генотипы, обладающие высокими качественными показателями. Они находятся в обратной зависимости с показателями урожайности. Показатели урожайности находятся друг с другом в положительной зависимости. Из образцов были отобраны самые перспективные генотипы, которые в будущем будут использованы в качестве первичного материала для получения новых сортов нута.

### Список литературы / References

1. Van Der Maesen L.J.G., Saxena M.C., Singh K.B. Origin, history and taxonomy of chickpea. In: The Chickpea (eds.) Cab International, England. 1987. P. 11–34.
2. Manish B., Chellapilla B., Rutwik B.D., Mahendar T., Pooran M.G. Integrating genomics for chickpea improvement: achievements and opportunities. Theoretical and Applied Genetics. 2020. Vol. 133. no. 5. P. 1703–1720.
3. Пшеничная Н.А., Филатова Н.А., Беляева Е.П., Истомина О.Н. Оценка качества сортообразцов гороха на заключительном этапе селекционного процесса // Зернобобовые и крупяные культуры. 2017. № 3. С. 23.
4. Pshenichnaya N.A., Filatova N.A., Belyayeva E.P., Istomina O.N. Assessment of the quality of specimens of pea varieties at the final stage of the breeding process // Zernobobovyye i krupyanyye kultury. 2017. No 3. P. 23 (in Russian).
5. Mercedes M.P., Alejandro V., Fatima D.T., Clara A.T., Helena M.M., Javier A.B., Teresa M.D. Comparison of bioactive compounds content and techno-functional properties of pea and bean flours and their protein isolates. Plant Foods for Human Nutrition. 2020. Vol. 75. no. 10. P. 642–650.
6. Muhammad A., Sibel D., Fereshteh R., Mortaza H. Multiple shoot regeneration of plumular apices of chickpea. Turkish Journal of Agriculture and Forestry. 2013. Vol. 37. P. 33–39.
7. Isabel A., Salvador Horacio G.M., Sara Meyeth M.S., Jorge Alberto A.G. Steaming and toasting reduce the nutritional quality, total phenols and antioxidant capacity of fresh kabuli chickpea (*Cicer arietinum* L.). Plant Foods for Human Nutrition. 2020. Vol. 75. no. 4. P. 628–634.
8. Парахним П.В., Кобозев И.В., Горбачев И.В. Биометрические показатели формирования урожая зернобобовых культур в горной зоне Дагестана // Зернобобовые культуры. 2006. № 6. С. 78–90.
9. Parakhnim P.V., Kobozev I.V., Gorbachev I.V. Biometric indicators of the formation of the yield of leguminous crops in the mountainous zone of Dagestan // Zernobobovyye kul'tury. 2006. No 6. P. 78–90 (in Russian).
10. Вавилов П.П., Посыпанов Г.С. Бобовые культуры и проблемы растительного белка. М.: Россельхозиздат. 1983. С. 56–260.
11. Vavilov P.P., Posypanov G.S. Leguminous crops and plant protein problems. M.: Rosselkhozizdat. 1983. P. 56–260 (in Russian).
12. Gamlath J., Aldred G.P., Panozzo J.F. Barley (1-3; 1-4)- $\beta$ -glucan and arabinoxylan content are related to kernel hardness and water uptake. Journal of Cereal Science. 2008. Vol. 47. no. 2. P. 365–371.
13. Куркина Ю.Н. Вегетация коллекционных образцов овощных бобов в Белгороде // Белгородский национальный исследовательский университет, г. Белгород. 2016. С. 49–51.
14. Kurkina Yu.N. Vegetation of collection samples of vegetable beans in Belgorod // Belgorodskiy natsional'nyy issledovatel'skiy universitet, g. Belgorod. 2016. P. 49–51 (in Russian).
15. Sedat S., Selen Ç.K. Nohutta tane (tohum) kabuğunun tüm tanenin fiziksel, kimyasal ve beslenme özellikleri üzerine etkisi. Mersin Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü. Mersin, Türkiye. The Journal of Food. GIDA. 2017. Vol. 42. no. 4. P. 468–476.
16. Muhammad A.K., Megahed H.A., Hussein M.M., Ehab H.E.H., Magdi A.O., Muhammad F., Salem S.A. Comparative nutritional profiles of various faba bean and chickpea genotypes. International Journal Of Agriculture & Biology. 2015. Vol. 17. no. 3. P. 449–457.
17. Гаджиева С.В. Оценка биоразнообразия генотипов граната (*P. Granatum* L.) распространенных в Азербайджане по некоторым признакам урожайности // Проблемы развития АПК региона. 2020. № 3(43). С. 32–40.
18. Hajiyeva S.V. Assessment of biodiversity of pomegranate (*P. Granatum* L.) genotypes for some yield characteristics widespread in Azerbaijan // Problemy razvitiya APK regiona. 2020. Vol. 3 (43). P. 32–40 (in Russian).
19. Norman P.E., Tongoono P., Shanahan P.E. Determination of interrelationships among agr-morphological traits of yams (*Discorea* spp.) using correlation and factor analyses. J. Appl. Bios. 2011. P. 3059–3070.
20. Thakur N.R., Toprope V.N., Koppuravuri S.P. Estimation of genetic variability, correlation and path analysis for yield and yield contributing traits in chickpea (*Cicer arietinum* L.). International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. 2018. P. 2298–2304.

УДК 630\*181.351:504.062.2

## ЭКОСИСТЕМНЫЕ ФУНКЦИИ ЛЕСОВ ОРЕНБУРГСКОЙ ОБЛАСТИ В УСЛОВИЯХ ВНЕДРЕНИЯ ESG-СТАНДАРТОВ

<sup>1</sup>Сафонов М.А., <sup>2</sup>Сафонова Т.И.

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации», Оренбургский филиал,  
Оренбург, e-mail: safonovmaxim@yandex.ru;

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный аграрный университет»,  
Оренбург, e-mail: ti\_safonova@mail.ru

Развитие концепции устойчивого развития привело к появлению ESG-стандартов, которые содержат требования к экологизации производства и более бережному отношению к среде обитания человека. Значительное внимание к лесным экосистемам связано с их вкладом в поддержание баланса оксида углерода в атмосфере, нарушение которого ведет к глобальным изменениям климата. Цель этой работы – анализ экосистемных функций лесных экосистем Оренбургской области для оценки перспектив превращения их в социально-экологические системы, соответствующие основным целям ESG-стратегии. Лесные экосистемы оцениваются с применением двух взаимодополняющих подходов: экономического, основанного на расчете реальной и потенциальной прибыли, и экологического, основанного на учете ценности каждого из элементов биоты, их вклада в устойчивое существование природных систем и поддержание среды существования человека в рамках определенной территории. К собственно экосистемным функциям лесных экосистем можно отнести обеспечение круговорота веществ и средообразующие функция. Стоимость вклада лесов в круговорот углерода, выраженного через его депонирование в древесине, составляет примерно в 200 млн евро в год. Лесные экосистемы обладают особым микроклиматом, отличающимся от климата прилегающих безлесных территорий повышенной влажностью, меньшими перепадами температуры и снижением циркуляции; леса являются специфичной средой обитания для широкого спектра видов – «силвантов». Сохранение лесных экосистем – одна из целей устойчивого развития и один из важных показателей ESG-стандартов, для достижения которых необходимы следующие действия: интегральная экономическая оценка всех ресурсов леса; восстановление и модернизация лесного фонда – с учетом потребности региона в карбоновых полигонах; создание комплекса социально-экологических систем для формирования устойчивого комплекса природных и социальных условий для производственной и рекреационной активности жителей с учетом принципов экологической безопасности, сохранения природного наследия и рационального использования природных ресурсов.

**Ключевые слова:** лесные экосистемы, оценка функций лесов, социально-экономические системы, ESG-стандарты, Оренбургская область

## ECOSYSTEM FUNCTIONS OF FORESTS OF THE ORENBURG REGION IN THE CONTEXT OF THE DEPLOYMENT OF ESG-STANDARDS

<sup>1</sup>Safonov M.A., <sup>2</sup>Safonova T.I.

<sup>1</sup>Russian Academy of National Economy and Public Administration under the President of the Russian Federation, Orenburg branch, Orenburg, e-mail: safonovmaxim@yandex.ru;

<sup>2</sup>Orenburg State Agricultural University, Orenburg, e-mail: ti\_safonova@mail.ru

The development of the concept of sustainable development has led to the emergence of ESG standards, which contain requirements for the greening of production and a more careful attitude to the human environment. Considerable attention to forest ecosystems is caused by their contribution to maintaining the balance of carbon monoxide in the atmosphere, the violation of which leads to global climate change. The purpose of this work is to analyze the ecosystem functions of forest ecosystems of the Orenburg region to assess the prospects for their transformation into socio-ecological systems corresponding to the main objectives of the ESG strategy. Forest ecosystems are evaluated using two complementary approaches: economic, based on the calculation of real and potential profits, and ecological, based on taking into account the value of each of the elements of biota, their contribution to the sustainable existence of natural systems and the maintenance of the human environment within a certain territory. The proper ecosystem functions of forest ecosystems include the ensuring of the cycle of matter and the environment-forming function. The value of the contribution of forests to the carbon cycle, expressed through its deposition in wood, is approximately 200 million euro per year. Forest ecosystems have a peculiar microclimate that differs from the climate of adjacent treeless territories by increased humidity, lower temperature drops and reduced circulation; forests are a specific habitat for a wide range of «sylvan» species. Conservation of forest ecosystems is one of the goals of sustainable development and one of the important indicators of ESG standards, to achieve which the following actions are necessary: integrated economic assessment of all forest resources; restoration and modernization of the forest fund – taking into account the needs of the region in carbon landfills; creation of a complex of socio-ecological systems for the formation of a sustainable complex of natural and social conditions for industrial and recreational activity of population, taking into account the principles of environmental safety, preservation of natural heritage and rational use of natural resources.

**Keywords:** forest ecosystems, assessment of forest functions, socio-economic systems, ESG standards, Orenburg region

Глобализация в сфере экономики, культурных и научных взаимодействий привела к появлению и развитию глобального мышления, особенно в вопросах, связанных с оценкой состояния окружающей среды. Концепция устойчивого развития, согласо-

ванная странами – членами ООН в 2015 г., представляет собой модель развития цивилизации, когда достигается удовлетворение жизненных потребностей нынешнего поколения людей без лишения такой возможности будущих поколений. Цели устойчивого развития включают важнейшие глобальные и региональные проблемы – экологические (качественная среда обитания человека, сохранение экосистем и глобального биоразнообразия и др.), социальные (ликвидация нищеты, голода, уменьшение неравенства и др.), экономические (ответственное потребление и производство, недорогостоящая энергия, индустриализация и др.) [1]. Несмотря на глобальную значимость указанных целей, их реализация в значительной степени зависит от эффективности реализации национальных и региональных программ. Практическое отражение Концепции устойчивого развития – разработка ESG-стандартов (Ecology, Sociality, Governing), которые представляют собой систему показателей эффективности достижения целей устойчивого развития.

Особенно большое внимание в последние годы уделяется экологическим аспектам устойчивого развития. Это связано с негативными тенденциями в климате планеты, а точнее – с глобальным потеплением. Последствия этих изменений ощущаются в настоящее время, и, вероятно, их интенсивность будет нарастать в дальнейшем (глобальное изменение климата, увеличение частоты опасных природных явлений, изменение экосистем и уничтожение некоторых из них, нехватка водных ресурсов, в том числе питьевой воды, изменения в промышленности и сельском хозяйстве, таяние ледников и, как следствие, повышение уровня Мирового океана, затопление ряда территорий). Такого рода масштабные изменения окажут серьезное влияние на общество и экономику.

Основной причиной изменения климата считается увеличение в атмосфере парниковых (углекислый газ, метан, озон, пары воды) и так называемых непарниковых (оксиды серы, азота) газов. Особую озабоченность вызывает прогрессирующее увеличение концентрации оксида углерода в атмосфере от природных и антропогенных источников, однако резкий рост содержания этого газа в первую очередь связан с техногенными источниками – промышленность, энергетика, транспорт [2]. В целом причинами, обуславливающими повышение содержания углекислого газа, являются рост

населения планеты и увеличение потребления ресурсов, сокращение площадей лесов и других естественных экосистем, загрязнение водных экосистем и Мирового океана в целом, интенсификация использования природных ресурсов из-за увеличения объемов производства.

Решение проблемы ускорения роста содержания углекислого газа в атмосфере планеты может быть реализовано в двух направлениях: сокращение выбросов и декарбонизация среды техническим и естественным путем.

Сокращение выбросов подразумевает переход на «зеленую энергетику», «зеленую металлургию» и т.п. Действия по декарбонизации экономики и производства, которые являются одной из важнейших составляющих ESG-курса, предпринимаемые в разных странах мира, показывают, что это процесс длительный и весьма затратный [3–6].

Разработанные и частично апробированные технологии улавливания, использования и/или консервации углекислого газа пока не дают ощутимого эффекта [7, 8].

Другой путь декарбонизации атмосферы – при помощи естественных систем, т.е. экосистем, существование которых изначально включало депонирование углерода. К сожалению, нерациональное использование природных ресурсов привело к существенным потерям естественного разнообразия биосферы, в том числе экосистемного. Этот путь выгоднее технологического, так как больше отвечает целям устойчивого развития в разных аспектах, хотя и требует больше времени на реализацию.

Мы поставили перед собой цель – рассмотреть экосистемные функции лесных экосистем Оренбургской области для оценки перспектив превращения их в социально-экологические системы, соответствующие основным целям ESG-стратегии.

### **Материалы и методы исследования**

Для оценки экосистемных функций лесов были использованы методы анализа картографических и статистических материалов; визуальные наблюдения, проведенные в ряде лесов региона.

### **Результаты исследования и их обсуждение**

Оренбургская область расположена на юго-востоке европейской части Российской Федерации. Основа ее экономики – сельское хозяйство; промышленность

представлена предприятиями нефтегазодобывающей и перерабатывающей отраслей (переработка нефти и газа, черная и цветная металлургия, переработка сельскохозяйственной продукции). По объемам выбросов загрязняющих веществ Оренбургская область относится к регионам Российской Федерации с наибольшими объемами выбросов. Среднегодовая величина выбросов оксида углерода от стационарных источников достигает 512 тыс. т, из которых более половины составляют эмиссии при добыче топливно-энергетических полезных ископаемых, примерно треть объема выбросов дают предприятия металлургии и производства готовых металлических конструкций [9]. Основной объем выбросов парниковых газов приходится на добычу нефти и газа.

Большая часть территории области имеет равнинный характер, и для нее типичной является травяная растительность (степи, луга и сельскохозяйственные угодья на их месте). Леса занимают около 5% площади региона (697,4 тыс. га) [10]. В большинстве районов древесная растительность приурочена к постоянным водотокам; также леса произрастают на склонах сыртов и в предгорьях Уральских гор [11]. В Предуралье и Зауралье есть отдельные хвойные лесные массивы. Основные лесообразующие древесные растения: дуб, тополь, береза, осина, клен, липа, вяз, сосна.

Объект нашего исследования – лесные экосистемы региона, ценность которых, как и прочих биологических ресурсов, оценивается в сочетании двух взаимодополняющих подходов:

- экономического, основанного на расчете реальной и потенциальной прибыли (в денежном выражении);

- экологического, основанного на учете ценности каждого из элементов биоты, их вклада в устойчивое существование природных систем и поддержание среды существования человека в рамках определенной территории [12].

Специфика любых биологических ресурсов, в том числе ресурсов леса, определяется разнообразием их функций: хозяйственных, социальных, экологических [11].

Хозяйственная функция определяется видами – источниками прибыли в настоящее время или потенциальными ресурсами, которые пока не используются из-за малых запасов или недостаточной изученности. К экологической составляющей относятся все функции биоты или ее составных ча-

стей, определяющие функционирование экосистем и существование среды обитания человека. Социальные функции – производные от двух первых функций, поскольку интерес общества к природным объектам определяется в первую очередь возможностью их использования для получения прибыли или в качестве элемента рекреационной деятельности.

Лесные ресурсы включают в себя не только запасы древесины, они учитывают также характеристики древостоев; особенности почвенного покрова; факторы риска, такие как пожары, болезни и вредители; применение технологии получения и переработки сырья [13]. С утилитарной точки зрения лесные ресурсы рассматривают как источник древесной и побочной продукции (продукция ягодников, грибов, березового сока и др.). Некоторые авторы к недревесным ресурсам также относят фитогенные (ресурсы лекарственных, медоносных, кормовых, пищевых, технических растений и грибов), зоогенные, социальные (санитарно-гигиенические, рекреационные, культурно-исторические и др.) и средозащитные (климаторегулирующие, почвозащитные и водоохраные) [14].

В современном взгляде на оценку природных экосистем превалирует именно экологический подход, так как устойчивое состояние природной среды обеспечивает устойчивое развитие человечества.

К собственно экосистемным функциям лесных экосистем можно отнести обеспечение круговорота веществ и средообразующие функции.

Важнейшая функция лесов заключается в их способности к фотосинтезу и депонированию углерода. Образующаяся в результате фотосинтеза биомасса является пищей для многих групп живых существ (консументов, детритофагов, редуцентов). Выделение кислорода обеспечивает среду обитания для аэробных организмов, а поглощение углекислого газа поддерживает его баланс в атмосфере. Последний аспект имеет особую ценность в условиях признания ценности снижения содержания оксида углерода в атмосфере, как условия предотвращения глобальной климатической катастрофы. Помимо круговоротов кислорода и углерода, леса играют важную роль в трансформации соединений азота, серы, разнообразных металлов и неметаллов, вовлекаемых в круговорот из инертных веществ земной коры в процессе почвообразования. Если исходить из расчетов Н.И. Базилевич [15], еже-

годный прирост древесины и зеленой массы в широколиственных лесах сопровождается депонированием углерода в количестве 3045 кг/га. Пересчет депонированного углерода на количество углекислого газа дает величину, равную 11,17 т CO<sub>2</sub>/га. Если исходить из стоимости депонирования оксида углерода 30–50 евро/т, то эта экосистемная функция лесов региона может быть оценена (с поправкой на состояние лесов региона) примерно в 200 млн евро в год.

Другая сторона процесса фотосинтеза – выработка растениями кислорода, также имеет глобальное значение, но в настоящее время подходы к расчету стоимости кислорода, выделяемого растениями, отсутствуют.

Растительные сообщества формируют специфический микроклимат и ландшафты. Лесные сообщества выполняют важные средообразующие функции, оказывающие прямое или косвенное влияние на жизнедеятельность человека. Прямое влияние на человека оказывают растения в городах, в защитных лесополосах, так как они задерживают пыль и обеспечивают поглощение из атмосферы элементов аэротехногенного загрязнения [16, 17]. Методические подходы к экономической оценке этой функции древесной растительности также не разработаны. Вклад лесов в устойчивое существование ландшафтов более разнообразно – это регуляция водного режима, снегозадержание, препятствование суховеям, и в целом формирование и поддержание специфического микроклимата, показатели которого (температура, влажность, освещенность) заметно отличаются от микроклимата безлесных территорий [18–20].

Лесные экосистемы и сами организмы растений являются специфичной средой обитания для широкого спектра видов – «силвантов», а также фитобионтов, дендробионтов, симбионтов.

Флора лесов Оренбургской области насчитывает более 300 видов, многие из которых обладают хозяйственной ценностью [11]; 28 видов включены в список редких и находящихся под угрозой исчезновения видов растений или видов, нуждающихся в контроле состояния популяций [21]. Леса региона являются местом обитания для 357 видов грибов-базидиомицетов [12].

В лесах обитают многие виды птиц и млекопитающих, в том числе 14 видов, являющихся объектами охоты [11]; однако большая часть ценности лесной фауны, скорее всего, сосредоточена в ее экосистемных

функциях: роль животных в функционировании цепей питания, среда обитания для ряда паразитических и мутуалистических организмов.

На сегодняшний день интегральная оценка ресурсного потенциала лесов региона отсутствует, за исключением оценки ресурсов микобиоты. Согласно нашим расчетам [12], стоимость ресурсов грибов, подлежащая экономической оценке (которая включает в себя стоимость используемых ресурсов, стоимость сохранения биологических видов, эстетическую стоимость биоты) составляет приблизительно 16532,8 млн руб. в год.

Рассматривая лесные экосистемы с социальной точки зрения, следует остановиться на двух аспектах: леса как элемент рекреации и леса как часть природного наследия. В первом случае в качестве маркеров ценности лесов выступают их эстетическая ценность для населения и возможность сбора побочных ресурсов леса (грибы, ягоды, лекарственные растения). Во втором случае лес воспринимается как ценность, которая должна быть передана в первоначальном состоянии следующим поколениям, как структурный и содержательный элемент ландшафта, выполняющий в том числе и средообразующую, средоподдерживающую функцию для человека.

Восприятие леса как комплекса, имеющего экономическую и социальную ценность, определяет соответствующее отношение к сохранению лесных экосистем, а также лесовосстановлению и лесоразведению. Эти вопросы всегда были особенно актуальны для малолесистых и безлесных регионов, в частности – для степной зоны, в пределах которой расположена большая часть Оренбургской области. В настоящее время необходимость декарбонизации атмосферы становится еще одним важным аргументом в пользу увеличения площадей лесов. Лесные насаждения, создаваемые с целью эффективного поглощения углекислого газа атмосферы, могут создаваться в двух взаимодополняющих формах: «карбоновых ферм» и «карбоновых полигонов». На сегодняшний день трактовка этих понятий далеко не однозначна. Фермы в значительной степени рассматриваются как бизнес-проекты по созданию высокопродуктивных насаждений, они направлены на получение прибыли от реализации продукции фермы или получения субсидий на улавливание и удержание углекислого газа [22]. Полигоны создаются в пределах естественных био-

геоценозов, в которых искусственно повышается эффективность поглощения оксида углерода за счет контроля процессов в этих лесах (водоемах, болотах), лесовосстановления, внедрения в древостой видов, способных к более эффективной секвестрации углерода [23]. То есть в определенной мере полигоны – не только «производственные», но исследовательские площадки. Таким образом, полигон – это средство исследования и объект исследования, а ферма – место, где разрабатываются и апробируются технологии поглощения [24].

В условиях Оренбургской области реализация проекта «карбоновые полигоны» должна включать в себя создание новых насаждений. Согласно нашим расчетам, для поглощения оксида углерода, выделяемого промышленностью, транспортом и жителями региона, помимо уже имеющихся лесных насаждений, необходимо создание примерно 77,6 тыс. га лесов. Вместе с тем необходимы активные лесовосстановительные работы, так как среди лесов региона много перестойных насаждений, чья фотосинтетическая активность и, следовательно, способность к депонированию углерода ниже, чем у более молодых насаждений.

### Заключение

Современный этап освоения человеком природы характеризуется коренной перестройкой большинства нативных экосистем, которые в результате находятся на пределе своей устойчивости. Взгляд на лесные экосистемы с точки зрения их экосистемных функций – важный момент в формировании нового экологического сознания, новых экономических подходов к природным ресурсам. Сохранение природных экосистем – одна из целей устойчивого развития и один из важных показателей ESG-стандартов, для достижения которых, на наш взгляд, необходимы следующие действия.

1. Всесторонняя интегральная экономическая оценка ресурсов леса; учет хозяйственных, экологических и социальных функций – как основа для принятия научно обоснованных, экономически целесообразных управленческих решений.

2. Восстановление и модернизация лесного фонда – с учетом потребности региона в карбоновых полигонах, которые могли бы поглощать углекислый газ от стационарных промышленных источников, передвижных источников (автомобильный, железнодорожный транспорт, авиация), от сельскохозяйственных объектов, а так-

же поступающий в атмосферу в результате жизнедеятельности населения [25].

3. Формирование вблизи населенных пунктов комплекса социально-экологических систем, основанных на взаимодействии человека и природы, что является залогом устойчивого использования и сохранения природы. Управление социально-экологическими системами – основа формирования социально-экологических производственных ландшафтов и предоставлению различных экосистемных услуг [26]. Цель создания и поддержки социально-экологических систем – формирование устойчивого комплекса природных и социальных условий для производственной и рекреационной активности жителей с учетом принципов экологической безопасности, сохранения природного наследия и рационального использования природных ресурсов.

### Список литературы / References

1. Бобылев С.Н. Экономика устойчивого развития. М.: «Кнорус», 2021. 672 с.
2. Bobilev S.N. Sustainable Development Economics. М.: «Кнорус», 2021. 672 p. (in Russian).
3. Куракин А.С., Лапина М.А. Международные способы борьбы с глобальным потеплением: правовые, экономические и политические аспекты // International scientific review of the problems of law, sociology and political science. 2019. С. 5–12.
4. Kurakin A.S., Lapina M.A. International ways to combat global warming: legal, economic and political aspects // International scientific review of the problems of law, sociology and political science. 2019. P. 5–12 (in Russian).
5. Конопляник А.А. Декарбонизация газовой отрасли в Европе и перспективы для России // Чистый водород из природного газа как новая основа для взаимовыгодного сотрудничества РФ и ЕС в газовой сфере. 2020. Т. 1. С. 28–39.
6. Konoplyanik A.A. Decarbonization of the gas industry in Europe and prospects for Russia // Chisty y vodorod iz prirodnogo gaza kak novaya osnova dlya vzaimovыgodnogo sotrudnichestva RF i YES v gazovoy sfere. 2020. V. 1. P. 28–39 (in Russian).
7. Попадько Н.В., Полаева А.М., Попадько Г.Б. Переход к низкоуглеродной энергетике в Германии: проблемы и перспективы // Инновации и инвестиции. 2018. № 6. С. 113–116.
8. Popadko N.V., Polaeva A.M., Popadko G.B. Transition to low-carbon energy in Germany: problems and prospects // Innovatsii i investitsii. 2018. № 6. P. 113–116 (in Russian).
9. Чунг Р.К. Эконометрическое моделирование для глубокой декарбонизации // Энергетический вестник. 2019. № 25. С. 34–39.
10. Chung R.K. Econometric modeling for deep decarbonization // Energeticheskiy vestnik. 2019. № 25. P. 34–39 (in Russian).
11. Bataille C., Waisman H., Colombier M., Segafredo L., Williams J., Jotzo F. The need for national deep decarbonization pathways for effective climate policy. Climate Policy. 2016. V. 16. No. 1. P. S7–S26.
12. Leung D.Y.C., Caramanna G., Maroto-Valer M.M. An overview of current status of carbon dioxide capture and storage technologies. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2014. V. 39. P. 426–443.
13. Ромашева Н.В., Крук М.Н., Череповицын А.Е. Особенности мировых проектов секвестрации CO<sub>2</sub> // Российский экономический интернет-журнал. 2018. № 4. С. 97–97.

- Romasheva N.V., Kruk M.N., Cherepovitsyn A.E. Features of global CO<sub>2</sub> sequestration projects // Rossiyskiy ekonomicheskiy internet-zhurnal. 2018. № 4. P. 97–97 (in Russian).
9. Ребезов М.Б., Топурия Г.М., Топурия Л.Ю. Экологические проблемы Южного Урала // Международный научно-исследовательский журнал. 2015. № 4–1 (35). С. 25–28.
- Rebezov M.B., Topuria G.M., Topuria L.Yu. Environmental problems of the South Urals // Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal. 2015. № 4–1 (35). P. 25–28 (in Russian).
10. Симоненкова В.А., Кузьмин Н.И., Симоненков В.С., Черных Д.А., Чуруканов В.В. Состояние защиты и охраны леса Оренбургской области: проблемы и перспективы // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2020. № 56. С. 83–86.
- Simonenkova V.A., Kuzmin N.I., Simonenkov V.S., Chernykh D.A., Churukanov V.V. The state of forest protection and conservation in the Orenburg region: problems and prospects // Aktual'nyye problemy lesnogo kompleksa. 2020. № 56. P. 83–86 (in Russian).
11. Биоресурсный потенциал Центрального Оренбуржья. Оренбург: ООО ИПК «Университет», 2014. 248 с.
- Bioresource potential of the Central Orenburg region. Orenburg: OOO IPK «Universitet», 2014. 248 p. (in Russian).
12. Сафонов М.А. Оценка потенциала биологических ресурсов: основные подходы и проблемы реализации // Вестник Оренбургского государственного педагогического университета. Электронный научный журнал (Online). 2013. № 2 (6). С. 35–43.
- Safonov M.A. Assessment of the potential of biological resources: basic approaches and implementation problems // Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta. Elektronnyy nauchnyy zhurnal (Online). 2013. № 2 (6). P. 35–43 (in Russian).
13. Богатова Е.Ю., Беспалова В.В. Экономическая оценка древесных и недревесных лесных ресурсов в современных условиях // Проблемы современной экономики. 2019. № 3. С. 287–293.
- Bogatova E.Yu., Bepalova V.V. Economic assessment of wood and non-wood forest resources in modern conditions // Problemy sovremennoy ekonomiki. 2019. № 3. P. 287–293 (in Russian).
14. Бобкова К.С., Кузнецов М.А., Кутявин И.Н., Манов А.В., Осипов А.Ф., Тужилкина В.В. Защитные леса лесного фонда Республики Коми: фитоценотическое разнообразие, продуктивность, средозащитные функции // Актуальные проблемы, направления и механизмы развития производительных сил Севера. 2018. С. 196–201.
- Bobkova K.S., Kuznetsov M.A., Kutuyavin I.N., Manov A.V., Osipov A.F., Tuzhilkina V.V. Protective forests of the forest fund of the Komi Republic: phytocenotic diversity, productivity, environmental protection functions // Aktual'nyye problemy, napravleniya i mekhanizmy razvitiya proizvoditel'nykh sil Severa. 2018. P. 196–201 (in Russian).
15. Базилевич Н.И. Биогенные и абиогенные процессы в лесных, степных и пустынных экосистемах // Биогеография и география почв: матер. XXIII Междунар. географ. конгресса. Секция 4. М., 1976. С. 58–62.
- Bazilevich N.I. Biogenic and abiogenic processes in forest, steppe and desert ecosystems // Biogeografiya i geografiya pochv: mater. XXIII Mezhdunar. geograf. kongressa. Sektsiya 4. M., 1976. P. 58–62 (in Russian).
16. Гаврилин И.И., Рунова Е.М. Некоторые особенности газопоглощительной способности деревьев в урбоэкосистеме г. Братска // Лесной вестник. 2012. № 1 (84). С. 135–138.
- Gavrilin I.I., Runova E.M. Some features of the gas absorption capacity of trees in the urban ecosystem of the city of Bratsk // Lesnoy vestnik. 2012. № 1 (84). P. 135–138 (in Russian).
17. Чернышенко О.В. Пылефильтрующая способность древесных растений // Вестник МГУЛ Лесной вестник. 2012. № 3 (86). С. 7–10.
- Chernyshenko O.V. Dust-filtering ability of woody plants // Vestnik MGUL Lesnoy vestnik. 2012. № 3 (86). P. 7–10 (in Russian).
18. Иванова А.С., Сираева И.С., Ермоленко А.С., Завидовская Т.С., Догод М.П. Экологические функции лесополос в современных условиях юго-востока России // Аграрная наука в XXI веке: проблемы и перспективы. 2018. С. 212–217.
- Ivanova A.S., Siraeva I.S., Ermolenko A.S., Zavidovskaya T.S., Dogod M.P. Ecological functions of forest belts in modern conditions of the southeast of Russia // Agrarnaya nauka v XXI veke: problemy i perspektivy. 2018. P. 212–217 (in Russian).
19. Парамонов Е.Г. Влияние экологических условий на жизнеспособность полевых лесополос // Известия АлтГУ. 2012. № 3-2 (75). С. 110–114.
- Paramonov E.G. Influence of ecological conditions on the viability of field-protective forest belts // Izvestiya AltGU. 2012. № 3-2 (75). P. 110–114 (in Russian).
20. Михин В.И., Баландин А.В. Роль полевых лесополос в изменении микроклимата агролесоландшафтов Тамбовской области // Научный журнал КубГАУ. 2012. № 79. [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rol-polezaschitnyh-nasazhdeniy-v-izmenenii-mikroklimata-agrolesolandshaftov-tambovskoy-oblasti> (дата обращения: 25.11.2021).
- Mikhin V.I., Balandin A.V. The role of shelter plantations in changing the microclimate of agroforestry landscapes in the Tambov region // Nauchnyy zhurnal KubGAU. 2012. № 79. [Electronic resource]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rol-polezaschitnyh-nasazhdeniy-v-izmenenii-mikroklimata-agrolesolandshaftov-tambovskoy-oblasti> (date of access: 25.11.2021) (in Russian).
21. Красная книга Оренбургской области. Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды животных, растений и грибов: официальное издание. Воронеж, 2019.
- Red Data Book of the Orenburg Region. Rare and Endangered Species of Animals, Plants and Fungi: The Official Publication. Voronezh, 2019 (in Russian).
22. Морковина С.С., Панявина Е.А., Шанин И.И., Авдеева И.А. Экономические аспекты организации карбоновых ферм на лесных землях // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2021. С. 17–24.
- Morkovina S.S., Panyavina E.A., Shanin I.I., Avdeeva I.A. Economic aspects of organizing carbon farms on forest lands // Aktual'nyye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika. 2021. P. 17–24 (in Russian).
23. Нургалиев Д.К., Селивановская С.Ю., Кожевникова М.В., Галицкая П.Ю. Некоторые вызовы и возможности для России и регионов в плане глобального тренда декарбонизации // Георесурсы. 2021. Т. 23. № 3. С. 8–16.
- Nurgaliev D.K., Selivanovskaya S.Yu., Kozhevnikova M.V., Galitskaya P.Yu. Some challenges and opportunities for Russia and the regions in terms of the global trend of decarbonization // Georesursy. 2021. T. 23. № 3. P. 8–16 (in Russian).
24. Замолодчиков Д.Г. Углеродный цикл и изменения климата // Окружающая среда и энергоснабжение. 2021. № 2. С. 53–69.
- Zamolodchikov D.G. Carbon cycle and climate change // Okruzhayushchaya sreda i energovedeniye. 2021. № 2. P. 53–69 (in Russian).
25. Третьякова Л.А., Азарова Н.А., Лаврикова Н.И., Опарина М.В., Тсырко А.А. Формирование механизмов для создания инновационных национальных полигонов. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 808. No. 1. P. 012066.
- Tretyakova L.A., Azarova N.A., Lavrikova N.I., Oparina M.V., Tsvyrko A.A. Formation of mechanisms for creating innovative national polygons. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 808. No. 1. P. 012066.
26. Costanza R., de Groot R., Sutton P., van der Ploeg S., Anderson S.J., Kubiszewski I., Farber S., Turner R.K. Changes in the global value of ecosystem services. Glob. Environ. Chang. 2014. V. 26. P. 152–158. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2014.04.002.

УДК 631.4

## СТРУКТУРА ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ СУХОСТЕПНЫХ ПОЧВ ЗАБАЙКАЛЬЯ

Чимитдоржиева Г.Д., Чимитдоржиева Э.О.

*Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, Улан-Удэ, e-mail: galdorj@gmail.com*

Элементный состав гуминовых кислот каштановых почв показал, что в макромолекуле доминирует алифатическая часть, ароматическая часть имеет слабо развитую структуру. В препаратах гуминовых кислот отмечено содержание углерода 36,3-38,9 ат. %. Водорода содержится 40,7-42,7 ат. %, азота 2,5-3,7 ат. %. Данные элементного состава гуминовых кислот каштановых почв сопоставимы с данными европейских аналогов. Коэффициенты вариации в элементном составе макромолекул гуминовых кислот черноземов и каштановых почв между собой, а также в сравнении с аналогичными почвами более теплых аналогов невысоки. В макромолекуле гуминовой кислоты сохранена структура, характерная генетическому ряду сухостепных почв. Анализ характера ИК-спектров показал, что в исследуемых препаратах гуминовых кислот присутствуют все компоненты углерода. В исследуемых криоаридных почвах преобладает алифатическая часть, понижено количество ядерной части макромолекулы гуминовой кислоты, из чего можно сделать вывод о том, что гумус сухостепных почв обладает невысокой устойчивостью. Низки коэффициенты экстинкции гуминовых кислот. Максимальная степень бензоидности обнаружена в образце ГК-1с – 20%, что соответствует по шкале СБ среднему уровню. Показатель в препарате ГК-3и равен 13% и ГК-2у – 10%, что по шкале степени бензоидности является низким уровнем ароматизации макромолекулы гуминовой кислоты. Общее количество функциональных групп незначительно. Все это свидетельствует о «молодости» молекулы гуминовых кислот, результатом чего является низкая реакционная способность, это объясняется длительным воздействием холода, а также процессов дефляции. Образуются макромолекулы гуминовых кислот с более развитыми боковыми цепями, что связано с процессами длительного и глубокого промораживания почвы вглубь, а также короткого теплого периода и сухости почв.

**Ключевые слова:** гуминовые кислоты, каштановые почвы, ЯМР-спектры, ИК-спектры, элементный состав, функциональные группы, Забайкалье

## STRUCTURE OF HUMIC ACIDS OF DRY-STEPPE SOILS OF ZABAİKALYA

Chimitdorzhieva G.D., Chimitdorzhieva E.O.

*Institute of General and Experimental Biology SB RAS, Ulan-Ude, e-mail: galdorj@gmail.com*

The elemental composition of humic acids in chestnut soils showed that the aliphatic part dominates in the macromolecule, while the aromatic part has an underdeveloped structure. In the preparations of humic acids, a carbon content of 36.3 – 38.9 at.% was noted. Hydrogen contains 40.7-42.7 at.%, Nitrogen 2.5-3.7 at.%. The data on the elemental composition of humic acids in chestnut soils are comparable to those of European analogues. The coefficients of variation in the elemental composition of macromolecules of humic acids in chernozems and chestnut soils among themselves, as well as in comparison with similar soils of warmer analogs, are low. The humic acid macromolecule retains the structure characteristic of the genetic line of dry steppe soils. Analysis of the nature of the IR spectra showed that all carbon components are present in the studied preparations of humic acids. In the studied cryo-arid soils, the aliphatic part predominates, the amount of the nuclear part of the humic acid macromolecule is reduced, from which it can be concluded that the humus of dry steppe soils is not very stable. The extinction coefficients of humic acids are low. The maximum degree of benzoicity was found in the GK-1s sample – 20%, which corresponds to the average level on the SB scale. The indicator in the preparation GK-3i is 13% and GK-2u – 10%, which on the scale of the degree of benzoicity is a low level of aromatization of the humic acid macromolecule. The total number of functional groups is negligible. All this testifies to the «youthfulness» of the humic acid molecule, which results in a low reactivity, this is explained by the prolonged exposure to cold, as well as deflation processes. Macromolecules of humic acids with more developed side chains are formed, which is associated with the processes of prolonged and deep freezing of the soil deep into the depths, as well as a short warm period and dry soil.

**Keywords:** humic acids, chestnut soils, NMR spectra, IR spectra, elemental composition, functional groups, Transbaikalia

Гуминовые вещества представляют собой полидисперсные макромолекулы сложного строения [1]. Среди органических веществ гуминовые кислоты отличаются наибольшей биохимической устойчивостью [2]. Однако их состав и структура изменчивы во времени и в пространстве, отражая условия гумусообразования.

Почвенный гумус выполняет важную роль в плодородии почв, поэтому изучение основных характеристик гумуса, структу-

ры гуминовых кислот необходимо для комплексной оценки плодородия.

Известно, что молекула гуминовой кислоты состоит из ядерной и периферической частей. Ароматическая часть молекулы сформирована более устойчивыми фрагментами. Боковые фрагменты характеризуются неустойчивыми химическими связями с ядерной частью, являясь питательным ресурсом для микроорганизмов почвы.

Цель исследования: выявить особенности структуры макромолекул гуминовых кислот каштановых почв Забайкалья.

#### Материалы и методы исследования

Объекты исследования – препараты гуминовых кислот, выделенные из каштановых почв (0-20 см): ГК-1с – Селенгинское среднегорье; ГК-2у – Удинская котловина, ГК-3и – Иволгинская котловина.

Препараты ГК были выделены по методу Д.С. Орлова [3].

Элементный состав проанализирован на приборе CHNS/O Series II фирмы Perkin Elmer (США) в Институте общей и экспериментальной биологии СО РАН (г. Улан-Удэ). ИК-спектры определены на инфракрасном спектрофотометре «ISF-25» (Bruker).

<sup>13</sup>C-ЯМР-спектры сняты на спектрофотометре UNIT-500. В зависимости от интенсивности сигналов <sup>13</sup>C-ЯМР-спектров методом количественного анализа выявлен фрагментарный состав С в препаратах ГК каштановых почв.

Методы инфракрасного (ИК), ядерного магнитного резонанса (ЯМР) позволяют получить информацию о структуре макромолекулы ГК, а также об определенном нахождении разных функциональных групп и молекулярных фрагментов [4-6].

Каштановые почвы Забайкалья являются самыми теплообеспеченными в регионе с суммой температур выше 10 °С 1700-1800 ° и наибольшим биологически активным периодом – в среднем 111 дней. Они формируются на различных породах: в основном на песках, супесях, легких суглинках. В основном каштановые почвы имеют легкий гранулометрический состав, а также часто содержат в почвенном профиле много камней и щебня плотных пород.

Растительный покров забайкальских сухих степей имеет своеобразную криоксерофильность. Средообразующей способностью характеризуются *Artemisia frigida* (Willd.), *Artemisia gmelinii* (Web. et Stechm.), *Koeleria gracilis* (Pers.), *Carex duriuscula* (C.A. Mey) и др.

Растительность Забайкалья своеобразная, обусловленная наложением широтной зональности на высотную поясность при выраженных горно-котловинных инверсиях и экспозиционных эффектах. Основными особенностями климата региона являются: высокий приход солнечной радиации (до 3000 час/год), незначительное количество осадков и неравномерность их выпадения, резкие колебания температуры

воздуха, проявляющиеся в значительных амплитудах колебаний среднесуточных и среднемесячных температур.

Подземная растительная масса (BNP) сухих степей густо переплетает гумусово-аккумулятивный горизонт вследствие недостатка увлажнения и элементов питания. Корневая масса образует мощную дернину, последняя является своего рода биологическим экраном, который удерживает многие элементы питания, аккумулируя их в верхних слоях почвы. BNP для каштановых почв в слое 0-20 см достигает 200 ц/га [7].

Величина чистой первичной продукции составляет в каштановой почве в среднем 1,3-1,5 кг/м<sup>2</sup>-год, из которых на надземную массу приходится до 9-10%, а на подземную 94-95%. Выявлены большие различия в весовом соотношении надземной и подземной частей фитоценозов, которые составляли 1:14,7 – 1:23,5, что связано с невысоким продуцированием надземной растительной массы растительностью сухостепных экосистем.

Суровые почвенно-климатические условия затрудняют рост и развитие растительности, в результате чего образуется своеобразная адаптированная растительность с определенным качественным составом (высокое содержание лигнина, низкое – азота, фосфора, кальция и магния). Незначительное поступление свежего органического вещества обусловлено низкой биологической продуктивностью растительных ассоциаций.

Известно, что биомасса, образующаяся в течение короткого вегетационного периода, первоначально накапливается в верхних слоях почвы, тем самым создает ежегодное накопление органического вещества [8-10].

В исследуемых каштановых почвах в условиях криоаридного климата значительно сокращены периоды гумификации и минерализации растительных остатков, что является благоприятным условием для более длительного сохранения слабогумифицированных растительных остатков и неспецифических соединений [7].

На элементный состав гуминовых кислот оказывает существенное влияние химический состав растительности, произрастающей на каштановых почвах. В сухостепных почвах региона азотный фонд беден, растительность обеднена азотом и содержит его 1,43% в ANP и 1,52% в BNP.

Исследуемые каштановые почвы характеризуются следующими показателями: небольшая (до 22-23 см) мощность

горизонта А, низкое содержание углерода органического Сорг. 0,8%, N обнаружено до 0,10% в 0-20 см слое почвы, наличие карбонатного горизонта, отсутствие по профилю гипсового горизонта, легкий гранулометрический состав, рН нейтральная, вниз по профилю переходящая в щелочную, суммарное количество катионов  $Ca^{2+}$  и  $Mg^{2+}$  составляют почти 20 ммоль/100 г почвы. Эти почвы отличаются значительным количеством кальция и магния (2,2 и 1,9%).

### Результаты исследования и их обсуждение

#### А. Элементный состав ГК

В экспериментальных образцах ГК каштановых почв отмечено содержание углерода от 36,3 до 38,9 ат.%. Водорода содержится 40,7-42,7 ат.%, азота 2,5-3,7 ат.%. Следует отметить, что данные по элементному составу гуминовых кислот каштановых почв сопоставимы с данными европейских аналогов.

Степень бензоидности (СБ) позволяет учесть бензоидные структуры, которые входят в состав ядерной части макромолекулы гуминовой кислоты [11]. Максимальная степень бензоидности обнаружена в образце ГК-1с – 20%, что соответствует по шкале СБ среднему уровню. Показатель в препарате ГК-3и равен 13% и ГК-2у – 10%, что является низким уровнем ароматизации макромолекулы гуминовой кислоты. Степень бензоидности каштановых почв региона невелика, это связано с тем, что простые соединения, которые

образуются в результате разложения органического вещества, активно участвуют в формировании алифатической части макромолекулы ГК. К примеру, у почв мерзлотного ряда формируются гуминовые кислоты, получающие незначительное количество материала для построения алифатической части макромолекулы, что связано с увеличением длительности периода с положительными температурами. Высокая степень бензоидности (до 45%) обусловлена тем, что в процессе гумификации отщепляется больше боковых цепочек.

Элементный состав препарата ГК-2у, полученного из сильнодефлированного варианта каштановой почвы, нехарактерный таковому в аналогичных почвах. Это, по-видимому, связано с тем, что данные почвы характеризуются большей степенью прогревания и иссушения в короткий период весной и летом, а также подвержены дефляции, содержание углерода низкое (36,3 ат.%). Содержание углерода в элементном составе показало, что не происходит достаточное усложнение строения ГК, в результате чего макромолекула ГК менее обуглерожена. Это связано с процессами дефляции и иссушения, которые препятствуют конденсации молекул и оказываются со значительным содержанием водорода и азота в своем составе, где соотношение  $H:C=1,17$ . Природно-климатические условия региона исследования обуславливают развитие криоксерофитной лигнинофицированной растительности и специфической криоаридной микрофлоры, которые являются причиной их низкой обуглероженности.

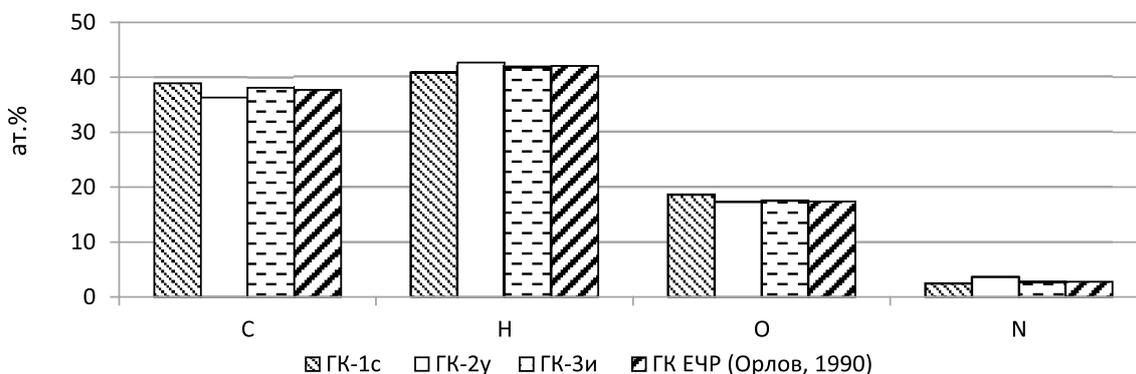


Рис. 1. Элементный состав каштановых почв. Условные обозначения: ГК-1с – препарат ГК каштановой почвы центральной части Селенгинского среднегорья, Селенгинский район; ГК-2у – препарат ГК каштановой почвы Удинской котловины, Заиграевский район; ГК-3и – препарат ГК каштановой почвы Иволгинской котловины, Иволгинский район, ГК ЕЧР – препарат ГК чернозема европейской части России по Д.С. Орлову (1990)

Предположительно, что в таких су- ровых условиях процессы ароматизации, формирующие гуминовые кислоты, заторможены и ослаблены. На строение и состав гуминовых кислот оказывают влияние также химические и биологические условия состава органических остатков, а также процессы дефляции. Достаточно низкая биологическая активность исследуемых почв способствует снижению интенсивности минерализации неспецифических веществ и накоплению алифатических боковых углеродистых цепей.

Относительно высоко содержание азота в гуминовых кислотах. В препарате ГК-2у содержание азота достигает 3,7 ат.%. Величина C:N в среднем составляет 13%. К примеру, в одноименных почвах европейской части России показатель соответствует 17-18% [11]. В алифатической части молекулы ГК находится большая часть азота, следовательно, белки и аминокислоты аммонифицируются и нитрифицируются довольно слабо. Не исключено и относительное повышение содержания азота при понижении углерода.

Выявленные различия в элементном составе исследуемых препаратов гуминовых кислот с результатами, полученными другими авторами, с одноименными почвами более теплых фаций связаны со вторичным влиянием внешней среды [12].

Коэффициенты вариации ГК сухостепных почв между собой, а также в сравнении с аналогичными почвами более теплых аналогов невысокие для C, H, N – 2,01-3,53%, немного выше для N – 17,61%.

Выявлено, что в криоаридных условиях, при длительном промораживании и высушивании почвенного профиля сухостепных почв, формируются низкоконденсированные с развитыми боковыми алифатическими цепями макромолекулы гуминовых кислот.

#### *Б. Инфракрасные спектры поглощения ГК*

Информацию о конкретном расположении отдельных групп, а также набор основных атомных групп и типов связей можно определить по инфракрасным спектрам (ИК-спектры). Инфракрасные спектры препаратов гуминовых кислот каштановых почв выявляют общие закономерности построения макромолекулы ГК.

Выявлено, что самая высокая интенсивность полос поглощения определена для групп: гидроксильных, карбоксильных и метоксильных. О доминировании ядерной или периферической частей в ГК судят по разной интенсивности отдельных полос. В препара-

тах гуминовых кислот выявлены интенсивные полосы поглощения, относимые к скелетным колебаниям гидроксильных групп, которые имеют полосы поглощения 3400 см<sup>-1</sup>; а также метиленовым группам с областью поглощения 2920 см<sup>-1</sup>. На доминирование в образцах вышеперечисленных групп показывают также полосы поглощения в области 1375-1480 см<sup>-1</sup> (рис. 2).

ГК исследуемых препаратов характеризуются сильными поглощениями:

1) относимые к скелетным колебаниям карбоксильных групп 1700 см<sup>-1</sup>;

2) относимые к скелетным колебаниям ароматических, карбонильных, хинонных групп 1625-1610 см<sup>-1</sup>.

В ИК-спектрах всех экспериментальных образцов ГК четко отражена полоса, характерная для карбоксильной группы. Отмечено наличие полос поглощения, характерных для третичных, вторичных и первичных групп спиртов (1150-1050 см<sup>-1</sup>).

О высоком содержании азота свидетельствуют полосы поглощения, характерные для амидов (1650 см<sup>-1</sup>). Полосы поглощения от 1622,0–1626,9 и 1512,0-1515,0 см<sup>-1</sup>, характерные для ароматических фрагментов, имеют малую интенсивность. Интенсивность поглощения в области 1620 см<sup>-1</sup> уменьшается в следующем порядке: ГК-3и → ГК-1с → ГК-2у.

Выявлено наличие бензольных колец с двумя и более незамещенными атомами водорода, о чем говорят спектры с низкой интенсивностью в области поглощения 860-730 см<sup>-1</sup>.

Выявлена небольшая роль алканов в строении макромолекул ГК, о чем свидетельствует наличие полос с невысокой интенсивностью поглощения метильных метиленовых групп.

Анализ ИК-спектров показал, что в исследуемых препаратах ГК отмечены все группы C, где более развита боковая часть и отмечено пониженное количество ароматических компонентов, что свидетельствует о невысокой устойчивости гумуса каштановых почв Забайкалья.

#### *В. Оценка спектров 13С-ЯМР*

Структурные особенности гуминовых кислот получены в результате расчета количественных данных фрагментного состава ГК каштановых почв из спектров ЯМР.

В результате исследования выявлено, что в образцах содержится высокое количество C алкильных групп – до 31,9 (ГК-3и); а также значительное количество C метоксильных групп – до 8,3 (ГК-2у).

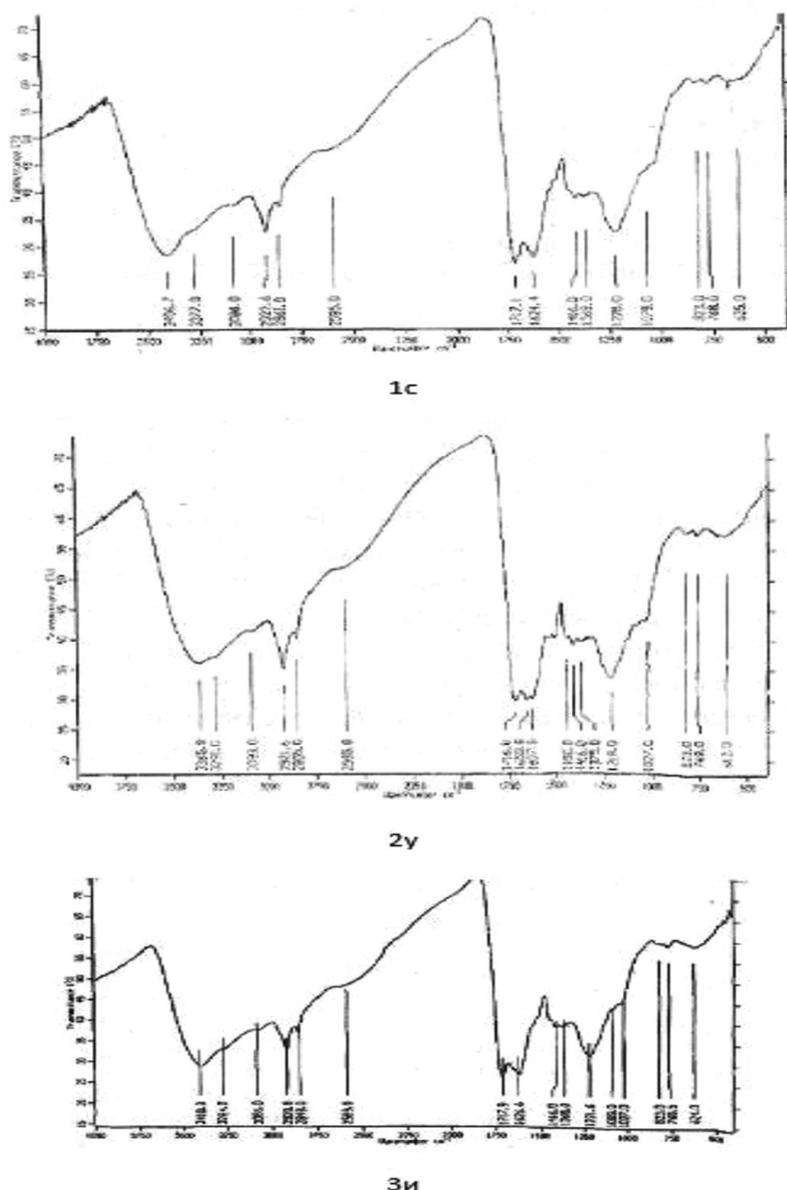


Рис. 2. ИК-спектры ГК каштановых почв

Содержание углерода –COOH групп низкое – 12,5% (160-168 и 170-180 м.д.), что обусловлено невысоким темпом биологической и биохимической активностей исследуемых каштановых почв.

Содержание углерода, связанного с группой фенола, определили по разности данных в диапазонах  $\text{C}_{ar}$  и  $\text{C}_{H3O}$ , ее количество составило в среднем 3,5%.

Количество Слигн. в препаратах исследуемых образцов составляет до 3%. На состав макромолекул ГК оказывает влияние высокая лигнинофицированность расти-

тельности, так как лигнин растительных остатков является первоисточником гумусовых веществ. Максимальное содержание С группы хинонов обнаружено в препарате каштановой почвы ГК-1с (2,8%), самое низкое – в ГК-3и (0,9%).

Показатель общая ароматичность ( $f_a$ ) наименьший для препарата ГК-2у и составляет 35,2% (106-140, 140-160 м.д.), соответственно в ряду исследованных почв данный препарат характеризуется низким содержанием ядерного С. У образца ГК-3и  $f_a$  составляет 37,7%. Общая аро-

матичность у препаратов ГК-2у также невысока. Соотношение Н:С убывает в ряду ГК-2у (1,2) → ГК-3и (1,1) → ГК-1с (1,0).

Соотношение в составе гуминовых кислот гидрофильных и гидрофобных компонентов является важной характеристикой макромолекул гуминовых кислот. Функциональные группы, включающие в свой состав кислород, такие как СОН, СООН, С=О, СалкО, относятся к гидрофильным компонентам, их содержание составляет в среднем 43,7%. Салк, СаpС, Н относят к гидрофобным компонентам.

Таким образом, высокое содержание функциональных групп, включающих в свой состав кислород, предопределяет более развитую периферическую часть ГК каштановых почв Забайкалья.

Криоаридные условия степей Забайкалья вносят коррективы в химическую структуру гуминовой кислоты, сохраняя при этом относительную устойчивость и основные черты его структуры, которые характерны сухостепным почвам. При нарастании индекса аридности, а также длительном промораживании и высушивании почвенного профиля каштановых почв формируются ГК с низким уровнем конденсации.

### Заключение

Элементный состав гуминовых кислот каштановых почв показал, что ГК имеют развитую периферическую структуру. В препаратах гуминовых кислот отмечено содержание углерода 36,3-38,9 ат.%, водорода содержится 40,7-42,7 ат.%, азота 2,5-3,7 ат.%. В целом следует отметить, что элементный состав гуминовых кислот сохраняется и сопоставим с таковым каштановых почв более теплых фаций.

В каштановых почвах содержание кислых функциональных групп низкое и находится в пределах 4,0-5,0 ммоль/г почвы, тогда как этот показатель в ГК одноименных почв европейской части России 6,0-7,0 ммоль/г. Все это свидетельствует о неразвитой ароматической структуре молекулы гуминовой кислоты.

Следствием этого является низкая реакционная способность, это объясняется длительным воздействием холода, а также процессов дефляции. Низкоконденсированные ГК с развитыми алифатическими цепями образуются в результате: промораживания почвенного профиля на длительное время, короткого биологически активного периода, а также от иссушения поверхностных слоев почвы.

*Работа выполнена по теме госзадания № 121030100228-4.*

### Список литературы / References

1. Aristilde L., Sposito G. Complexes of the antimicrobial ciprofloxacin with soil, peat, and aquatic humic substances. *Environmental toxicology and chemistry*. 2013. Vol. 32. No. 7. P. 1467-1478.
2. Жаринова Н.Ю., Ямских А.А. Гумусовые характеристики аллювиальных темногумусовых почв Красноярской лесостепи // *Вестн. Том. гос. ун-та. Биология*. 2011. № 1 (13). С. 5-10.
3. Zharinova N.Y., Yamskih A.A. Humus characteristics of alluvial dark-humus soils of Krasnoyarsk forest-steep // *Vestn. Tom. gos. un-ta. Biologiya*. 2011. Vol. 1. No. 13. P. 5-10 (in Russian).
4. Орлов Д.С., Гришина Л.А. Практикум по химии гумуса. М.: Изд-во МГУ, 1981. 271 с.
5. Orlov D.S., Grishina L.A. Workshop on the chemistry of humus. M.: Izd-vo MGU, 1981. 271 p. (in Russian).
6. Lupachev A., Abakumov E., Gubin S. The influence of cryogenic mass exchange on the composition and stabilization rate of soil organic matter in cryosols of the Kolyma Lowland (North Yakutia, Russia). *Geosciences*. 2017. No 7. P. 24. DOI: 10.3390/geosciences7020024.
7. Szymański W., Wojtuń B., Stolarczyk M., Siwek J., Waścińska J. Organic carbon and nutrients (N, P) in surface soil horizons in a non-glaciated catchment, S.W. Spitsbergen. *Polish Polar Research*. 2016. No. 37. P. 49-66. DOI: 10.1515/popore-2016-000.
8. Поляков В.И., Чегодаева Н.А., Абакумов Е.В. Молекулярный и элементный состав гуминовых кислот выделенных из почв Российской Арктики // *Вестн. Том. гос. ун-та. Биология*. 2019. № 47. С. 6-21. DOI: 10.17223/19988591/47/1.
9. Polyakov V.I., Chegodaeva N.A., Abakumov E.V. Molecular and elemental composition of humic acids isolated from selected soils of the Russian Arctic // *Vestn. Tom. gos. un-ta. Biologiya*. 2019. No 47. P. 6-21. DOI: 10.17223/19988591/47/1 (in Russian).
10. Чимитдоржиева Г.Д. Органическое вещество холодных почв. Улан-Удэ: Издательство Бурятского научного центра, 2016. 386 с.
11. Chimitdorzhieva G.D. Organic matter in cold soils. Ulan-Ude: Izdatel'stvo Buryatskogo nauchnogo tsentra, 2016. 386 p. (in Russian).
12. Zubrzycki S., Kutzbach L., Pfeiffer E.-M. Permafrost-affected soils and their carbon pools with a focus on the Russian Arctic. *Solid Earth*. 2014. No. 5. P. 595-609. DOI: 10.5194/se-5-595-2014.
13. Kirpotin S.N. Western Siberia in a changing climate. *International J. Environmental Studies*. 2014. Vol. 71. No. 5. P. 591-594. DOI: 10.1080/00207233.2014.945695.
14. Cazzolla Gatti R., Callaghan T.V., Rozhkova-Timina I., Dudko A., Lim A., Vorobyev S.N., Kirpotin S.N., Pokrovsky O.S. The role of Eurasian beaver (Castor fiber) in the storage, emission and deposition of carbon in lakes and rivers of the River Ob flood plain, western Siberia. *Science of the Total Environment*. 2018. No. 644. P. 1371-1379. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.07.042.
15. Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. М.: Изд-во МГУ, 1990. 325 с.
16. Orlov D.S. Humic acids of soils and the general theory of humification. M.: Izd-vo MGU, 1990. 325 p. (in Russian).
17. Попов А.И. Гуминовые вещества: свойства, строение, образование / Под ред. Е.И. Ермакова. СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2004. 248 с.
18. Popov A.I. Humic substances: properties, structure, education / Pod red. E.I. Ermakova. SPb.: Izd-vo S.-Peterb. un-ta, 2004. 248 p. (in Russian).

## СТАТЬИ

УДК 910.3

**МЕЖДУНАРОДНЫЕ ТРАНСГРАНИЧНЫЕ ТРЁХЗВЕННЫЕ РЕГИОНЫ: ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОБЩЕНИЕ ОПЫТА ИНТЕГРАЦИИ ПРИГРАНИЧНЫХ ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ**<sup>1</sup>Биксалеев А.А., <sup>2</sup>Новиков А.Н.<sup>1</sup>*ФГБУН «Институт природных ресурсов, экологии и криологии Сибирского отделения Российской академии наук», Чита, e-mail: zabaikal\_coleoptera@mail.ru;*<sup>2</sup>*ФГБОУ ВО «Забайкальский государственный университет», Чита, e-mail: geonov77@mail.ru*

Природоохранное трансграничное взаимодействие нуждается во взаимно скоординированной территориальной организации «зелёных» каркасов приграничных стран, которые выступают экологическими контактными звеньями регионального уровня. Методологической основой исследования выступило несколько концепций: территориальных структур хозяйства П.Я. Бакланова; поляризованного ландшафта Б.Б. Родома; кольцевых структур В.Л. Мартынова; международного трансграничного трёхзвенного региона (МТТР) А.Н. Новикова. Процесс интеграции проходит в четыре этапа и завершится взаимно скоординированной территориальной организацией приграничных секторов в трансграничные радиально-кольцевые структуры. На планете Земля у стыков соединения границ трёх стран идёт процесс образования особо охраняемых природных территорий (ООПТ), которые становятся приграничными контактными звеньями Центральных активных зон (ЦАЗ) МТТР. Данные ЦАЗ распространяют своё влияние вглубь территорий каждой из трёх стран, вовлекая близлежащие ООПТ в сферу своего влияния и превращая их в Радиальные активные зоны (РАЗ), смыкаясь на периферии через Краевые активные зоны (КАЗ), образуют радиально-кольцевые структуры. Процесс трансграничной радиально-кольцевой интеграции проходит четыре этапа: внешнего природоохранного обособления; этап внешне обособленного роста; трансграничной природоохранной и туристической контактности; этап взаимно скоординированной территориальной организации приграничных секторов в трансграничные радиально-кольцевые «зелёные» (природоохранные) каркасы в формате МТТР. Экологический МТТР, которые образует Россия со своими соседями, находятся на различных этапах формирования. В современных условиях для формирования приграничной экологической политики чрезвычайно важно учитывать уже имеющийся международный опыт последовательной экологической интеграции стран в виде формирования трансграничных радиально-кольцевых «зелёных» (природоохранных) каркасов.

**Ключевые слова:** «зелёный» каркас, международные трансграничные трёхзвенные регионы, приграничная территория, радиально-кольцевые структуры, территориальные структуры, трансграничная интеграция

**INTERNATIONAL CROSS-BORDER THREE-LINK REGIONS: THEORETICAL GENERALIZATION OF THE EXPERIENCE OF INTEGRATION OF BORDER SPECIALLY PROTECTED NATURAL TERRITORIES**<sup>1</sup>Biksaleev A.A., <sup>2</sup>Novikov A.N.<sup>1</sup>*Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Chita, e-mail: zabaikal\_coleoptera@mail.ru;*<sup>2</sup>*Transbaikal State University, Chita, e-mail: geonov77@mail.ru*

Environmental transboundary interaction requires a mutually coordinated territorial organization of the green frames of the bordering countries, which act as environmental contact links at the regional level. The methodological basis of the study was several concepts: the territorial structures of the economy of P.Ya. Baklanov; polarized landscape B.B. Rodoman; ring structures V.L. Martynov; international transboundary three-link region (ITT-LR) A.N. Novikov. The integration process takes place in four stages and ends with a mutually coordinated territorial organization of border sectors into cross-border radial-ring structures. On the planet Earth, at the junction of the borders of the three countries, the process of formation of specially protected natural areas (SPNA) is underway, which become border contact links of the Central Active Zones (CAZ) of the ITT-LR. These CAZs extend their influence deep into the territories of each of the three countries, involving nearby SPNA in their sphere of influence and turning them into Radial Active Zones (RAZ). RAZ, joining at the periphery through the Provincial Active Zones (PAZ), they form radial-ring structures. The process of transboundary radial-ring integration goes through four stages: external environmental isolation; stage of externally isolated growth; cross-border environmental and tourist contacts; the stage of mutually coordinated territorial organization of border sectors into transboundary radial-circular green (environmental) frameworks in the ITT-LR format. The ecology-centric ITT-LR that Russia is forming with its neighbors are at various stages of formation. In modern conditions, for the formation of cross-border environmental policy, it is extremely important to take into account the already existing international experience of the consistent environmental integration of countries in the form of the formation of transboundary radial-ring green (environmental) frameworks.

**Keywords:** green frame, international cross-border tripline regions, Border territory, Radial-ring structures, Territorial structures, Transboundary integration

Трансграничная интеграция у стыков и их пространственных форм организационных границ трёх государств с каждым годом расширяет набор видов взаимодействия. Наряду с экономическим взаимодействием, включающим торговлю, туризм

и транспортные услуги, активно развиваются культурный и природоохранный виды взаимодействия. Причём последние виды коммерциализируются за счёт туристической деятельности.

Природоохранное взаимодействие у стыков трёхгранья наблюдается в различных частях планеты, но уровень развития его везде различный. Международные трансграничные трёхзвенные регионы (МТТР) формируются у стыка государственных границ трёх стран, их атрибут радиально-кольцевая (относительно стыка) территориальная структуризация. У международных трансграничных двухзвенных регионов симметрия билатеральная, то есть относительно линии государственной границы.

Объектами исследования выступают приграничные и трансграничные особо охраняемые природные территории МТТР, которые объединяются в приграничные, а затем и трансграничные «зелёные» каркасы – территориальные сети.

Цель статьи – теоретическое обобщение опыта интеграции приграничных особо охраняемых природных территорий в форматах МТТР.

А.А. Пономарёв, Э.И. Байбаков, В.А. Рубцов в науковедческом исследовании [1] выявили соотношение этого понятия «зелёный» каркас с другими сходными по смыслу понятиями: биосферный каркас, природный каркас, экологический каркас. По мнению авторов, употребление понятия «зелёный (природоохранный) каркас» наиболее точно соответствует замыслу представленной статьи.

#### **Материалы и методы исследования**

Методологической основой исследования выступило несколько концепций: территориальных структур хозяйства П.Я. Бакланова [2]; поляризованной биосферы Б.Б. Родомана [3]; кольцевых структур В.Л. Мартынова [4].

Исходя из концепции поляризованного ландшафта Б.Б. Родомана [3], данные ООПТ, расположенные в стыке трёхгранья, опоясываются рекреационными зонами, сельскохозяйственными угодьями и т.д., демонстрируя кольцевидность территориальных структур. Кольцевидность с локального уровня переходит на региональный, где находит описание с помощью концепции В.Л. Мартынова [4].

Рассматривая кольцевые структуры, В.Л. Мартынов [4] выделил в них три со-

ставляющих элемента – зоны, которые отличаются по местоположению и функциональности. Центральная часть кольцевой структуры представлена Центральной активной зоной (ЦАЗ), именно в ней наиболее интенсивно протекают все процессы. Можно сказать, что она фокусирует в себе и перераспределяет всю активность в Краевые активные зоны (КАЗ) через Радиальные активные зоны (РАЗ).

В представленной работе осуществляется попытка адаптации концепции кольцевых структур к изучению «зелёных» каркасов МТТР. В данном случае особо охраняемые природные территории высокого международного (биосферного) уровня, формирующиеся у самого стыка трёхгранья, превращаются в такую Центральную активную зону трансграничного взаимодействия. В этой зоне три страны получают возможность обмениваться результатами мониторинга, наиболее прогрессивными методиками изучения окружающей природной среды, новым оборудованием. Близлежащие особо охраняемые территории, которые имеют национальный, региональный или муниципальный статус, становятся проводниками международного опыта к Краевым активным зонам, превращаясь в Радиальные активные зоны. Конечно, можно вести речь не просто о кольцевых, а о трёхсекторных радиально-кольцевых структурах, где каждая приграничная территория – это сектор МТТР.

#### **Результаты исследования и их обсуждение**

В последние три десятилетия процесс трансграничной интеграции в сфере природоохранного природопользования у стыков границ трёх стран привёл к формированию трёхсторонних особо охраняемых территорий, которые становятся центральными частями формирующихся трансграничных «зелёных» каркасов. Приграничные страны за этот период накопили опыт совместной трёхсторонней интеграции. Обобщим этот опыт, выделив четыре этапа.

На первом этапе стороны сталкиваются с проблемой согласования вопросов взаимных трансграничных экологических ущербов и понимают, что в трёхстороннем формате их согласовать сложнее, чем в двухстороннем, так как не просто сохранить баланс интересов всех трёх участников. В точке стыка трёх границ наблюдается отрицательный синергетический эффект, в ней сливаются воедино проблемы пригранич-

ного хозяйственного природопользования трёх стран. Страны создают на своих приграничных территориях ООПТ. Возможно, само создание ООПТ у стыка трёхгранья было продиктовано не стратегией организации трансграничного природоохранного взаимодействия, а наоборот – стремлением исключить отрицательное экономическое влияние сопредельной стороны.

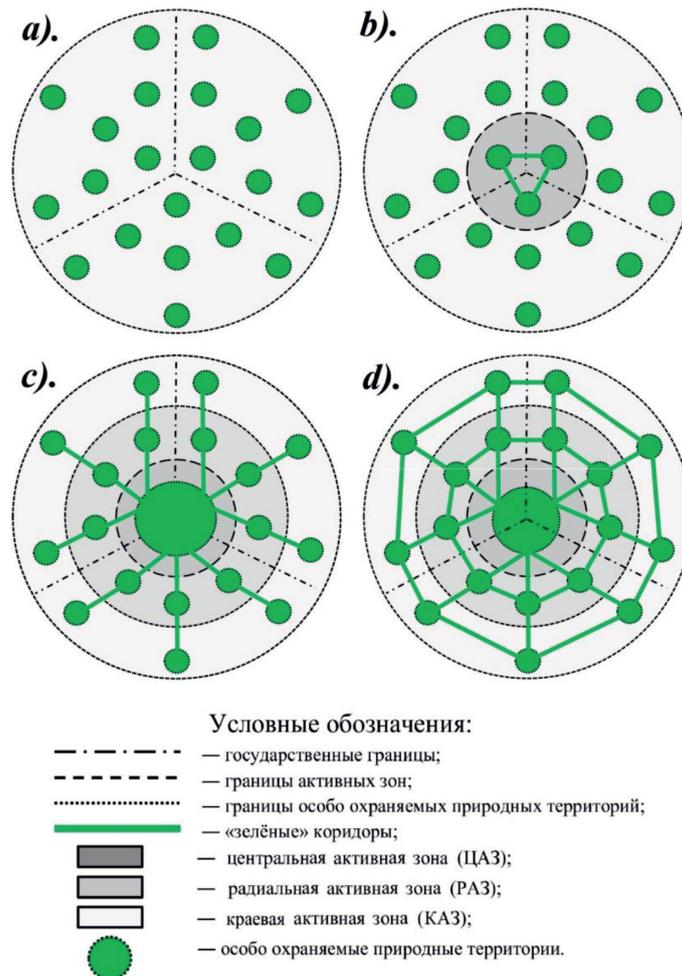
На этом этапе страны добиваются придания своим ООПТ высоких международных статусов не только потому, что эти территории обладают уникальным биологическим разнообразием (данный факт не оспаривается), но и для создания буферных международных экологических структур на своей стороне для защиты внутренних регионов страны от трансграничных отрицательных внешних эффектов. Более того, многие приграничные ООПТ начинают приобретать различные международные статусы и включаются

в международные программы и конвенции. Придание своим территориям высоких международных статусов – это уже защита от отрицательных эффектов с сопредельной стороны с помощью международных правовых механизмов, в этом есть элемент ограничения хозяйственной деятельности на сопредельных территориях.

В таких условиях сопредельной стороне остаётся только отвечать симметричными действиями – организовывать у себя приграничную ООПТ. Есть ли в таком поведении элемент принуждения сопредельной стороны? Конечно.

Первый этап – это этап природоохранного обособления и этап внешне обособленного роста.

На первом этапе ООПТ приграничных территорий не имеют скоординированного трансграничного взаимодействия между собой (рис. 1а).



Модели интеграции приграничных ООПТ МТПР

Второй этап является переломным в стратегии природоохранной приграничной политики и сознании управленцев. Локализованные симметрично относительно линий границы ООПТ начинают информационное сотрудничество, обмениваются результатами экологического мониторинга, формируют «зелёные» коридоры (рис. 1b). Территориализация связанности выражается через создание «зелёных» коридоров, которые обеспечивают физический контакт между ООПТ и служат миграционными путями для обитающих в них животных. «Зелёные» коридоры преодолевают дискретность и превращают территорию стыка трёх границ в Центральную активную зону природоохранного взаимодействия.

Информационная контактность приводит к стремлению распространения накопленных каждой стороной международных статусов на обе (или три) стороны границы. Именно на этом этапе параллельно экологической контактности появляется стратегия экономического сотрудничества в виде экологического трансграничного туризма. Второй этап – этап установления трансграничной природоохранной и туристической контактности. Туристическая контактность – это формирование трансграничных экологических маршрутов, которые формируются за счёт расширения образовавшихся «зелёных» коридоров (рис. 1b).

На третьем этапе трансграничные «зелёные» коридоры расширяются и образуется единая трансграничная ООПТ, которая начинает проявлять свою притягательность не только для приверженцев экологического туризма из трёх стран, но и для их ООПТ всех видов, вовлекая их в систему трансграничного сотрудничества, структурируя их в РАЗ приграничных «зелёных» каркасов, которые фактически объединяются в трансграничные каркасы единой системой мониторинга и природоохранных мероприятий (рис. 1c). Периферийные относительно стыка границ ООПТ становятся КАЗ.

Третий этап – этап организации трансграничного центрально-периферийного взаимодействия через ЦАЗ.

Четвёртый этап, который ещё не отмечен на Земле, этап организации трансграничных радиально-кольцевых «зелёных» (природоохранных) каркасов в формате МТТР. На четвёртом этапе трансграничное взаимодействие (синхронно с центрально-периферийным) должно организоваться в кольцевой форме (рис. 1d). На уровне КАЗ и РАЗ «замкнутся» кольца «зелёных»

коридоров. Организация фрагментарной контактности «зелёных» коридоров на отдельных двусторонних участках возможна и на более ранних этапах, но кольцевой формы их на Земле пока не отмечается.

МТТР находятся на различных этапах трансграничной интеграции. Поэтому чрезвычайно важно обобщить имеющийся опыт и дать возможность МТТР, проходящим начальные этапы, учесть его в своих стратегиях. Процессы трансграничного взаимодействия со временем усиливаются, и расписанная четырёхэтапная стратегия трансформируется: этапы «спрессовываются», или протекают параллельно, или «выпадают», но представленная последовательность интеграции позволяет понять её сущность.

Рассмотрим вопросы трансграничной трёхсторонней природоохранной интеграции на примере самых прогрессивных МТТР, расположенных в различных частях планеты.

Раскинувшийся у стыка трёхграниц в Демократической Республике Конго национальный парк Вирунга (*Virunga National Park*) считается самым старым африканским заповедником, граничит с национальным парком «Горы Рувензори» (Уганда) и национальным парком вулканов (Руанда). Несколько лет назад эти три страны выступили с инициативой создания трансграничного биосферного заповедника. «Горы Рувензори» – это РАЗ в формате представленного МТТР.

Таким образом, МТТР Демократической Республики Конго, Уганды и Руанды находится на третьем этапе развития – природоохранной и туристической трансграничной контактности.

В Центральной Америке у стыка Сальвадора, Гондураса и Гватемалы расположен международный лесной заповедник Боске-Монтекристо. Стык границ трёх стран расположен в высшей точке хребта Серро-Монтекристо (2418 м). Этот МТТР находится на третьем этапе трансграничной интеграции ООПТ.

Отметим ещё несколько экологически-центричных МТТР, которые находятся на третьем этапе развития, то есть закончили формирование ЦАЗ или уже начали распространять её влияние по РАЗ к КАЗ.

В Африке три ООПТ: Нубале Ндоки (Конго), Лобеке (Камерун) и Дзанга Санга (Центрально-Африканская Республика) – образовали трансграничный заповедник *Tri-National de la Sangha*. В МТТР наблюдается третий этап развития.

Транснациональный парк Великое Лимпопо (*Great Limpopo Transfrontier Park*) в 2002 г. объединил приграничные парки трёх стран: Крюгер-Парк (ЮАР), парки Гонарежу, Манджини-Пан, Малипати (Зимбабве) и парк Лимпопо (Мозамбик). Особенность этого парка в том, что, являясь самым большим по площади, парк объединяет не только ЦАЗ, но и РАЗ, и КАЗ. Этот МТТР последовательно прошёл три этапа. По сути, образованный трансграничный парк включил в себя «зелёные» каркасы всех трёх стран. Можно сказать, что этот МТТР готов к переходу на четвёртый этап, то есть к формированию кольцевых структур.

Россия в трёхграничных стыках активно участвует в трансграничной природоохранной интеграции в форме создания международных трансграничных трёхзвенных ООПТ. Однако образованные МТТР с её участием отстают от описанных выше аналогов. Именно поэтому для страны чрезвычайно важно вести наблюдение за пионерами в этой сфере.

У стыка границ России, Норвегии и Финляндии с 2005 по 2008 г. проходил процесс образования трёхстороннего трансграничного парка «Пасвик-Инари», который имеет единую стратегию развития трансграничного туризма, единый план проведения совместных научных исследований, мониторинга и распространения знаний о парке в каждой из трёх стран-участниц. Долина реки Паз и озеро Инари обладают природной и культурно-географической континуальностью. С историко-географической точки зрения – это зона взаимопроникновения культур нескольких этносов. В различные времена на берегах реки проживали саамы, русские, финны и норвежцы. Река Паз служила транспортной артерией для удалённых от Баренцева моря районов, по ней перевозили людей и товары, сплавливали лес [5]. МТТР находится на третьем этапе интеграции – природоохранной и туристической трансграничной контактности.

В 1995 г. в Чите были подписаны документы о международном сотрудничестве и создании международного российско-монгольско-китайского заповедника на базе заповедников «Даурский» (Россия), «Монгол Дауур» (Монголия) и «Далайнор» (Китай). На английском языке единый заповедник называется *China-Mongolia-Russian «Dauria» international protected area*.

Экологический регион «Даурская степь» расположен на восточном стыке границ трёх

государств – России, Монголии и Китая. Он выделен экспертами Всемирного фонда дикой природы в рамках программы «Global 200». МТТР восточного стыка находится на третьем этапе. Государственный природный заказник «Долина дзерена», созданный в 2011 г., соединил стык трёхграничья и заповедник «Даурский» на российской стороне – это работа по созданию континуальной ЦАЗ. Территории заказника «Цасучейский бор» и кластер «Адон-Челон» заповедника «Даурский» выполняют функцию РАЗ. Таким образом, отмеченный МТТР активно переживает третью стадию.

### Заключение

На планете Земля у стыков соединения границ трёх стран часто идёт процесс образования ООПТ, которые становятся приграничными контактными звеньями – ЦАЗ МТТР. Эти ЦАЗ распространяют своё влияние на территории каждой из трёх стран, вовлекая близлежащие ООПТ в сферу своего влияния и превращая их в РАЗ. РАЗ, как и КАЗ, со временем сомкнутся и образуют кольцевые структуры. ООПТ МТТР образуют радиально-кольцевую структуру.

Процесс трансграничной радиально-кольцевой интеграции проходит три этапа: природоохранного обособления и внешне обособленного роста; трансграничной природоохранной и туристической контактности; этап организации трансграничного центрально-периферийного взаимодействия через Центральную активную зону. Четвёртый этап организации трансграничных радиально-кольцевых «зелёных» (природоохранных) каркасов ещё не реализован.

Экологоцентричные МТТР, которые образует Россия со своими соседями, находятся на различных этапах формирования. В современных условиях для формирования приграничной экологической политики чрезвычайно важно учитывать уже имеющийся международный опыт последовательной экологической интеграции стран в виде формирования трансграничных радиально-кольцевых «зелёных» (природоохранных) каркасов.

### Список литературы / References

1. Пономарев А.А., Байбаков Э.И., Рубцов В.А. Экологический каркас: анализ понятий // Ученые записки Казанского университета. Серия «Естественные науки». 2012. Т. 154. № 3. С. 228–238.
- Ponomarev A.A., Baybakov E.I., Rubtsov V.A. Ecological framework: analysis of concepts // Uchenye zapiski Kazanskogo universiteta. Seriya «Estestvennye nauki». 2012. Vol. 154. № 3. P. 228–238 (in Russian).

2. Бакланов П.Я. Структурные особенности и потенциал развития приграничных и трансграничных районов: теоретические аспекты // Региональные исследования. 2018. № 3 (61). С. 19–24.

Baklanov P.Ya. Structural Features and Development Potential of Border and Cross-Border Areas: Theoretical Aspects // Regional'nye issledovaniya. 2018. Vol. 3 (61). P. 19–24 (in Russian).

3. Родоман Б.Б. «Поляризованный ландшафт»: полвека спустя // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2021. № 3. С. 467–480. DOI: 10.31857/S2587556621030122.

Rodoman B.B. «Polarized Landscape»: Half a Century Later // Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya. 2021. № 3. С. 467–480. DOI: 10.31857/S2587556621030122 (in Russian).

4. Мартынов В.Л. Пространственная самоорганизация общества: взаимосвязи и взаимодействия: дис. ... докт. геогр. наук. Санкт-Петербург, 2002. 200 с.

Martynov V.L. Spatial self-organization of society: relationships and interactions: dis. ... dokt. geogr. nauk. Sankt-Peterburg, 2002. 200 p. (in Russian).

5. Новиков А.Н. Триединые трансграничные регионы: симметрия территориальной организации населения и хозяйства // Учёные записки Забайкальского государственного гуманитарно-педагогического университета имени Н.Г. Чернышевского. 2013. № 1 (48). С. 171–178.

Novikov A.N. Triune transboundary regions: symmetry of the territorial organization of the population and economy // Uchyonye zapiski Zabajkal'skogo gosudarstvennogo gumanitarno-pedagogicheskogo universiteta imeni N.G. Chernyshevskogo. 2013. № 1 (48). P. 171–178 (in Russian).

УДК 622.413:536.24

**ВЛИЯНИЕ РАСХОДА ВОЗДУХА НА ТОЧНОСТЬ ПРОГНОЗА  
ТЕМПЕРАТУРЫ В ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЯХ КРИОЛИТОЗОНЫ****Галкин А.Ф.***Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, Якутск, e-mail: afgalkin@yandex.ru*

Целью работы являлось определение корректирующего коэффициента для оценки изменения температуры воздуха в конкретных точках сети горных выработок подземного сооружения при изменении расхода воздуха в них (при прочих равных условиях). На основе обработки данных численных расчетов получена простая аналитическая зависимость для определения корректирующего коэффициента. Проведено сравнение точности и степени надежности предлагаемого подхода к оценке изменения температуры в горных выработках при изменении в них расхода воздуха. В частности, показано, что предложенный подход позволяет получить достаточно достоверные данные для оценки изменения температуры в конкретной точке выработки, не прибегая к новым трудоемким расчетам и анализу данных. При этом степень погрешности данных, как правило, не превышает допустимых в инженерной практике значений. Причем возникающая ошибка относится в расчетный запас. Установлено, что корректирующий коэффициент в большей степени изменяется в зависимости от степени увеличения базового расхода воздуха, чем от собственно абсолютного значения базового расхода. При этом чем больше приведенная площадь участка выработки, тем допустимое значение степени увеличения базового расхода меньше, независимо от значения самого базового расхода воздуха. Установлено, что чем ниже базовая температура в конечной точке, тем влияние степени увеличения базового расхода на изменение температуры сильнее. Результаты вариантных расчетов представлены в виде 2D и 3D графиков, которые позволяют в широком диапазоне условий проветривания горных выработок подземных сооружений криолитозоны, характерных для золотодобывающих рудников, определить значения корректирующего коэффициента.

**Ключевые слова:** криолитозона, подземное сооружение, горная выработка, температура, прогноз, проветривание, ошибка вычисления

**THE INFLUENCE OF AIR FLOW ON THE ACCURACY  
OF TEMPERATURE FORECAST IN THE MINE WORKINGS****Galkin A.F.***Melnikov Permafrost Institute SB RAS, Yakutsk, e-mail: afgalkin@yandex.ru*

The work was carried out to determine the corrective coefficient for assessing the change in air temperature in the network of mine workings with a change in the air flow rate in them, other things being equal. Based on the processing of numerical calculations, a simple analytical dependence was obtained to determine the correction coefficient. Comparisons of the accuracy and reliability of the proposed approach to assessing the temperature change in mine workings when the flow rate changes in them air. In particular, it is shown that the proposed approach allows to obtain sufficiently reliable data to assess the temperature change at a particular point of production without resorting to new labor-intensive calculations and data analysis. At the same time, the degree of error of the data, as a rule, does not exceed the permissible in engineering practice. Moreover, the resulting error refers to the estimated stock. It is established that the correction coefficient changes to a greater extent depending on the degree of increase in the base air flow than on the actual absolute value of the base flow rate. The results of variant calculations are presented in the form of 2D and 3D graphs, which allow to determine the values of the corrective coefficient in a wide range of conditions for ventilation of the cryolithozone mine, characteristic of gold mines.

**Keywords:** cryolithozone, underground structure, mining, temperature, forecast, ventilation, calculation error

Тепловой режим горных выработок подземных сооружений криолитозоны, как горнодобывающего профиля (шахты и рудники) [1–3], так и другого назначения (подземные склады, холодильники, защитные объекты) [4–6] зачастую является определяющим фактором их надежности и безопасной эксплуатации. Это связано как с зависимостью прочностных свойств вмещающих мерзлых горных пород от температуры [7–9], так и существенным влиянием подземного микроклимата на комфортность и безопасность труда персонала подземных объектов [10–12]. При проектировании подземных сооружений уделяется особое внимание таким важным аспектам,

как прогноз температурного режима (определение глубины оттаивания) горных пород вокруг выработок и оценка закономерностей формирования теплового режима в основных воздухоподающих выработках и на рабочих местах [11–14]. Точность прогноза и надежность оценки во многом зависит от точности задания начальных условий [14, 15]. В частности, расхода воздуха в выработках и их геометрических характеристик – сечения, периметра и длины. Если для конкретной выработки геометрические характеристики точно задаются при проектировании и не изменяются при эксплуатации, то расход воздуха является переменной величиной в течение года. И его

реальные значения, например, в рудниках криолитозоны могут отличаться в разы. Это обусловлено действием естественной тяги, которая может существенно изменить всю проектную систему вентиляции рудника, вплоть до опрокидывания вентиляционной струи.

Цель настоящей работы – определение корректирующего коэффициента для оценки изменения температуры воздуха в конкретных точках сети горных выработок при изменении расхода воздуха в них (при прочих равных условиях).

#### Материалы и методы исследования

Для определения температуры воздуха в выработке после изменения базового расхода воздуха в «*k*» раз воспользуемся простой формулой

$$t_2 = qt_1, \quad (1)$$

где  $t_2$  – температура после изменения расхода воздуха в выработке, °C;  $t_1$  – температура при начальном (базовом) значении расхода воздуха, °C;  $q$  – корректирующий коэффициент, д.е.

Корректирующий коэффициент находится по формуле, полученной в результате обработки данных численных расчетов по прогнозу теплового режима на участке горной выработки:

$$q = \exp(f(1 - 1/k^{0,2})/Q^{0,2}), f = mlu/1000. \quad (2)$$

В формуле (2) приняты следующие обозначения:  $f$  – приведенная площадь поверхности участка выработки,  $m^{0,6}/c^{0,2}$ ;  $u$  – периметр выработки на участке, м;  $l$  – длина участка выработки, м;  $m$  – коэффициент, зависящий от формы и вида крепи выработки, д.е.;  $k$  – степень изменения расхода воздуха, д.е.;  $Q$  – базовый расход воздуха в выработке,  $m^3/c$ .

Используя формулы (1) и (2), можно оценить степень изменения температуры воздуха в зимний период в конце отдельной горной выработки при изменении расхода воздуха, не прибегая к трудоемким расчетам.

Представляет интерес оценить ошибку, возникающую при определении температуры в конечной точке при изменении расхода воздуха в выработке. Относительная процентная ошибка может быть определена по формуле

$$\varepsilon = 100abs(1 - q). \% \quad (3)$$

Допустимая в инженерной практике ошибка вычисления искомой величины со-

ставляет обычно менее 10% или 0,1. Используя это допущение, из формулы (3), при подстановке в нее формулы (2), после несложных преобразований получена зависимость для определения соотношения между базовой величиной расхода воздуха и степенью его изменения для конкретной выработки:

$$k \geq 1/(1 - 0,095Q^{0,2}/f)^5. \quad (4)$$

#### Результаты исследования и их обсуждение

Прежде всего, необходимо отметить, что при изменении расхода воздуха тепловой баланс выработки остается практически постоянным. Так как увеличение количества холода, накапливаемого породами в холодный период года, будет компенсироваться увеличением количества тепла, накапливаемого в теплый период года. Небольшая разница будет возникать только за счет того, что коэффициент теплоотдачи в зимний период незначительно больше, чем в летний [12]. Кроме того, простой анализ формулы (2) показывает, что зависимость корректирующего коэффициента от расхода воздуха имеет степенной характер с показателем степени, равным 0,2. Это означает, что увеличение базового расхода воздуха (до корректировки схемы проветривания рудника), например в 1,5 раза, приведет к изменению множителя в 1,08 раза. И, как следует из формулы, собственно корректирующий коэффициент составит 1,02 (при базовом расходе 20  $m^3/c$  и увеличении его до 30  $m^3/c$ , например). Максимальное значение степени изменения расхода воздуха в выработках не превысит 2,0. Это соответствует корректирующему коэффициенту, равному 1,04. Таким образом, следует ожидать, что изменения температуры в конечных точках будут незначительны, даже при большой степени изменения базового расхода воздуха. Однако полностью подтвердить данное утверждение возможно только всесторонним количественным анализом. Для этого по полученным формулам были проведены варианты расчетов, результаты которых приведены в виде графиков на рис. 1–5.

На рис. 1 показано изменение корректирующего коэффициента в зависимости от степени увеличения «*k*» базового расхода воздуха в выработке (взято два значения: 100 и 50  $m^3/c$ ) для различных значений параметра «*f*» – приведенной площади выработки.

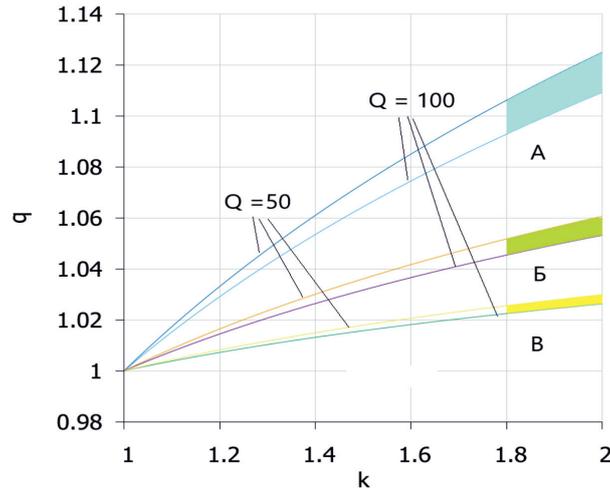


Рис. 1. Корректирующий коэффициент при базовом расходе 50 и 100 м<sup>3</sup>/с для различных участков выработки с приведенной площадью: А – 2,0; Б – 1,0; В – 0,5

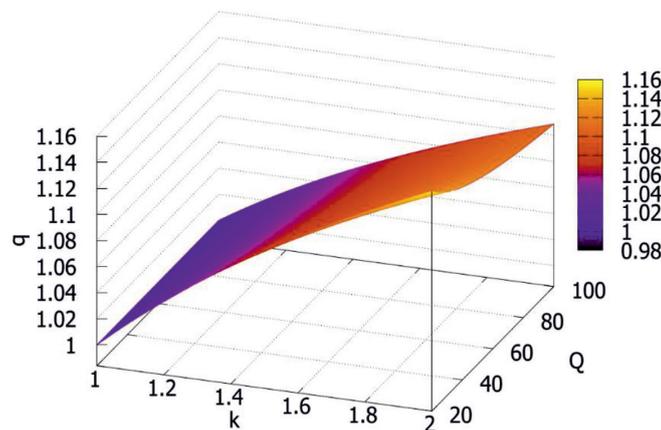


Рис. 2. Изменение корректирующего коэффициента в зависимости от степени увеличения  $Q$

Как видно из графиков, приведенных на рисунке, увеличение базового расхода воздуха в два раза (с 50 до 100 м<sup>3</sup>/с) приводит к незначительному увеличению корректирующего коэффициента. Приведенная площадь играет более значимую роль, хотя в абсолютном значении эти цифры не очень велики. Например, изменение приведенной площади в 2 раза (с 1 до 2 – кривые А и Б) приводят к увеличению корректирующего коэффициента в 1,05 раза. А, при изменении приведенной площади в те же 2 раза (с 0,5 до 1 – кривые В и Б) приводят к увеличению корректирующего коэффициента в 1,02 раза. Но если сравнивать кривые А, Б и В, то очевидно влияние приведенной площади на корректирующий коэффициент:

чем меньше приведенная площадь, тем кривые более пологие. То есть степень изменения корректирующего коэффициента при постоянном значении увеличения базового расхода, независимо от его величины, возрастает при увеличении приведенной площади выработки. Если провести горизонтальную линию, параллельную оси Х на отметке корректирующего коэффициента, равной 1,1, то получим, что при базовом расходе меньше 100 м<sup>3</sup>/с и изменении приведенной площади менее 2, увеличение расхода воздуха меньше, чем в 1,65 раза не приведет к ошибке в определении температуры больше допустимой в инженерной практике. Далее мы рассмотрим это вопрос более детально. На рис. 2 приведено из-

менение корректирующего коэффициента в зависимости от степени увеличения базового расхода воздуха для участка выработки с приведенной площадью, равной 2,0.

Как видно из рисунка, корректирующий коэффициент в большей степени изменяется в зависимости от степени увеличения базового расхода воздуха, чем от собственно абсолютного значения базового расхода. Об этом свидетельствует разный наклон плоскости на рисунке относительно осей X («k») и Y («Q»). Причем, как уже отмечалось, абсолютные значения корректирующего коэффициента не очень велики и находятся вблизи или ниже значений, допустимой в инженерной практике ошибки вычислений.

Для наглядности на рис. 3 и 4 приведены графики изменения температуры в конечной точке при различной степени увеличения базового расхода для участка выработки с приведенной площадью, равной 2,0. На рис. 3 для базовой температуры, равной  $-20,0^{\circ}\text{C}$ , а на рис. 4 для базовой температуры, равной  $-10,0^{\circ}\text{C}$ .

Графики количественно подтверждают сделанный ранее очевидный вывод: чем ниже базовая температура в конечной точке, тем влияние степени увеличения базового расхода на изменение температуры сильнее. Причем это относится в большей степени к коэффициенту увеличения расхода воздуха, а не собственно абсолютному значению базового расхода.

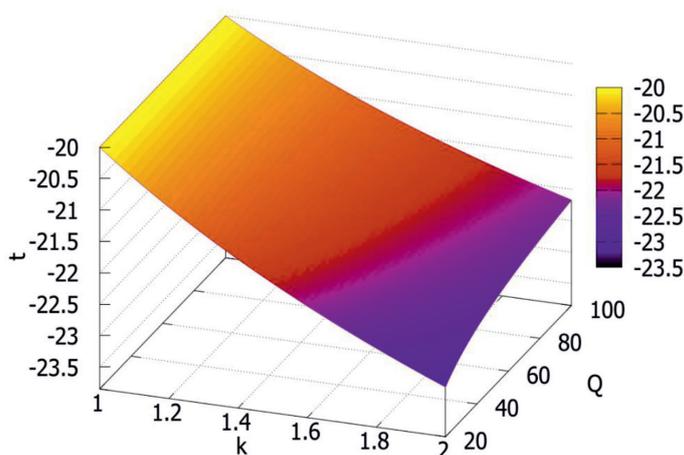


Рис. 3. Изменение температуры ( $-20,0^{\circ}\text{C}$ ) при различной степени увеличения базового расхода для участка выработки с приведенной площадью, равной 2,0

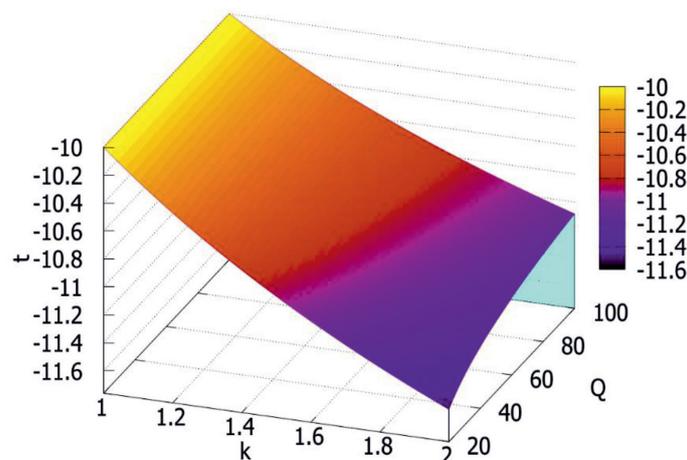


Рис. 4. Изменение температуры ( $-10,0^{\circ}\text{C}$ ) при различной степени увеличения базового расхода для участка выработки с приведенной площадью, равной 2,0

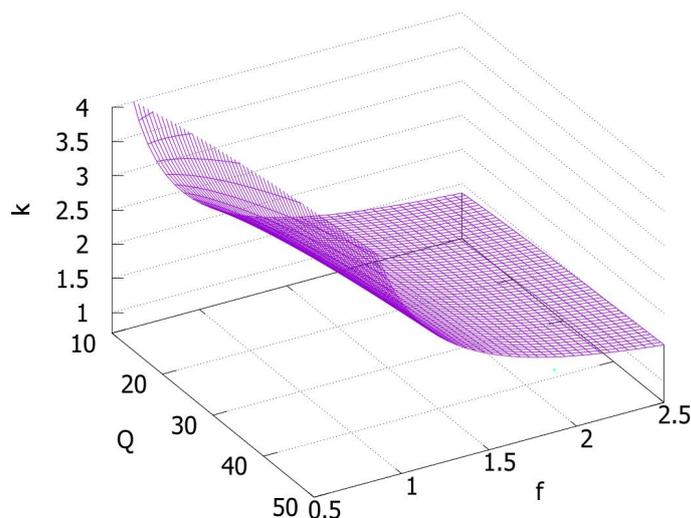


Рис. 5. Допустимое значение коэффициента увеличения базового расхода воздуха для участка выработки с различной приведенной площадью

На рис. 5 приведен график, характеризующий изменение допустимого значения коэффициента увеличения базового расхода воздуха для участка выработки с различной приведенной площадью.

Как видно из графика, чем больше приведенная площадь участка выработки, тем допустимое значение степени увеличения базового расхода меньше, независимо от значения самого базового расхода воздуха. Если значение коэффициента больше определенного по графику значения, то ошибка вычисления конечной температуры будет больше допустимой в инженерной практике (10%). Во всех остальных случаях она будет меньше, и проводить корректировку температурного режима на участке выработки необязательно.

### Заключение

На основе обработки данных численных расчетов получена простая аналитическая зависимость для определения корректирующего коэффициента температуры в конечной точке участка выработки при изменении базового расхода воздуха. Проведено сравнение точности и степени надежности предлагаемого подхода к оценке изменения температуры в горных выработках при изменении в них расхода воздуха. Предложенный подход позволяет получить достаточно достоверные данные для оценки изменения температуры в конкретной точке выработки, не прибегая к новым трудоемким расчетам и повторному анализу данных. Показано,

что степень погрешности получаемых данных, как правило, не превышает допустимых в инженерной практике значений. Установлено, что корректирующий коэффициент в большей степени изменяется в зависимости от степени увеличения базового расхода воздуха, чем от собственно абсолютного значения базового расхода. При этом чем больше приведенная площадь участка выработки, тем допустимое значение степени увеличения базового расхода меньше, независимо от значения самого базового расхода воздуха. Результаты вариантных расчетов представлены в виде 2D и 3D графиков, которые позволяют в широком диапазоне условий проветривания горных выработок криолитозоны, характерных для золотодобывающих рудников, определить значения корректирующего коэффициента. Дальнейшие исследования в этой области должны быть направлены на сравнение результатов, полученных с помощью предложенного подхода с результатами, полученными с помощью численного прогноза значения температуры в конечной точке выработки при увеличении в ней базового расхода воздуха.

### Список литературы / References

1. Скуба В.Н. Исследование устойчивости горных выработок в условиях многолетней мерзлоты. Новосибирск: Наука, 1974. 118 с.
2. Scuba V.N. Research on the sustainability of mining in permafrost. Novosibirsk: Nauka, 1974. 118 p. (in Russian).
3. Шерстов В.А. Повышение устойчивости выработок россыпных шахт Севера. Новосибирск: Наука. Сиб. отделение, 1980. 56 с.

- Sherstov V.A. Increase in sustainability of the mining of the North. Novosibirsk, Nauka, 1980, 56 p. (in Russian).
3. Дядкин Ю.Д. Основы горной теплофизики. М.: Недра, 1968. 256 с.
- Dyadkin, Yu.D. Osnovy gornoj teplofiziki dlya shakht i rudnikov Severa (Basics of Mining Thermo physics for Underground Mines in the North), M.: Nedra, 1968, 256 p. (in Russian).
4. Кузьмин Г.П. Подземные сооружения в криолитозоне. Новосибирск: Наука, 2002. 176 с.
- Kuzmin G.P. Underground structures in the permafrost zone. Novosibirsk: Nauka, 2002. 176 p. (in Russian).
5. Галкин А.Ф., Курта И.В., Панков В.Ю. Сравнение теплового потока в горных выработках плоской и сферической симметрии // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2020. № 10. С. 133–141.
- Galkin A.F., Kurta I.V., Pankov V.Yu. Comparison of heat flux in mine workings of flat and spherical symmetry // MIAB. Mining Inf. Anal. Bull. 2020. No. 10. P. 133–141 (in Russian).
6. Galkin A.F. Thermal conditions of the underground town collector tunnel. Metallurgical and Mining Industry. 2015. No. 8. P. 70–73.
7. Guo fang Xu, Jilin Qi, Wei Wu. Temperature Effect on the Compressive Strength of Frozen Soils: A Review. Recent Advances in Geotechnical Research, Springer Series in Geomechanics and Geoengineering. 2019. P. 227–236. DOI: 10.1007/978-3-319-89671-7\_19.
8. Teng J., Shan F., He Z., Zhang S., Sheng D. Experimental study of ice accumulation in unsaturated clean sand. Géotechnique. 2018. P. 208–225. DOI: 10.1680/jgeot.17.P.208.
9. Семин М.А., Бровка Г.П., Пугин А.В., Бублик С.А., Желнин М.С. Исследование влияния неоднородности поля температур на прочность ледопородных ограждений стволов шахт // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2021. № 9. С. 79–93.
- Semin M.A., Brovka G.P., Pugin A.V., Bublik S.A., Zhelnin M.S. Effects of temperature field nonuniformity on strength of frozen wall in mine shafts // MIAB. Mining Inf. Anal. Bull. 2021. No. 9. 79–93 (in Russian).
10. Greth A., Roghanchi P., Kocsis K. A review of cooling system practices and their applicability to deep ad hot underground US mines. 16th North American Mine Ventilation Symposium, Golden, CO, June 17–22. 2017. Vol. 11. P. 1–9.
11. Вернигор В.М., Морозов К.В., Бобровников В.Н. О подходах к проектированию теплового режима рудников в условиях многолетнемерзлых пород // Записки Горного института. 2013. Т. 205. С. 139–140.
- Vernigor V.M., Morozov K.V., Bobrovnikov V.N. About approaches to designing the thermal regime of mines in permafrost // Zapiski Gornogo instituta. 2013. Vol. 205. P. 139–140 (in Russian).
12. Галкин А.Ф. Тепловой режим рудников криолитозоны // Записки Горного института. 2016. Т. 219. С. 377–381. DOI: 10.18454/pmi.2016.3.377.
- Galkin A.F. Thermal regime of cryolithozone mines // Zapiski Gornogo instituta. 2016. Vol. 219. P. 377–381 (in Russian). DOI: 10.18454/pmi.2016.3.377.
13. Галкин А.Ф., Курта И.В. Влияние температуры на глубину оттаивания мерзлых пород // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2020. № 2. С. 82–91. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-2-0-82-91.
- Galkin A.F., Kurta I.V. Effect of temperature on thawing depth frozen rocks // MIAB. Mining Inf. Anal. Bull. 2020. No. 2, P. 82–91 (in Russian) DOI: 10.25018/0236-1493-2020-2-0-82-91.
14. M. Zeeshan Khalid, M. Zubair, Majid Ali. An analytical method for the solution of two phase Stefan problem in cylindrical geometry // Applied Mathematics and Computation. 2019. Vol. 342. P. 295–308.
15. Горелик Я.Б., Паздерин Д.С. Корректность постановки и решения теплотехнических задач по прогнозу динамики температурных полей в основании сооружений на многолетнемерзлых грунтах // Криосфера Земли. 2017. Т. XXI. № 3. С. 49–59.
- Gorelik Ya.B., Pazderin D.S., Correctness of formulation and solution of thermomechanical problems in forecasting temperature field dynamics in the foundations of constructions on permafrost // Kriosfera Zemli. 2017. V. XXI. No. 3. P. 49–59.

УДК 551.583

## ВОЗМОЖНЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА ЮГЕ ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

<sup>1</sup>Залиханов М.Ч., <sup>1</sup>Федченко Л.М., <sup>1,2</sup>Ашабоков Б.А., <sup>1</sup>Кешева Л.А., <sup>1</sup>Теунова Н.В.

<sup>1</sup>ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», Нальчик, e-mail: kesheva.lara@yandex.ru;

<sup>2</sup>Институт информатики и проблем регионального управления Кабардино-Балкарского  
научного центра Российской Академии наук, Нальчик

Проведен анализ изменения климата на основе временных рядов температур в приземном слое воздуха и атмосферных осадков на 11 метеостанциях, расположенных в равнинной и предгорной зонах юга европейской территории России (ЕТР) за 1961–2018 гг. Рассчитан угловой коэффициент линейного тренда  $a$ , коэффициент детерминации ( $R^2$ ), критерий Фишера (Sig. F-теста на 5%-ном уровне). Получен гидротермический коэффициент увлажнения Селянинова ( $K$ ) в различных климатических зонах юга ЕТР, который зависит от температуры приземного воздуха и количества атмосферных осадков. Данный коэффициент используется для анализа влагообеспеченности территорий с целью определения целесообразности производства тех или иных сельскохозяйственных культур. Сравнительный анализ средних температур на временных отрезках 1961–1990 гг. и 1991–2018 гг. показал, что из всех сезонов наибольшей стабильностью выделяются температуры зимнего сезона в предгорной зоне и температуры в Махачкале (прикаспийская зона). Во всех климатических зонах имело место как увеличение (60%), так и уменьшение (40%) сезонных и годовых сумм осадков, в основном эти тенденции статистически незначимые. Для различных климатических зон региона были рассчитаны 4 состояния засухи. Исследования показали, что в равнинной зоне метеостанция Изобильный находится в зоне обеспеченного увлажнения ( $K \geq 1$ ), метеостанции Моздок и Прохладный находятся в засушливой зоне ( $K = 0,7-1,0$ ), Дербент, Изберг, Кизляр, Махачкала находятся в зоне ирригации ( $K < 0,5$ ). Проведенные исследования динамики коэффициента влагообеспеченности Селянинова показали, что в вегетационный период наблюдается снижение величины ГТК в равнинной и предгорной зонах, что характеризует усиление состояния засух. Последствия такого изменения влагообеспеченности почвы будут крайне негативными для производства сельскохозяйственной продукции в равнинной и предгорной климатических зонах юга ЕТР.

**Ключевые слова:** климатические зоны, температура, осадки, регрессионный анализ, гидротермический коэффициент увлажнения Селянинова

## POTENTIAL CONSEQUENCES OF CLIMATE CHANGE IN THE SOUTH OF THE EUROPEAN TERRITORY OF RUSSIA

<sup>1</sup>Zalikhonov M.Ch., <sup>1</sup>Fedchenko L.M., <sup>1,2</sup>Ashabokov B.A., <sup>1</sup>Kesheva L.A., <sup>1</sup>Teunova N.V.

<sup>1</sup>Federal State Budgetary Institution «High Mountain Geophysical Institute»,  
Nalchik, e-mail: kesheva.lara@yandex.ru;

<sup>2</sup>Institute of Informatics and Regional Management Problems of the Kabardino-Balkarian Scientific  
Center of the Russian Academy of Sciences, Nalchik

The analysis of climate change is carried out on the basis of time series of temperatures in the surface layer of air and atmospheric precipitation at 11 m/stations located in the plain and foothill zones of the south of the European territory of Russia (ETR) for the period 1961-2018. The angular coefficient of the linear trend  $a$ , the coefficient of determination ( $R^2$ ), the Fisher criterion (Sig. F-test at a 5% level) were calculated. The hydrothermal coefficient of moisture of Selyaninov ( $K$ ) was obtained in different climatic zones of the southern ETR, which depends on the surface air temperature and the amount of precipitation. This coefficient is used to analyze the moisture supply of territories in order to determine the feasibility of producing certain crops. Comparative analysis of average temperatures on time intervals 1961-1990 and 1991-2018 showed that of all seasons, the temperatures of the winter season in the foothill zone and temperatures in Makhachkala (Caspian zone) are the most stable. In all climatic zones, there was both an increase (60%) and a decrease (40%) in seasonal and annual precipitation amounts, mainly these trends are statistically insignificant. For different climatic zones of the region, 4 drought conditions were calculated. Studies have shown that in the flat zone the Izobilny m/station is in the zone of provided moisture ( $K \geq 1$ ), the Muzdok and Prokhladnaya m/stations are in the arid zone ( $K = 0.7-1.0$ ), Dербent, Izberg, Kizlyar, Makhachkala is located in the irrigation zone ( $K < 0.5$ ). The studies of the dynamics of the Selyaninov moisture supply coefficient showed that during the growing season, there is a decrease in the value of the HTC in the plain and foothill zones, which characterizes the intensification of the state of droughts. The consequences of such a change in the moisture supply of the soil will be extremely negative for the production of agricultural products in the lowland and foothill climatic zones of the southern ETR.

**Keywords:** climatic zones, temperature, precipitation, regression analysis, Selyaninov's hydrothermal moisture coefficient

Проблемы современного изменения климата, особенно быстрого в последние десятилетия, все больше беспокоят мировое сообщество. В настоящее время су-

ществует обширный перечень работ, посвященных анализу и прогнозу изменения глобального климата и климата различных регионов мира на различные периоды вре-

мени и до конца XXI в., анализу возможных его последствий, имеются карты основных метеорологических параметров, в том числе и для территории России [1].

Признаков замедления изменения климата пока не наблюдается, существует реальная вероятность, что повышение глобальной температуры к середине XXI в. может составить 2–5 °С. Последствия такого сценария изменения климата трудно предсказать, в истории своего развития общество не имело дела с проблемами такого масштаба, к таким последствиям не готово ни общество, ни глобальная экологическая система, они могут оказаться катастрофическими. Проблема изучения глобального и регионального изменения климата является одной из приоритетных, стоящих перед экологическими и экономическими аспектами устойчивого развития общества [2]. Исследование климатических изменений важно для многих отраслей экономики, таких как сельское хозяйство, добывающая промышленность, здравоохранение, туризм и т.д. [3–5].

Экстремально высокие температуры на фоне климатических изменений, приводящих к росту частоты и интенсивности опасных природных явлений, могут стать причиной повсеместного снижения урожайности зерновых культур: повышение температуры окружающей среды всего на 2 °С вызовет снижение урожайности пшеницы на 15 %.

Изучение климата в таком разнообразном климатическом регионе, как юг европейской территории России (ЕТР), необходимо для оценки влияния местных факторов на формирование его определенных климатических особенностей в различных климатических зонах региона.

Целью исследования является анализ изменения климата равнинной и предгорной зон юга европейской территории России, расчёт гидротермического коэффициента увлажнения Селянинова для анализа влагообеспеченности территорий.

#### Материалы и методы исследования

Исследованию изменения климата на ЕТР посвящено много работ российских ученых. В работах [6, 7] рассматриваются изменения температурного режима и режима осадков на европейской территории России. Было показано, что в период с 1880 по 2005 г. отмечается положительный тренд в температуре воздуха и осадках. При этом отмечается, что начиная с 1991 г.

наметилась тенденция к уменьшению количества осадков, а рост температуры воздуха в период с 1976 по 2005 г. составил 0,4–0,48 °С/10 лет.

Данная работа посвящена исследованию изменения климата юга ЕТР. Для анализа были использованы данные временных рядов температур в приземном слое атмосферы и атмосферных осадков за период с 1961 по 2018 г. Исходные данные метеопараметров – это результат первичных измерений на метеостанциях сети Росгидромета, предоставленный Северо-Кавказским УГМС, а также данные с использованием электронного ресурса [8].

Анализ изменений температурного режима проводился по данным 11 метеостанций, расположенных в равнинной и предгорной зонах региона. Проведен t-тест для определения статистически значимой разницы осредненных температур для базового периода (1961–1990 гг.), который рекомендован Всемирной метеорологической организацией (ВМО) и определяется как норма, и современного периода (1991–2018 гг.), а также регрессионный анализ сумм осадков за 1961–2018 гг. Определены угловой коэффициент линейного тренда  $a$ , коэффициент детерминации ( $R^2$ ), критерий Фишера (Sig. F-теста на 5%-ном уровне) сезонных и годовых сумм осадков. Статистическая значимость тренда оценивалась вкладом тренда в объясненную дисперсию, величиной  $D$  (%).

$$D = (R^2) 100\%. \quad (1)$$

Для проверки гипотезы о значимости коэффициента детерминации (тренда) используется критерий Фишера (F-тест):

$$F = \frac{R^2}{1 - R^2} \cdot \frac{n - k - 1}{k}, \quad (2)$$

где  $R^2$  – коэффициент детерминации,  $n$  – число наблюдений (58 лет),  $k$  – число независимых параметров линейной регрессии.

Рассчитан гидротермический коэффициент увлажнения Селянинова для анализа влагообеспеченности территорий, который зависит от температуры приземного воздуха и количества атмосферных осадков и записывается в виде

$$K = \frac{R}{0.1 \times \sum t}, \quad (3)$$

где  $R$  – сумма осадков за период с температурами выше +10 °С (мм);  $\sum t$  – сумма температур за этот же отрезок времени (°С).

**Результаты исследования  
и их обсуждение**

Сравнительный анализ многолетних статистик в базовый и современный периоды можно рассматривать как дополнительную информацию об изменении климата в условиях глобального потепления. Результаты статистически значимой разницы (Sig. < 0,05) или равенства (Sig. > 0,05) осредненных температур за два периода представлены в табл. 1. Значения, статистически значимо равные на 5%-ном уровне, выделены жирным шрифтом.

Из табл. 1 видно, что при сравнении осредненных значений среднегодовой и се-

зонной температур в современный период с климатической нормой имело место превышение нормы на всех исследуемых метеостанциях, в основном наблюдалась статистически значимая разница на 5%-ном уровне ( $D \geq 6,5\%$ ).

Сравнительный анализ средних температур на временных отрезках 1961–1990 гг. и 1991–2018 гг. показал, что из всех сезонов наибольшей стабильностью выделяются температуры зимнего сезона в предгорной зоне и температуры в Махачкале (прикаспийская зона). Статистически значимая разница также наблюдается в осенний сезон на станции Изобильный и в зимний сезон на станции Кисловодск и Ставрополь.

**Таблица 1**

Средние температуры в базовый и современный периоды с оценкой *t*-критерия на 5%-ном уровне

Климатические зоны, метеостанции	$t_N(1961-1990 \text{ гг.})/t_{cp}(1991-2018 \text{ гг.})^\circ\text{C}$					Знач. <i>t</i> -критерия на 5%-м уровне, Sig.				
	зима	весна	лето	осень	год	зима	весна	лето	осень	год
<b>I. Равнинная зона</b>										
<b>1.1 Степная</b>										
Изобильный	-0,7/ 0,01	10,6/ 11,0	21,7 /22,8	<b>11,1/ 11,5</b>	10,7/ 11,3	0,03	0,04	0,00	<b>0,21</b>	0,00
Моздок	-2,2/ -1,2	10,3/ 10,9	22,5/ 23,8	10,9/ 11,5	10,4/ 11,3	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00
Проладный	-2,2/ -1,2	10,1/ 10,8	21,9/ 23,2	10,5/ 11,2	10,1/ 11,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
<b>1.2 Прикаспийская</b>										
Дербент	2,9/ 3,6	10,3/ 11,2	23,4 /24,7	14,3/ 15,2	12,7/ 13,7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Изберг	2,0/ 2,5	9,5/ 10,4	22,9/ 23,9	14,0/ 14,4	12,1/ 12,8	0,03	0,00	0,00	0,04	0,00
Кизляр	0,2/ 0,8	10,7/ 11,2	23,4/ 24,2	12,4/ 13,1	11,7/ 12,3	0,04	0,01	0,00	0,01	0,00
Махачкала	<b>1,4/ 1,6</b>	<b>10,3/ 10,6</b>	<b>23,5/ 23,8</b>	<b>13,6/ 13,9</b>	<b>12,2/ 12,5</b>	<b>0,47</b>	<b>0,13</b>	<b>0,12</b>	<b>0,30</b>	<b>0,09</b>
<b>II. Предгорная зона</b>										
Владикавказ	-2,4/ -1,0	8,5/ 9,4	18,8/ 20,05	9,1/ 10,03	8,5/ 9,6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Кисловодск	<b>-1,8/ -1,5</b>	7,5/ 8,2	17,3/ 18,8	8,5/ 9,2	7,8/ 8,7	<b>0,3</b>	0,03	0,00	0,02	0,00
Нальчик	-2,3/ -1,2	9,1/ 10,1	20,4/ 21,9	9,98/ 10,8	9,3/ 10,4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ставрополь	<b>-2,2/ -1,6</b>	8,8/ 9,3	20,5/ 21,7	9,7/ 10,2	9,2/ 9,9	<b>0,07</b>	0,01	0,00	0,04	0,00
Черкесск	-2,2/ -1,3	8,9/ 9,4	19,6/ 20,7	9,6/ 10,2	8,98/ 9,7	0,01	0,03	0,00	0,02	0,00
Буйнакск	-0,9/ 0,04	9,3/ 10,2	20,8/ 22,3	10,5/ 11,5	9,9/ 11,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

\* Жирным шрифтом выделены статистически значимо равные на 5%-ном уровне осредненные значения двух периодов.

Для исследования изменения режима осадков были использованы временные ряды сумм осадков по данным вышеприведенных метеостанций. Характеристики изменения режима осадков за этот период времени, полученные в результате регрессионного анализа, представлены в табл. 2. Коэффициенты линейного тренда характеризуют среднюю скорость локальных изменений атмосферных осадков на исследуемых метеостанциях юга России в течение 1961–2018 гг.

Из табл. 2 следует, что во всех климатических зонах имело место как увеличение (60%), так и уменьшение (40%) сезонных и годовых сумм осадков, в основном эти тенденции статистически незначимы.

Предполагая, что полученные тенденции изменения климата сохранятся и в будущем, остановимся на возможных его последствиях для сельскохозяйственной отрасли региона.

Юг ЕТР относится к важнейшим регионам – производителям продукции сельского хозяйства в РФ, этим обусловлен выбор данной отрасли для исследования.

Фактором, способным повлиять на производство сельскохозяйственных культур, на структуру сельского хозяйства, становится увеличение вегетационного периода [9]. Хотя последствия уменьшения количества осадков в летний сезон с учетом тенденций изменения режима температуры могут быть негативными.

Таблица 2

Статистические характеристики линейной регрессии сезонных рядов сумм осадков различных климатических зон юга ЕТР за 1961–2018 гг.

Климатические зоны, метеостанции	зима		весна		лето		осень		год	
	<i>a</i> , мм/ год ( <i>R</i> <sup>2</sup> )	<i>F</i> - тест/ Sig. *	<i>a</i> , мм/ год ( <i>R</i> <sup>2</sup> )	<i>F</i> - тест/ Sig. *	<i>a</i> , мм/ год/ ( <i>R</i> <sup>2</sup> )	<i>F</i> - тест/ Sig. *	<i>a</i> , мм/ год ( <i>R</i> <sup>2</sup> )	<i>F</i> - тест/ Sig. *	<i>a</i> , мм/ год ( <i>R</i> <sup>2</sup> )	<i>F</i> - тест/ Sig. *
<b>I. Равнинная зона</b>										
<b>1.1. Степная</b>										
Изобильный	-0,07 (0,00)	0,05/ 0,82	0,70 (0,06)	3,30/ 0,08	-0,11 (0,00)	0,03/ 0,88	0,67 (0,04)	2,36/ 0,13	1,12 (0,03)	1,50/ 0,23
Моздок	-0,04 (0,00)	0,04/ 0,84	-0,01 (0,00)	0,00/ 0,98	<b>-0,99</b> <b>(0,06)</b>	<b>3,62</b> / <b>0,06</b>	0,42 (0,03)	1,77/ 0,19	-0,69 (0,01)	0,81/ 0,37
Прохладный	0,19 (0,03)	1,63/ 0,21	0,20 (0,01)	0,30/ 0,59	-0,54 (0,03)	1,43/ 0,24	<b>0,88</b> <b>(0,12)</b>	<b>7,31</b> / <b>0,01</b>	0,68 (0,02)	0,89/ 0,35
<b>1.2. Прикаспийская</b>										
Дербент	0,64 (0,05)	2,85/ 0,10	-0,22 (0,01)	0,65/ 0,43	0,20 (0,01)	0,76/ 0,39	0,59 (0,02)	1,38/ 0,25	1,17 (0,05)	3,17/ 0,08
Изберг	0,00 (0,01)	0,75/ 0,39	0,00 (0,00)	0,00/ 1,00	0,01 (0,02)	1,31/ 0,26	0,01 (0,02)	0,97/ 0,33	0,01 (0,02)	1,31/ 0,26
Кизляр	0,13 (0,01)	0,39/ 0,53	0,14 (0,01)	0,31/ 0,58	-0,53 (0,05)	2,68/ 0,11	0,28 (0,02)	1,02/ 0,32	-0,03 (0,00)	0,00/ 0,96
Махачкала	<b>0,73</b> <b>(0,10)</b>	<b>6,10</b> / <b>0,02</b>	0,30 (0,03)	0,02/ 0,89	-0,04 (0,00)	0,02/ 0,89	0,46 (0,02)	0,83/ 0,37	<b>1,48</b> <b>(0,09)</b>	<b>5,37</b> / <b>0,02</b>
<b>II. Предгорная зона</b>										
Владикавказ	0,13 (0,00)	0,23/ 0,63	0,60 (0,02)	1,09/ 0,30	-0,18 (0,00)	0,04/ 0,84	-0,00 (0,00)	0,16/ 0,70	0,31 (0,00)	0,05/ 0,83
Кисловодск	<b>0,39</b> <b>(0,09)</b>	<b>5,47</b> / <b>0,02</b>	0,49 (0,03)	1,98/ 0,17	<b>-1,33</b> <b>(0,06)</b>	<b>3,39</b> / <b>0,07</b>	<b>0,63</b> <b>(0,09)</b>	<b>5,25</b> / <b>0,03</b>	0,13 (0,00)	0,02/ 0,89
Нальчик	-0,05 (0,00)	0,17/ 0,68	-0,25 (0,01)	0,32/ 0,57	0,35 (0,01)	0,42/ 0,52	0,34 (0,01)	0,68/ 0,41	0,27 (0,00)	0,10/ 0,75
Ставрополь	-0,10 (0,00)	0,17/ 0,68	0,46 (0,03)	1,46/ 0,23	-0,79 (0,03)	1,83/ 0,18	0,30 (0,01)	0,65/ 0,42	-0,19 (0,00)	0,07/ 0,80
Черкесск	0,00 (0,01)	0,66/ 0,42	0,00 (0,00)	0,03/ 0,86	-0,01 (0,01)	0,62/ 0,43	-0,01 (0,01)	0,43/ 0,52	-0,01 (0,01)	0,34/ 0,56
Буйнакск	0,13 (0,01)	0,42/ 0,52	0,33 (0,01)	0,75/ 0,39	-0,45 (0,01)	0,47/ 0,50	<b>0,75</b> <b>(0,10)</b>	<b>6,00</b> / <b>0,02</b>	0,69 (0,01)	0,59/ 0,45

\* тренды, значимые на 95%-ном уровне (Sig. < 0,05), выделены жирным;

\*\* отрицательные тренды выделены серой заливкой.

Были проведены исследования изменений гидротермического коэффициента увлажнения Селянинова (ГТК) в различных климатических зонах юга ЕТР. Данный коэффициент используется для анализа влагообеспеченности территорий с целью определения целесообразности производства тех или иных сельскохозяйственных культур.

Были рассчитаны четыре состояния засухи для различных климатических зон региона:

- 1) отсутствие засухи (зона избыточного увлажнения,  $K > 1,0$ );
- 2) слабая засуха (засушливая зона) ( $0,7 < K < 1,0$ );
- 3) средняя засуха (сухое земледелие) ( $0,5 < K < 0,7$ );
- 4) сильная засуха (ирригация) ( $K < 0,5$ ).

На рис. 1–2 приведены значения коэффициента влагообеспеченности на отрезке времени 1961–2018 гг. и соответствующие линейные тренды начиная с 1976 г. (начало потепления климата). Значение коэффициента  $K$ , соответствующее началу линейного тренда (1976 г.), находится в зоне обеспеченного увлажнения ( $K \geq 1$ ) только у метеостанции Изобильный, в засушливой зоне ( $K = 0,7–1,0$ ) находятся две метеостанции: Моздок и Прохладный. Остальные метеостанции – Дербент, Изберг, Кизляр, Махачкала – находятся в зоне ирригации ( $K < 0,5$ ).

На рис. 1 видно, что линейные тренды временных рядов коэффициента влагообеспеченности  $K$ , за исключением метеостанции Махачкала, имеют тенденцию к уменьшению. Линейный тренд на метеостанции Махачкала, хотя и небольшими темпами, но имеет тенденцию к увеличению. Наи-

большими темпами коэффициент  $K$  уменьшается для метеостанции Прохладный, за ней следуют метеостанции Моздок и Дербент. Наименьшая скорость изменения  $K$  соответствует метеостанции Изберг. В 2018 г. значения  $K$  у метеостанций Дербент и Изберг уменьшились примерно до 0,35, но они остались в той же зоне влагообеспеченности. Уменьшение значений коэффициента происходит более быстрыми темпами у метеостанции Дербент. Уменьшение значения коэффициента  $K$  у метеостанции Кизляр происходило медленнее: с 0,48 до 0,44. На рис. 1, б, видно, что уменьшение данного коэффициента у метеостанции Изобильный происходило еще меньшими темпами.

Что касается изменений коэффициентов влагообеспеченности, соответствующих данным метеостанций Моздок и Прохладный (рис. 1, б), то они также пока остались в засушливой зоне. Но значение данного коэффициента для метеостанции Моздок уже находится на нижней границе данной зоны. Более быстрыми темпами происходит уменьшение данного коэффициента для метеостанции Прохладный.

Остановимся на результатах расчетов коэффициента влагообеспеченности в предгорной климатической зоне региона. В 1976 г. (начало потепления) самая высокая влагообеспеченность наблюдалась на метеостанции Владикавказ, за ней следует метеостанция Кисловодск (рис. 2). Обе эти метеостанции в 1976 г. были расположены в зоне избыточного увлажнения. Самая низкая влагообеспеченность в 2018 г. наблюдалась на метеостанции Ставрополь, которая находится в зоне обеспеченного увлажнения. Остальные метеостанции по влагообеспеченности расположены между ними.

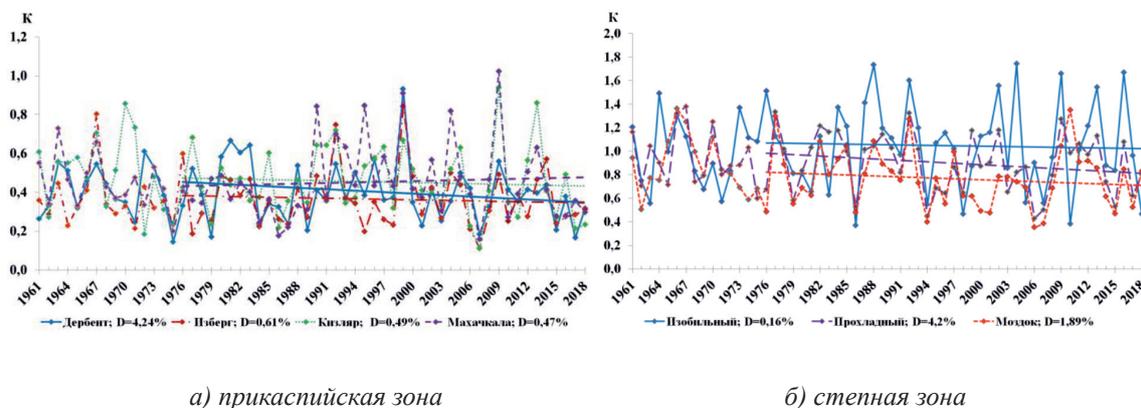


Рис. 1. Коэффициенты влагообеспеченности прикаспийской и степной зоны

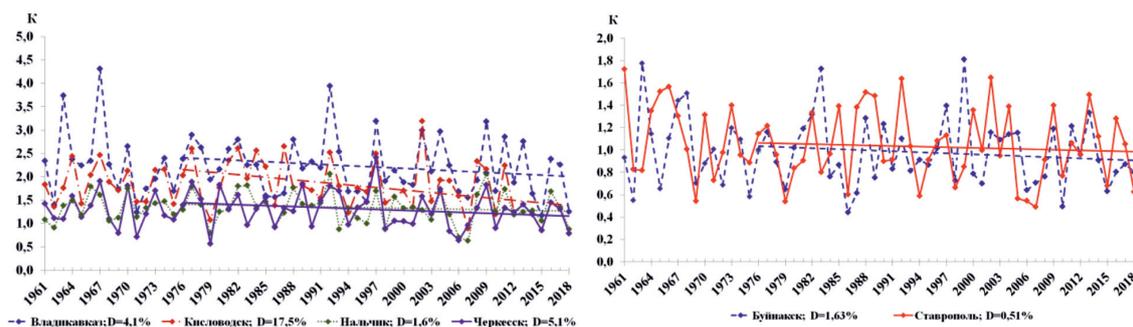


Рис. 2. Коэффициенты влагообеспеченности предгорной зоны ЕТР

Линейные тренды временных рядов  $K$ , соответствующие данным всех метеостанций, имеют тенденцию к уменьшению. По скорости уменьшения значений  $K$  (соответствующих линейному тренду) резко выделяется метеостанция Кисловодск, где имеется статистически значимый тренд уменьшения коэффициента влагообеспеченности ( $D = 17,5\%$ ). За ней следует метеостанция Владикавказ, но скорость уменьшения  $K$  у нее ниже в два раза, чем у метеостанции Кисловодск. Наименьшая скорость изменения  $K$  соответствует метеостанции Ставрополь. Остальные метеостанции по данному показателю занимают промежуточное положение.

Значения  $K$ , соответствующие метеостанциям Владикавказ и Кисловодск, уменьшились с 2,4 до 2,0 и с 2,2 до 1,4 соответственно, пока эти метеостанции остались в той же зоне влагообеспеченности. Данный коэффициент изменился незначительно у метеостанции Ставрополь: с 1,06 до 0,99. Таким образом, по влагообеспеченности она оказалась в засушливой зоне. Оказалась в засушливой зоне и метеостанция Буйнакск, значения коэффициента  $K$  которой уменьшились с 1,02 до 0,83 г. на рассматриваемом отрезке времени. Что касается метеостанций Нальчик и Черкесск, то соответствующие им коэффициенты влагообеспеченности меняются примерно одинаково: с 1,42 до 1,27 у метеостанции Нальчик и с 1,45 до 1,15 у метеостанции Черкесск.

### Заключение

В результате проведенного сравнительного анализа осредненных значений среднегодовой и сезонной температуры в современный период с климатической нормой выявлено превышение нормы среднегодовых и среднесезонных температур на всех исследуемых метеостанциях, в основном

наблюдалась статистически значимая разница на 5%-ном уровне. Наибольшей стабильностью отличаются температуры зимнего сезона в предгорной зоне и температуры в Махачкале (прикаспийская зона). Во всех климатических зонах имело место как увеличение (60%), так и уменьшение (40%) сезонных и годовых сумм осадков, в основном эти тенденции статистически незначимые.

На основе исследований динамики коэффициента влагообеспеченности Селянинова показано, что в вегетационный период наблюдается статистически незначимое снижение величины ГТК в равнинной и предгорной зонах ЕТР, что характеризует усиление состояния засух. Если наблюдаемая в настоящее время тенденция изменения климата сохранится, то можно предположить, что примерно к середине нынешнего века некоторые метеостанции предгорной зоны окажутся в засушливой зоне.

Очевидно, что последствия такого изменения влагообеспеченности почвы будут крайне негативными для производства сельскохозяйственной продукции в равнинной и предгорной климатических зонах юга ЕТР.

### Список литературы / References

1. Доклад о климатических рисках на территории Российской Федерации / Ред. В.М. Катцов. СПб.: Росгидромет, 2017. 106 с.  
Report on Climate Risks in the Territory of the Russian Federation / Red. V.M. Kattsov. SPb.: Rosgidromet, 2017. 106 p. (in Russian).
2. Riahi K.A., Rao S., Krey V., Cho Ch. A scenario of comparatively high greenhouse gas emissions. *Climatic Change*. 2011. Vol. 109. No. 1–2. P. 33–57.
3. Аллахвердиев З.С. Исследование изменчивости многолетних гидрометеорологических характеристик акватории Нефтяных Камней Каспийского моря // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. 2018. № 3. С. 13–20.

- Allakhverdiev Z.S. Investigation of variability of long-term hydrometeorological characteristics of the water area of the Oil Rocks of the Caspian Sea // *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografiya. Geoekologiya*. 2018. № 3. P. 13–20 (in Russian).
4. Рычко О.К. Перспективы изменения структуры и функций агрометеорологии и сельскохозяйственной метеорологии // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*. 2018. № 4. С. 52–55.
- Rychko O.K. Prospects for changes in the structure and functions of agrometeorology and agricultural meteorology // *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografiya. Geoekologiya*. 2018. № 4. P. 52–55 (in Russian).
5. Ашабоков Б.А., Калов Х.М., Федченко Л.М., Стасенко Д.В. Некоторые проблемы и методы адаптации аграрного сектора к изменению климата // Региональные эффекты глобальных изменений климата (причины, последствия, прогнозы): материалы международной научной конференции (г. Воронеж. 26–27 июня 2012 г.). Саратов: Изд-во «Научная книга», 2012. С. 360–365.
- Ashabokov B.A., Kalov Kh.M., Fedchenko L.M., Stasenko D.V. Some problems and methods of adaptation of the agricultural sector to climate change // *Regional'nyye efekty global'nykh izmeneniy klimata (prichiny, posledstviya, prognozy): materialy mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii (g. Voronezh. 26–27 iyunya 2012 g.)*. Saratov: Izd-vo «Nauchnaya kniga», 2012. P. 360–365 (in Russian).
6. Крышнякова О.С., Малинин В.Н. К оценке трендов в колебаниях осадков на европейской территории России // *Вестник Российского государственного университета им. И. Канта*. 2010. Вып. 1. С. 64–69.
- Kryshnyakova O.S., Malinin V.N. On the assessment of trends in precipitation fluctuations in the European territory of Russia // *Vestnik Rossiyskogo gosudarstvennogo universiteta im. I. Kanta*. 2010. Vyp. 1. P. 64–69 (in Russian).
7. Крышнякова О.С., Малинин В.Н. К анализу трендов в колебаниях температуры воздуха и осадков на Европейской территории России // *Известия РГО*. 2009. Т. 141. Вып. 2. С. 23–30.
- Kryshnyakova O.S., Malinin V.N. To the analysis of trends in fluctuations in air temperature and precipitation in the European territory of Russia // *Izvestiya RGO*. 2009. T. 141. Vyp. 2. P. 23–30 (in Russian).
8. Погода в 243 странах мира. [Электронный ресурс]. URL: <https://rp5.ru> (дата обращения: 13.11.2021).
- Weather in 243 countries of the world. [Electronic resource]. URL: <https://rp5.ru> (date of access: 13.11.2021) (in Russian).
9. Thomson A.M., Calvin K.V., Smith S.J., Kyle P. A pathway for stabilization of radiative forcing by 2100. *Climatic Change*. 2011. Vol. 109. No. 1–2. P. 77–94.

УДК 622.271.3 (571.56)

**ИНТЕГРИРОВАННАЯ ГЕОТЕХНОЛОГИЯ РАЗРАБОТКИ  
УГОЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ****Заровняев Б.Н., Ильин А.А., Шубин Г.В.***ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова»,  
Якутск, e-mail: mine\_academy@mail.ru*

В регионах, где углеводородное сырье не доступно в транспортном отношении, требуется развитие технологии добычи угля, расширение ее возможностей, снижение себестоимости с одновременным уменьшением потерь, при осложнении горно-геологических условий месторождений. В связи с этим создание интегрированной геотехнологии при разработке сложноструктурных месторождений весьма актуально. Повышение эффективности разработки сложного Эльгинского месторождения, состоящего из 13 угольных пластов, возможно в результате применения интегрированной геотехнологии с использованием транспортной системы на верхних горизонтах, бестранспортной системы на промежуточном горизонте и открыто-подземной технологии при отработке самого нижнего пласта угля. При этом верхние горизонты будут разрабатываться с применением карьерных экскаваторов в комплексе с автосамосвалами с вывозом пород вскрыши на внешние отвалы согласно проекту. Нижележащие пласты предлагается разрабатывать с применением шагающих экскаваторов с внутренним отвалообразованием с размещением пород вскрыши на кровле пласта пород вскрыши над извлекаемым пластом, на который в последующем будут складированы породы вскрыши верхних пластов с формированием внутреннего отвала. На полученный внутренний отвал формируется транспортный внутренний отвал вышележащих промежуточных горизонтов. В результате применения такой интегрированной геотехнологии достигается значительное сокращение объемов вскрыши, уменьшается средний коэффициент вскрыши на 0,076 м<sup>3</sup>/т и расстояние транспортирования вскрыши промежуточного горизонта во внутренний отвал, что в целом повысит эффективность разработки месторождения.

**Ключевые слова:** угольные пласты, интегрированные геотехнологии, комплекс глубокой разработки пластов, внутреннее отвалообразование, бестранспортная система

**INTEGRATED GEOTECHNOLOGY FOR COAL DEPOSITS****Zarovnyaev B.N., Iliin A.A., Shubin G.V.***North-Eastern Federal University named M.K. Ammosov, Yakutsk, e-mail: mine\_academy@mail.ru*

In regions where hydrocarbon raw materials are not available in transport terms, as well as relative, the development of coal mining technology, the expansion of its capabilities, cost reduction with a simultaneous decrease in losses, with the complication of the mining and geological conditions of the deposits, is required. In this regard, the creation of an integrated geotechnology in the development of complex-structured deposits is very important. Improving the development efficiency of the complex Elga deposit, consisting of 13 coal seams, is possible as a result of the use of integrated geotechnology using a transport system on the upper horizons, a non-transport system on the intermediate horizon and open-pit technology when mining the lowest coal seam. At the same time, the upper horizons will be developed using mining excavators in combination with dump trucks with the removal of overburden rocks to external dumps according to the project. It is proposed to develop the underlying seams using walking excavators with internal dumping with the placement of overburden rocks on the top of the underlying seam, which is being developed using a deep seam development complex (KGRP). The depth of the formation extraction by the acid fracturing complex can reach 300 m, the control of the roof is preferable by filling the mined-out space with hardening material or freezing with ice-bearing material. As a result, a work front for underground geotechnology is formed, leaving overburden above the extractable layer above the top of the layer, on which, subsequently, the overburden of the upper layers will be stored with the formation of an internal dump. On the received inner dump, a transport inner dump of the overlying intermediate horizons is formed. As a result of the application of such integrated geotechnology, a significant reduction in stripping volumes is achieved, the average stripping ratio is reduced by 0.076 m<sup>3</sup> / t and the distance of transportation of the overburden of the intermediate horizon to the inner dump, which will generally increase the efficiency of field development.

**Keywords:** coal seams, integrated geotechnology, deep seam development complex, internal dumping, non-transport system

В регионах с суровыми природно-климатическими условиями энергообеспечение является важным аспектом в развитии производительных сил, обеспечении населения и экономики в целом. При этом углеводородное сырье не всегда доступно в транспортном отношении, а также отличается относительно дорогой по отношению

к угля. В связи с этим развитие технологии добычи угля, расширение ее возможностей, снижение себестоимости с одновременным уменьшением потерь при осложнении горно-геологических условий месторождений является актуальной проблемой.

Одним из наиболее перспективных месторождений на Северо-Востоке России

является Эльгинское каменноугольное месторождение, характеризующееся весьма сложными горно-геологическими и горнотехническими условиями эксплуатации и рядом специфических особенностей, таких как суровые климатические условия, наличие многолетнемерзлых пород, весьма пересеченный ландшафт поверхности с перепадами более 300 м, тектоническими нарушениями пластов, наличием многочисленных расщепляющихся пластов и прослоев пород различной мощности.

Эльгинское каменноугольное месторождение располагается в центральной части Токинского района, к западу от озера Б. Токо, вблизи границ Амурской области и Хабаровского края. Границы месторождения установлены с учетом естественных границ по элементам гидросети, геоморфологии и геолого-структурных особенностей площади, оно находится в Южно-Якутском регионе с запасами более 3,75 млрд т коксующихся и энергетических углей, из которых более 50% пригодны для открытой добычи. Месторождение имеет в общем количестве 16 угольных пластов (выявлено 13 угольных пластов рабочей мощности и 3 отщепившиеся от них пачки –  $У5_{в}$ ,  $У5_{н}$ ,  $Н15_{в}$ ), которые можно разделить на две группы. К первой группе относятся верхние угольные пласты малой мощности, начиная с  $У19$ ,  $У18$ ,  $У17$ ,  $У14$ ,  $У13$ ,  $У12$ ,  $У8$ ,  $У6$ ,  $У5_{в}$ ,  $У5_{н}$ ,  $Н15_{в}$ , значение мощности большинства этих пластов находится в пределах 1,17-2,84 м. Ко второй группе относятся нижние угольные пласты большой мощности –  $У20$ ,  $У5$ ,  $У4$ ,  $Н16$ ,  $Н15$ , их мощность в основном составляет 7,49-9,81 м (пласт  $Н15$  имеет мощность 4,89 м). Эти пласты содержат около 75% запасов всего месторождения. Предельная глубина отработки углей при открытом способе (почва пласта  $Н15$ ) составляет 520 м. Средние расстояния между основными пластами колеблются от 20-25 до 50-70 м [1].

Из них в отработке будет находиться 13 угольных пластов (16 – с учетом расщепления пластов  $Н15$  и  $У5$  на самостоятельные пачки) мощностью 56,8 м по сумме чистых угольных пачек. Мощность междупластьев (средняя) изменяется от 2 до 78,0 м, общая вскрышная толща достигает 450 м. При этом проектом принята односторонняя продольно-углубочная система разработки с перемещением фронта вскрышных и добычных работ по падению угольных пластов и применением транспортных систем на верхних горизонтах и бестранспортной вскрыши на нижних пластах. При разработ-

ке месторождения главной проблемой будет постепенное увеличение коэффициента вскрыши, ограничивающее возможности открытых горных работ. Поэтому необходимо рассмотреть использование интегрированной геотехнологии, предусматривающей варианты транспортной системы на верхних горизонтах, бестранспортную систему до уровня пластов  $Н15$  и  $Н15_{в}$  с разработкой подземным способом этих пластов. Применение предложенной интегрированной геотехнологии с использованием комплекса глубокой разработки пластов (КГРП)  $Н15$  и  $Н15_{в}$  расширит возможности открытой разработки месторождения и повысит эффективность работ.

Для повышения эффективности разработки такого сложного месторождения необходимо применение комбинированного способа разработки с использованием транспортной и бестранспортной систем при открытой разработке пластов. При этом верхние горизонты будут разрабатываться с применением карьерных экскаваторов в комплексе с автосамосвалами с вывозом пород вскрыши на внешние отвалы согласно проекту. Нижележащие пласты  $Н15_{в}$  и  $Н16$  предлагается разрабатывать с применением шагающих экскаваторов с внутренним отвалообразованием с размещением пород вскрыши на кровле нижележащего пласта  $Н15$ , которые будут извлекаться с применением КГРП. Применению комплексов глубокой разработки пластов (КГРП) при разработке угольных месторождений посвящен ряд работ как в России, так и за рубежом [2-4]. При выборе оборудования наиболее важными являются мощность пласта, условия залегания угольного пласта, тектоническая характеристика пласта, физико-механические свойства вмещающих пород, ширина межкамерных целиков, состояние мерзлоты. Для условий Эльгинского месторождения наиболее подходящими являются комплексы КГРП и шнекобуровые машины, которые могут применяться для пологопадающих пластов с углом наклона до  $15^{\circ}$ .

Технология добычи угля комплексами КГРП, по существу, является разновидностью подземной камерно-столбовой системы разработки с предварительной подготовкой первоначального фронта работ путем вскрытия пласта разрезной траншеей. Таким образом, первоначально открытые горные работы обеспечивают доступ к угольным пластам рабочего органа КГРП подземным способом. При этом пулы

управления, силовые агрегаты, гидравлика и другие механизмы комплекса КГРП остаются на поверхности. Это позволяет исключить использование дорогостоящей обводненности пластов, их самовозгораемость и взрывоопасность угольной пыли [5; 6]. В работах определены основные параметры применения КГРП с учетом горно-геологических условий пластов.

В России КГРП при добыче угля наиболее широко применяется на разрезах Кузбасса, что связано со значительными потерями угля на борту карьеров [7; 8]. Суть новой технологии – выбуривание пластов с использованием комплексов глубокой разработки пластов (КГРП), известных на Западе как комплексы SHM (Superior High-wall Miners). Известны такие комплексы у фирм JOY, Addcar, SHM (США), Dieseco (Нидерланды), Salem ToolInc., Bry Det, CET, CSIRO (Австралия), Mining Technology [9-11]. Из крепи для управления горным давлением. Для обеспечения устойчивости выработок смежные камеры разделяют неизвлекаемыми барьерными целиками или твердеющей закладкой выработанного пространства.

Следует отметить, что в мировой и отечественной практике технология применения КГРП в зоне открытых горных работ отработана и налажена на достаточном уровне, определены оптимальные параметры и режим работы комплекса, а также установлены основные методы управления горным давлением. Использование комплекса КГРП влечет за собой изменение способов вскрытия их параметров по горизонтам, а также системы разработки месторождения в целом, вскрытия и подготовки участков открытых горных работ. В результате совмещения систем открытых и подземных горных работ достигается повышение его себестоимости и менее затратная рекультивация нарушенной поверхности.

При разработке нижних горизонтов месторождения с внутренним отвалообразованием в условиях многолетней мерзлоты очень важно знать температурный режим массива горных пород, от которого зависит крепость и устойчивость пород вскрыши. Район месторождения Эльгинский находится в Южно-Якутском регионе, в зоне островной мерзлоты, температурный режим которого представлен в работе [12]. С учетом температурного режима многолетнемерзлых горных пород разработан ряд технологий рекультивации нарушенной по-

верхности при разработке месторождения с внутренним отвалообразованием. Так, известна технология с внутренним отвалообразованием с формированием крупногабаритных блоков из вскрышных пород. Способ предусматривает формирование крупногабаритных блоков одним из известных способов, например буровзрывным, механическим, затем производят вскрышные работы с размещением пород вскрыши в виде крупногабаритных блоков (КГБ) в выработанное пространство. Технология также включает операции проходки первоначальной разрезной траншеи, формирование крупногабаритных блоков. Перемещение вскрышных пород из крупногабаритных блоков во внутренний отвал, извлечение продуктивного пласта и формирование внутреннего отвала. Таким образом, достигается одновременное внутреннее отвалообразование из крупногабаритных блоков.

Другим направлением рекультивации карьерного поля при внутреннем отвалообразовании является заполнение выработанного пространства льдопородным целиком [13]. Идея способа рекультивации в условиях криолитозоны заключается в том, что с целью значительного удешевления и интенсификации работ заполнение выработанного пространства производится льдопородным материалом, производимым на месте. Технология создания льдопородного материала заключается в дождевании воды во внутренний отвал в зимний период, с накрыванием далее теплоизолирующим слоем пород вскрыши, толщиной, обеспечивающей стабильность отрицательной температуры. Такие технологии рекультивации показали эффективность в условиях многолетней мерзлоты, и они вполне могут быть использованы при интегрированной геотехнологии.

Цель работы заключается в обосновании технологии открытой разработки угольных месторождений с применением комплекса КГРП.

#### *Формирование интегрированной геотехнологии*

Формирование интегрированной геотехнологии начинается с вскрытия месторождения полутраншеей 1 на восточном борту. При этом первоначально вскрываются пласты Н15, затем Н-15<sub>в</sub> и Н16, с формированием фронта горных работ. Также полутраншеей вскрывается пласт У4, при этом формируется фронт горных работ карьера в целом. При вскрытии пласта Н15 форми-

руется разрезная траншея для обеспечения фронта работ для комплекса глубокой разработки пласта (КГРП) 2, и после монтажа добычного оборудования начинается извлечение пласта Н15 в два слоя по стандартной технологической схеме. Глубина извлечения пласта может достигать 300 м, управление кровлей предпочтительно осуществлять закладкой выработанного пространства твердеющим материалом или намораживанием льдопородным материалом одним из известных способов [14]. В результате создается фронт работы для подземной геотехнологии с оставлением над кровлей пласта Н15 пород вскрыши между пластами Н15 и Н15<sub>в</sub>, на который в последующем будут складированы породы вскрыши между пластами Н15 и Н16, а также часть вскрыши над пластом Н16 (рис. 1). В результате породы вскрыши между пластами Н15 и Н15<sub>в</sub> в объеме 151,273 млн м<sup>3</sup> не экскавируются и представляют основу внутреннего отвала шагающего экскаватора.

Следующей технологической цепочкой интегрированной геотехнологии является извлечение пластов Н15<sub>в</sub> и Н16 с использованием карьерного экскаватора и перевалкой

шагающим экскаватором пород вскрыши между пластами Н15<sub>в</sub> и Н16 во внутренний отвал 3, на кровлю пласта Н15, извлекаемого КГРП. После извлечения пласта Н16 его кровля после предварительной взрывной подготовки также шагающим экскаватором переваливается во внутренний отвал 4, уже на сформированный внутренний отвал из междупластья Н15<sub>в</sub> и Н16. В результате формируется бестранспортная технология разработки месторождения. При этом образуется внутренний отвал, состоящий из кровли пласта Н15, извлеченного КГРП, размещенных на нем пород вскрыши между пластами Н15<sub>в</sub> и Н16, а также пород вскрыши над кровлей пласта Н16. Выше бестранспортной вскрыши пласта Н16 до пласта У4 и выше используется обычная транспортная система разработки. При этом вскрыша между пластами Н16 и У4 располагается во внутренний отвал 5, образованный шагающим экскаватором из пород вскрыши междупластий нижележащих пластов (рис. 2). В результате значительно сокращается расстояние транспортирования пород вскрыши, что, несомненно, повышает эффективность разработки месторождения.

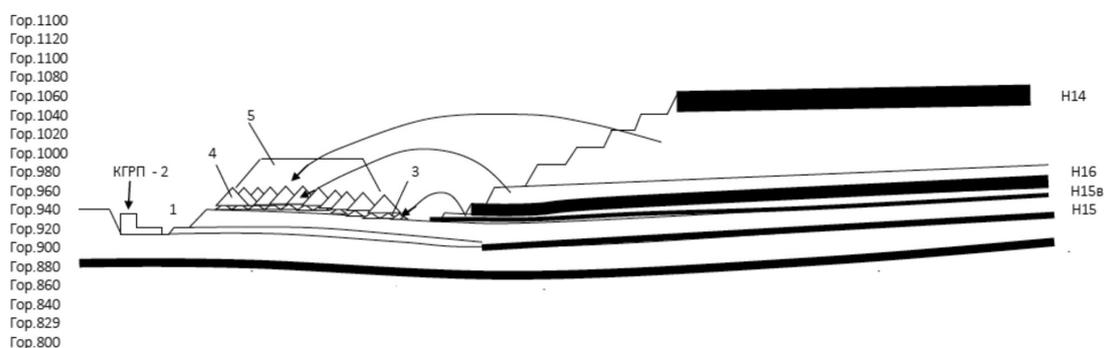


Рис. 1. Формирование начального фронта интегрированной геотехнологии

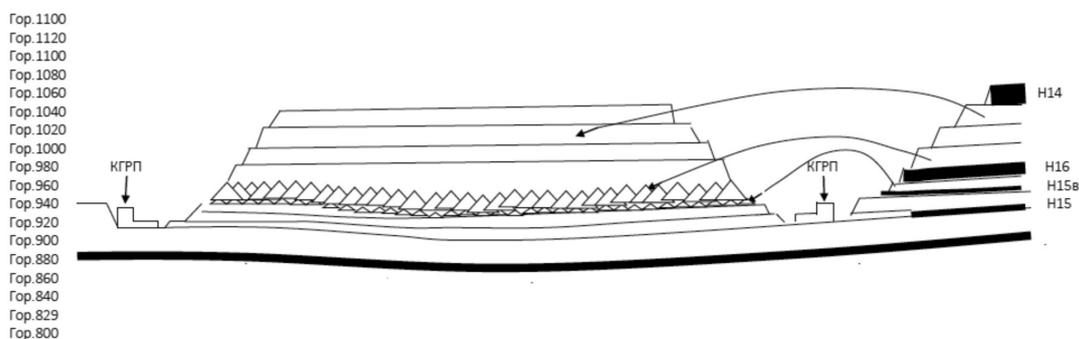


Рис. 2. Завершение отработки первого участка

Таким образом, одновременно будут работать 3 технологии разработки месторождения: по пласту Н15 открыто-подземная технология с использованием КГРП, по пластам Н15<sub>в</sub> и Н16 бестранспортная технология с внутренним отвалообразованием, выше пласта Н16 транспортная технология с транспортированием пород вскрыши во внутренний отвал, сформированный шагающим экскаватором. При этом должна выдерживаться четкая организация и очередность выполнения работ.

Расстояние между разрезными траншеями равно двойной глубине выемки КГРП, извлечение пласта Н15 осуществляется встречными забоями. В результате месторождение делится на отдельные участки шириной, равной двойной глубине выемки КГРП. В расчетном случае глубина выемки КГРП составляет 300 м, таким образом, ширина участка составит 600 м. Тогда через 600 м от первой разрезной траншеи, когда фронт работы карьера по пластам Н15<sub>в</sub> и Н16 также пройдут 600 м с кровли пласта Н15 проходят параллельно первой вторую разрезную траншею и одновременно создают встречный фронт работы для КГРП. При этом КГРП после завершения отработки встречного забоя первого участка начинает отработку первой заходки второго участка, одновременно создавая площадку для внутреннего отвалообразования второго участка. В таком порядке разрабатываются все последующие участки месторождения.

Преимущества такой интегрированной технологии заключаются в следующем:

- благодаря использованию КГРП вскрыша междупластья Н15 и Н15<sub>в</sub> не разрабатывается и не экскавируется, это позволяет сократить объем вскрыши на 151,273 млн м<sup>3</sup> по всему месторождению благодаря применению КГРП;

- обеспечивается возможность применения дешевой бестранспортной вскрыши для кровли пластов Н15<sub>в</sub> и Н16 в объеме 28 млн м<sup>3</sup> по всему месторождению;

- благодаря транспортному внутреннему отвалообразованию в выработанное пространство значительно сокращается расстояние транспортирования пород вскрыши между пластами Н16 и У4 (по сравнению с проектным решением). При этом благодаря применению КГРП коэффициент вскрыши может сократиться на 0,076 м<sup>3</sup>/т;

- интегрированная геотехнология позволяет вести одновременную техническую рекультивацию карьерного поля благодаря использованию транспортной системы раз-

работки с перемещением пород вскрыши во внутренние отвалы, с перекалыванием пород вскрыши нижних пластов во внутренний отвал на кровлю пласта, извлекаемого КГРП шагающими экскаваторами, и сохранением кровли нижнего пласта.

### Выводы

1. Эльгинское каменноугольное месторождение имеет весьма сложноструктурное строение, включающее 13 пластов и пропластков с мощностью от 1,3 до 15 м и расчлененных междупластьями мощностью от 3 до 45 м, что вызвало сложную организацию работ и систему разработки.

2. Для эффективной разработки сложноструктурного Эльгинского каменноугольного месторождения необходимо применение интегрированной геотехнологии, включающей открыто-подземную геотехнологию с применением КГРП на самом нижнем горизонте, бестранспортную систему разработки на нижних горизонтах и транспортную систему разработки с внутренним отвалообразованием на верхних горизонтах.

3. Применение интегрированной геотехнологии при разработке Эльгинского месторождения позволит сократить объемы вскрыши на 151,273 млн м<sup>3</sup>, сократит средний коэффициент вскрыши на 0,076 м<sup>3</sup>/т.

### Список литературы / References

1. Хосоев Д.В., Ермаков С.А. Оценка возможности разработки пластов Эльгинского каменноугольного месторождения безвзрывным способом // Геомеханические и геотехнологические проблемы эффективного освоения месторождений твердых полезных ископаемых Северных и Северо-Восточных регионов России: труды Всероссийской научно-практич. конфер., посвященной памяти Новопашина М.Д. (Якутск, 13–15 сентября 2011 г.). 2011. С. 189–193.

2. Khosoev D.V., Ermakov S.A. Evaluation of the possibility of development of layers of the Elginsky coal deposit by a non-explosive method // Geomekhanicheskiye i geotekhnologicheskiye problemy effektivnogo osvoyeniya mestorozhdeniy tverdykh poleznykh iskopayemykh Severnykh i Severo-Vostochnykh regionov Rossii: trudy Vserossiyskoy nauchno-praktich. konfer. posvyashchennoy pamyati Novopashina M.D. (Yakutsk, 13–15 sentyabrya 2011 g.). 2011. P. 189–193 (in Russian).

2. Демченко А.В., Деревяшкин И.В. Опыт работы комплекса глубокой разработки пластов на Элегесском угольном месторождении Республики Тува // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2019. С. 79–87.

2. Demchenko A.V., Derevyashkin I.V. Experience of the complex of deep seam development at the Elegessky coal deposit of the Republic of Tuva // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2019. P. 79–87 (in Russian).

3. Sasaoka T., Karian T., Hamanaka A., Shimada H., Matsui K. Application of highwall mining system in weak geological condition. International journal of coal science and technology. 2016. No. 3 (1). P. 311–321.

4. Нецветаев А.Г., Григорян А.А., Пружина Д.И. Оборудование и технология для безлюдной добычи угля из-под бортов открытых разработок // Уголь. 2015. № 10 (1075). С. 36–40.

Netsvetaev A.G., Grigoryan A.A., Pruzhina D.I. Equipment and technology for unmanned mining of coal from under open-cast mining // *Ugol*. 2015. № 10 (1075). P. 36–40 (in Russian).

5. Hikaru Shimadaa, Yanlong Chena, Akihiro Hamanakaa, Takashi Sasaokaa, Hideki Shimadaa and Kikuo Matsui. Application of Highwall Mining System to Recover Residual Coal in Endwalls. *International Symposium on Earth Science and Technology. Procedia Earth and Planetary Science*. 2013. Vol. 6. P. 311–318.

6. Walker S. Highwall miners keep the coal flowing. *World coal*. 2001. Vol. 10. № 12. P. 20–26.

7. Нецветаев А.Г., Репин Л.Н., Соколовский А.В., Юткин А.В. Технология глубокой разработки угольных пластов: анализ опыта внедрения на разрезе «Распадский» // *Уголь*. 2005. С. 9–10.

Netsvetaev A.G., Repin L.N., Sokolovsky A.V., Yutkin A.V. Deep mining technology: analysis of the implementation experience at the Rapsadskiy open-pit mine // *Ugol*. 2005. P. 9–10 (in Russian).

8. Шишков Р.И., Федорин В.А., Шахматов В.Я. Открыто-подземный способ вскрытия и подготовки пологих угольных месторождений // *Уголь*. 2020. № 10. С. 13–16. DOI: 10.18796/0041-5790-2020-10-13-16.

Shishkov R.I., Fedorin V.A., Shakhmatov V.Ya. Open-underground method of opening and preparation of shallow coal deposits // *Ugol*. 2020. № 10. P. 13–16. DOI: 10.18796 / 0041-5790-2020-10-13-16 (in Russian).

9. Fedorin V.A., Shakhmatov V.Ya., Anferov B.A., Kuznetsova L.V. Hybrid opencast-underground process to mine Kuzbass coal deposits. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2019. Vol. 262. P. 012015. DOI: 10.1088/1755-1315/262/1/012015.

10. Matsui K., Sasaoka T., Shimada H., Ueda T., Kramadibrata S., Sulistianto B. Highwall Mining Systems at Surface Coal Mines in Indonesia, *Coal International*. 2008. Vol. 256. No. 3. P. 28–31.

11. Ben-Awuah E., Richter O., Elkington T., Pourrahimian Y. Strategic mining options optimization: Open pit mining, underground mining or both. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2016. Vol. 26. Is. 6. P. 1065–1071.

12. Zarovnyaev B., Shubin G., Sobakina M., Budikina M. Development of environmentally safe mining technologies taking into account thermomechanical conditions of the permafrost zone. *World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium – WMESS, September, 03–07, 2018, Prague – Czech Republic. IOP Conference Series-Earth and Environmental Science*. 2019. Vol. 221. 012118 P. DOI: 10.1088/1755-1315/221/1/012118.

13. Zarovnyaev B.N., Shubin G., Sobakina M.P. Justification of environmentally safe technology for the development of fields with an ice-breed internal dump. *19th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2019, Conference Proceedings Volume 19, Science and Technologies in Geology, Exploration and Mining*. 2019. Is. 1.3. P. 363–369.

14. Ковлеков И.И. Способ открыто-подземной разработки пологозалегающих пластов // Патент 2715503 С1. Патентообладатель Северо-Восточный федеральный университет, по заявке № 2019130034, от 25.09.2019. МПК E21C 41/00. Бюлл. 2019. № 7.

Kovlekov I.I. The method of open-pit mining of flat-lying seams Patent 2715503 S1. Patentobladatel' Severo-Vostochnyy federal'nyy universitet, po zayavke № 2019130034, ot 25.09.2019. MPK E21C 41/00. Byull. 2019. № 7 (in Russian).

УДК 504.4 (571.1/.5)

## АНАЛИЗ ПРИРОДНО-ТЕХНОСФЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СУБЪЕКТОВ СИБИРСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА РОССИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОЛОГИИ INFORM

Игнатъева А.В., Кнауб Р.В.

*Национальный исследовательский Томский государственный университет,  
Томск, e-mail: anna\_tomsktsu@mail.ru*

Ежегодно чрезвычайные ситуации природного и техногенного характера регистрируются в разных частях России, а также являются источником значительного ущерба экологии, экономике и обществу исследуемых субъектов. Для составления прогноза и понижения последствий от воздействия чрезвычайных ситуаций важно выявлять специфику их возникновения, распространения в регионах. В статье рассматривается природно-техносферная безопасность субъектов Сибирского федерального округа с помощью использования коэффициентов уязвимости регионов, природной опасности и защищенности от стихийных бедствий. В исследовании использована европейская методология INFORM, позволяющая адаптировать расчетные формулы под условия и особенности исследуемой территории. Согласно данной методологии, территория Российской Федерации относится к среднему уровню опасности от воздействия бедствий на территорию. Для территории Сибирского федерального округа исследование на основании использования методологии INFORM для установления безопасности от воздействия бедствий ранее не было проведено. На основании разработанного за рубежом опыта определения интегрального индекса риска авторами предложена адаптированная под условия округа формула. Установлены значения ряда коэффициентов с целью анализа обстановки в области выявления, противодействия и снижения последствий от чрезвычайных ситуаций (ЧС) и опасных природных явлений. Авторами предложена формула для оценки перехода опасных природных явлений в чрезвычайную ситуацию природного характера. На основании полученных значений интегрального индекса риска построена карта-схема, где субъекты разделены на районы с низкими, средними и высокими значениями индекса. Установлено, что интегральный индекс риска в основном зависит от коэффициента природной опасности.

**Ключевые слова:** природно-техносферная безопасность, чрезвычайные ситуации, интегральный индекс риска, коэффициент природной опасности, коэффициент уязвимости региона, коэффициент защищенности от стихийных бедствий

## ANALYSIS OF NATURAL AND TECHNOSPHERIC SAFETY OF SUBJECTS OF THE SIBERIAN FEDERAL DISTRICT OF RUSSIA USING THE INFORM METHODOLOGY

Ignateva A.V., Knaub R.V.

*National Research Tomsk State University, Tomsk, e-mail: anna\_tomsktsu@mail.ru*

Every year, natural and man-made emergencies are registered in different parts of Russia, and are also a source of significant damage to the ecology, economy and society of the studied subjects. To make a forecast and reduce the consequences of the impact of emergency situations, it is important to identify the specifics of their occurrence and distribution in the regions. The article examines the natural and technospheric safety of the subjects of the Siberian Federal District using the coefficients of vulnerability of regions, natural hazard and protection from natural disasters. The study used the European INFORM methodology, which allows to adapt the calculation formulas to the conditions and characteristics of the study area. According to this methodology, the territory of the Russian Federation belongs to the average level of hazard from the impact of disasters on the territory. For the territory of the Siberian Federal District, a study based on the use of the INFORM methodology to establish safety from the impact of disasters has not been previously conducted. Based on the experience developed abroad in determining the integral risk index, the authors proposed a formula adapted to the conditions of the district. The values of a number of coefficients have been established in order to analyze the situation in the field of identifying, countering and reducing the consequences of emergency situations (ES) and hazardous natural phenomena. The authors have proposed a formula for assessing the transition of natural hazards to a natural emergency. Based on the obtained values of the integral risk index, a schematic map was constructed, where the subjects were divided into areas with low, medium and high index values. It was found that the integral risk index mainly depends on the natural hazard coefficient.

**Keywords:** natural and technosphere safety, emergency situations, integral risk index, natural hazard coefficient, regional vulnerability coefficient, coefficient of protection against natural disasters

До конца XX века в научном сообществе катастрофы воспринимались как события, имеющие последствия, устранить которые на местном уровне было неосуществимой задачей. Само понятие «управление катастрофами» предполагает ликвидацию по-

следствий проявления катастроф, а решением данной проблемы занимались Общество Красного Полумесяца, Красного Креста и организации по гражданской обороне.

С 60-х годов XX века вопросами ликвидации последствий воздействия крупных

стихийных бедствий начала заниматься Организация Объединенных Наций. Следующим шагом в решении вопросов природно-техносферной безопасности было создание структурной единицы в составе ООН по оказанию помощи пострадавшим от стихийных бедствий. Привлечение международного сообщества к реагированию на бедствия и ликвидации последствий их воздействия, содействие развивающимся странам в противодействии стихийным бедствиям привели к организации в 1978 году Управления по координации чрезвычайной помощи ООН. Сейчас данное управление реорганизовано в Управление по координации гуманитарных вопросов ООН.

Возрастание в начале XXI века последствий от воздействия природных катастроф на социально-экономическую сферу деятельности человечества способствовало разработке ООН целостных научных подходов к борьбе со стихийными бедствиями.

Переосмысление подхода в решении проблем стихийных бедствий, от борьбы с последствиями проявления к разработке мер по уменьшению опасности от бедствий, произошло во время Международного десятилетия по уменьшению опасности стихийных бедствий (МДУОСБ) (1990–1999 гг.).

В России также уделяется пристальное внимание обеспечению населения регионов безопасности от воздействия чрезвычайных ситуаций различного характера. В Сибирском федеральном округе ежегодно в разное время года отмечается возникновение различного рода опасных природных явлений и чрезвычайных ситуаций. В связи с этим анализ природно-техносферной безопасности субъектов Сибирского федерального округа играет особую роль.

Объектом изучения являются субъекты, входящие в состав Сибирского федерального округа. Дата образования – 13 мая 2000 года. Округ составляет 30% от всей территории страны, а площадь – 5 118 400 км<sup>2</sup>.



Рис. 1. Состав субъектов, входящих в Сибирский федеральный округ [1]

В состав Сибирского федерального округа (на 31 декабря 2017 г.) входили 12 административно-территориальных единиц РФ [1; 2]. Исследование проводилось до 2017 года включительно, а до этого года в состав СФО входили 12 субъектов. В данный момент из состава СФО вышли два региона – Республика Бурятия и Забайкальский край, которые территориально с 2018 года входят в состав Дальневосточного федерального округа (рис. 1).

Целью работы является оценка природно-техносферной безопасности в субъектах Сибирского федерального округа России.

Для достижения цели были решены задачи:

1) провести расчет и анализ недостаточности потенциала противодействия бедствиям;

2) провести расчет и анализ полученных данных от подсчета коэффициентов природной опасности, уязвимости региона, защищенности от стихийных бедствий;

3) провести расчет и произвести анализ интегрального индекса риска по представленной адаптированной методике;

4) произвести районирование субъектов Сибирского федерального округа по полученным значениям индекса риска.

Объектом исследования являются субъекты Сибирского федерального округа.

## Материалы и методы исследования

В настоящее время для анализа безопасности субъектов от воздействия опасностей применяется такой показатель, как интегральный индекс риска ЧС, который используется при проведении анализа безопасности различных территорий [3]. Данный подход носит название «Методология INFORM» (рис. 2). Методология представлена мировой общественности в рамках Третьей всемирной конференции в Сендае (Япония). На рис. 2 указаны элементы методологии INFORM, остающиеся неизменными (опасность, уязвимость и отсутствие потенциала), а также элементы, которые адаптируются под конкретные условия. Исходя из этого, авторами методология была адаптирована с использованием коэффициентов, которые включают информацию, подходящую под условия в исследуемом Сибирском федеральном округе. Свойство заменимости коэффициентов значимо в силу того, что таким образом ее можно подстраивать под особенности различных территорий.

Также данный инструментальный методологии INFORM является универсальным, и его использование возможно на различных уровнях, от глобального до муниципального [3].

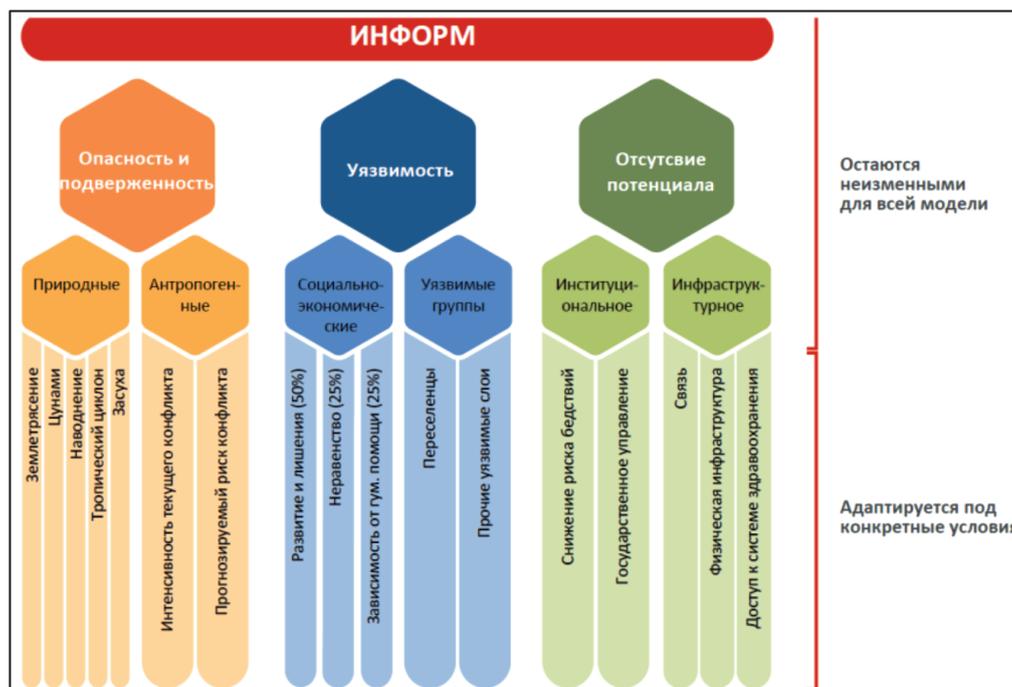


Рис. 2. Концепция методологии INFORM [3]

На национальном уровне методология INFORM упрощает большой объем информации о риске бедствий, посредством использования комплексного индекса риска.

Первоначально, согласно методологии INFORM, интегральный индекс риска рассчитывается по формуле (1) [3]:

$$R = \sqrt[3]{H \cdot V \cdot L}, \quad (1)$$

где R – интегральный индекс риска;  
H – индикатор угроз опасностей;  
V – индикатор уязвимости к опасностям;  
L – индикатор недостаточности потенциала противодействия бедствиям (чрезвычайным ситуациям).

Авторами предложено, на основании методологии INFORM, уравнение для вычисления индекса риска, что позволит выявить наиболее уязвимые из субъектов, входящих в состав Сибирского федерального округа. Данная формула адаптирована авторами с использованием апробированных для субъектов РФ формул, представленных

$$K_y = \frac{P_{сч} + \frac{S_{регЧС}}{S_{рег}} + \frac{K_{чсрег}}{K_{чсСФО}} + \frac{P_{постр}}{P_{пострСФО}} + \frac{P_{погибш}}{P_{погибшСФО}}}{5}, \quad (3)$$

где  $K_y$  – коэффициент уязвимости региона;  
 $P_{сч}$  – численность населения в зоне воздействия ЧС, чел.;  
 $N_{срег}$  – общая численность населения региона, чел.;  
 $S_{регЧС}$  – площадь региона, подверженного влиянию природных и техногенных ЧС, км<sup>2</sup>;  
 $S_{рег}$  – общая площадь региона, км<sup>2</sup>;  
 $K_{чсрег}$  – количество ЧС, произошедших в регионе;  
 $K_{чсСФО}$  – количество ЧС, произошедших в СФО;  
 $P_{постр}$  – количество населения, пострадавшего в результате воздействия ЧС, чел.;  
 $P_{пострСФО}$  – количество населения, пострадавшего в результате воздействия ЧС на СФО, чел.;  
 $P_{погибш}$  – количество населения, погибшего в результате воздействия ЧС, чел.;  
 $P_{погибшСФО}$  – количество населения, погибшего в результате воздействия ЧС на СФО, чел.

Следующим анализируемым показателем является коэффициент защищенности от стихийных бедствий. Для оценки защищенности регионов Сибирского федерального округа применяется методика, разработанная Кузьминым С.Б. [4], и рассчитаны

далее. Анализируемыми коэффициентами будут предложенные Кузьминым С.Б. (2015) [4] коэффициент природной опасности, коэффициент уязвимости регионов от ЧС различного характера и коэффициент защищенности от стихийных бедствий. Ранее расчеты по данным коэффициентам и анализ полученных результатов были опубликованы в статьях авторов [5-7].

Коэффициент природной опасности рассчитывается по формуле [4]:

$$H_c = D \cdot \frac{S}{P}, \quad (2)$$

где  $H_c$  – коэффициент природной опасности;  
D – количество природных процессов, опасных в масштабе региона;  
S – площадь региона, км<sup>2</sup>;  
P – численность населения региона, чел.

Автором предложено уравнение для расчёта коэффициента (формула (3)), которое определяет уязвимость регионов от чрезвычайных ситуаций различного генезиса:

коэффициенты защищенности от стихийных бедствий по формуле (4):

$$V_c = \frac{B + P_j + T + C + W + L + K}{P_p + CHD + E}, \quad (4)$$

где  $V_c$  – коэффициент защищенности от стихийных бедствий;  
B – коэффициент ВРП на душу населения;  
 $P_j$  – доля трудоспособного населения;  
T – телекоммуникационный коэффициент;  
C – транспортный коэффициент;  
W – коэффициент военных ресурсов;  
L – коэффициент ожидаемой продолжительности жизни;  
K – коэффициент грамотности;  
 $P_p$  – доля населения, находящегося за чертой бедности;  
CHD – коэффициент детской смертности;  
E – коэффициент напряженности экологических проблем.

Применяя перечисленные коэффициенты, сформулировано следующее уравнение [8; 9]:

$$R = \sqrt[3]{H_c \cdot K_y \cdot V_c}, \quad (5)$$

где R – интегральный индекс риска;  
 $H_c$  – коэффициент природной опасности;  
 $K_y$  – коэффициент уязвимости региона;

$V_c$  – коэффициент защищённости от стихийных бедствий.

Данная формула получена в результате обобщения трёх коэффициентов, что позволит сделать комплексный анализ природно-техногенной безопасности в субъектах Сибирского федерального округа, с учетом специфики регионов. Данные для вычисления интегрального индекса риска и других анализируемых коэффициентов размещены в докладах МЧС РФ, а также в опубликованных сборниках Росстата [10; 11].

### Результаты исследования и их обсуждение

После проведения расчета интегрального индекса риска получены результаты, отраженные в таблице.

Усредненное значение интегрального индекса риска в субъектах Сибирского федерального округа за период с 2000 по 2017 г.

Название субъекта	Интегральный индекс риска
Республика Алтай	0,027
Республика Бурятия	0,200
Республика Тыва	0,040
Республика Хакасия	0,003
Алтайский край	0,001
Забайкальский край	0,180
Красноярский край	0,067
Иркутская область	0,130
Кемеровская область	0,001
Новосибирская область	0,000
Омская область	0,002
Томская область	0,011



Рис. 3. Районирование субъектов Сибирского федерального округа по интегральному индексу риска

На рис. 3 представлена карта-схема районирования субъектов Сибирского федерального округа на основании усредненных значений интегрального индекса риска.

Районирование субъектов Сибирского федерального округа позволило наглядно отразить их различия по значениям интегрального индекса риска. Высокий риск (первый уровень) характерен субъектам: Забайкальский край, Республика Бурятия, Иркутская область. Средний риск (второй уровень) присущ: Красноярскому краю, Республикам Тыва, Алтай, Хакасия и Томской области. Низкий риск (третий уровень) характерен: Омской, Новосибирской и Кемеровской областям, а также Алтайскому краю.

Следует отметить, что величина риска повышается меридионально – с запада на восток (от низкого к высокому уровням интегрального индекса риска в регионах). Подобное распределение значения интегрального индекса риска среди субъектов можно объяснить зависимостью от изменения природной опасности в регионах. Если обратиться к районированию субъектов Сибирского федерального округа (рис. 3) по значениям коэффициента природной опасности, то видно нарастание опасности с запада на восток. Это подчеркивает значительную долю влияния коэффициента природной опасности в формировании интегрального индекса риска.

### Заключение

Проведенное исследование позволяет сделать ряд следующих выводов, на основании полученных результатов:

1. Методология INFORM обладает преимуществом среди других методик тем, что подразумевает адаптацию ее составляющих под особенности и условия различных территорий мира и России.

2. В данной статье представлены расчеты интегрального индекса риска для субъектов Сибирского федерального округа. В данном округе для субъектов характерны различия в физико-географических условиях и, как следствие, в преобладающих для данных территорий чрезвычайных ситуациях природного характера и опасных природных явлениях. Это формирует различный уровень опасности в изучаемых субъектах.

3. На основании полученных расчетов интегрального индекса риска субъекты распределены в три района в рамках карты-схемы рис. 3. Величина риска повышается меридионально – с запада на восток

(от низкого, среднего и к высокому уровню интегрального индекса риска в рассматриваемых регионах). Подобное распределение значения интегрального индекса риска среди субъектов можно объяснить зависимостью от изменения природной опасности в регионах, вычисленной при расчете коэффициента природной опасности для субъектов округа. Это указывает на значительную роль коэффициента природной опасности в формировании интегрального индекса риска на различных исследуемых территориях.

4. Полученные результаты расчета интегрального индекса риска справедливы для территории Сибирского федерального округа, где данный параметр имеет закономерность в распределении с запада на восток. Данный вывод не говорит о том, что на территориях, расположенных к западу от СФО, на которых происходит большее количество ЧС, интегральный индекс будет равняться 0. Также данная закономерность, выявленная для СФО, не подразумевает подобное распределение интегрального индекса риска для регионов, расположенных восточнее.

### Список литературы / References

1. Регионы России. Основные характеристики субъектов Российской Федерации. 2018. Стат. сб. / Росстат. М., 2018. 751 с.  
Regions of Russia. The main characteristics of the constituent entities of the Russian Federation. 2018. Stat. Sat. / Rosstat. M., 2018. 751 p. (in Russian).
2. Сибирский федеральный округ. [Электронный ресурс]. URL: <http://sfo.gov.ru/okrug/> (дата обращения: 20.11.2021).  
Siberian Federal District. [Electronic resource]. URL: <http://sfo.gov.ru/okrug/> (date of access: 20.11.2021) (in Russian).
3. Index for risk-management. Results 2015. [Электронный ресурс]. URL: [www.informindex.org](http://www.informindex.org) (дата обращения: 20.11.2021).
4. Kuzmin S.B. Global Environmental Risk Assessments. Problems of Modern Science and Education Journal. Ivanovo: Olimp, 2015. № 10 (40). P. 120–125.
5. Игнатьева А.В., Кнауэ Р.В. Критерии оценки интегрального индекса риска чрезвычайных ситуаций различного генезиса для территории Сибирского федерального округа // Геосферные исследования. 2021. № 1. С. 76–86.  
Ignateva A.V., Knaub R.V. Criteria for assessing the integral risk index of emergencies of various genesis for the territory of the Siberian Federal District // Geosfernyye issledovaniya. 2021. № 1. P. 76–86 (in Russian).
6. Игнатьева А.В. Применение комплексной методики оценки и анализа пространственно-временных закономерностей распространения чрезвычайных ситуаций для снижения материального ущерба от ЧС // International Journal of Advanced Studies. 2018. Т. 8. № 4–3. С. 41–48.  
Ignatieva A.V. Application of a comprehensive methodology for assessing and analyzing the spatial and temporal patterns of the spread of emergency situations to reduce material damage from emergencies // International Journal of Advanced Studies. 2018. Vol. 8. № 4–3. P. 41–48 (in Russian).

7. Кнауб Р.В. Комплексная оценка ущерба природных и техногенных катастроф на примере Сибирского федерального округа // Устойчивое инновационное развитие: проектирование и управление. 2012. № 4. [Электронный ресурс]. URL: [www.gypravlenie.ru](http://www.gypravlenie.ru) (дата обращения: 02.12.2021).

Knaub R.V. Comprehensive assessment of damage to natural and man-made disasters on the example of the Siberian Federal District // Sustainable innovative development: design and management. 2012. № 4. [Electronic resource]. URL: [www.gypravlenie.ru](http://www.gypravlenie.ru) (date of access: 02.12.2021) (in Russian).

8. Олтян И.Ю., Ляховец Т.Л. Разработка терминологии и индикаторов прогресса в области реализации Сендайской рамочной программы по уменьшению риска бедствий на 2015–2030 годы // Технологии гражданской безопасности. 2016. Т. 13. № 1 (47). С. 22–26.

Oltyan I.Yu., Lyakhovets T.L. Development of terminology and indicators of progress in the implementation of the Sendai Framework for Disaster Risk Reduction for 2015–2030 // Tekhnologii grazhdanskoj bezopasnosti. 2016. Vol. 13. No. 1 (47). P. 22–26 (in Russian).

9. Проект INFORM. 2018. [Электронный ресурс]. URL: [www.inform-index.org](http://www.inform-index.org) (дата обращения: 02.12.2021).

Project INFORM. 2018. [Electronic resource]. URL: [www.inform-index.org](http://www.inform-index.org) (date of access: 02.12.2021) (in Russian).

10. Государственный доклад «О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2017 году». М.: МЧС России. ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2000–2018. 376 с.

State report «On the state of protection of the population and territories of the Russian Federation from natural and man-made emergencies in 2017». M.: MCHS Rossii. FGBU VNIИ GOCHS (FCS), 2000–2018. 376 p. (in Russian).

11. Регионы России. Социально-экономические показатели. [Электронный ресурс]. URL: [www.gks.ru](http://www.gks.ru) (дата обращения: 27.11.2021).

Regions of Russia. Socio-economic indicators. [Electronic resource]. URL: [www.gks.ru](http://www.gks.ru) (date of access: 27.11.2021) (in Russian).

УДК 502:574.51

**СОДЕРЖАНИЕ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ВОДЕ БЕССТОЧНЫХ ОТКРЫТЫХ ВОДОЕМОВ ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ**<sup>1,2</sup>Кайгородов Р.В.<sup>1</sup>*Тобольская комплексная научная станция УрО РАН, Тобольск, e-mail: r-kaigorodov@yandex.ru;*<sup>2</sup>*ФГАОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет», Пермь*

Поверхностные водоемы испытывают существенную антропогенную нагрузку, проявляющуюся не только в накоплении токсичных элементов и ксенобиотиков, но и связанную с процессами эвтрофирования за счет избыточного поступления биогенных элементов. Исследовано накопление биогенных элементов азота (аммонийная, нитратная и нитритная формы) и фосфора (фосфат-ион) в бессточных озерах и старицах реки Тобол, расположенных в Тюменской области. Кроме того, проведен анализ хлорид-ионов, уровня pH и содержания взвешенных веществ в исследуемых водоемах. Для сравнения был проведен анализ гидрохимических показателей в воде прибрежной зоны основного русла р. Тобол. В исследовании использованы стандартные методы ионометрии, комплексонометрии и гравиметрии, применяемые при исследовании водных объектов. Для оценки состояния водоемов по исследуемым показателям использовали ПДК, установленные для водоемов рыбохозяйственного назначения. Установлено превышение ПДК по содержанию нитратного азота и фосфора в старицах р. Тобол, расположенных вблизи с. Новолыбаево на сопредельных с пахотными угодьями территориях. В старицах р. Тобол вблизи с. Ярково и в озере Имбиряй превышение ПДК наблюдалось по показателям pH и взвешенным веществам. Вода озера Чигиркуль, расположенного на удалении от населенных пунктов и сельскохозяйственных предприятий, соответствовала нормативам по всем исследованным показателям. Рассчитаны показатели гидрохимической трансформации исследованных водных объектов. Установлены существенные гидрохимические нарушения в старицах р. Тобол вблизи с. Новолыбаево. Во всех исследованных объектах по содержанию нитратов в прибрежной зоне отмечен высокий уровень гидрохимической трансформации. В воде основного русла р. Тобол содержание биогенных элементов, уровень pH и количество взвешенных веществ не превышали нормативных значений.

**Ключевые слова:** водные экосистемы, вода, бессточные водоемы, биогенные элементы, эвтрофирование**THE CONTENT OF BIOGENIC ELEMENTS IN WATER OF DRAINLESS OPEN RESERVOIRS OF THE TYUMEN REGION**<sup>1,2</sup>Kaygorodov R.V.<sup>1</sup>*Tobolsk Complex Scientific Station of the Ural Branch of the RAS, Tobolsk, e-mail: r-kaigorodov@yandex.ru;*<sup>2</sup>*Perm State National Research University, Perm*

Surface reservoirs are experiencing a significant anthropogenic load, manifested not only in the accumulation of toxic elements and xenobiotics, but also associated with the processes of eutrophication due to excessive intake of biogenic elements. The accumulation of biogenic elements of nitrogen (ammonium, nitrate and nitrite forms) and phosphorus (phosphate ion) in the drainless lakes and oxbows of the Tobol River located in the Tyumen region has been studied. In addition, the analysis of chloride ions, the pH level and the content of suspended solids in the studied reservoirs was carried out. For comparison, the analysis of hydrochemical parameters in the water of the coastal zone of the main riverbed of the Tobol River was carried out. The research uses standard methods of ionometry, complexometry and gravimetry used in the study of water bodies. To assess the condition of reservoirs according to the studied indicators, the MPC established for fisheries reservoirs was used. The excess of the MPC in the content of nitrate nitrogen and phosphorus in the old trees of the Tobol river, located near the village of Novolybaevo on territories adjacent to arable lands, was found. In the oxbows of the Tobol river near the village. In Yarkovo and in Lake Ginger, the excess of MPC was observed in terms of pH and suspended solids. The water of Lake Chigirkul, located at a distance from settlements and agricultural enterprises, met the standards for all the studied indicators. The indicators of hydrochemical transformation of the studied water bodies are calculated. Significant hydrochemical disturbances have been established in the oxbows of the Tobol River near the village of Novolybaevo. A high level of hydrochemical transformation was noted in all the studied objects in terms of nitrate content in the coastal zone. In the water of the main riverbed of the river. That is, the content of biogenic elements, the pH level and the amount of suspended substances did not exceed the standard values.

**Keywords:** aquatic ecosystems, water, biogenic elements, eutrophication

Повышенное поступление биогенных элементов, главным образом азота и фосфора, в водоемы является одним из ведущих факторов развития негативных процессов эвтрофирования [1]. Источниками миграции азота и фосфора в поверхностные и грунтовые воды служат предприятия сельского хозяйства, коммунальные и промышленные сточные воды, естественная и антропогенная эрозия почв [2].

Исследования эвтрофирования касаются, как правило, водоемов, используемых в водоснабжении и рыбном хозяйстве. Эвтрофирование естественных водоемов исследовано, на наш взгляд, недостаточно.

Целью исследований являлось изучение накопления минеральных форм азота и фосфора в бессточных открытых водоемах Тюменской области для первичной оценки их чувствительности к эвтрофикации прямым

способом, т.е. по физико-химическим показателям водных объектов.

Содержание аммонийной, нитратной и нитритной форм азота, а также фосфат-ионов и хлоридов подлежит нормированию в природных водоемах, поскольку влияет на качество и безопасность воды, используемой для водоснабжения и в рыбных хозяйствах [3].

Минеральный состав воды выступает одним из ведущих факторов экологического состояния водоемов, определяет видовое разнообразие и соотношения отдельных групп гидробионтов [4, 5]. В процессе эвтрофирования наблюдается снижение видового разнообразия, упрощение трофической системы водоемов, увеличение численности и биомассы цианобактерий [6].

Ведущими абиотическими факторами эвтрофирования водоемов выступают содержание биогенных веществ, кислотность, температурный режим, освещенность водоема [7].

Ряд авторов рассматривает содержание аммонийного, нитратного, нитритного азота, фосфат-ионов и хлоридов в качестве первичных индикаторов геохимической трансформации водоемов [8].

Процессы эвтрофирования могут быть связаны и с естественными процессами поступления биогенных элементов в водоемы. Однако в отличие от естественной эвтрофикации, которая протекает чрезвычайно медленно, антропогенные процессы повышения трофности водоемов, зачастую с изменениями других параметров, например повышение температуры воды или изменение темпов водообмена, характеризуются высокими темпами нарушения химического состава и экологического состояния водоемов [9].

## Материалы и методы исследования

### *Характеристика территории*

Исследуемые нами водные объекты находятся в юго-западной части Тюменской области. Места расположения исследуемых участков представлены в табл. 1.

Почвы, прилегающие к исследуемым водным объектам, относились к следующим типам: прибрежная зона русла и стариц. Тобол (участки № 1–3 и № 6, 7) – аллювиальные дерновые слоистые, прибрежная зона озер (участки № 4 и № 5) – дерново-глеевые.

Донные отложения исследуемых стариц и озер обладали илисто-глинистым гранулометрическим составом. Донные отложения в русле р. Тобол имели тонко-песчано-глинистый гранулометрический состав.

Визуальных признаков эвтрофирования водоемов (зарастание прибрежной зоны, «цветение» воды) в период проведения исследований не отмечено.

### *Методы*

Отбор и подготовка проб воды к анализу. Образцы воды из исследуемых водоемов отбирали в июле 2021 г. в соответствии с требованиями ГОСТ 31861-2012 [10]. На каждом участке воду из водоема отбирали в пятикратной повторности на расстоянии не менее 25 м друг от друга в прибрежной мелководной зоне на удалении 1,0–1,5 м от уреза воды.

Определение ионов аммония, нитрит-ионов, нитрат-ионов, фосфатов и pH проводили на иономере «Экотест-120» с использованием соответствующих ионо-селективных электродов.

Определение хлоридов проводили меркурометрическим методом.

**Таблица 1**

Географическое расположение исследуемых водных объектов и участков отбора образцов воды

№ объекта	Тип и название водного объекта	Ближайшие населенные пункты	Географические координаты
1	старица р. Тобол	с. Новолыбаево	N 56,292386; E 66,211838
2	старица р. Тобол	с. Новолыбаево	N 56,294294; E 66,232040
3	старица р. Тобол	с. Ярково	N 57,2359; E 67,0256
4	оз. Имбиряй	г. Ялуторовск	N 56,3915; E 66,2150
5	оз. Чигиркуль	с. Новоатъялово	N 57,0050; E 66,3344
6	русло р. Тобол	с. Новолыбаево	N 56,3015; E 66,2303
7	русло р. Тобол	с. Новолыбаево	N 56,2835; E 66,2213

Определение содержания взвешенных веществ в воде проводили гравиметрическим методом.

*Математическая обработка данных*

Математическую обработку результатов проводили в программе Past 3.16 с использованием методов описательной статистики и дисперсионного (показатель наименьшей существенной разности – НСР) анализа на 95% уровне значимости. Достоверность результатов оценивали по критерию Стьюдента.

**Результаты исследования и их обсуждение**

Данные гидрохимических исследований бессточных водоемов и основного русла р. Тобол представлены в табл. 2.

В прибрежной зоне стариц р. Тобол на участках № 1 и № 2 вблизи с. Новолыбаево установлено превышение ПДК по содержанию нитрат-ионов в 1,4–1,5 раза. В этих же участках содержание фосфатов превышало ПДК в 1,6–1,8 раза. Близкое расположение населенного пункта и пахотных угодий обусловило, вероятно, избыточное поступление и накопление нитратов и фосфатов в исследованных бессточных старицах.

Содержание аммонийного азота и нитрит-ионов в прибрежной мелководной зоне

во всех исследованных водных объектах не превышало ПДК.

Превышение ПДК установлено по уровню рН во всех объектах за исключением оз. Чигиркуль.

В старице р. Тобол на участке № 3 и в оз. Имбиряй (участок № 4) содержание взвешенных веществ превышало ПДК в 1,2 раза. Взвешенные вещества существенным образом воздействуют на помутнение воды и играют важную роль в развитии и угнетении тех или иных групп гидробионтов, например положительно влияя на рост диатомовых водорослей за счет обогащения вод минеральными веществами. По данным некоторых исследований загрязнение водоемов биогенными элементами вызывает изменение в пигментном аппарате прибрежных и прибрежно-водных групп растений [2].

В прибрежной зоне оз. Чигиркуль (участок № 5) и в основном русле р. Тобол (участки № 6 и № 7) исследованные гидрохимические показатели не превышали ПДК.

Для оценки состояния водных объектов, на основании градации предложенной авторами Е.П. Овчаровой, О.В. Кадацкой [8], нами были рассчитаны баллы гидрохимической трансформации водных объектов (табл. 3).

**Таблица 2**

Гидрохимические показатели исследованных водных объектов

Объект	$\text{NH}_4^+$ , мг/л n = 5	$\text{NO}_3^-$ , мг/л n = 5	$\text{NO}_2^-$ , мг/л n = 5	$\text{PO}_4^{3-}$ , мг/л n = 5	$\text{Cl}^-$ , мг/л n = 5	рН, ед. рН n = 5	Взвешенные вещества, мг/л n = 5
№ 1 старица р. Тобол	0,27 ± 0,07	<b>12,3 ± 0,4</b>	0,010 ± 0,003	<b>0,35 ± 0,09</b>	25,2 ± 0,5	<b>8,7 ± 0,1</b>	0,62 ± 0,11
№ 2 старица р. Тобол	0,30 ± 0,06	<b>13,6 ± 0,4</b>	0,010 ± 0,002	<b>0,32 ± 0,08</b>	35,6 ± 0,7	<b>8,6 ± 0,2</b>	0,53 ± 0,10
№ 3 старица р. Тобол	0,17 ± 0,04	5,2 ± 0,2	0,002 ± 0,001	0,12 ± 0,04	21,2 ± 0,6	<b>8,7 ± 0,2</b>	<b>0,83 ± 0,12</b>
№ 4 оз. Имбиряй	0,16 ± 0,05	4,6 ± 0,2	0,003 ± 0,001	0,10 ± 0,04	15,2 ± 0,4	<b>8,6 ± 0,2</b>	<b>0,86 ± 0,09</b>
№ 5 оз. Чигиркуль	0,07 ± 0,02	2,2 ± 0,1	0,004 ± 0,001	0,04 ± 0,02	10,3 ± 0,5	7,6 ± 0,1	0,29 ± 0,08
№ 6 русло р. Тобол	0,02 ± 0,01	1,1 ± 0,02	0,001 ± 0,001	0,02 ± 0,01	2,4 ± 0,05	6,7 ± 0,3	0,15 ± 0,03
№ 7 русло р. Тобол	0,03 ± 0,01	0,8 ± 0,03	0,002 ± 0,001	0,03 ± 0,01	3,1 ± 0,06	6,6 ± 0,4	0,18 ± 0,04
НСР <sub>05</sub>	0,08	2,1	0,001	0,04	4,0	0,85	0,2
ПДК[3]	0,39	9,1	0,02	0,2	300	6,5-8,5	0,75

Примечание. ± – стандартная ошибка, НСР<sub>05</sub> – показатель наименьшей существенной разности при 5%-ном уровне вероятности.

Таблица 3

Балльная оценка степени гидрохимической трансформации  
исследованных водных объектов

Исследуемый объект	$\text{NH}_4^+$	$\text{NO}_3^-$	$\text{NO}_2^-$	$\text{PO}_4^{3-}$	$\text{Cl}^-$	Сумма баллов
№ 1 старица р. Тобол	2	4	2	3	3	<b>14</b>
№ 2 старица р. Тобол	2	4	2	3	3	<b>14</b>
№ 3 старица р. Тобол	1	4	1	2	2	10
№ 4 оз. Имбиряй	1	4	1	2	2	10
№ 5 оз. Чигиркуль	1	4	1	1	1	8
№ 6 русло р. Тобол	1	3	1	1	1	7
№ 7 русло р. Тобол	1	2	1	1	1	6

Содержание аммонийного азота, нитритов и фосфатов оценивается по следующей балловой системе: 1 балл – содержание менее 0,5 ПДК, 2 балла – содержание 0,5–1 ПДК, 3 балла – содержание 1–2 ПДК, 4 балла – содержание более 2 ПДК. Для оценки содержания нитратов и хлоридов предложены следующая градация: 1 балл – содержание менее 0,05 ПДК, 2 балла – содержание 0,05–0,1 ПДК, 3 балла – содержание 0,1–0,2 ПДК, 4 балла – содержание более 0,2 ПДК. Баллы по содержанию пяти индикаторов (аммонийный, нитритный, нитратный азот, фосфаты и хлориды) суммируются для каждого водного объекта, превышение суммарного балла 10 свидетельствует о превышении ассимиляционного потенциала водной экосистемы, в этом случае происходит нарушение геохимического равновесия в водоеме и [8].

Согласно проведенным расчетам (табл. 3) существенная гидрохимическая трансформация установлена в прибрежной зоне стариц р. Тобол вблизи с. Новолыбаево (участки № 1 и 2). В этих водных объектах суммарный балл трансформации составляет более 10 единиц, что в соответствии с подходами Е.П. Овчаровой, О.В. Кадацкой [8] свидетельствует о превышении порога ассимиляционного потенциала водной экосистемы. В этом случае водный объект требует мероприятий по снижению антропогенной нагрузки.

Все исследованные бессточные водные объекты проявили очень сильную гидрохимическую трансформацию по содержанию нитрат-ионов (4 балла), несмотря на соответствие объектов № 3, 4 и 5 требованиям нормативов (ПДК), предъявляемым к рыбохозяйственным водоемам. Согласно данным некоторых авторов [11] содержание нитратного азота 0,5 мг/л (в 18 раз ниже ПДК) яв-

ляется пороговым для начала процессов эвтрофикации. В исследованных нами водных объектах это пороговое значение превышено в 27–4 раза. Следует отметить, что нормативные требования по качеству воды в водоемах рыбохозяйственного назначения являются более строгими (установлены более низкие ПДК по многим параметрам), чем в водоемах хозяйственно-питьевого назначения.

Продолжение исследований процессов эвтрофирования изучаемых водных объектов видится нам в анализе гидробиологических показателей, главным образом в оценке видового разнообразия и биомассы фитопланктона.

В основном русле р. Тобол гидрохимические показатели свидетельствуют о благоприятном экологическом состоянии в прибрежной мелководной зоне исследованных участков. В отличие от бессточных водоемов в русле рек за счет течения и более интенсивного водообмена негативные процессы избыточного накопления биогенных элементов и чувствительность к эвтрофированию выражены в меньшей степени.

### Заключение

Как показали проведенные исследования, в прибрежной мелководной зоне стариц р. Тобол, расположенных вблизи населенного пункта (с. Новолыбаево) и пахотных полей, наблюдается превышение ПДК для водоемов рыбохозяйственного назначения по содержанию нитратов, фосфатов и по уровню рН. Суммарный балл гидрохимической трансформации [8] в этих объектах превышал отметку 10, что свидетельствует о превышении порога устойчивости водной экосистемы к накоплению биогенных элементов.

В остальных исследуемых бессточных водоемах установлено повышенное нако-

пление нитратов (4 балла) согласно балльной гидрохимической оценке.

Таким образом, прибрежная мелководная часть бессточных водоемов разного типа (старичья и озера) с замедленным водообменом является числительной к процессам эвтрофирования.

В отличие от бессточных водоемов в основном русле р. Тобол на исследуемых участках вблизи населенного пункта содержание биогенных элементов, ионов хлора, показатели рН и количество взвешенных веществ не превышало значений ПДК. Суммарный балл гидрохимической трансформации свидетельствует об отсутствии процессов эвтрофирования.

Период проведения отбора образцов воды пришелся на очень жаркий и засушливый сезон, что могло негативно сказаться на концентрации биогенных веществ в исследуемых водных объектах, особенно в прибрежной мелководной их части.

Проведенные исследования представляют собой первичную оценку экологического состояния бессточных водных объектов в условиях юго-западной части Тюменской области, не используемых человеком в хозяйственных целях. Состояние данных водоемов не представляет прямой угрозы для безопасности водоснабжения и рыбных хозяйств. Изучаемые водоемы могут рассматриваться в качестве модельных водных объектов по исследованию динамики эвтрофирования естественных бессточных пресных водоемов. В дополнение к проведенным гидрохимическим анализам необходимо добавить оценку сезонной динамики более широкого перечня параметров (например, концентрация растворенного кислорода, биологическое поглощение кислорода, содержание общего фосфора и азота, соотношение этих элементов, содержание органического вещества, сульфат-ионов, температура, мутность воды и др.). В комплексе с гидрохимическими исследованиями необходимо также провести гидробиологические исследования структуры и динамики биомассы фитопланктона и других гидробионтов.

*Статья подготовлена при финансовой поддержке ФАНО России в рамках темы «Антропогенная трансформация пойменных экосистем Обь-Иртышского бассейна» (№ НИОКТР АААА-А19-119012190088-0).*

#### Список литературы / References

1. Ашихмина Т.Я., Кутявина Т.И., Домнина Е.А. Изучение процессов эвтрофикации природных и искусственно созданных водоёмов (литературный обзор) // Теоретическая и прикладная экология. 2014. № 3. С. 6–13.

Ashikhmina T.Ya., Kut'yavina T.I., Domnina E.A. Study of the processes of eutrophication of natural and artificially created reservoirs (literary review) // Teoreticheskaya i prikladnaya ecologiya. 2014. № 3. P. 6–13.

2. Корнилов А.Л., Петухова Г.А., Коваленко А.И. Ответные биохимические реакции растений из прибрежной зоны водоемов г. Тюмени // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 3. [Электронный ресурс]. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=6419> (date of the application: 14.12.2021).

Kornilov A.L., Petukhova G.A., Kovalenko A.I. // Sovremennyye problem nauki i jbrazovaniya. 2012. № 3. [Electronic resource]. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=6419> (14.12.2021).

3. Перечень рыбохозяйственных нормативов предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. М.: ВНИРО, 1999. 304 с.

The list of fishery standards of maximum permissible concentrations (MPC) and approximately safe levels of exposure to harmful substances for water of water bodies of fishery importance. M.: VNIRO, 1999. 304 p.

4. Горохова О.Г. Разнообразие планктонных альгоценозов малых эвтрофных водоёмов ООПТ Самарской области (Россия) // Актуальные проблемы современной альгологии: Тезисы докладов IV Международной конференции. Киев, 2012. С. 82–83.

Gorokhova O.G. Diversity of planktonic algalocenoses of small eutrophic reservoirs of protected areas of the Samara region (Russia) // Aktualnie problemy sovremennoj algologii: Tezisy dokladov IV Mezhdunarodnoj konferencii. Kiev, 2012. P. 82–83.

5. Макаренкова Н.Н. Изменение фитопланктона озера Воже как показатель его эвтрофирования // Актуальные проблемы биологии и экологии: Материалы докладов XIX Всероссийской молодежной научной конференции. Сыктывкар, 2012. С. 153–155.

Makarenkova N.N. The change in phytoplankton of Lake Vozhe as an indicator of its eutrophication // Aktualnie problemy biologii i algologii: Materialy l'rkfljd XIX Vserossijskoj molodezhnoj nauchnoj konferencii. Syktyvkar. 2012. P. 153–155.

6. Охупкин А.Г. Особенности структурной организации фитопланктона водоёмов разного типа бассейна Средней Волги (Россия) // Актуальные проблемы современной альгологии: Тезисы докладов IV Международной конференции. Киев, 2012. С. 228–229.

Okhapkin A.G. Features of the structural organization of phytoplankton of reservoirs of different types of the Middle Volga basin (Russia) // Aktualnie problemy sovremennoj algologii: Tezisy dokladov IV Mezhdunarodnoj konferencii. Kiev, 2012. P. 228–229.

7. Романкевич Ю.А. Эколого-геохимическая оценка технологических водоемов в малых городах Беларуси // Природопользование. 2014. Вып. 25. С. 98–108.

Ronamkevich Yu.A. Ecological and geochemical assessment of technological reservoirs in small towns of Belarus // Prirodopolzovanie. 2014. Vyp. 25. P. 98–108.

8. Овчарова Е.П., Кадацкая О.В. Геоэкологические критерии для целей реабилитации водных объектов на урбанизированных территориях // Природопользование. 2014. Вып. 26. С. 25–30.

Ovcharova E.P., Kadatskaya O.V. Geoecological criteria for the rehabilitation of water bodies in urbanized territories // Prirodopolzovanie. 2014. Vyp. 26. P. 25–30.

9. Цветкова Л.И., Неверово-Дзиопак Е. Как оценить опасный уровень антропогенного эвтрофирования пресноводных экосистем // Вестник гражданских инженеров. 2019. № 6 (77). С. 262–270.

Cvetkova L.I., Neverovo-Dizopak E. How to assess the dangerous level of anthropogenic eutrophication of freshwater ecosystems // Vestnik grazhdanskih inzhenerov. 2019. № 6 (77). P. 262–270.

10. ГОСТ 31861-2012. Вода. Общие требования к отбору проб. М.: Стандартиформ, 2019. 32 с.

GOST 31861-2012. Voda. Odschie trebovaniya k otboru prob. M.: Standartinform, 2019. 32 p.

11. Оксийук О.П., Жукинский В.Н., Брагинский Л.П. Комплексная экологическая классификация поверхностных вод суши // Гидробиологический журнал. 1993. Т. 29. № 4. С. 62–72.

Oksiyuk O.P., Zhukinskij V.N., Braginskij L.P. // Gidrobiologicheskij zhurnal. T. 29. № 4. P. 62–72.

УДК 504.054:502.572:504.53

## ОЦЕНКА УРОВНЯ ФОНОВОЙ АККУМУЛЯЦИИ ПРИОРИТЕТНЫХ ЭКОТОКСИКАНТОВ В ПОЧВЕННОМ ПОКРОВЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ И ПОЧВЕННО-ТЕХНОГЕННОЙ СМЕСИ НА ОБЪЕКТЕ РАЗМЕЩЕНИЯ ОТХОДОВ В НИЖЕГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

**Козлов А.В., Бодякшина М.А., Калининцева З.С., Ронжин С.С., Захарова А.А.**

*ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный педагогический университет имени К. Минина»,  
Нижний Новгород, e-mail: a.v.kozlov\_ecology@mail.ru*

В работе представлена первичная характеристика уровня фонового накопления некоторых приоритетных экотоксикантов (Zn, Cd, Pb, Cu и нефтепродукты) в почвенном покрове территорий, непосредственно прилегающих к промышленным зонам машиностроительных предприятий Нижегородской области и в почвенно-техногенной смеси с одного из полигонов ТКО, отнесенных к объектам накопленного экологического вреда по г. Нижнему Новгороду. Пробы почв отбирались в осенний период 2020 г. и анализировались по ряду показателей стандартизированными лабораторными методами, принятыми в экологической практике по оценке состояния почвенного покрова. Было установлено, что фоновая аккумуляция приоритетных для региона экотоксикантов имеется, при этом не составляет существенных величин относительно уровня их допустимых концентраций. Для почвогрунтов полигона отходов максимальное накопление характерно для цинка (21–42% от ПДК), кадмия (38–54% от ОДК) и меди (1–102% от ПДК). Наиболее характерной особенностью здесь установлена существенная вариабельность показателей по территории полигона (значения V достигали 147% по Zn, 121% по Cd и 197% по Cu). Для естественного почвенного покрова некоторых промзон по Нижегородской области наибольшее накопление загрязняющих веществ в целом очень низкое и варьирует в диапазонах 5,4–6,3% от ПДК по цинку, 2,0–25,5% от ОДК по кадмию, 7,0–13,8% от ПДК по свинцу и 1,0–162,0% от ПДК по меди. Накопление нефтепродуктов в почвах несущественно и составляет не более 3,8–8,5% от условного ПДК. Вариабельность показателей по территории промышленных зон не превышает 121–140% по Zn, 87–115% по Cd, 140–189% по Pb и 85–136% по Cu.

**Ключевые слова:** почвенный покров, фоновая аккумуляция экотоксикантов, промышленные территории, полигоны размещения отходов, цинк, кадмий, свинец, медь, нефтепродукты

## ASSESSMENT OF BACKGROUND ACCUMULATION LEVEL PRIORITY ECOTOXICANTS IN SOIL COVER INDUSTRIAL AREAS AND SOIL-TECHNOGENIC MIXTURE AT WASTE DISPOSAL FACILITY IN THE NIZHNY NOVGOROD REGION

**Kozlov A.V., Bodyakshina M.A., Kalinicheva Z.S., Ronzhin S.S., Zakharova A.A.**

*Minin Nizhny Novgorod State Pedagogical University, Nizhny Novgorod,  
e-mail: a.v.kozlov\_ecology@mail.ru*

The work presents primary characteristic of level of background accumulation of some priority ecotoxicants (Zn, Cd, Pb, Cu and petroleum products) in soil cover of territories immediately adjacent to industrial zones of machine-building enterprises of the Nizhny Novgorod region and in the soil-technogenic mixture from one of the SHW landfills assigned to objects of accumulated environmental damage to the Nizhny Novgorod. Soil samples were taken in the autumn of 2020 and analyzed according to number of indicators by standardized laboratory methods adopted in environmental practice for assessing state of soil cover. Background accumulations of region-priority ecotoxicants were found to be available, but not significant relative to their permissible concentrations. For landfill soil, the maximum accumulation is characteristic of Zinc (21–42% of TLV), Cadmium (38–54% of AAC) and Copper (1–102% of TLV). The most characteristic feature here is significant variability of indicators for territory of landfill (values V reached 147% for Zn, 121% for Cd and 197% for Cu). For natural soil cover of some industrial zones in the Nizhny Novgorod region, largest accumulation of pollutants is generally very low and varies in the ranges of 5,4–6,3% of TLV for Zinc, 2,0–25,5% of AAC for Cadmium, 7,0–13,8% of TLV for Lead and 1,0–162,0% of TLV for Copper. The accumulation of petroleum products in soils is insignificant and amounts to no more than 3,8–8,5% of the conditional TLV. The variability of indicators in territory of industrial zones does not exceed 121–140% according to Zn, 87–115% according to Cd, 140–189% according to Pb and 85–136% according to Cu.

**Keywords:** soil cover, background accumulation of ecotoxicants, industrial territories, waste disposal sites, zinc, cadmium, lead, copper, petroleum products

При современном развитии промышленного комплекса и общем высоком уровне хронического техногенного воздействия на компоненты природы становится крайне значимым выявление не только особо резких и опасных явлений негативного характера, влияющих на окружающую среду (в том числе залповые, несанкционированные и аварийные выбросы и сбросы),

но и постоянное отслеживание за фоновым накоплением экотоксикантов в объектах окружающей среды при условии их инвазивного распространения [1–3]. В частности, среди наиболее приоритетных загрязняющих веществ в отходах данного воздействия выделяют тяжелые металлы (Cd, Pb, Hg, Ni, Zn, Co, Cu и др.) и мышьяк (As), многие радионуклиды (<sup>90</sup>Sr, <sup>137</sup>Cs, <sup>131</sup>I,

<sup>40</sup>К и др.), бенз(а)пирен, нефтепродукты и иные стойкие органические вещества, в том числе характеризующиеся высокой токсичностью и имеющие пролонгированное химическое преобразование в системе «эко топ – биотоп» [4–6].

Деятельность предприятий машиностроительной отрасли страны зачастую сопровождается образованием значительных объемов газо-пылевых выбросов, которые могут содержать как перечисленные выше ингредиенты, так и иные поллютанты, которые довольно трудно подвергаются естественной нейтрализации при попадании в природные объекты, вследствие чего их аккумулятивный характер повышает общий уровень токсичности почв и вод для окружающей среды [7, 8]. Также одним из наиболее приоритетных объектов современного изучения являются несанкционированные свалки и массивные полигоны ТКО и промышленных отходов. В условиях их функционирования литологическая основа и почвенный покров, местные водоемы и грунтовые воды являются наиболее уязвимыми объектами природы, которые подвергаются аккумулярованию многими опасными загрязняющими веществами из данных объектов, инфильтрация которых зачастую имеет хронический инвазивный характер [9, 10].

Проведение экологических исследований почвенного покрова с территорий, непосредственно прилегающих к промышленным предприятиям, а также с объектов размещения отходов является одним из наиболее приоритетных направлений в области современной экологической безопасности и охраны окружающей среды [2, 11, 12], поскольку позволяет выявить уровень фоновых концентраций загрязняющих веществ в почвенном покрове, массово накапливаемых за длительный период времени.

Цель работы – характеристика уровня фонового накопления приоритетных экотоксикантов в почвенном покрове на территории некоторых промышленных предприятий машиностроительной отрасли Нижегородской области и почвенно-техногенной смеси на объекте накопленного экологического вреда в Нижнем Новгороде.

#### **Материалы и методы исследования**

Объектами исследования явились почвы с территорий, прилегающих к стратегически значимым промышленным предприятиям Нижегородской области – АО «Павловский машиностроительный завод «Восход» (г. Павлово), АО «Выксунский

металлургический завод» (г. Выкса), ПАО «Арзамасский машиностроительный завод» (г. Арзамас), АО «Нижегородский машиностроительный завод» (г. Нижний Новгород), ОАО «Горьковский автомобильный завод» (г. Нижний Новгород), ПАО «Заволжский моторный завод» (г. Заволжье), а также почвенно-техногенная смесь с объекта накопленного экологического вреда «Шуваловская свалка» в г. Нижнем Новгороде. Расположение объектов исследования и точек отбора проб показано на рис. 1 и 2.

На промышленных объектах Нижегородской области пробы почвы были отобраны в сентябре 2020 г. Пробы отбирались по периметру объектов в непосредственной близости к их границе, глубина отбора 15 см. На объекте «Шуваловская свалка» пробы были отобраны в октябре 2020 г. с пяти равномерно удаленных точек, на каждой из которых образец почвенно-техногенной смеси отбирался дважды – с глубины 15 см (усл. горизонт А<sub>1</sub>) и 150 см (усл. горизонт В). Для отбора проб применялся пробоотборник-бур Эдельмана в соответствии с требованиями ГОСТ 17.4.3.01-83 «Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб».

Впоследствии пробы были доставлены в эколого-аналитическую лабораторию мониторинга и защиты окружающей среды, где подготавливались к исследованиям и анализировались на определение обменной кислотности по ГОСТ 26484-85, определение содержания подвижных соединений тяжелых металлов (Zn, Cd, Pb и Cu) из ацетатно-аммонийной вытяжки инверсионно-вольтамперометрическим методом по ПНД Ф 16.1:2.2:3.48-06 «Методика выполнения измерений массовой концентрации цинка, кадмия, свинца, меди, марганца, мышьяка и ртути в почвах, тепличных грунтах, сапропелях, илах, донных отложениях, твердых отходах методом инверсионной вольтамперометрии на анализаторах типа ТА», а также на определение суммарного содержания нефтепродуктов флуориметрическим методом по ПНД Ф 16.1:2.21-98 «Методика выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в пробах почв и грунтов флуориметрическим методом с использованием анализатора жидкости «ФЛЮОРАТ-02». Данные методические руководства соответствуют современным нормативным требованиям по количественному эколого-химическому анализу почвенных проб [13]. Повторность в аналитических измерениях – трехкратная, вариационный анализ использовался при статистической обработке полученных результатов.

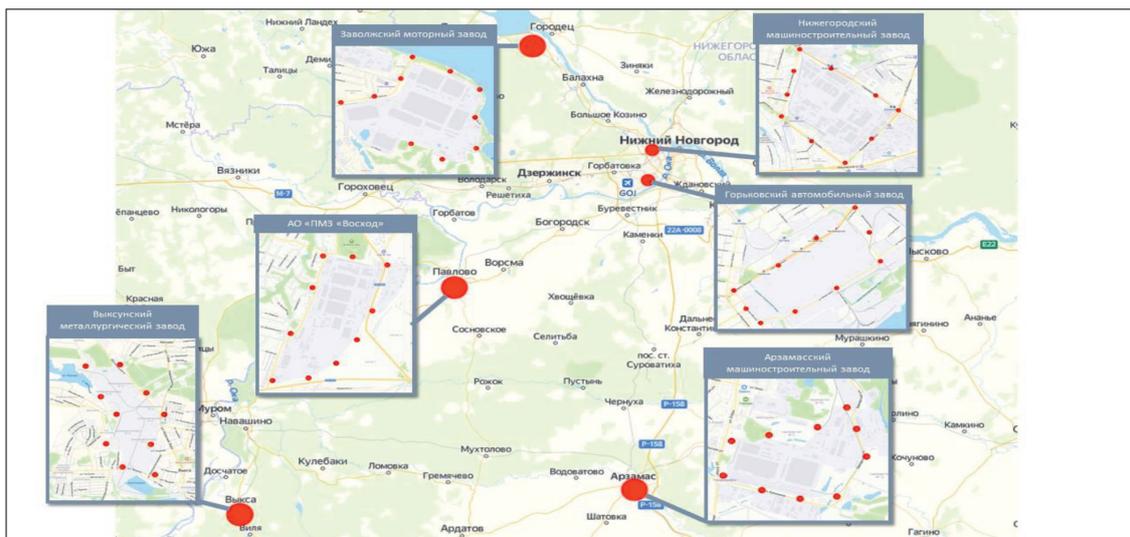


Рис. 1. Карта расположения точек отбора проб почвы с территорий машиностроительных предприятий Нижегородской области



Рис. 2. Внешний вид и границы территории объекта «Шуваловская свалка», расположение точек отбора проб почвенно-техногенной смеси

### Результаты исследования и их обсуждение

Данные табл. 1 отражают уровень фонового накопления приоритетных экотоксикантов в почвенно-техногенной смеси с объекта накопленного экологического вреда «Шуваловская свалка» г. Нижнего Новгорода. Для городской территории Нижнего Новгорода данный объект имеет приоритетное значение, поскольку за счет длительного размещения промышленных и бытовых отходов в 2019 г. он был включен в Госу-

дарственный реестр объектов накопленного экологического вреда окружающей среде, при этом в настоящее время завершается его рекультивация [14].

Прежде всего нужно отметить, что содержание исследованных экотоксикантов имело различный градиент аккумуляции в толще почвенно-техногенной смеси. В частности, если подвижные формы цинка, меди и нефтепродуктов накапливались преимущественно в верхнем слое (гор-т  $A_1$ ), где их содержание достигало соответственно 42, 102 и 3% от ПДК, то содержание

подвижных фракций кадмия и свинца было максимальным на глубине почвенно-техногенной смеси (гор-т В) по сравнению с дневным горизонтом, где достигало соответственно 54 и 10% от ПДК (ОДК).

Минимальный уровень аккумуляции в почвогрунте в целом оказался характерен для мобильных соединений свинца и нефтепродуктов, максимальный – для цинка, кадмия и меди. По-видимому, данные тенденции могли быть сопряжены с контрастным размещением массы отходов, размещаемых на полигоне, и неравномерной инфильтрацией стоков в вертикали профиля почвенно-техногенной смеси [4, 9], что подтверждается и высокой вариабельностью показателей по территории объекта. Так, значения коэффициента вариации по содержанию цинка, кадмия и меди здесь достигали соответственно 147, 121 и 197%.

В табл. 2 показана вариабельность концентраций аналогичных загрязняющих веществ, накопленных в естественном почвенном покрове с территорий, которые

непосредственно прилегают к промышленным объектам Нижегородской области. В целом нужно отметить, что в сравнении с почвогрунтом полигона «Шуваловская свалка» уровень аккумуляции экотоксикантов в почвах промзон оказался много ниже и, что важно, не имел столь существенной территориальной вариабельности.

В частности, максимальное накопление подвижных соединений цинка было характерно для почв Нижегородского машиностроительного завода (до 6,3% от ПДК) и автозавода «ГАЗ» (до 5,4% от ПДК), а наибольшее накопление кадмия – для почвенного покрова территорий автозавода «ГАЗ» (до 26% от ОДК) и Заволжского моторного завода (до 29% от ОДК). Содержание подвижных фракций свинца оказалось наибольшим в почвах территории Выксунского металлургического завода (до 7% от ПДК) и автозавода «ГАЗ» (до 14% от ПДК), а подвижных фракций меди – в почвах территории Заволжского моторного завода, где достигало 162% от ПДК.

**Таблица 1**

Вариабельность обменной кислотности и содержания приоритетных экотоксикантов в почвенно-техногенной смеси на техногенном объекте «Шуваловская свалка»

Показатель	Г	Min, мг/кг	Max, мг/кг	Med, мг/кг	sD	V, %	ПДК
pH <sub>КСР</sub> , ед. pH	A <sub>1</sub>	5,70	6,28	5,87	0,11	4	[5,2-6,5]
	B	4,28	5,84	5,40	0,28	12	
Цинк (Zn)	A <sub>1</sub>	0,1330	9,7600	2,7294	1,7965	147	23,0
	B	0,1630	4,8600	1,5204	0,8678	128	
Кадмий (Cd)	A <sub>1</sub>	0,0176	0,7610	0,3588	0,1404	88	[2,0]
	B	0,0205	1,0800	0,3595	0,1952	121	
Свинец (Pb)	A <sub>1</sub>	0,0479	0,4140	0,2152	0,0823	86	6,0
	B	0,0225	0,5930	0,2818	0,1117	89	
Медь (Cu)	A <sub>1</sub>	0,0079	3,0600	0,6777	0,5960	197	3,0
	B	0,0030	0,2080	0,0622	0,0372	134	
Нефтепродукты	A <sub>1</sub>	2,48	32,20	21,60	5,39	56	[1000]
	B	0,65	29,30	15,55	5,90	85	

**Примечания**, здесь и далее: Г – условный горизонт почвенного профиля, Min – минимальное значение показателя в вариационном ряду, Max – максимальное значение показателя в вариационном ряду, Med – среднее значение показателя, sD – стандартное отклонение среднего значения, V – коэффициент вариации; ПДК – предельно допустимые концентрации подвижных соединений тяжелых металлов в почвах согласно ГН 2.1.7.2041-06; *н.п.о.* – по показателю установлено значение ниже предела обнаружения в соответствии с используемой методикой КХА почвенных проб. В квадратных скобках: по обменной кислотности почвы – средневзвешенное справочное значение показателя относительно дерново-подзолистых почв естественного педогенеза по Нижегородской области, по нормативному содержанию кадмия – в близких к нейтральным и нейтральных суглинистых почвах дано ОДК по ГН 2.1.7.2511-09, по нормативному содержанию нефтепродуктов – минимально допустимый уровень загрязнения в соответствии с Письмом «Порядок определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами» (утв. Роскомземом от 10.11.1993 г. и Минприроды РФ от 18.11.1993 г.).

Таблица 2

Вариабельность обменной кислотности и содержания приоритетных экотоксикантов (мг/кг) в почвенном покрове территорий промышленных предприятий по Нижегородской области

Показатель	Min	Max	Med	sD	V, %	ПДК
1	2	3	4	5	6	7
<i>АО «Павловский машиностроительный завод «Восход» (г. Павлово)</i>						
pH <sub>КСР</sub> , ед. рН	6,66	6,95	6,79	0,06	2	[5,2–6,5]
Цинк (Zn)	0,000001	0,004860	0,001583	0,001107	140	23,0
Кадмий (Cd)	0,000001	0,054200	0,026210	0,015111	115	[2,0]
Свинец (Pb)	0,000001	0,065700	0,038200	0,015807	83	6,0
Медь (Cu)	н.п.о.	н.п.о.	–	–	–	3,0
Нефтепродукты	3,97	38,15	20,82	7,22	69	[1000]
<i>АО «Выксунский металлургический завод» (г. Выкса)</i>						
pH <sub>КСР</sub> , ед. рН	5,78	7,10	6,62	0,31	10	[5,2–6,5]
Цинк (Zn)	0,003160	0,037800	0,015465	0,007742	50	23,0
Кадмий (Cd)	0,023140	0,038500	0,027710	0,003628	26	[2,0]
Свинец (Pb)	0,025400	0,428000	0,304100	0,093550	62	6,0
Медь (Cu)	н.п.о.	н.п.о.	–	–	–	3,0
Нефтепродукты	2,16	85,75	24,61	20,40	166	[1000]
<i>ПАО «Арзамасский машиностроительный завод» (г. Арзамас)</i>						
pH <sub>КСР</sub> , ед. рН	5,52	5,77	5,50	0,10	4	[5,2–6,5]
Цинк (Zn)	0,000001	0,000135	0,000062	0,000031	100	23,0
Кадмий (Cd)	н.п.о.	н.п.о.	–	–	–	[2,0]
Свинец (Pb)	0,000001	0,000145	0,000049	0,000034	140	6,0
Медь (Cu)	0,000568	0,000958	0,000788	0,000082	21	3,0
Нефтепродукты	3,83	20,95	10,66	4,00	75	[1000]
<i>АО «Нижегородский машиностроительный завод» (г. Нижний Новгород)</i>						
pH <sub>КСР</sub> , ед. рН	7,01	7,40	7,20	0,08	2	[5,2–6,5]
Цинк (Zn)	0,091200	1,460000	0,811800	0,284228	70	23,0
Кадмий (Cd)	0,001320	0,084500	0,047255	0,020644	87	[2,0]
Свинец (Pb)	0,000125	0,032500	0,011560	0,007645	132	6,0
Медь (Cu)	н.п.о.	н.п.о.	–	–	–	3,0
Нефтепродукты	3,77	18,75	11,34	3,06	54	[1000]
<i>ОАО «Горьковский автомобильный завод» (г. Нижний Новгород)</i>						
pH <sub>КСР</sub> , ед. рН	6,04	6,50	6,29	0,12	4	[5,2–6,5]
Цинк (Zn)	0,623000	1,240000	0,872500	0,135600	31	23,0
Кадмий (Cd)	0,089600	0,514000	0,302650	0,087207	58	[2,0]
Свинец (Pb)	0,530000	0,834000	0,687000	0,064231	19	6,0
Медь (Cu)	0,000029	0,000268	0,000121	0,000051	85	3,0
Нефтепродукты	8,32	14,15	11,82	1,38	23	[1000]
<i>ПАО «Заволжский моторный завод» (г. Заволжье)</i>						
pH <sub>КСР</sub> , ед. рН	5,70	5,94	5,91	0,12	4	[5,2–6,5]
Цинк (Zn)	0,002570	0,109000	0,039743	0,024025	121	23,0
Кадмий (Cd)	0,244000	0,576000	0,380000	0,070942	37	[2,0]
Свинец (Pb)	0,000001	0,000089	0,000023	0,000022	189	6,0
Медь (Cu)	0,005730	4,860000	1,690630	1,145966	136	3,0
Нефтепродукты	2,85	10,20	8,04	1,74	43	[1000]

По уровню фоновой аккумуляции нефтепродуктов в почвах нужно сказать, что в целом он оказался несущественным и в наибольшей степени достигал 4 и 9% от ПДК соответственно в почвах территории Павловского машиностроительного завода и Выксунского металлургического завода.

### Заключение

В результате проведенного исследования по изучению почвенного покрова некоторых промышленных территорий Нижегородской области и почвенно-техногенной смеси объекта накопленного экологического вреда г. Нижнего Новгорода было установлено, что фоновая аккумуляция приоритетных для региона экотоксикантов имеется, при этом она не составляет существенных величин относительно уровня их допустимых концентраций. Для почвогрунтов полигона отходов максимальное накопление характерно для цинка (21–42% от ПДК), кадмия (38–54% от ОДК) и меди (1–102% от ПДК). Для естественного почвенного покрова некоторых промзон по Нижегородской области наибольшее аккумулятивное загрязнение варьирует в диапазонах 5,4–6,3% от ПДК по цинку, 2,0–25,5% от ОДК по кадмию, 7,0–13,8% от ПДК по свинцу и 1,0–162,0% от ПДК по меди. Накопление нефтепродуктов в почвах несущественно и составляет не более 3,8–8,5% от условного ПДК.

### Список литературы / References

1. Кастерина Н.Г., Околелова А.А., Заикина В.Н. Поллютанты в почвах агломерации Волгоград – Волжский // Естественно-гуманитарные исследования. 2015. № 9 (3). С. 15–26.
- Kasterina N.G., Okolelova A.A., Zaikina V.N. Pollutants in the soils of the Volgograd-Volzhsky agglomeration // Estestvenno-gumanitarnye issledovaniya. 2015. № 9 (3). P. 15–26. (in Russian).
2. Куролап С.А., Федотов В.И. Геоэкологические основы мониторинга и эколого-гигиеническое зонирование городской среды // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. 2000. № 1. С. 120–123.
- Kurolap S.A., Fedotov V.I. Geo-environmental monitoring frameworks and environmental zoning of the urban environment // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografiya. Geoekologiya. 2000. № 1. P. 120–123 (in Russian).
3. Мотузова Г.В., Безуглова О.С. Экологический мониторинг почв. М.: Гуадеамус, Академический проспект, 2007. 238 с.
- Motuzova G.V., Bezuglova O.S. Environmental soil monitoring. M.: Guadeamus, Aka-demicheskij prospekt, 2007. 238 p. (in Russian).
4. Водяницкий Ю.Н. Природные и техногенные соединения тяжелых металлов в почвах // Почвоведение. 2014. № 4. С. 420–432.
- Vodyanitskiy Yu.N. Natural and man-made compounds of heavy metals in soils // Pochvovedenie. 2014. № 4. P. 420–432 (in Russian).

5. Майстренко В.Н., Клюев Н.А. Эколого-аналитический мониторинг стойких органических загрязнений. М.: БИНОМ, Лаборатория знаний, 2004. 323 с.

Maystrenko V.N., Klyuev N.A. Environmental and analytical monitoring of persistent organic pollutants. M.: BINOM, Laboratoriya znanij, 2004. 323 p. (in Russian).

6. Хаустов А.П., Редина М.М. Нормирование и снижение загрязнения окружающей среды. М.: Издательство Юрайт, 2016. 387 с.

Haustov A.P., Redina M.M. Standardization and reduction of environmental pollution. M.: Izdatel'stvo Yurajt, 2016. 387 p. (in Russian).

7. Козлов А.В., Уромова И.П. Экспертиза территориальных различий в уровне концентраций легко подвижных форм приоритетных экотоксикантов в урбаногемах Нижнего Новгорода и анализ их интегральной токсичности // Успехи современного естествознания. 2019. № 12. С. 57–62.

Kozlov A.V., Uromova I.P. Examination of territorial differences in concentrations of easily mobile forms of priority ecotoxicants in urbanosemes of Nizhny Novgorod and analysis of their integral toxicity // Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya. 2019. № 12. P. 57–62 (in Russian).

8. Мажайский Ю.А. Нейтрализация загрязненных почв. Рязань: Мещерский филиал ГНУ ВНИИГиМ Россельхозакадемии, 2008. 528 с.

Mazhayskiy Yu.A. Neutralization of contaminated soils. Ryazan': Meshcherskiy filial GNU VNIIGiM Rossel'hozakademii, 2008. 528 p. (in Russian).

9. Иванова Ю.С., Горбачев В.Н. Загрязнение почв тяжелыми металлами под влиянием несанкционированных свалок (медико-экологический аспект) // Ульяновский медико-биологический журнал. 2012. № 1. С. 119–124.

Ivanova Yu.S., Gorbachev V.N. Soil contamination by heavy metals under the influence of unauthorized landfills (medical and environmental aspect) // Ul'yanovskiy mediko-biologicheskij zhurnal. 2012. № 1. P. 119–124 (in Russian).

10. Шевчук А.В. Эколого-экономические аспекты ликвидации накопленного ущерба в арктической зоне Российской Федерации // Природообустройство. 2013. № 5. С. 80–83.

Shevchuk A.V. Environmental and economic aspects of coping with accumulated damage in the Arctic zone of the Russian Federation // Prirodoobustroystvo. 2013. № 5. P. 80–83 (in Russian).

11. Козырева О.А. Теоретизация и моделирование педагогических условий в профессиональной деятельности научно-педагогического работника // Вестник Мининского университета. 2021. Т. 9. № 1 (34). С. 3.

Kozyreva O.A. Theorization and modeling of pedagogical conditions in the professional activities of a scientific and pedagogical worker // Vestnik of Minin University. 2021. T. 9. № 1 (34). P. 3 (in Russian).

12. Копчик Г.Н. Современные подходы к ремедиации почв, загрязненных тяжелыми металлами (обзор литературы) // Почвоведение. 2014. № 7. С. 851–868.

Koptsik G.N. Current approaches to remediation of soils, contaminated with heavy metals (literature review) // Pochvovedenie. 2014. № 7. P. 851–868 (in Russian).

13. Козлов А.В. Оценка экологического состояния почвенного покрова и водных объектов: учебно-методическое пособие. Н. Новгород: Мининский университет, 2016. 146 с.

Kozlov A.V. Environmental assessment of soil cover and water objects: study guide. N. Novgorod: Mininskij universitet publ. house, 2016. 146 p. (in Russian).

14. Федеральная целевая программа «Ликвидация накопленного экологического ущерба» на 2014–2025 годы // Протокол совещания (п. 3) Председателя Правительства Российской Федерации Д.А. Медведева от 09.01.2013 г. № ДМ-П9-2пр. 47 с.

Federal target program «The elimination of accumulated environmental damage» for 2014–2025 // Minutes of the meeting (p.3) of the Chairman of the Government of the Russian Federation D.A. Medvedev ot 09.01.2013 g. № DM-P9-2pr. 47 p. (in Russian).

УДК 911.2

## НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ КЛИМАТА ПРЕДГОРНЫХ И ГОРНЫХ ТЕРРИТОРИЙ КАБАРДИНО-БАЛКАРИИ И ИХ ВЛИЯНИЯ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА

Кондратьева Н.В., Узденова А.Б.

ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», Нальчик, e-mail: albina\_uzdenowa@mail.ru

Влияние климата на организм человека многогранно. При одних климатических условиях возникают различные заболевания, при других – климат играет роль лечебного и профилактического фактора. Воздействие окружающей среды на организм зависит от индивидуальных особенностей человека, климатических, сезонных географических условий. Биоклиматическая классификация проводится для определения комфортности метеоусловий и для составления тематических карт, что приобрело особую актуальность в связи с событиями последнего года в мире. Пандемия коронавируса – историческое время возрождения и признания санаторно-курортного лечения и бальнеологии. Европейская ассоциация курортов обращает внимание на важность профилактики, чтобы подготовить иммунную систему к долгосрочному здоровому образу жизни, эффективному использованию природных лечебных ресурсов в лечении и профилактике хронических заболеваний. Нынешняя ситуация в мире вынуждает международное медицинское сообщество пересмотреть свою философию и заложить основу для новых и более реалистичных принципов, которые будут применяться в эпоху после глобальной болезни. Многочисленные исследования отечественных и зарубежных ученых подтверждают возрастающую чувствительность организма человека к изменяющимся погодным и климатическим условиям. Способность адаптироваться путем акклиматизации ограничена. Многие организации участвуют в международных программах исследований для выявления и предотвращения негативного влияния изменений погоды и климата на здоровье человека, тем самым подчеркивая актуальность данной темы. Учеными разработаны различные индексы для оценки воздействия температуры и влажности воздуха, атмосферного давления, силы ветра на организм человека. Некоторые из них довольно сложны и включают в себя все элементы энергетического баланса. Они требуют измерений, которые обычно не выполняются метеорологическими службами. Эти индексы можно легко получить с помощью регулярных метеорологических измерений или легкодоступного оборудования.

**Ключевые слова:** туризм, рекреация, климат, здоровье, минеральные воды, климатолечение, бальнеолечение

## SOME FEATURES OF THE CLIMATE OF THE FOOTHILL AND MOUNTAIN AREAS OF KABARDINO-BALKARIA AND THEIR IMPACT ON THE HUMAN BODY

Kondratieva N.V., Uzdenova A.B.

High Mountain Geophysical Institute, Nalchik, e-mail: albina\_uzdenowa@mail.ru

The influence of climate on the human body is multifaceted. Under some climatic conditions, various diseases arise, with others, the climate plays the role of a therapeutic and preventive factor. The impact of the environment on the body depends on the individual characteristics of a person, climatic, seasonal and geographical conditions. Bioclimatic classification is carried out to determine the comfort of meteorological conditions and to draw up thematic maps, which has acquired particular relevance in connection with the events of the last year in the world. The coronavirus pandemic is a historic time of revival and recognition of spa treatment and balneology. The European Spa Association pays attention to the prevention of immune systems in the long term. The current situation in the world is forcing the international medical community to revise its philosophy and lay the foundation for new and more realistic principles that will be applied in the era after the global disease. Numerous studies of domestic and foreign scientists confirm the increasing sensitivity of the human body to changing weather and climatic conditions. The ability to adapt through acclimatization is limited. Many organizations participate in international research programs to identify and prevent the negative impact of weather and climate changes on human health, thereby emphasizing the relevance of this topic. Scientists have developed various indices to assess the impact of air temperature and humidity, atmospheric pressure, wind force on the human body. Some of them are quite complex and include all the elements of energy balance. They require measurements that are not normally performed by meteorological services. These indices can be easily obtained using regular meteorological measurements or readily available equipment.

**Keywords:** tourism, recreation, climate, health, mineral waters, climatotherapy, balneotherapy

В современном мире применение целебных природных ресурсов для сохранения и восстановления здоровья становится все более актуальным. По мнению ученых, санаторная реабилитация является важнейшим этапом медицинской реабилитации пациентов с пневмониями, ассоциированными с новой коронавирусной

инфекцией COVID-19, и включает применение технологий курортной медицины, природных лечебных физических факторов – лечебных грязей, естественных парогазотермальных источников, минеральных вод, фитокомплексов, а также ряда технологий аппаратной физиотерапии, лечебной физической культуры при реабилитации

пациентов с патологией органов дыхания. Академик А.Н. Разумов и др. [1] показали, что основными технологиями в реабилитации больных, перенесших пневмонию, связанную с коронавирусом, обладающими высшей степенью доказательности 1А, являются физические упражнения, дыхательная гимнастика, мультимодальный подход (курортная терапия), и гидротерапия. Дополнительными технологиями, обладающими степенью доказательности 2В, служат методы неинвазивной вентиляции легких (СРАР-терапия). Вспомогательными реабилитационными технологиями являются терренкур, оксигенотерапия (лечение кислородом), аэровоздействие, воздействие климатом, ванны минеральные лечебные, ванны лекарственные лечебные, ванны газовые лечебные. Авторы предлагают рассмотреть возможность использования санаторно-курортных учреждений страны при переводе пациентов с COVID-19 на этап медицинской реабилитации в местные санатории.

Целью исследования является анализ особенностей климата предгорных и горных территорий Кабардино-Балкарии и их влияния на организм человека.

#### Материалы и методы исследования

Авторами проанализированы литературные данные и вычислены значения био-климатических индексов.

#### Результаты исследования и их обсуждение

Кабардино-Балкария обладает благоприятными для человека свойствами климата: продолжительным летом, теплой осе-

нью, мягкой зимой, что создает длительный комфортный период [2]. Благодаря этому в КБР круглогодично функционируют рекреационные учреждения, а климатическая комфортность – одно из главных условий организации рекреационной деятельности и полноценного отдыха. Большое значение имеет значительное количество штилей, которые в основном наблюдаются в осенне-зимний сезон. Наличие горно-долинных и феновых ветров со средней скоростью 1,8 м в секунду и частые штили оказывают заметное влияние на климат и благотворное действие на больных, отдыхающих на курорте Нальчик. Относительная влажность воздуха в среднем составляет около 76%, летом 70%, в осенне-зимний сезон – 80–85%. В последние годы наблюдается рост среднегодовой температуры воздуха, который особенно ярко проявляется в летние месяцы (рис. 1). Накоплено огромное количество фактических данных, определяющих влияние глобального изменения климата на здоровье человека.

В высокогорье (Приэльбрусье) преобладают морозные погоды с повышенной ясностью зим. Зимой здесь солнечных дней больше, чем в предгорье. Климат высокогорья характеризуется прозрачностью, малой запыленностью, большой продолжительностью солнечного сияния. На организм человека благоприятно влияет состояние небольшой гипоксии, которая возникает в горах. Низкий уровень кислорода в окружающей среде, возникающий в результате пониженного атмосферного давления, вызывает повышенную выработку красных кровяных телец. Это приводит к высокой концентрации гемоглобина.

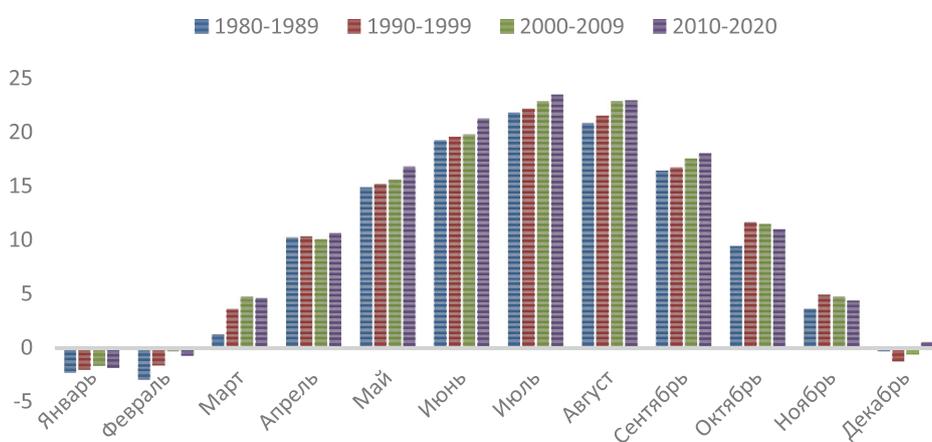


Рис. 1. Изменение температуры воздуха в Нальчике за последние 40 лет (по данным ФБГУ «Кабардино-Балкарский ЦГМС»)

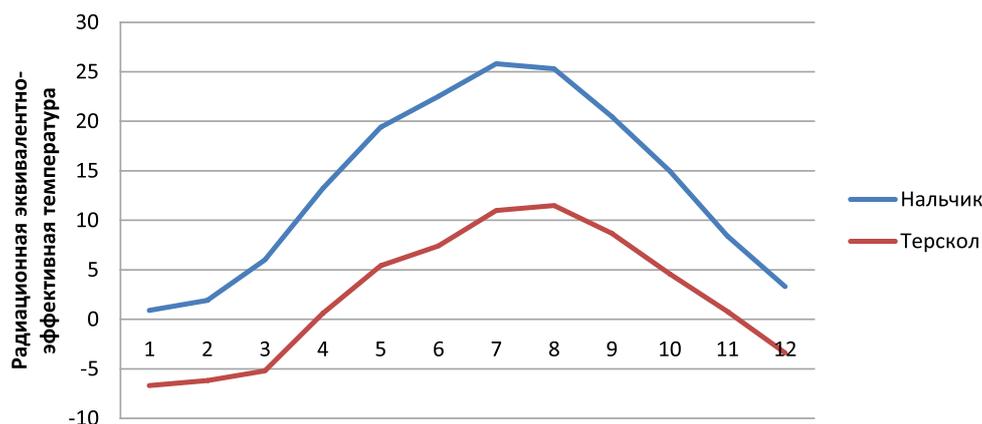


Рис. 2. Радиационная эквивалентно-эффективная температура (РЕЭТ) для г. Нальчика и с.п. Терскол

Избыточная масса эритроцитов обеспечивает ускоренную доставку кислорода к тканям. Однако также может произойти увеличение вязкости крови, что создаст нагрузку на систему кровообращения. Под влиянием низкого уровня кислорода в горах падает работоспособность. Также появляются проблемы с работой пищеварительной системы. По данным специалистов, целебные свойства горного воздуха способствуют нормализации реактивности организма, нормализации различных видов нарушения обмена веществ, стимулируют ряд физиологических систем, повышают иммунитет [3, 4].

Для проведения биоклиматического анализа были выбраны г. Нальчик как основной санаторно-курортный центр Республики и поселок Терскол, находящийся в высокогорной части Республики, как перспективный район для санаторно-курортного развития.

Исследования климата проводились по одному из важнейших направлений прикладной климатологии – биоклиматической составляющей, путем вычисления следующих индексов.

Радиационная эквивалентно-эффективная температура (РЕЭТ) [5] учитывает поглощенную поверхностью тела солнечную радиацию, интенсивность солнечной радиации и альbedo кожи человека. Комфортными значениями считаются от 21 °С до 32 °С (рис. 2).

$$\begin{aligned} \text{РЕЭТ} = & 125 \lg [1 + 0,02T + \\ & + 0,001(T - 8)(f - 60) - \\ & - 0,045(33 - T) + 0,185 \beta], \end{aligned} \quad (1)$$

где  $T$  – температура воздуха, °С;

$f$  – относительная влажность воздуха, %;

$V$  – скорость ветра, м/с;

$\beta$  – поглощенная поверхностью тела солнечная радиация, кВт/м<sup>2</sup>;

$\beta = \varepsilon (1 - \alpha)$ , где:  $\varepsilon$  – интенсивность солнечной радиации;  $\alpha$  – альbedo кожи человека

Тепловое воздействие окружающей среды, с которым сталкивается человек на открытом воздухе, зависит от воздействия ветра, температуры, излучения солнца, влажности, а также от уровня активности человека, одежды и позы. Следовательно, необходимо идентифицировать комбинированное воздействие окружающей среды. Воздействие всех факторов на организм человека обобщено в виде единого индекса. Особого внимания при оценке биоклимата заслуживает интенсивность солнечной радиации. Солнечный ожог, иммунодепрессия, фотостарение и фотоканцерогенез – одни из наиболее серьезных побочных эффектов воздействия солнечной радиации на человека. Воздействие на кожу солнечного УФ-излучения (~295–400 nm) приводит к воспалению (возникают эритема / солнечный ожог), которое обычно достигает максимума примерно через 24 ч. Поэтому при вычислении биоклиматической комфортности необходимо учитывать уровень воздействия солнечной радиации.

Радиационная эквивалентно-эффективная температура (РЕЭТ) является комфортной в Нальчике с середины мая (22 °С) до сентября (21 °С). Умеренные показатели солнечной радиации до 280 nm (в начале и в конце расчетного периода, за исключением июля и августа) способствуют активизации обменных процессов и повышению иммунитета. С середины апреля до середины мая весной, а также с середины сентября до середины октября чувствуется умеренный дискомфорт. В остальное время РЕЭТ явля-

ется некомфортной. В поселке Терскол в течение всего года РЭЭТ является некомфортной (холодовой дискомфорт). Даже в июле значения РЭЭТ не превышают 11,5 °С. Низкие показатели радиационной эквивалентно-эффективной температуры являются следствием высокой солнечной радиации в горах. Ее интенсивность увеличивается в среднем на 3–4% на каждые 100 м подъема на высоту.

Эквивалентно-эффективная температура (ЕТ) [5] показывает теплоощущение человека в тени в зависимости от температуры, влажности воздуха и скорости ветра. Комфортные значения составляют 12–24 °С (рис. 3).

$$ET = 37 - \frac{37 - t}{0,68 - 0,0014f + \frac{1}{1,76 + 1,4V^{0,75}}} - 0,29 \left( 1 - \frac{f}{100} \right), \quad (2)$$

где  $t$  – температура воздуха, °С;  
 $f$  – влажность, %;  
 $v$  – скорость ветра, м/с.

Эквивалентно-эффективная температура (ЕТ) на территории Нальчика является в целом дискомфортной, меняется от прохладного до холодного дискомфорта, за исключением летних месяцев, когда отметки поднимаются до комфортных значений. В Терсколе постоянно наблюдаются дискомфортные значения ЕТ.

Биологически активная температура окружающей человека среды (БАТ) – позволяет определить комплексное воздействие температуры и влажности воздуха, скорости ветра, суммарной солнечной радиации, длинноволновой радиации подстилающей поверхности [5]. Комфортные значения находятся в пределах от +10 °С до +20 °С, относительно комфортные –21–23,9 °С и дискомфортные – более 23,9 °С (сильное тепловое воздействие) и менее 6 °С (холодовой дискомфорт). Нами вычислены значения БАТ для города Нальчика и с.п. Терскол (рис. 4).

$$БАТ = 9 + 0,8ЕТ \quad (3)$$

ЕТ – Эквивалентно-эффективная температура (формула 2).

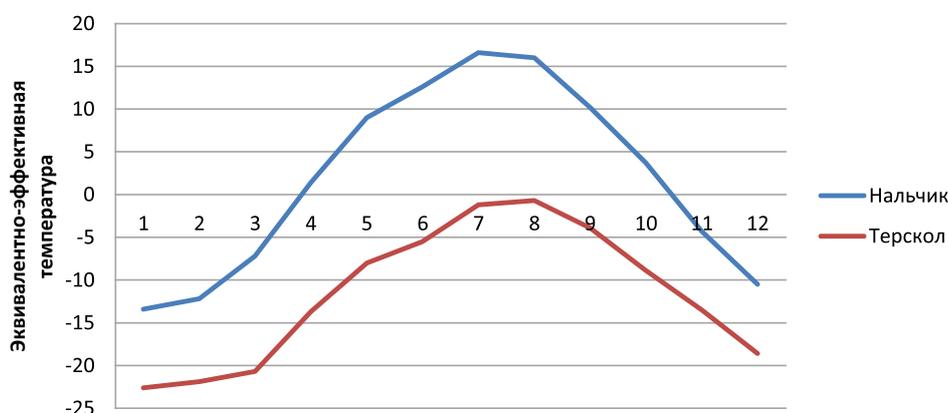


Рис. 3. Эквивалентно-эффективная температура (ЕТ) для г. Нальчика и с.п. Терскол

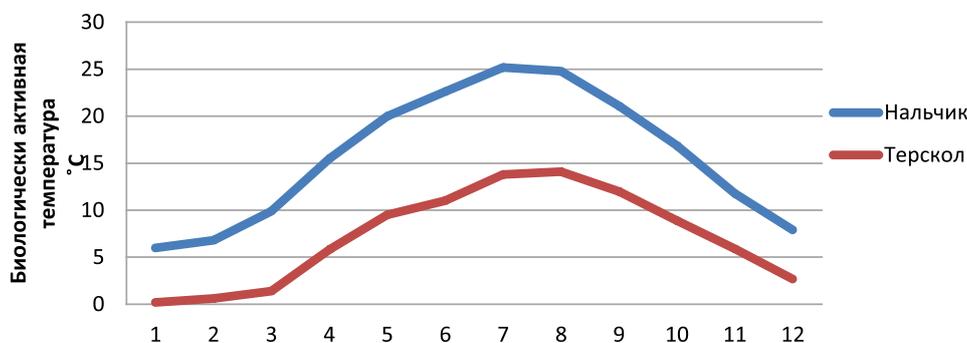


Рис. 4. Биологически активная температура окружающей человека среды (БАТ) для г. Нальчика и с.п. Терскол

Анализ полученных данных показывает, что температура на территории Нальчика БАТ с середины ноября ( $10^{\circ}\text{C}$ ) по март ( $10^{\circ}\text{C}$ ) относительно комфортна. Самыми комфортными месяцами в году являются апрель, май, июнь, сентябрь и октябрь. В июле и августе устанавливается высокая дискомфортная температура, ощущается сильное тепловое воздействие. Известно, что высокие температуры вызывают тепловое истощение, тепловой удар, гипертермию и обезвоживание. Более того, они могут ухудшить течение гипертонической болезни, сердечно-сосудистых, респираторных, цереброваскулярных, почечных заболеваний. Например, волна жары в Европе в 2003 г. стала причиной более 70 000 преждевременных смертей. Расчет заболеваемости и смертности из-за сильной жары затруднен, поскольку медицинские записи редко содержат связанные с этим явлением данные. В поселке Терскол дискомфортная холодная температура держится с ноября ( $9^{\circ}\text{C}$ ) по апрель ( $5,8^{\circ}\text{C}$ ). Все остальное время года биологически активная температура окружающей среды является относительно комфортной для человека. В горных условиях на организм оказывает влияние пониженное атмосферное давление. Недостаточное содержание кислорода в воздухе, более низкая температура окружающей среды, высокая концентрация ультрафиолетовых лучей, наличие озона, малое количество бактерий и запыленности воздуха, ветры, сниженная влажность воздуха [6].

### Заключение

Биоклиматические условия на исследуемых территориях далеки от комфортных в холодный сезон и приближаются к комфортным или относительно комфортным в теплый сезон. В целом для города Нальчика биоклимат можно назвать комфортным в теплый период года. Тип погоды изменяется от комфортной до дискомфортной в июле и августе из-за повышения тепловой нагрузки и увеличения уровня солнечной радиации в этот период. Зима умеренно прохладная, поэтому проведение климатотерапии в зимние месяцы не принесет существенной пользы. В связи с тем, что биоклиматические параметры имеют важное значение для курортного комплекса Нальчика, целесообразно организовать медико-метеорологический мониторинг микроклиматических условий на базе санаториев для более рационального использования климатических ресурсов. В Терсколе био-

климатические условия меняются от дискомфортных до относительно комфортных. Редко наблюдаются комфортные значения. В высокогорье биоклимат меняется от комфортного в летние месяцы до умеренно прохладного в осенне-весенний период, а в зимний период наблюдается холодовой дискомфорт. Несмотря на частые дискомфортные значения температуры, климат высокогорья обладает уникальными целебными свойствами за счет чистого, разреженного воздуха с большим количеством фитонцидов, небольшой гипоксии, которую организм человека ощущает в горах. Санаторно-курортные учреждения в таких районах обычно специализированные, рассчитанные на лечение и профилактику узкого круга заболеваний.

Полученные результаты имеют научно-справочный характер и могут быть использованы при исследованиях в области воздействия климата на здоровье человека и изучении местных целебных природных ресурсов.

### Список литературы / References

1. Разумов А.Н., Пономаренко Г.Н., Бадтиева В.А. Медицинская реабилитация пациентов с пневмониями, ассоциированными с новой коронавирусной инфекцией COVID-19 // Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. 2020. С. 5–13.
2. Razumov A.N., Ponomarenko G.N., Badtieva V.A. Medical rehabilitation of patients with pneumonia associated with the new coronavirus infection COVID-19 // Voprosy kurortologii, fizioterapii i lechebnoy fizicheskoy kul'tury. 2020. P. 5–13 (in Russian).
3. Гвоздецкий Н.А. Физическая география Кавказа. Общая часть Большой Кавказ. М.: Изд-во Моск. ун-та. 1954. 208 с.
4. Gvozdetsky N.A. Physical geography of the Caucasus. General part of the Greater Caucasus. M.: Izd-vo Mosk. un-ta. 1954. 208 p. (in Russian).
5. Поволоцкая Н.П., Ефименко Н.В., Жерлицина Л.И. и др. Методологические подходы к оценке курортно-рекреационного потенциала биоклимата и ландшафта // Курортная медицина. 2017. № 1. С. 2–10.
6. Povolotskaya N.P., Efimenko N.V., Zherlitsina L.I. et al. Methodological approaches to assessing the resort and recreational potential of bioclimate and landscape // Kurortnaya meditsina. 2017. No. 1. P. 2–10 (in Russian).
7. Узденова А.Б., Каирова Л.Л. Роль рельефа и климата в рекреационном освоении территории Кабардино-Балкарии // II Международная научно-практическая конференция Пенза, 2019. С. 132–135.
8. Uzdanova A.B., Kairova L.L. The role of relief and climate in the recreational development of the territory of Kabardino-Balkaria // Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya Penza, 2019. P. 132–135 (in Russian).
9. Исаева М.В. Пространственно-временная изменчивость основных биоклиматических показателей на территории Приволжского Федерального Округа: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Казань, 2009. 24 с.
10. Isaeva M.V. Spatio-temporal variability of the main bioclimatic indicators on the territory of the Volga Federal District: avtoref. dys. ... kand. heohr. nauk. Kazan, 2009. 24 p.
11. Богатов В.В., Бакланов П.Я., Лозовская С.А., Штетс М.Б. Climate Change and Health in the Russian Far East. Bulletin of the Far East Branch of the Russian Academy of Sciences. 2021. No. 1. P. 5–21.

УДК 504.062.4(470.341)

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРИОРИТЕТНОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ПРОЕКТА «ОЗДОРОВЛЕНИЕ ВОЛГИ» НА РЕГИОНАЛЬНОМ УРОВНЕ В УСЛОВИЯХ НИЖЕГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

<sup>1</sup>Копосова Н.Н., <sup>1</sup>Вершинина И.В., <sup>2</sup>Хоботилова Е.И.

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный педагогический университет имени Козьмы Минина», Нижний Новгород, e-mail: coposowa.nataliya@yandex.ru;

<sup>2</sup>Министерство экологии и природных ресурсов Нижегородской области, Нижний Новгород, e-mail: lena.hobotilova97@yandex.ru

В работе рассмотрены основные направления, цели, планируемые и достигнутые результаты приоритетного федерального проекта «Оздоровление Волги» на уровне Приволжского Федерального округа в условиях Нижегородской области. Отмечается, что данный проект имеет особую актуальность для Нижнего Новгорода и области, поскольку вода в реке Волге на данной территории относится к категории «грязная» и «загрязненная», при этом вода из реки является одним из основных источников питьевой воды для жителей г. Нижнего Новгорода и Нижегородской области. На территории Нижегородской области федеральный проект осуществляется путем реализации регионального проекта «Сохранение и предотвращение загрязнения реки Волги на территории Нижегородской области». Основные целевые показатели регионального проекта соответствуют таковым на федеральном уровне и заключаются в снижении количества загрязненных сточных вод, поступающих в реку Волгу; увеличении степени очистки сточных вод путем модернизации и строительства новых очистных сооружений на территории Нижнего Новгорода и области; уменьшении степени негативного воздействия потенциально опасных для реки Волги объектов ранее накопленного экологического ущерба. Результатом реализации федерального проекта «Оздоровление Волги» в 2021 г. явилось увеличение мощности очистных сооружений, вследствие чего сброс сточных вод сократился на 0,19 км<sup>3</sup>. В Нижнем Новгороде осуществление проекта идет путем опережающих темпов проведения отдельных мероприятий, при этом достижение целевых показателей федерального проекта происходит без значительного улучшения экологического состояния воды реки Волги. Повысить эффективность осуществления проектных решений возможно при пересмотре приоритетных задач проекта «Оздоровление Волги» и разработки долгосрочной стратегии развития бассейна.

**Ключевые слова:** федеральный проект, река Волга, загрязнение, сточные воды, планируемые показатели

## ESTIMATION OF THE EFFICIENCY OF IMPLEMENTATION OF THE PRIORITY FEDERAL PROJECT «RECOVERY OF THE VOLGA» AT THE REGIONAL LEVEL IN THE CONDITIONS OF THE NIZHNY NOVGOROD REGION

<sup>1</sup>Koposova N.N., <sup>1</sup>Vershinina I.V., <sup>2</sup>Khobotilova E.I.

<sup>1</sup>Minin Nizhny Novgorod State Pedagogical University, Nizhny Novgorod, e-mail: coposowa.nataliya@yandex.ru;

<sup>2</sup>Ministry of Ecology and Natural Resources of the Nizhny Novgorod Region, Nizhny Novgorod, e-mail: lena.hobotilova97@yandex.ru

The paper considers the main directions, goals, planned and achieved results of the priority federal project «Improvement of the Volga» at the level of the Volga Federal District in the conditions of the Nizhny Novgorod region. It is noted that this project is of particular relevance for Nizhny Novgorod and the region, since the water in the Volga River in this area is classified as «dirty» and «polluted», while water from the river is one of the main sources of drinking water for residents of Nizhny Novgorod and the Nizhny Novgorod region. On the territory of the Nizhny Novgorod region, the federal project is carried out through the implementation of the regional project «Preservation and prevention of pollution of the Volga River in the territory of the Nizhny Novgorod region». The main targets of the regional project are in line with those at the federal level and are to reduce the amount of polluted wastewater entering the Volga River; increasing the degree of wastewater treatment through the modernization and construction of new treatment facilities in the territory of Nizhny Novgorod and the region; reducing the degree of adverse impact of objects of previously accumulated environmental damage potentially dangerous for the Volga River. The implementation of the Volga Rehabilitation federal project in 2021 resulted in an increase in the capacity of treatment facilities, as a result of which wastewater discharge decreased by 0.19 km<sup>3</sup>. In Nizhny Novgorod, the implementation of the project is proceeding at an outstripping pace of individual activities, while the achievement of the target indicators of the federal project occurs without a significant improvement in the ecological state of the Volga River water. It is possible to increase the efficiency of the implementation of design solutions by revising the priority tasks of the Volga Rehabilitation project and developing a long-term strategy for the development of the basin.

**Keywords:** federal project, Volga river, pollution, waste water, planned indicators

Экологическая обстановка на территории Российской Федерации свидетельствует о том, что ситуация в области охраны окружающей среды остается неблагоприят-

ной, а уровень загрязнения природной среды – высоким даже в условиях систематического осуществления ряда мероприятий в области охраны окружающей среды, в том

числе снижения сбросов и выбросов загрязняющих веществ на фоне снижения производственных мощностей. В частности, на сегодняшний день в бассейне реки Волги сложилась очень напряженная экологическая ситуация, что обусловлено в основном загрязнением реки. В воды бассейна реки Волги поступают коммунально-бытовые и промышленные сточные воды, содержащие загрязняющие вещества различного химического состава [1–3]. Поступающие вещества снижают качество воды, являются опасными для водной экосистемы, а также оказывают негативное влияние на водные биологические ресурсы и их местообитание [4]. Нижний Новгород входит в число городов, где качество воды соответствует критериям «загрязненная» и «грязная», при этом воды реки Волги представляют собой один из основных источников питьевого водоснабжения как для Нижнего Новгорода, так и для ряда городов Приволжского Федерального округа.

Целью исследования явилась оценка эффективности и возможности оптимизации проводимых мероприятий приоритетного федерального проекта «Оздоровление Волги» на территории Нижегородской области.

#### **Материалы и методы исследования**

С целью реализации п. 7 Указа Президента «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» разработан национальный проект «Экология», в структуре которого отражен перечень мероприятий по экологическому улучшению состояния водных объектов, в том числе реки Волги. На сегодняшний день комплексный подход к улучшению экологического состояния реки реализуется посредством осуществления федерального проекта «Оздоровление Волги», который направлен на оздоровление реки Волги, являющейся крупнейшей рекой России, бассейн которой располагается на территории 38 субъектов Российской Федерации, при этом в федеральном проекте участвуют только 16 субъектов. В рамках федерального проекта разработан региональный проект «Сохранение и предотвращение загрязнения реки Волги на территории Нижегородской области», в котором предусмотрено сохранение бассейна реки Волги путем снижения объема сточных вод ненормативного качества за счет модернизации имеющихся и строительства современных очистных сооружений, а также осуществления мероприятий

по снижению воздействия накопленного экологического вреда окружающей среде (территория Бурнаковской низины) [5].

Региональный проект направлен на достижение 3 основных целевых показателей:

– снижение объема отводимых в реку Волгу загрязненных сточных вод (с 0,35 км<sup>3</sup> в 2019 г. до 0,12 км<sup>3</sup> в 2024 г.);

– обеспечение увеличения мощности очистных сооружений, обеспечивающих очистку сточных вод;

– извлечение и утилизация затонувших и брошенных плавательных средств [5].

Ключевые мероприятия регионального проекта заключаются в составлении проектно-сметной документации по строительству и модернизации очистных сооружений на территории области.

Методом исследований является анализ проектных решений нормативной документации федерального и регионального уровня, утвержденной государственными структурами в области управления природопользованием, с последующей оценкой степени эффективности реализации мероприятий в рамках осуществления проекта.

#### **Результаты исследования и их обсуждение**

С целью снижения поступления сточных вод ненадлежащего качества в бассейн реки Волги в рамках реализации регионального проекта проведены мероприятия по модернизации и оптимизации очистных сооружений на наиболее значимых предприятиях водоочистного комплекса Нижегородской области, что позволяет осуществить дополнительную очистку сточных вод. На предприятии «Нижегородский водоканал» осуществлена модернизация аэротенков очистных сооружений с заменой системы подачи активного ила на Нижегородской станции аэрации. В г. Дзержинске Нижегородской области в ОАО «Дзержинский водоканал» проведена реконструкция районных очистных сооружений с коллекторами очищенных стоков и строительством канализационно-насосной станции. Проведенные мероприятия по оптимизации и модернизации очистных сооружений позволили осуществить доочистку сточных вод в объеме 246 млн м<sup>3</sup> в год на «Нижегородском водоканале» и 20 млн м<sup>3</sup> в год на «Дзержинском водоканале».

В структуре паспорта федерального проекта «Оздоровление Волги» имеется функциональное направление «Ликвидация

(рекультивация) объектов негативного воздействия, в том числе объектов накопленного экологического вреда, представляющих угрозу реке Волга». Помимо этого, проектом предусмотрены разработка концепции по снижению поступлений загрязняющих веществ с естественных ландшафтов сельских территорий, земель сельскохозяйственного назначения, предприятий животноводческого комплекса, промышленных площадок предприятий, полигонов захоронения отходов и свалок, объектов транспортной инфраструктуры и внедрение указанной концепции в пилотных регионах. На рисунке представлен анализ результатов реализации задач федерального проекта «Оздоровление Волги» в динамике за 4 года осуществления приоритетного проекта.

На основании данных отчета о реализации целей и задач федерального проекта по оздоровлению воды в реке Волге в первом квартале 2021 г. достигнут ряд положительных результатов:

1) завершены строительство и реконструкция 41 объекта очистных сооружений, в результате чего обеспечено количественное сокращение сброса загрязненных сточных вод на 0,19 км<sup>3</sup> в год с показателя 3,17 до 2,98 км<sup>3</sup> в год. Совокупная мощность новых, а также модернизированных очистных сооружений обеспечила достижение проектного показателя 2020 г. Сброс сточных вод сокращен на 0,19 км<sup>3</sup> в год;

2) в регионах активно проводится работа по выявлению бесхозных объектов негативного воздействия на реку Волгу (затопленных, полузатопленных, брошенных в береговой полосе плавсредств и их остатков). Утилизация данных объектов запланирована на 2022–2024 гг.;

3) мероприятия, направленные на ликвидацию объектов накопленного экологического вреда, негативно влияющих на состояние реки Волги, запланированы на последний квартал 2021 г.;

4) на территории реализации федерального проекта Росприроднадзором регулярно проводятся контрольно-надзорные мероприятия по выявлению несанкционированных источников сброса сточных вод, в том числе осуществляется инвентаризация объектов ЖКХ и промышленных предприятий, расположенных на территориях, прилегающих к Волге; установлен перечень объектов, оказывающих негативное влияние на Волжский бассейн;

5) в 2019 г. Институтом Водных проблем разработана концепция по снижению диффузного загрязнения водных объектов. В ходе разработки концепции был осуществлен анализ роли неконтролируемых диффузных источников в загрязнении водных объектов бассейна Волги, нормативно-правовой базы в вопросах регулирования диффузного загрязнения, а также разработаны новые методы количественной оценки диффузного загрязнения реки Волги от различных источников и сформулированы рекомендации по планированию и проведению наиболее эффективных мероприятий для снижения воздействия диффузных источников на качество воды реки Волги.

Выполнение плановых и целевых показателей приоритетного проекта федерального уровня «Оздоровление Волги» на территории Нижнего Новгорода и области осуществляется посредством реализации регионального проекта «Сохранение и предотвращение загрязнения реки Волги на территории Нижегородской области» [6, 7].



Результаты реализации федерального проекта «Оздоровление Волги»

Нижегородская область является одним из лидеров по реализации проекта «Оздоровление Волги». В рамках достижения регионального показателя «Количество извлеченных и ликвидированных судов из акватории реки Волги» запланирована утилизация 5 объектов на период с 2022 по 2024 гг. По результатам инвентаризации установлены все затонувшие и полузатонувшие суда в акватории и на берегах реки Волги и ее притоков. Таким образом, выявлено, что на территории Нижегородской области в затопленном (полузатопленном) состоянии, а также в границах береговой полосы находятся 39 объектов (понтонных корпусов барж и дебаркадеров, неизвестных плавсредств и их остатков). Помимо этого, на территории Нижегородской области реализуется федеральный показатель «Проведение контрольно-надзорных мероприятий». Надзорные мероприятия по выявлению несанкционированных источников сброса сточных вод проводятся Межрегиональным управлением Росприроднадзора по Нижегородской области и Республике Мордовия с августа 2018 г. В рамках задач, установленных центральным аппаратом Росприроднадзора на территории Нижегородской области, был проведен целый комплекс мероприятий с 2018 г. по текущий период 2021 г. В процессе проводимой работы в рамках регионального проекта особое внимание уделяется объектам накопленного экологического вреда, расположенным в водоохранной зоне реки Волги. Под понятие «объект накопленного экологического ущерба» попадает территория Бурнаковской низины, где регулярно наблюдается вынос в реку Волгу нефтепродуктов [8, 9]. Суммарная степень загрязнения почвенного покрова территории Бурнаковской низины относится к категории «чрезвычайно опасная».

Министерством экологии и природных ресурсов Нижегородской области проводится работа по обоснованию включения мероприятий по ликвидации загрязненной территории Бурнаковской низины в региональный проект «Оздоровление реки Волги».

Комплекс мероприятий проекта на региональном уровне способствует:

- улучшению санитарного и экологического состояния реки Волги;
- уменьшению антропогенного воздействия на водные объекты Волжского бассейна, расположенные на территории Нижегородской области;
- предотвращению загрязнения, заиления водных объектов и истощения их вод;

– сохранению среды обитания водных биологических ресурсов и гидробионтов на территории населенных пунктов Нижегородской области в границах Волжского бассейна;

– снижению поступления загрязнения от неконтролируемых диффузных источников, поступающих в водные объекты в бассейне реки Волги;

– устранению объектов накопленного экологического вреда (территория Бурнаковской низины);

– повышению качества питьевой воды;

– формированию бережного отношения к реке Волге.

На текущий момент показатели регионального проекта не имеют отклонений от показателей федерального проекта преимущественно за счет опережающих темпов проведения мероприятий по проекту, при этом регион занимает первое место по количеству строящихся объектов очистных сооружений. Несмотря на достижение плановых показателей, реализация данного проекта сопровождается рядом неблагоприятных тенденций. В частности, установлено, что в региональный паспорт были отобраны проекты, на которые имелась разработанная проектная документация, при этом они не являются крупными объектами негативного воздействия. Таким образом, введение в эксплуатацию таких объектов существенно не влияет на изменение качества воды в реке Волге. Анализ документации, отражающей реализацию проекта, выявил проблемы, которые могут повлиять на конечный результат проекта: недостаточность и нерегулярность финансирования, низкое качество осуществляемых мероприятий, разработка проекта без учета инвентаризации объектов негативного воздействия и недостаточность планируемого государственного мониторинга, формальность концепции по сокращению поступления диффузного стока.

Для оптимизации сложившейся ситуации необходимо пересмотреть приоритетность мероприятий по проекту, предварительно осуществив учет объектов негативного воздействия в бассейне р. Волги, а также внести изменения в части критериев отбора мероприятий в проект и их финансирования, нормативов качества сбрасываемых сточных вод, рассмотреть возможность включения в проект реализации мероприятий, разработанных в рамках концепции по снижению диффузного стока. В целях повышения эффективности дости-

жения результатов проекта и мониторинга реки Волги возможна реализация «онлайн-карты» экологического состояния реки Волги в условиях Нижегородской области. Полученные результаты позволят отслеживать уровень загрязнения реки Волги в реальном времени. Реализация данных мероприятий послужит дополнительным источником объективных данных о масштабах и характере загрязнения в целях расстановки приоритетов при выделении исполнительными органами власти ресурсов на планомерное осуществление задач проекта «Оздоровление Волги».

### Выводы

Федеральный проект «Оздоровление Волги» в Нижегородской области выполняется с 2018 г. на основе регионального проекта «Сохранение и предотвращение загрязнения реки Волги на территории Нижегородской области». Анализ комплекса мероприятий, входящих в состав проекта «Оздоровление Волги» на федеральном и региональном уровне, показал, что ключевым показателем реализации проекта является снижение объема отводимых в реку Волгу загрязненных сточных вод в 3 раза. На текущий момент планируемые к достижению показатели федерального проекта «Оздоровление Волги» реализованы, но при этом не в полном объеме соответствуют проектным решениям. Основные проблемные моменты реализации проекта обусловлены недостаточным комплексом проводимых мероприятий, в частности не предусмотрены механизмы решения проблемы диффузного стока, оказывающего существенный вклад в загрязнение вод реки Волги.

Достигнутые целевые показатели на региональном уровне обоснованы опережающими темпами проведения отдельных мероприятий по проекту, при этом имеются негативные тенденции и текущие проблемные вопросы по реализации проекта, в случае отсутствия решения по которым эффективность реализуемого проекта будет значительно ниже и дальнейшие планируемые результаты могут быть не достигнуты. Повысить эффективность осуществления проектных решений возможно при пересмотре приоритетных задач проекта «Оздоровление Волги», обязательном учете объектов негативного воздействия в бассейне реки Волги, реализации концепции по сокращению поступления диффузного стока и определению источников финанси-

рования мероприятий, а также при систематическом экологическом мониторинге состояния и загрязнения водных объектов бассейна реки Волги.

### Список литературы / References

1. Козлов А.В., Уромова И.П. Уровень эколого-гидрохимических свойств воды волги и оки в условиях городской территории // *Успехи современного естествознания*. 2020. № 12. С. 93–97.

Kozlov A.V., Uromova I.P. level of ecological and hydrochemical properties of water of the volga and the oka rivers in conditions of urban territory // *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*. 2020. № 12. P. 93–97 (in Russian).

2. Краснов А.Н. Проблемы Чебоксарского водохранилища – Проект «Отметка 68» // *Материалы Международной научно-практической конференции «Экологическое образование для устойчивого развития: теория и педагогическая реальность»*. Н.Новгород: ООО Типография «Поволжье», 2013. С. 373–381.

Krasnov A.N. Problems of the Cheboksary reservoir – Project «Mark 68» // *Materialy Mezhdunarodnoj nauchnoprakticheskoy konferencii «Ekologicheskoe obrazovanie dlya ustojchivogo razvitiya: teoriya i pedagogicheskaya real'nost'»*. N.Novgorod: ООО Tipografiya «Povolzh'ye», 2013. P. 373–381 (in Russian).

3. Исеаилева Ж.Н., Волкова И.В. Оценка качества среды аквальных комплексов дельты р. Волги // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2012. № 1–1. С. 89–89.

Isenaileva Zh.N., Volkova I.V. Assessment of the quality of the environment of the water complexes of the Volga Delta // *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovaniy*. 2012. № 1–1. P. 89–89 (in Russian).

4. Раткович Л.Д., Маркин В.Н., Глазунова И.В., Соколова С.А. Факторы влияния диффузного загрязнения на водные объекты // *Природообустройство*. 2016. № 3. С. 64–75.

Ratkovich L.D., Markin V.N., Glazunova I.V., Sokolova S.A. Factors of influence of diffuse pollution on water bodies // *Prirodoobustroistvo*. 2016. № 3. P. 64–75 (in Russian).

5. Паспорт «Сохранение и предотвращение загрязнения реки Волги на территории Нижегородской области». 2018. 19 с.

Passport «Preservation and prevention of pollution of the Volga River in the territory of the Nizhny Novgorod region». 2018. 19 p. (in Russian).

6. Сведения о достижении результатов, контрольных точек и мероприятий. Отчет Министерства экологии и природных ресурсов Нижегородской области. 2019. 7 с.

Information on the achievement of results, milestones and events. Report of the Ministry of Ecology and Natural Resources of the Nizhny Novgorod Region. 2019. 7 p. (in Russian).

7. Отчет о ходе реализации регионального проекта Нижегородской области «Оздоровление Волги». Письмо Министерства экологии и природных ресурсов Нижегородской области. 2019. 3 с.

Report on the implementation of the regional project of the Nizhny Novgorod Region «Improvement of the Volga». Letter from the Ministry of Ecology and Natural Resources of the Nizhny Novgorod Region. 2019. 3 p. (in Russian).

8. Минэкологии региона направило заявку на включение Бурнаковской низины в государственный реестр объектов накопленного вреда. [Электронный ресурс]. URL: <http://mineco-nn.ru> (дата обращения: 02.12.2021).

The Ministry of Ecology of the region sent an application for inclusion of the Burnakovsky lowland in the state register of objects of accumulated harm. [Electronic resource]. URL: <http://mineco-nn.ru> (date of access: 02.12.2021) (in Russian).

9. Козлов А.В., Клочков Е.А., Береснев А.А., Захарова А.А., Козлова Е.С. Эколого-гидрохимическая оценка водоемов в условиях функционирования нефтехранилищ и комплексных техногенных объектов Нижегородского региона // *Успехи современного естествознания*. 2021. № 6. С. 75–81.

Kozlov A.V., Klochkov E.A., Beresnev A.A., Zakharova A.A., Kozlova E.S. Environmental and hydrochemical assessment of water bodies in conditions of operation of oil storage facilities and complex technogenic facilities of Nizhny Novgorod region // *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*. 2021. № 6. P. 75–81 (in Russian).

УДК 661.185.8-046.24:537.52

**ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ПРОЦЕССАХ СГУЩЕНИЯ  
КОНЦЕНТРАТОВ И РАЗРУШЕНИЯ ФЛОТАЦИОННЫХ ПЕН****<sup>1</sup>Коростовенко В.В., <sup>1</sup>Степанов А.Г., <sup>1</sup>Стрекалова Т.А., <sup>1</sup>Галайко А.В., <sup>2</sup>Суханова А.В.**<sup>1</sup>*ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет: Институт цветных металлов  
и материаловедения», Красноярск, e-mail: root@gold.sfu-kras.ru;*<sup>2</sup>*ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет: Институт космических  
и информационных технологий», Красноярск*

Исследования по изучению влияния разрядно-импульсной обработки (РИО) как одного из электрофизических методов обработки на процесс сгущения флотационных концентратов проводили с целью определения возможности интенсификации процесса сгущения концентратов и уменьшения удельных площадей сгущения. Разрядно-импульсная обработка полидисперсных сред находит все более широкое применение в технологиях обогащительного производства, что обусловлено особенностями динамических процессов при импульсном разряде в многокомпонентных средах. При разрядно-импульсной коагуляции важную роль играет электрическая характеристика минеральной поверхности, одним из показателей которой является электрокинетический потенциал. Формируемый разрядом фронт волны приводит среду в сложное напряженное состояние с активным участием как волн сжатия, так и волн растяжения. Динамика волновых процессов в многокомпонентных средах, соответствующих фазе сжатия, определяется энергетическими параметрами импульса, а на стадии разрежения – параметрами технологической среды: плотностью, удельным содержанием компонентов среды, геометрическими характеристиками технологического узла. Разрядно-импульсная обработка является одним из новых методов интенсификации процесса сгущения концентратов. Измерения на реальной флотационной пульпе перед сгущением показали, что после РИО электрокинетический потенциал существенно снижается, достигая величины значительно ниже предела порога коагуляции ( $\pm 30$  мВ). Уменьшение значений электрокинетического потенциала после РИО позволяет сделать вывод об улучшении процесса коагуляции минеральных частиц и изменении электрических свойств поверхности частиц. Сгущение концентратов можно интенсифицировать разрядно-импульсными методами, позволяющими увеличить скорость осаждения сгущаемых частиц с 0,25 до 25 см/мин., сократить требуемое до чистоты слива время с 40 до 10 мин., обеспечив при этом более плотный осадок; потери твердой фазы со сливом сгустителя снижаются с 20 до 0,8 г на 1 л слива. Следует также отметить, что слив сгустителей содержит значительно меньшие концентрации тяжелых металлов, а жидкая фаза пульпы пригодна для использования в замкнутом водообороте.

**Ключевые слова:** флотация, сгущение концентратов, разрядно-импульсный метод**ELECTROPHYSICAL METHODS IN THE PROCESSES OF CONCENTRATES  
INSPISSATION AND FROTH DESTRUCTION****<sup>1</sup>Korostovenko V.V., <sup>1</sup>Stepanov A.G., <sup>1</sup>Strekalova T.A., <sup>1</sup>Galaiko A.V., <sup>2</sup>Sukhanova A.V.**<sup>1</sup>*Siberian Federal University: Institute of Non-Ferrous Metals and Materials,  
Krasnoyarsk, e-mail: root@gold.sfu-kras.ru;*<sup>2</sup>*Siberian Federal University: Institute of Space and Information Technologies, Krasnoyarsk*

A range of researches, dedicated to discovering how discharge-impulse processing (DIP) affects the process of flotation concentrates inspissation, were conducted. Defining a possibility to intensify the aforementioned process and decrease specific collection areas of inspissation were the goal. Discharge-impulse processing of polydisperse medium keeps finding broader application in technologies of enrichment development. It is justified by the features of dynamic processing within impulse discharge in multicomponent medium. Within discharge-impulse coagulation, electrical characteristic of mineral surface is significant. Electrokinetic potential is one of its indices. Formed by a discharge wavefront, it brings the medium into complicated tense state with an active participation of both compressive and dilatational waves. The dynamics of wave processes in multicomponent medium, corresponding to the compression phase, is defined with energetic impulse parameters. In a dilation phase – with parameters of technological medium – density and geometrical characteristics of a technological node. Discharge-impulse processing is one of the newest methods for intensifying the process of concentrates inspissation. Measurements, used on a real floatation pulp before inspissation, has shown that DIP led to a significant decrease of electrokinetic potential, letting it reach the value that's well below the coagulation limit ( $\pm 30$  mv). The decrease of values of electrokinetic potential after DIP allows to conclude an improvement of mineral particles coagulation process and a change of electrical features of aggregate surface of particles. An inspissation of concentrates can be intensified with discharge-impulse methods, letting the increase of subsidence velocity of concentrated particles from 0,25 to 25 sm/min, providing with denser deposit; the losses of solid phase with a condensate discharge decrease from 20 to 0,8 g per 1 l of discharge. It is worth emphasizing that the discharge contents significantly lower heavy metals concentrates, and the liquid phase of a pulp is applicable for closed water rotation.

**Keywords:** flotation, condensate inspissation, discharge-impulse methods

Реализация на практике новых технологий повышения извлечения ценных компонентов из обогащаемого сырья [1; 2], а также совершенствование методов осветления технологической воды от тонких

породных частиц открывают широкие перспективы применению специальных способов обработки водных дисперсных систем: магнитными, ультразвуковыми полями, гидротермальной и термической нейтронной

обработкой. Большие возможности в этом направлении открываются при использовании электрофизических методов [3; 4], в том числе импульсных полей взрывного типа [5]. Важнейшей проблемой является также очистка флотационных стоков от минеральных примесей как с целью доизвлечения полезных компонентов, так и в целях организации эффективного водооборота. Наряду с этим имеют место значительные потери полезных компонентов со сливом сгустителей обогатительных фабрик и с промышленными стоками других производств по переработке минерального сырья.

Цель исследования: исследования по изучению влияния разрядно-импульсной обработки на процесс сгущения флотационных концентратов проводили, во-первых, с целью определения возможности интенсификации процесса сгущения концентратов и уменьшения удельных площадей сгущения, во-вторых – для снижения загрязнения хвостов сгущения тяжелыми металлами.

#### Материалы и методы исследования

Исследования проводились на флотационной пульпе свинцово-цинковых руд Зыряновского, Горевского, Токобского и Жайремского месторождений перед сгущением. После обработки флотационных концентратов изучали процесс осаждения минеральных частиц и исследовали слив на содержание твердого. Исследования по сгущению концентратов проводятся на продуктах обогащения пробы, содержащей до 75% класса – 0,074 мм, РИО концентратов производится в реакторе со стальными электродами. В каждом опыте исследуется объем пульпы 1 л при содержании твердого 20%. Изучение кинетики сгущения проводится в цилиндрах с емкостью 1 л по перемещению границы раздела твердой и жидкой фазы во времени.

Для разрядно-импульсной обработки концентратов с целью разрушения флотационной пены применялся реактор со стальными электродами. Энергия обработки варьировалась широким диапазоне: от 0,5 до 100 кДж/дм<sup>3</sup>. Концентраты, содержащие 20% твердого, после разрядно-импульсной обработки сливаются в мерные стеклянные цилиндры. В качестве исходных продуктов использовались руды Горевского месторождения различной степени измельчения (время измельчения составляло 40 и 60 минут). Рудные минералы в исходной пробе представлены галенитом, сфалеритом, пиритом, пирротинном и халь-

копиритом, причем галенит является преобладающим главным рудным минералом. По результатам химического анализа проба содержит свинца – 2,5-3,0%, цинка – 0,5%, что в пересчете на минеральный состав соответствует 3,4% галенита и 0,74% сфалерита. Сфалерит в зернах содержит включения халькопирита и сростки галенита. Главные нерудные минералы в пробе представлены карбонатами (доломит, кальцит, сидерит) и кварцем, второстепенные – хлоритом, мусковитом, серицитом, эпидотом, полевыми шпатами. Трудность раскрытия сростков определяется тем, что включения рудных очень тонкие, часто с неправильными извилистыми границами сростания с нерудными минералами и между собой; размеры включений галенита в нерудных – 0,09-0,045 мм, пирита и пирротина – 0,09-0,13.

Влияние РИО на разрушаемость флотационных пен оценивалось по высоте пенного слоя с точностью до ±0,5 мм. Содержание твердой фазы в пенном продукте определялось весовым методом с точностью до ±0,0005 г. Исследования проводились в 3<sup>х</sup> параллелях, при этом расхождение результатов не должно превышать 10%.

#### Результаты исследования и их обсуждение

В процессе исследования динамических процессов в водных дисперсиях минералов (условий возникновения прямых и отраженных волн сжатия, длительности фаз сжатия и растяжения, временных интервалов следования ударных волн) нами установлено, что суммарная полезная работа волн в фазе сжатия составляет примерно 53% от общей работы ударных волн, при этом около 47% общей полезной работы выполняют отраженные волны, а основные волновые процессы завершаются через 50 мкс. Поскольку максимальное давление на фронте волны зависит от вводимой в канал разряда энергии, оценка этой зависимости представляет особый интерес. Как видно из рис. 1, максимум давления первого пика ( $P_{m1}$ ) нелинейно возрастает с увеличением энергии разряда, а величина максимума давления второго пика ( $P_{m2}$ ) стабилизируется при энергиях более 10 кДж (рис. 1). Давление в прямой ( $P_{m1}$ ) и отраженной ( $P_{m2}$ ) волнах на фронте связаны соотношением  $P_{m2} = 0,65 P_{m1}$ , а за фронтом волн –  $P_{m2} = 0,5 P_{m12}$ , что свидетельствует о значительных потенциальных возможностях отраженных волн для интенсификации разрядно-импульсной фрагментации твердой фазы.

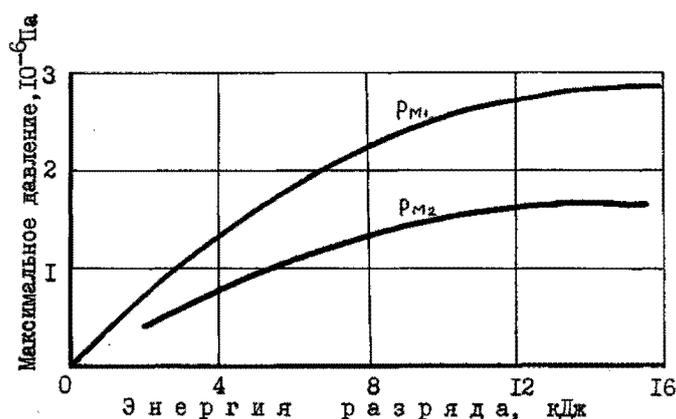


Рис. 1. Влияние энергии разряда на максимальное давление на фронте прямой и отраженной волн

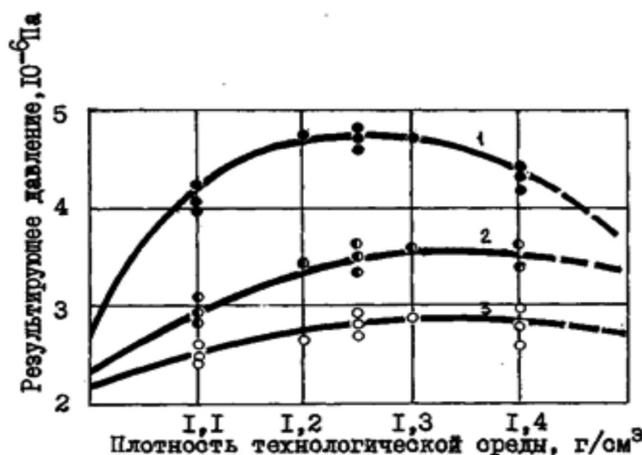


Рис. 2. Зависимость результирующего давления на фронте волны от плотности среды при различных относительных расстояниях: 1-  $R/R_0 = 10,4$ ; 2-  $R/R_0 = 15$ ; 3 -  $R/R_0 = 17$

Исследование влияния плотности трехкомпонентной среды на результирующее давление показало (рис. 2), что с увеличением плотности до  $\rho = 1,26 \text{ г/см}^3$ , что соответствует плотности пульпы Т:Ж = 1:3, наблюдается увеличение давления ударной волны, а далее давление начинает падать. Следовательно, практическое использование ударных волн в трехкомпонентных средах при импульсном электроразряде наиболее эффективно при плотности трехкомпонентной среды (вода, воздух, твердые составляющие)  $1,26 \text{ г/см}^3$ . Необходимо учитывать, что существует также зависимость давления на фронте ударной волны от относительного расстояния от центра импульса; если расстояние между электродами обозначить  $R_0$ , а текущий радиус  $R$ , то можно определить оптимальную область  $R/R_0$  [6].

Как известно, флотационные пены состоят из пузырьков воздуха, разграниченных прослойками воды, и минеральных частиц, прилипших к поверхности этих пузырьков. Данные табл. 1 показывают, что РИО позволяет существенно снизить потери твердого продукта со сливом. Так, при обработке оптимальной энергией ( $9,2 \text{ кДж/дм}^3$ ) выход твердого со сливом уменьшается с  $35 \text{ мг/л}$  (без обработки) до  $1-2 \text{ мг/л}$ .

Результаты наблюдений кинетики осаждения коллективного свинцово-цинкового концентрата приведены в табл. 2.

Анализ табл. 2 позволяет сделать вывод, что оптимальной энергией обработки концентратов перед сгущением является удельная энергия  $9,2 \text{ кДж/дм}^3$ . При этой энергии обработки скорость осаждения частиц возрастает в десятки раз – с  $0,25$  до  $25 \text{ см/мин}$ .

**Таблица 1**

Зависимость содержания твердого продукта в сливе от энергии РИО

Удельная энергия разряда, кДж/дм <sup>3</sup>	0	3,4	6,0	8,6	9,2	11,2	13,4	16,5
Выход твердого продукта в осветленном растворе, мг/дм <sup>3</sup>	35	8	5	0,9	1	4,6	10	15

**Таблица 2**

Изменение высоты осветленного слоя в зависимости от энергии РИО при сгущении свинцово-цинковых концентратов

Время осаждения, мин.	Высота осветленного слоя над сгущенным продуктом (мм) при различной энергии РИО (кДж/дм <sup>3</sup> )						
	без обработки	1,5	3,4	6	9,2	13,4	18,2
0	0	0	0	0	0	0	0
2	5	5	5	15	50	10	10
4	42	35	55	60	130	50	45
6	90	80	130	105	170	120	115
8	130	120	165	150	245	160	115
10	170	160	210	190	320	190	185
12	200	200	260	230		230	230
14	240	245	280	280		280	285
16	280	285	300	320		310	315
20	310	320	320			320	320
30	315						
40	320						

Примечание: при полном сгущении концентрата высота осветленного слоя над ним равна 320 мм.

Флотационная пена должна обладать способностью устойчиво удерживать всплывающие с пузырьками частицы флотуемых минералов и не разрушаться до момента удаления из флотационной камеры. Минеральные частицы, достаточно прочно удерживающиеся в нем, значительно повышают ее устойчивость.

Устойчивость флотационной пены зависит главным образом от природы и концентрации реагентов-пенообразователей, которые, изменяя строение и состав адсорбционных слоев на поверхности пузырьков и характер минерального покрытия этой поверхности, оказывают на пену стабилизирующее воздействие.

В практике флотационного обогащения такие устойчивые пены часто переливаются через борта желобов флотационных машин и сгустителей, плохо перекачиваются насосами и фильтруются, при этом увеличиваются потери металлов со сливами сгустителей. Реагентный режим, обеспечивающий одновременно высокую эффективность процесса флотации и получение легко разрушающейся пены, не всегда удается подобрать, в связи с чем для разрушения флотационной пены часто применяются механические

и физико-химические способы: применение вибрирующих желобов, вакуумных пеногасителей, воздействие сильной струи воды. Однако эти методы далеко не всегда эффективны, кроме того, использование для пеногашения сильной струи воды приводит к нежелательному обводнению продуктов перед обезвоживанием и перегрузке сгустителей. Для разрушения пен известно применение различных типов насосов, ультразвуковых статических сирен и излучателей. Однако названные методы мало эффективны, и полное разрушение флотационных пен с их помощью не достигается.

Одним из новых физических методов пеногашения является разрядно-импульсная обработка, при которой достигается полное разрушение флотационной пены при минимальных затратах электроэнергии.

Соответствующие исследования нами приведены при сгущении коллективного свинцово-цинкового концентрата, содержащего 20% твердой фазы.

Сгущение концентратов, содержащих до 15% свинца в виде галенита, сопровождается образованием рыхлой и устойчивой флотационной пены, не разрушающейся в течение длительного времени (14-16 ча-

сов); в условиях опыта высота пенного слоя составляла 20-40 мм. При этом содержание минеральных частиц в пенном продукте составляет до 20 г/л. Следовательно, при сгущении концентратов возможны большие потери металлов со сливами сгустителей при последующем их обезвоживании.

Разрядно-импульсная обработка флотационных пен позволяет получить более высокие качественные и количественные показатели процесса. На рис. 1 показана зависимость высоты слоя пены и массы твердого в ней от удельной энергии обработки. Анализ графиков позволяет сделать вывод, что оптимальной областью энергий для эффективного разрушения флотационных пен является область 1,5-3,4 кДж/дм<sup>3</sup>. Для концентратов с исходным временем измельчения 40 мин. оптимальной является энергия

разряда 1,5 кДж/дм<sup>3</sup>, а с исходным временем измельчения 60 мин. – 3,4 кДж/дм<sup>3</sup>.

Разрядно-импульсная обработка флотационной пены снижает до минимума потери металлов со сливом; экспериментально установлено (рис. 4), что потери твердого со сливом при отсутствии РИО составляют около 20, а после обработки – не более 0,8 г в 1 л слива.

Химический анализ твердого продукта показал, что в нем содержится 46,1% Pb и 3,2% Zn. В пересчете на фабрику средней производительности (5000 т/сут.) при выходе коллективного концентрата, равного 5%, количество слива составляет 600 м<sup>3</sup>/сут., а потери со сливом – 1,2 т, в том числе потери свинца – 0,55, а цинка – 0,038 т/сут. При этом существенно снижается качество получаемого концентрата (с 15 до 6%).

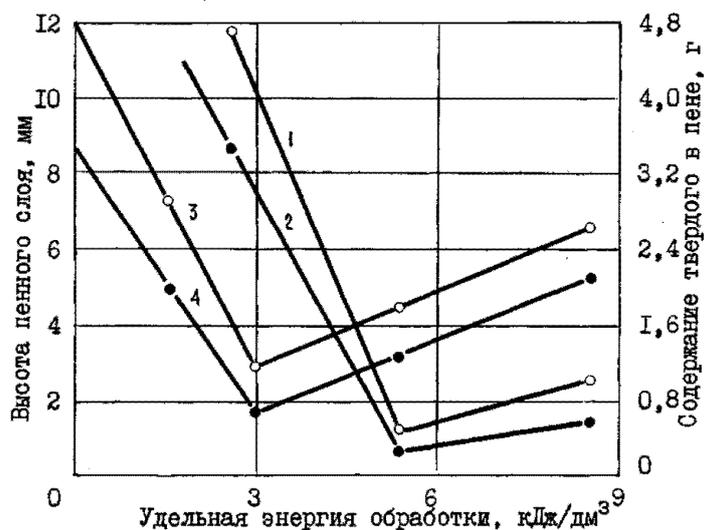


Рис. 3. Характеристики пенного слоя после обработки: 1, 3 – высота слоя пены; 2, 4 – масса твердого в пене; 1, 2 и 3, 4 – время измельчения исходной руды 60 и 40 мин. соответственно

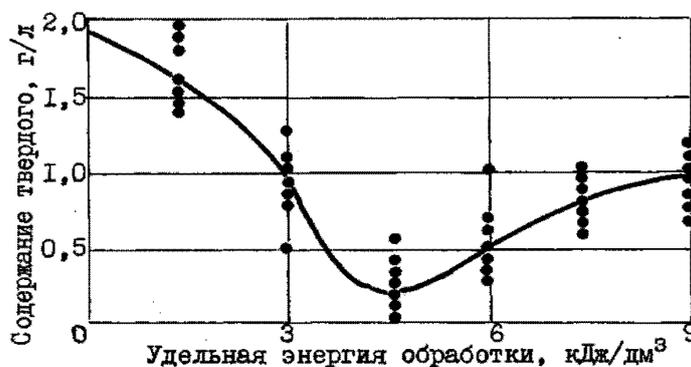


Рис. 4. Зависимость содержания твердого в сливе от энергии разрядно-импульсной обработки

### Заключение

Разрядно-импульсная обработка снижает до минимума потери металлов со сливом сгустителей. Флотационная пена при оптимальных энергиях полностью разрушается. Объяснение этому явлению вытекает из сущности процесса формирования фронта ударных волн, кавитации и термоупругих напряжений в обрабатываемой жидкости при разрядно-импульсном воздействии. Следует также отметить существенное снижение загрязнения хвостов обогащения, складываемых в хвостохранилище, тяжелыми металлами, а жидкая фаза отходов подготовлена к использованию в системах замкнутого водооборота.

### Список литературы / References

1. Зубков А.А., Шуленина З.М., Подзнов Г.П. Повышение извлечения ценных компонентов и комплексности использования руд природных и техногенных месторождений на основе нового подхода к технологии их переработки // Вестник РУДН. Серия Инженерные исследования. 2007. № 2. С. 56–63.  
Zubkov A.A., Shulenina Z.M., Podznoev G.P. The increase of valued components extration and complexity of application of ores from nature and technogenic deposits, based on a new approach for a technology of their processing // Vestnik RUDN. Seriya Inzhenernyye issledovaniya. 2007. № 2. P. 56–63 (in Russian).
2. Чантурия В.А. Прогрессивные методы обогащения и комплексной переработки минерального сырья. Выступление на Первом национальном горнопромышленном форуме 27.11.2014. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=0OyRHqLd7MU> (дата обращения: 27.11.2021).  
Chanturya V.A. Progressive methods of enrichment and complex processing of mineral raw materials. Performance at the First National Mining Forum 27.11.2014. [Electronic resource]. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=0OyRHqLd7MU> (date accessed: 27.11.2021) (in Russian).
3. Чантурия В.А. Электрохимическая технология в процессах первичной переработки минерального сырья // Сб. Новые процессы в комбинированных схемах обогащения полезных ископаемых. М.: Наука, 1989. С. 119–127.  
Chanturya V.A. Electrochemical technology in processes of primary mineral raw material processing. // Sb. Novye processy v kombinirovannyh shemah obogascheniya poleznyh iskopaemyh. M.: Nauka, 1989. P. 119–127 (in Russian).
4. Воронова О.В., Киенко Л.А. Применение ультразвуковых воздействий при флотации техногенного сырья с целью повышения качества концентрата // Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья: материалы XXV Международной научно-практической конференции (г. Екатеринбург, 07-10 апреля 2020 г.). Екатеринбург: Изд-во «Форт Диалог – Исеть», 2020. С. 283–286.  
Voronova O.V., Kienko L.A. An implementation of ultrasonic impacts within flotation of technogenic raw materials with the aim of increasing a concentrate quality. Nauchnye osnovy i praktika pererabotki rud i tekhnogenogo syrya: XXV Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya materials (Yekaterinburg, 7-10<sup>th</sup> April 2020 g.). Yekaterinburg: Fort Dialog-Iset, 2020. P. 283–286 (in Russian).
5. Коростовенко В.В., Суханова А.В. Использование системного анализа для оценки возможности применения разрядно-импульсных методов в технологиях освоения минеральных ресурсов // Успехи современного естествознания. 2017. № 11. С. 73–77.  
Korostovenko V.V., Sukhanova A.V. An implementation of system analysis for estimating the possibility of discharge-impulse methods application in technologies of mineral resources mastering // Uspehi Sovremennogo Estestvoznaniya. 2017. № 11. P. 73–77 (in Russian).
6. Коростовенко В.В., Шахрай С.Г., Степанов А.Г., Ворошилова М.В. Способ обогащения руд цветных металлов // Патент РФ № 2514351. Патентообладатель ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет. 2014. Бюл. № 12.  
Korostovenko V.V., Shakhrai S.G., Stepanov A.G., Voroshilova M.V. Method of enrichment of non-ferrous metal ores // Patent RF № 2514351. Patentoobladatel' FGAOU VPO «Sibirskiy federal'nyy universitet. 2014. Byul. № 12 (in Russian).

УДК 502.4

## СОВРЕМЕННЫЕ ПРИРОДНО-АНТРОПОГЕННЫЕ ГЕОСИСТЕМЫ ВОРОНЕЖСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БИОСФЕРНОГО ЗАПОВЕДНИКА И ПРОБЛЕМЫ СОХРАНЕНИЯ БИОРАЗНООБРАЗИЯ

Летин А.Л., Межова Л.А.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный педагогический университет»,  
Воронеж, e-mail: anletin@rambler.ru

В статье рассматриваются природные особенности Усманского бора, который сохраняется созданным на его территории Воронежским государственным биосферным заповедником. Определены факторы, влияющие на природный фон заповедника. Ведущее место отведено исследованию бассейна реки Усмани. Полученные результаты свидетельствуют, что состояние гидросистем заповедника в целом неблагоприятные. Проточный водоём реки Усмани и пойменные озера характеризуются снижением качественных показателей природного фона гидросистем. Изменение гидрохимического режима оказывает влияние на биологический потенциал водоемов. Определено, что природное состояние гидросистем нарушается воздействием антропогенными факторами, которое влияет на функционирование природоохранного типа природопользования. Сочетание негативных стихийных явлений и аварийных ситуаций на хозяйственных объектах. «Летопись природы» Воронежского государственного биосферного заповедника, собранная за многолетний период, дает представления об изменении природы, ее компонентов. Регулярные наблюдения позволят принимать оперативные решения при выявлении негативных природных и антропогенных процессов. На современном этапе уникальные материалы недостаточно используются. Длинный динамический ряд наблюдений при сопоставлении с современными показателями доказывает степень и уровень изменения региональных природных характеристик и поможет составить долгосрочные прогнозы развития природы на территории заповедника. Для организации информационной системы современного состояния сосняков необходимо создать сеть мониторинговых площадок, на которых рассматривается состояние компонентов окружающей среды и ведется мониторинг за природными процессами и явлениями. Основными критериями мониторинговых исследований являются их длительность, непрерывность, комплексность. Физико-географические условия заповедника определяют его положение в условиях высокой трансформации природной среды, и поэтому данные мониторинга интеграционных процессов позволяют восстановить естественные законы развития.

**Ключевые слова:** биоиндикация, лесные геосистемы, природно-антропогенные геосистемы, биоразнообразие, буферная зона, гидрохимия

## MODERN NATURAL AND ANTHROPOGENIC GEOSYSTEMS OF THE VORONEZH STATE BIOSPHERE RESERVE AND THE PROBLEMS OF BIODIVERSITY CONSERVATION

Letin A.L., Mezhova L.A.

Voronezh State Pedagogical University, Voronezh, e-mail: anletin@rambler.ru

The article deals with the natural features of the Usmanskiy boron, which is preserved by the Voronezh State Biosphere Reserve created on its territory. Factors influencing the natural background of the reserve are defined. The leading place is given to the study of the Usmani River basin. The results obtained indicate that the state of hydrosystems of the reserve in general is unfavorable. Flow-through reservoir of the Usman River and floodplain lakes are characterized by a decrease in the qualitative indicators of the natural background of hydrosystems. Changes in the hydrochemical regime affect the biological potential of water bodies. It was determined that the natural state of hydrosystems is disturbed by the impact of anthropogenic factors, which affects the functioning of nature conservation type of nature management. The combination of negative natural phenomena and accidents at economic facilities. «Annals of nature» of Voronezh State Biosphere Reserve, collected over a long period, gives an idea of the change of nature, its components. Regular observations will allow to make prompt decisions when identifying negative natural and anthropogenic processes. At the present stage, the unique materials are underutilized. A long dynamic series of observations, when compared with modern indicators, proves the extent and level of changes in the regional natural characteristics and will help to make long-term forecasts of the development of nature in the territory of the reserve. To organize the information system of the modern state of pine forests it is necessary to create a network of monitoring sites where the state of environmental components is considered and natural processes and phenomena are monitored. The main criteria of monitoring studies are their duration, continuity, complexity. Taking into account that the physical and geographical conditions of the reserve determine its position in the conditions of high transformation of the natural environment and, therefore, the data of integration processes monitoring will allow restoring the natural laws of development.

**Keywords:** bioindication, forest geosystems, natural-anthropogenic geosystems, biodiversity, buffer zone, hydrochemistry

Сформировавшаяся региональная система особо охраняемых природных территорий, среди которых заповедники, является современным ядром эколого-географического каркаса территории. Воронежский государственный биосферный

заповедник находится на территории Усманского бора, расположенного на границе Липецкой и Воронежской областей. Воронежский государственный биосферный заповедник входит в список биосферных резерватов ЮНЕСКО, в сеть программы

«Человек и биосфера». Мониторинг природных сред создал банк информации по компонентам окружающей среды. Климатические особенности связаны с сочетанием влажных и сухих периодов, влияющих на функциональный режим лесных геосистем.

Цель исследования заключается в изучении природно-антропогенных геосистем охраняемых территорий для сохранения регионального биоразнообразия.

### **Материалы и методы исследования**

Для решения поставленной цели использовались методы: сравнительно-географический, геохимический, биоиндикационный и системный анализ.

### **Результаты исследования и их обсуждение**

По данным Сапельниковой И.И. и Базильской И.В. было отмечено, что в последние годы возрастают колебательные процессы в наступлении температурных переходов [1]. Отмечены повышения среднемесячных и максимальных температур воздуха в январе, марте и апреле. Температурные переходы влияют на изменения в природных условиях заповедника [2]. В этой связи на рубеже XXI века в пределах заповедника необходимо выявить закономерности изменения соотношения тепла и влаги. Тип климата заповедника умеренно-континентальный, среднегодовая температура +5,1 °С, средняя температура июля +20,5 °С, января -9,5 °С, длительность безморозного периода составляет 133 дня, а вегетационного периода 185 дней. В среднем за год выпадает около 585 мм осадков.

За длительный период наблюдения комплексный показатель загрязнения воздуха ИЗВ колеблется в пределах 0,8-1,5 [1; 2]. В воздушной среде заповедника отмечены превышения концентрации диоксида азота, формальдегида, взвешенных веществ, их превышение колеблется в пределах 2,6-2,8 ПДК.

Усманский бор относится к островным борам лесостепной зоны и находится в пределах Левобережного придолинно-террасного района, расположенного на Окско-Донской низменности. Территория заповедника расположена на речных террасах левобережья реки Воронеж. Осадочный чехол четвертичного периода залегает на породах девона и мела, которые перекрыты флювиогляциальными и древнеаллювиальными отложениями [3].

Первая и вторая надпойменные террасы сформировались под влиянием валдайского оледенения. На третьей и четвертой надпойменных террасах преобладают покровные суглинки. Песчаные отложения отмытого кварцевого песка имеют мощность до 5-7 м. Усманский бор находится в пределах Воронежского и Усманского неотектонических поднятий [4]. Территория заповедника находится в пределах слабоволнистой равнины, имеющей уклон с востока на запад. Рельеф на водоразделе представлен песчано-бугристыми формами в сочетании с болотными и полуболотными впадинами, склоны речных долин сложены песчаными отложениями. Долины рек и ручьев заповедника в приустьевой части имеют вид слабо выраженных заболоченных впадин, переходящих в поймы принимающих их водотоков. Преобладание бугристо-грядового рельефа, характерно большое количество котловин выдувания на плакорах [5]. На территории заповедника благоприятные условия для образования травяноосоковых болот.

На территории заповедника преобладают песчаные почвы сухих и свежих боров различной степени оподзоленности в сочетании с сильноподзолистыми оглееными почвами влажных боров и торфяно-глеевыми почвами низинных болот [6]. Ландшафтные особенности заповедника представлены на рис. 1.

Отмечены закономерности смены лесных геосистем от плакора к склонам речных долин, которые сочетаются с простыми субориями и затем переходят к судубравам и дубравам [7]. В поймах рек характерно повышение увлажненности, в этой связи здесь формируются ольшаники на перегнойно-оглеевых почвах. Преобладающим типом почвообразования является элювиально-глеевый. Уникальные природные особенности сформировали своеобразную флору и фауну. Характеристикой биоциркуляционных ландшафтных структур заповедника занимались Трегубов О.В., Солонцев В.Н., Кочергина М.В., Фурменкова Е.С. [8]. Они определили приуроченность родов геосистем к ландшафтным уровням. Выделили на территории заповедника тип транзитных, автономных и аккумулятивных наземных геосистем.

На территории Воронежского государственного биосферного природного заповедника в основном используются физико-географические, геохимические, геофизические, биологические, ландшафтные методы исследования. Большое значение на территории заповедника имеют биоиндикационные методы исследования.

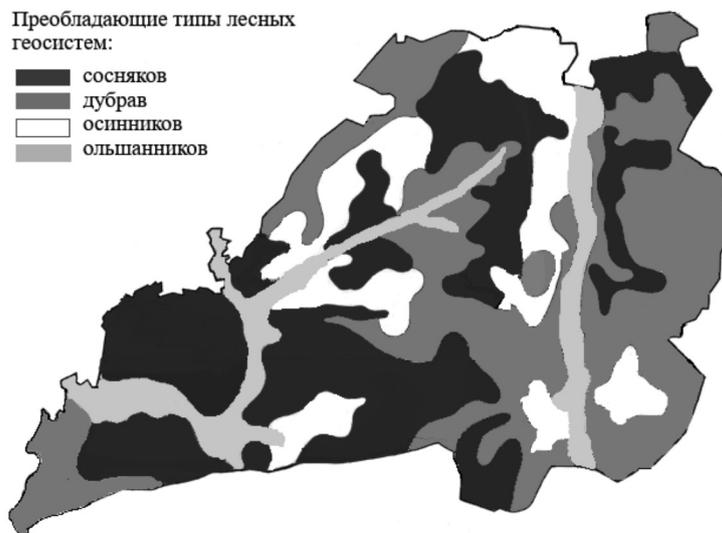


Рис. 1. Усманские лесные придолинно-террасовые геосистемы ВГБЗ (по данным [6])

По данным Луговского А.М. и Межовой Л.А., сосна обыкновенная является индикатором изменения природных и техногенных условий на территории заповедника. Анализ морфологических и анатомических изменений в органах сосны [9]. В зависимости от различных условий произрастания на негативное влияние реагирует аппарат фотосинтеза и водопоглощающая система. Это отражается на биопродуктивности пластических веществ и ксероморфизации.

Под воздействием неблагоприятных факторов среды изменяются прирост, расположение побегов, особенности коры и высота дерева. Отмечены некоторые изменения хвои вдоль железнодорожного полотна и автомобильных дорог. Рассмотрение годичного прироста ксилемы в разных органах сосны для обоснования гомеостаза организма позволит изучить целостность функциональной системы сосны, определить закономерности интеграционных процессов метаболизма и проявления адекватности реакции на природные и антропогенные факторы. Такой подход дополнит биомониторинг на территории заповедника.

Лесные геосистемы опушечной части «зоны абсолютного покоя» испытывают воздействие на компоненты природы, которое приводит к понижению видового разнообразия травянистых растений, деградации сосняков, исчезновению ксерофильных видов, росту доли мезофильных лесных видов беспозвоночных животных. Проблемы при-

родоохранного типа природопользования связаны с созданием условий для сохранения биоразнообразия и уникальных ландшафтов заповедника.

В буферной зоне заповедника отмечено понижение видового разнообразия в травянистых сообществах. Произошла мезофилизация дубняков, отмечена трансформация биоразнообразия, исчезают солнцелюбивые ксерофильные виды растений. Для буферной зоны характерно мощное развитие подлеска, представленное в основном кленом остролистным. Это привело к затенению поверхности почвы, увеличению ее влажности.

В этой связи можно утверждать, что биоразнообразие нельзя сохранить, оставив лишь «острова» нетронутой природы.

По территории заповедника протекает река Усмань, которая имеет небольшие скорости течения и расход воды и меридионально пересекает территорию заповедника, исток находится в пределах Липецкой области. Река Усмань входит в реестр гидрологических памятников природы. Русло Усмани представлено плесами, их ширина около 60 м и глубина до 4 м, которые соединены узкими протоками. Уклон у реки незначительный, пойма заболочена, и ее ширина колеблется в пределах от 300 до 1 км. Притоки реки, в пределах заповедника, имеют длину от 0,6 до 4 км, и их насчитывается до 20 [10]. Водно-земельный потенциал бассейна реки Усмань представлен в табл. 1.

Таблица 1

Водно-земельный потенциал бассейна реки Усмань (по данным [11])

Водосбор	Площадь, км <sup>2</sup>	Земли с/х назначения		Водные ресурсы, млн м <sup>3</sup>	
		Тыс. га	%	Среднегод. речной сток	Среднегод. подземный сток
Река Усмань	1380	97,51	70,4	145,0	41,4

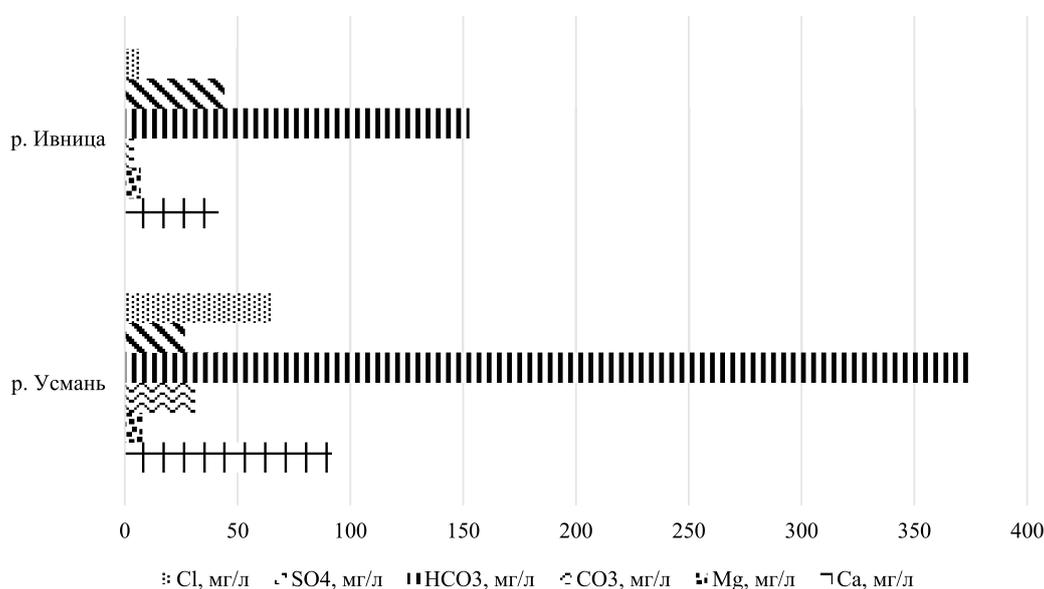


Рис. 2. Гидрохимический состав воды рек Усмань и Ивница, мг/л (по данным [11])

Бассейн реки Ивница (приток Усмани) занимает значительную часть территории заповедника, ширина поймы достигает 500 м и сильно заболочена, с преобладанием травянисто-осоковых болот, в Ивницу впадает 7 притоков. Основными загрязняющими веществами рек заповедника являются тяжелые металлы, азот аммонийный и нефтепродукты, их значения превышали ПДК от 3 до 16 раз [12]. Усредненные геохимические показатели анализа воды в реках Усмань и Ивница представлены на рис. 2.

В летний период минерализация воды в реке Усмань превышает ПДК в 4-5 раз, по содержанию органических веществ также отмечены превышения почти в 5 раз, pH находится в пределах оптимальной величины [13]. По содержанию CO<sub>2</sub> характерны незначительные колебания, по HCO<sub>3</sub> отмечено небольшое увеличение концентрации. По содержанию марганца в реках Усмань и Ивница превышения ПДК не выявлено, а по кальцию несколько превышены показатели в реке Ивница. Превышено содержание хлора, что свидетельствует о загрязнении вод продуктами хозяйственной деятельно-

сти. По содержанию сульфатов показатели также превышены. Вода в исследуемых реках относится к гидрокарбонатно-кальциевому типу. В среднем, по большинству показателей, воды рек находятся в нормах ПДК [11].

Поступление загрязняющих веществ в водоемы связано с хозяйственной деятельностью, так как территорию заповедника окружают населенные пункты. На реке Усмань построены пруды, автомобильные и железнодорожные мосты, которые являются источниками загрязнения. Проведены исследования антропогенной нагрузки в пределах заповедника на основе балльной оценки.

Средняя часть реки менее подвержена антропогенному воздействию, так как расположена на территории заповедника, по сравнению с верхним и нижним течением, так как эти участки реки подвергаются интенсивному антропогенному воздействию. Бассейн реки Усмань – это целостная гидросистема, которая находится под влиянием антропогенного прессинга. Протяженность верховья реки, до входа на территорию заповедника, составляет 33 км.

Таблица 2

Физико-географическое районирование реки Усмань по степени ее антропогенной трансформации (по данным [14])

Величина антропогенной нагрузки, в баллах	Характеристика участка гидросистем
<5	Природный участок гидросистемы
5-25	Природный участок гидросистемы с незначительной антропогенной нагрузкой
26-50	Природно-антропогенный участок гидросистемы со средней степенью нагрузки
51-75	Антропогенные водные комплексы с высокой степенью нагрузки
76-100	Антропогенные водные комплексы со значительной степенью нагрузки

На этом участке созданы три пруда, с суммарным объемом 1,2 млн м<sup>3</sup>, общей площадью 0,7 км<sup>2</sup>, и четыре моста, здесь характерен высокий уровень загрязнения за счет аварийных выбросов хозяйственных объектов. Активный забор воды производится в районе населенных пунктов. Нижний, стокилометровый участок реки начинается от п. Краснолесный до устья. Здесь насчитывается 10 мостов, среди которых два железнодорожных. Здесь проводилась очистка русла на глубину 1,5 м, постоянно фиксируются сбросы сточных вод [14].

Следует отметить на этом участке высокую рекреационную нагрузку, интенсивное водопотребление населенными пунктами и садоводческими товариществами [15]. В пределах бассейна реки Усмань насчитывается 33 озера, 50 искусственных прудов, их суммарный объем составляет 14,2 млн м<sup>3</sup>, площадь водного зеркала 5,6 км<sup>2</sup>, из них орошается более 3 тыс. га, из них на орошение забирается 6,4 млн м<sup>3</sup> воды. Значительное число прудов расположено в бассейне реки Хава.

Изучение природных особенностей реки показало, что она не утратила саморегулируемых свойств, но вместе с тем особую опасность представляют залповые выбросы. В январе 2021 года на территории Липецкой области был совершен сброс неочищенных сточных вод крупным тепличным комплексом «Овощи Черноземья». Также были зафиксированы неоднократные случаи сброса с очистных сооружений загрязненных стоков ОГУП «Липецкоблводоканал». В сбросах стоков концентрация азота аммонийного была превышена в 27 раз, фосфора в 60 раз, нефтепродуктов в 12 раз, сульфатов в 15,5 раза, фосфатов в 60 раз, БПК<sub>5</sub> снизилось в 4 раза. В результате произошел замор рыбы. На территории заповедника изучены 24 вида рыб, из них 2 вида включены в Красную книгу Воронежской области. В этой связи необходимо провести

комплексные исследования биологического потенциала реки.

По результатам мониторинга природные среды заповедника характеризуются различными типами антропогенного воздействия. Наиболее острые проблемы характерны для гидросистем заповедника. Река Усмань, пересекая территорию заповедника, испытывает высокий антропогенный прессинг, усугубляемый аварийными ситуациями. Антропогенная трансформация характерна для буферной зоны заповедника. Среди линейных источников выделяются дорожно-транспортный и топливно-энергетический комплексы.

Анализ мониторинговых исследований гидросистем заповедника выявил ряд закономерностей. Определены показатели изменения гидрохимического режима гидросистем заповедника, отмечены изменения минерализации вод, увеличение показателей по хлору, магнию. Характерно увеличение в 2-20 раз концентрации биогенных веществ как в речных, так и в озерных геосистемах. Выявлены корреляционные зависимости повышения температурного режима водоемов и снижения уровня кислорода из-за увеличения биогенных веществ в них.

### Заключение

Таким образом, Воронежский государственный биосферный заповедник является хранителем зонального и реликтового генофонда. Основными проблемами сохранения биоразнообразия являются:

- снижение качества условий произрастания лесных геосистем;
- неудовлетворительное состояние хвойных лесов и дубрав, высокий уровень пожароопасности;
- выявлено изменение водного, солевого, воздушного, окислительно-восстановительного режима почв;
- очаги усыхания хвойных пород имеют высокую агрессивность.

В этой связи необходимо создание прогнозных моделей протекания природных процессов и явлений, с наложением антропогенных факторов.

**Список литературы / References**

1. Сапельникова И.И., Базильская И.В., Клявин А.А. Характер изменений долговременных метеорологических параметров календарного года в зависимости от продолжительности наблюдений на примере Воронежского заповедника // Мониторинг состояния и загрязнения окружающей среды. Основные результаты и пути развития: материалы Всероссийской научной конференции (г. Москва, 20–22 марта, 2017 г.). М.: Изд-во Институт глобального климата и экологии Росгидромета и РАН, 2017. С. 112–114.

Sapelnikova I.I., Bazil'skaya I.V., Klyavin A.A. Character of changes in long-term meteorological parameters of the calendar year depending on the duration of observations on the example of the Voronezh Nature Reserve // Monitoring sostoyaniya i zagryazneniya okruzhayushchej sredy. Osnovnyye rezul'taty i puti razvitiya: materialy Vserossijskoj nauchnoj konferencii (g. Moskva, 20–22 marta, 2017 g.). M.: Izd-vo Institut global'nogo klimata i ekologii Rosgidrometa i RAN, 2017. P. 112–114 (in Russian).

2. Минин А.А., Попова Е.Н., Боднарюк В.Г., Сапельникова И.И. Фенологические наблюдения на Европейской территории РФ за период 2005–2019 гг. / Свидетельство о регистрации базы данных 2020622287, 16.11.2020. Заявка № 2020622214 от 09.11.2020.

Minin A.A., Popova E.N., Bodnaryuk V.G., Sapelnikova I.I. Phenological observations in the European territory of Russia for the period 2005–2019 / Svidetel'stvo o registracii bazy dannyh 2020622287, 16.11.2020. Zayavka № 2020622214 ot 09.11.2020 (in Russian).

3. Эколого-географический атлас-книга Воронежской области / РГО, ВГУ; авт.-сост.: В.И. Федотов (науч. ред.). Воронеж: Изд-во ВГУ, 2013. 514 с.

Ecological and Geographical Atlas-Book of the Voronezh Region / RGO, VGU; avt.-sost.: V. I. Fedotov (nauch. red.). Voronezh: Izd-vo VGU, 2013. 514 p. (in Russian).

4. Труды Воронежского государственного заповедника. Вып. XXIX / Т78 /ответ. ред. Н.Б. Ромашова. ФГБУ «Воронежский государственный заповедник». Воронеж: Новый формат, 2020. 334 с.

Proceedings of the Voronezh State Reserve. Issue XXIX / T78 /responsible editor N.B. Romashova. FGBU «Voronezh State Reserve». Voronezh: Novyjformat, 2020. 334 p. (in Russian).

5. Физико-географическое районирование Центральных Черноземных областей / под ред. Ф.Н. Милькова. Воронеж: Изд-во ВГУ, 1961. 263 с.

Physical and geographic zoning of the Central Black Earth regions / pod red. F.N. Mil'kova. Voronezh: Izd-vo VGU, 1961. 263 p. (in Russian).

6. Гончарова Н.Л., Стародубцева Е.А. Динамика лесов Воронежского заповедника по преобладающим породам // Биологическое разнообразие как основа существования и функционирования естественных и искусственных экосистем: материалы Всероссийской молодежной научной конференции (г. Воронеж, 08–10 июня 2015 г.). М.: Изд-во Истоки, 2015. С. 348–352.

Goncharova N.L., Starodubtseva E.A. Forest dynamic sof the Voronezh Nature Reserve by prevailing species // Biologicheskoe raznoobrazie kak osnova sushchestvovaniya i funkcionirovaniya estestvennyh i iskusstvennyh ekosistem: materialy Vserossijskoj molodyozhnoj nauchnoj konferencii (g. Voronezh, 08–10 iyunya 2015 g.). M.: Izd-vo Istoki, 2015. P. 348–352 (in Russian).

7. Гончарова Н.Л., Стародубцева Е.А. Динамика структуры площадей Воронежского заповедника и основных характеристик древостоев (1937–2013 гг.): труды Воронежского государственного заповедника. Ижевск, 2016. С. 328–359.

Goncharova N.L., Starodubtseva E.A. Dynamics of the area structure of the Voronezh Reserve and the main characteristics of forest stands (1937–2013): trudy Voronezhskogo gosudarstvennogo zapovednika. Izhevsk, 2016. P. 328–359 (in Russian).

8. Трегубов О.В., Солонцев В.Н., Кочергина М.В., Фурменкова Е.С. Характеристика биоциркуляционных ландшафтных структур Воронежского биосферного заповедника // Лесотехнический журнал. 2016. № 4 (24). С. 98–105.

Tregubov O.V., Solontsev V.N., Kochergina M.V., Furmenkova E.S. Characteristics of biocirculation landscape structures

in Voronezh Biosphere Reserve // Lesotekhnicheskij zhurnal. 2016. № 4 (24). P. 98–105 (in Russian).

9. Луговской А.М., Майнашева Г.М., Дмитриева В.Т., Межова Л.А., Черныatina Г.Н., Луговская Л.А. Оценка качества и ранжирование антропогенно измененной территории методом биоиндикационного мониторинга // Проблемы региональной экологии. 2013. № 3. С. 29–31.

Lugovskoy A.M., Mainasheva G.M., Dmitrieva V.T., Mezхова L.A., Chernyatina G.N., Lugovskaya L.A. Quality assessment and ranking of anthropogenically altered territory by bioindication monitoring // Problemy regional'noy ekologii. 2013. № 3. P. 29–31 (in Russian).

10. Мишон В.М. Река Воронеж и ее бассейн: ресурсы и водно-экологические проблемы. Воронеж: Изд-во ВГУ, 2000. 296 с.

Mishon V.M. The Voronezh River and its Basin: Resources and Water and Environmental Problems. Voronezh: Izd-vo VGU, 2000. 296 p. (in Russian).

11. Доклад о состоянии окружающей среды на территории Воронежской области в 2018 г. / Правительство Воронежской области, Департамент природных ресурсов и экологии Воронежской области. Тамбов: Изд-во ООО «ТПС», 2019. 239 с.

Report on the state of the environment in the Voronezh region in 2018. / Pravitel'stvo Voronezhskoj oblasti, Departament prirodnyh resursov i ekologii Voronezhskoj oblasti. Tambov: Izd-vo OOO «TPS», 2019. 239 p. (in Russian).

12. Жигулина Е.В., Михно В.Б. Ландшафтно-экологический мониторинг бассейнов малых рек Воронежской области // В сборнике: Региональные ландшафтные исследования. Научные записки кафедры физической географии и оптимизации ландшафта Воронежского государственного университета. Посвящается 85-летию кафедры физической географии и оптимизации ландшафта. Научные редакторы В.Б. Михно, А.С. Горбунов. Воронеж, 2019. С. 138–141.

Zhigulina E.V., Mikhno V.B. Landscape-ecological monitoring of small river basins in Voronezh Region // V sbornike: Regional'nye landshaftnye issledovaniya. Nauchnye zapiski kafedry fizicheskoy geografii i optimizacii landshafta Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Posvyashchaetsya 85-letiyu kafedry fizicheskoy geografii i optimizacii landshafta. Nauchnye redaktory V.B. Mikhno, A.S. Gorbunov. Voronezh, 2019. P. 138–141 (in Russian).

13. Жигулина Е.В. Современный анализ антропогенной трансформации ландшафтов бассейнов малых рек Воронежской области // Трешниковские чтения 2019. Современная географическая картина мира и технологии географического образования: материалы международной научно-практической конференции (г. Ульяновск, 3–5 апреля 2019 г.) Ульяновск: Изд-во: Ульяновский государственный педагогический университет им. И.Н. Ульянова, 2019. С. 28–29.

Zhigulina E.V. Modern analysis of anthropogenic transformation of landscapes of small river basins in Voronezh region // Treshnikovskie chteniya 2019. Sovremennaya geograficheskaya kartina mira i tekhnologii geograficheskogo obrazovaniya: materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii (g. Ul'yanovsk, 3–5 aprelya 2019 g.) Ul'yanovsk: Izd-vo: Ul'yanovskij gosudarstvennyj pedagogicheskij universitet im. I.N. Ul'yanova, 2019. P. 28–29 (in Russian).

14. Межова Л.А., Дорохина Т.А., Сагова З.М. Геоэкологический мониторинг состояния окружающей среды на территории Воронежского государственного биосферного заповедника // Добродеевские чтения – 2019: материалы III Международной научно-практической конференции (г. Москва, 17 октября 2019 г.). М.: Изд-во МГОУ, 2019. С. 178–185.

Mezhova L.A., Dorokhina T.A., Sagova Z.M. Geo-ecological monitoring of the environment on the territory of the Voronezh State Biosphere Reserve // Dobrodeevskie chteniya – 2019: materialy III Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii (g. Moskva, 17 oktyabrya 2019 g.). M.: Izd-vo MGOU, 2019. P. 178–185 (in Russian).

15. Межова Л.А., Луговская Л.А. Рекреационно-туристский потенциал особо охраняемых природный территорий Воронежской области // Актуальные проблемы развития туризма: материалы IV международной научно-практической конференции (г. Москва, 11–12 марта 2020 г.). М.: Изд-во ГЦОЛИФК, 2020. С. 320–325.

Mezhova L.A., Lugovskaya L.A. Recreational and tourist potential of specially protected natural areas of Voronezh region // Aktual'nye problem razvitiya turizma: materialy IV mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii (g. Moskva, 11–12 marta 2020 g.). M.: Izd-vo GCOLIFK, 2020. P. 320–325 (in Russian).

УДК 552.143:551.83(571.63)

**ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ РЕЖИМЫ ФОРМИРОВАНИЯ  
ПОЗДНЕФАНЕРОЗОЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ  
ЮГА ЛАОЕЛИН-ГРОДЕКОВСКОГО ТЕРРЕЙНА (ПРИМОРЬЕ)  
ПО ГЕОХИМИИ ПЕСЧАНЫХ ПОРОД**

Малиновский А.И.

*Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток, e-mail: malinovsky@fegi.ru*

В статье рассматриваются результаты геохимического изучения позднефанерозойских (пермских и триасовых) терригенных отложений, широко распространенных на юге Приморского края, где они образуют вытянутый вдоль границы с Китаем Лаоелин-Гродековский террейн. Исследования были направлены на детальное изучение геохимии песчаных пород юга террейна и, с использованием широко известных методов интерпретации, восстановление палеогеодинамических обстановок, в которых происходило осадконакопление, и распознавание состава и петрографической принадлежности пород, служивших основными источниками обломочного вещества. Проведенные исследования показали, что песчаные породы из отложений изученных свит заметно отличаются по геохимическому составу. Песчаники барабашской и мангуйской свит более соответствуют грауваккам, казачкинской – лититовым ареникам, а решетниковской – аркозам. Оценка литохимических особенностей песчаников свидетельствует о значительной степени выветрелости пород источников питания и образовании их за счет преимущественного размыва магматических пород кислого состава. По содержанию и соотношению микроэлементов песчаники достаточно близки. Для них свойственны относительно невысокие суммы концентраций РЗЭ, умеренно дифференцированные графики их распределения и четко проявленная отрицательная европиевая аномалия. Существующие вариации в составе песчаников обусловлены, вероятно, различиями в палеогеодинамических обстановках накопления отложений, а также в строении и составе источников обломочного вещества. Анализ полученных результатов на диаграммах, используемых для определения обстановок седиментации и источников питания, показал, что точки составов пород попадают в поля с различными тектоническими режимами, что позволяет предполагать их накопление в обстановке, связанной с крупномасштабными, трансформными движениями океанической плиты относительно континентальной. Отложения накапливались в основном за счет источников, сложенных кислыми магматическими породами, при незначительном участии вулканических пород основного и среднего состава, а также осадочных пород, обогащенных древними компонентами.

**Ключевые слова:** Лаоелин-Гродековский террейн, геохимия, песчаники, источники питания, геодинамические режимы

**GEODYNAMIC SETTINGS OF FORMATION OF LATE PHANEROZOIC DEPOSITS  
OF THE SOUTH OF THE LAOELING-GRODEKOVO TERRANE (PRIMORYE)  
BY GEOCHEMISTRY OF SANDY ROCKS**

Malinovsky A.I.

*Far Eastern Geological Institute, FEBRAS, Vladivostok, e-mail: malinovsky@fegi.ru*

The article examines the results of a geochemical study of Late Phanerozoic (Permian and Triassic) terrigenous deposits, widespread in the south of Primorsky Territory, where they form the Laoeling-Grodekovo terrane elongated along the border with China. The research was aimed at a detailed study of the geochemistry of sandy rocks in the south of the terrane and, using well-known methods of interpretation, restoration of paleogeodynamic settings in which sedimentation occurred, and recognition of the composition and petrographic affiliation of rocks that served as the main sources of clastic matter. The studies showed that the sandy rocks from the sediments of the studied formations differ markedly in geochemical composition. The sandstones of the Barabash and Mangulai formations are more consistent with the graywackes, the Kazachka ones – with the lithite arenites, – with the arkoses. Assessment of the lithochemical features of sandstones indicates a significant degree of weathering of the rocks of food sources and their formation due to the predominant erosion of igneous rocks of felsic composition. In terms of the content and ratio of trace elements, the sandstones are quite similar. They are characterized by relatively low sums of REE concentrations, moderately differentiated plots of their distribution, and a clearly manifested negative Europium anomaly. The existing variations in the composition of sandstones are probably due to differences in the paleogeodynamic environments of sediment accumulation, as well as in the structure and composition of clastic sources. The analysis of the results obtained on the diagrams used to determine the sedimentation setting and the power sources showed that the points of rocks composition fall into fields with different tectonic settings, which allows us to assume their accumulation in an environment associated with large-scale, transform, movements of the ocean plate relative to the continental. Deposits were accumulated mainly due to sources composed of felsic igneous rocks, with minor participation of volcanic rocks of the basic and intermediate composition, as well as sedimentary rocks enriched with ancient components.

**Keywords:** Laoeling-Grodekovo terrane, geochemistry, sandstones, power sources, geodynamic settings

Позднефанерозойские (пермские и триасовые) отложения широко распространены на территории юго-западного Приморья, где они образуют вытянутый на 300 км

вдоль границы с Китаем Лаоелин-Гродековский террейн (рис. 1). Террейн является одной из ключевых геологических структур восточной части Евразийского кон-

тинента и рассматривается как фрагмент позднепалеозойской-мезозойской активной окраины [1]. Геологическая позиция террейна, а также строение и вещественный состав отложений, слагающих его северную часть, рассмотрены в предыдущих публикациях [2; 3]. Цель исследования: изучение геохимических особенностей песчаных пород южной части террейна и реконструкция геодинамических обстановок их формирования.

**Материалы и методы исследования**

Нами исследовались песчаные породы из позднефанерозойских отложений южной части Лаоелин-Гродековского террейна. Для исследований отбирались наименее измененные образцы, что устанавливалось при петрографических исследованиях шлифов с помощью поляризационного микроскопа Carl Zeiss Axioplan 2 imaging2 (Германия). Элементный состав образцов горных пород (петрогенные и микроэлементы) определялся методами плазменной спектроскопии (ИСП-АЭС и ИСП-МС) в Аналитическом центре (ЦКП) ДВГИ ДВО РАН (г. Владивосток, аналитики: Остапенко Д.С., Еловский Е.В., Зарубина Н.В., Ткалина Е.А., Хуркало Н.В.). Исследования проводились на масс-спектрометре с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС) Agilent 7500с (Agilent Technologies, Япония) и атомно-

эмиссионном спектрометре с индуктивно связанной плазмой iCAP 7600 Duo (ИСП-АЭС) (Thermo Scientific, США).

**Результаты исследования и их обсуждение**

Лаоелин-Гродековский террейн является сложной складчатой структурой, сложенной сильнодислоцированными нижнесилурийскими и пермскими вулканогенно-осадочными образованиями, которые с угловым несогласием перекрыты поздне триасовыми терригенными отложениями [2; 3]. Отложения юга террейна имеют следующее строение (рис. 1). Раннепермская казачкинская свита (600 м) сложена рiolитами, дацитами, туфами, заметно меньше песчаников, аргиллитов и алевролитов. Ранне-среднепермская решетниковская свита (1800 м) образована комплексом терригенных пород, среди которых преобладают песчаники, меньше алевролитов, аргиллитов, отмечаются линзы гравелитов и конгломератов. Среднепермская барабашская свита (850–2100 м) имеет пестрый литологический состав: базальты, андезиты, риолиты, туфы, туфобрекчии, песчаники, алевролиты, конгломераты, известняки. Позднетриасовая мангугайская свита (380–550 м) состоит из песчаников, конгломератов, гравелитов, алевролитов, аргиллитов, туфов, углей.

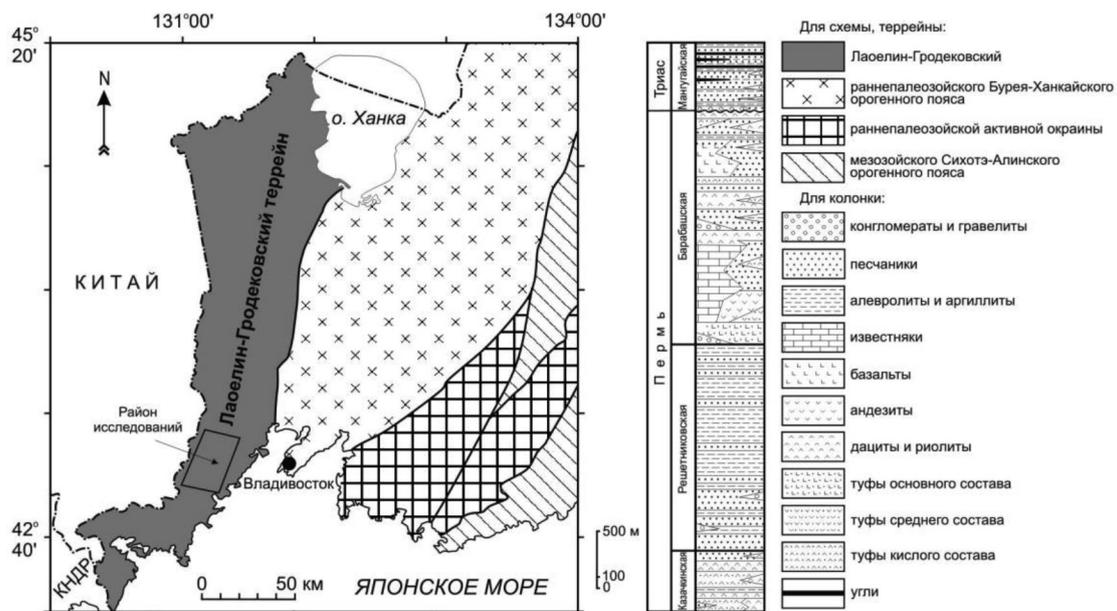


Рис. 1. Положение Лаоелин-Гродековского террейна в геологической структуре Южного Приморья [2] и стратиграфическая колонка позднефанерозойских образований его южной части

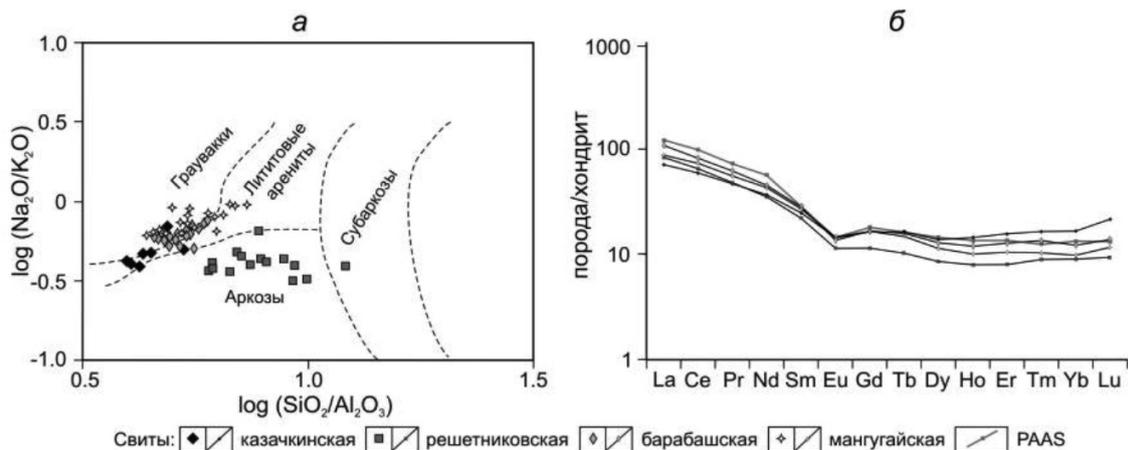


Рис. 2. Геохимический состав песчаников юга Лаоелин-Гродековского террейна: а – классификация по химическому составу [4]; б – распределение РЗЭ и их сравнение с PAAS [5]

Песчаники казачкинской свиты крупнозернистые, со слабой либо средней сортировкой и окатанностью материала. Вследствие своей крупной размерности порода состоит в основном (59–68%) из обломков пород: кислых и средних эффузивов, обломочных и кремнистых пород, сланцев и кварцитов. Кварца в породах 18–23%, а полевых шпатов 16–20%. Решетниковские песчаники средне- и крупнозернистые, со слабой либо средней степенью сортировки и окатанности обломков. В породах больше всего кварца (37–47%), но гораздо меньше полевых шпатов (25–37%) и обломков пород (22–32%) – кислых интрузивных и эффузивных, метаморфических и осадочных. Барабашские песчаники мелко- крупнозернистые, характеризуются преобладанием материала с умеренной степенью сортированности и окатанности. Породы состоят из кварца (28–35%), полевых шпатов (34–44%) и обломков пород (25–33%): кислых и средних магматических, обломочных, кремневых и метаморфических. Мангугайские песчаники разномзернистые, со слабой и средней сортировкой и окатанностью обломков. Кварца в них 33–40%, полевых шпатов 21–33%, обломков осадочных, метаморфических, кислых и средних магматических пород – 31–41%. По петрографической классификации решетниковские песчаники относятся к аркозам, а казачкинские, барабашские и мангугайские к грауваккам: кварцево-полевошпатовым и полевошпатово-кварцевым.

По геохимическим параметрам песчаники изученных свит существенно

отличаются. Песчаники казачкинской свиты однородны: в них довольно высокие содержания  $\text{SiO}_2$  (70,71–75,63%) и  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (14,35–17,92%), но при этом, соответственно, пониженные  $\text{TiO}_2$  (0,45–0,74%),  $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$  (0,90–1,75%) и  $\text{MgO}$  (0,14–0,22%). Помимо этого,  $\text{K}_2\text{O}$  преобладает над  $\text{Na}_2\text{O}$  (2,49–4,25% и 1,24–2,11%), что свойственно аркозам и лититовым аренимам. Решетниковские песчаники заметно отличаются от пород других свит: в них больше всего  $\text{SiO}_2$  (76,95%–86,89%), но и заметно меньше  $\text{TiO}_2$  (0,15–0,41%),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (6,93–13,01%),  $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$  (0,84–1,61%) и  $\text{MgO}$  (0,14–0,45%). Для них также свойственно типичное для аркозов резкое преобладание  $\text{K}_2\text{O}$  над  $\text{Na}_2\text{O}$  (1,86–4,00% и 0,68–1,61%). В породах барабашской свиты, напротив, самые низкие содержания  $\text{SiO}_2$ , незначительно изменяющиеся от 68,06% до 74,34%. Такие же мало изменяющиеся содержания  $\text{TiO}_2$  (0,33–0,49%),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (12,52–15,06%),  $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$  (2,66–3,82%) и  $\text{MgO}$  (0,50–1,19%).  $\text{K}_2\text{O}$  по-прежнему преобладает над  $\text{Na}_2\text{O}$  (3,31–5,05% и 1,78–2,83%), что сближает породы с аркозами. В песчаниках мангугайской свиты изменения в химическом составе более значительны:  $\text{SiO}_2$  (70,07–80,81%),  $\text{TiO}_2$  (0,28–0,80%),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (10,54–17,10%),  $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$  (0,93–4,00%) и  $\text{MgO}$  (0,12–1,16%). Преобладание  $\text{K}_2\text{O}$  над  $\text{Na}_2\text{O}$  незначительно (1,13–2,80% и 0,05–1,93%), что также позволяет рассматривать породы как граувакки. На диаграмме химической классификации [4] (рис. 2а) казачкинские песчаники отвечают лититовым аренимам, что согласуется с преобладанием в их соста-

ве обломков пород. На этой же диаграмме решетниковские песчаники соответствуют типичным аркозам, а барабашские и мангугайские – грауваккам и, частично, лититовым аренитам.

Для геохимической характеристики осадочных пород применяются литохимические модули, раскрывающие черты их сходства и различия, устанавливающие степень зрелости осадков, а также помогающие выявить состав источников питания и определить тектонические режимы седиментации [6-8]. Изученным песчаникам свойственны невысокие уровни гидрוליзного модуля  $GM = (Al_2O_3 + TiO_2 + Fe_2O_3 + FeO + MnO)/SiO_2$  (0,16–0,29 в казачкинской, барабашской и мангугайской свитах, и еще более низкие 0,10–0,19 – в решетниковской), что говорит о достаточно высокой степени их зрелости и значительной роли химического выветривания в областях сноса. Значительная выветрелость исходных пород устанавливается и по высоким показателям индекса химического изменения  $CIA = [Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O)] \times 100$ , изменяющимся от 55–67 в барабашских песчаниках до 61–90 – в мангугайских. Показателем, устанавливающим принадлежность песчаников к определенному петрографическому типу, является фемический модуль  $FM = (Fe_2O_3 + FeO + MnO + MgO)/SiO_2$ . В решетниковских и казачкинских песчаниках он низок, что характерно для аркозов (0,02–0,03 и 0,01–0,03). Барабашские и мангугайские породы по FM располагаются между граувакками и аркозами (0,05–0,07 и 0,02–0,06). Величина титанового модуля  $TM = TiO_2/Al_2O_3$  отражает петрографическую принадлежность пород областей размыва. В пермских песчаниках его значения невелики (0,022–0,044), и лишь в мангугайской свите они поднимаются до 0,055. Невысокие значения модуля связаны с доминированием в областях размыва гранитоидов, которым свойственны именно низкие значения TM. На преобладающе кислый состав пород источников сноса указывают и низкие значения железного модуля  $JM = (Fe_2O_3 + FeO + MnO)/(TiO_2 + Al_2O_3)$ : в казачкинской и решетниковской свитах они изменяются от 0,05 до 0,15. Несколько же более высокие его значения в барабашской и мангугайской свитах (0,10–0,28) говорят о присутствии в области питания и пород основного-среднего состава. Величина модуля нормированной

щелочности  $NKM = Na_2O + K_2O/Al_2O_3$ , довольно высокая во всех пермских песчаниках (0,35–0,55), в целом соответствует аркозам. Это связано с большим содержанием в породах слюд и калишпатов. В породах мангугайской свиты значения НКМ значительно ниже (0,09–0,25), что приближает их к грауваккам и связано с их насыщенностью глинистым матриксом, обломками тонкозернистых пород и средних вулканитов. Полученные величины модулей, а также соотношения между ними свидетельствуют о петрогенной природе казачкинских и барабашских песчаников и, напротив, литогенной – решетниковских и мангугайских, прошедших многократный процесс переотложения обломочно-го материала.

Характер распределения микроэлементов в песчаниках однотипен. Для них свойственны относительно невысокие суммы концентраций РЗЭ (84–189 г/т), умеренно дифференцированные графики их распределения ( $La_N/Yb_N$  от 2,94–5,15 в казачкинской свите до 5,88–13,66 – в решетниковской) и четко проявленная отрицательная европиевая аномалия ( $Eu/Eu^* = 0,55–0,85$ ) (рис. 26). По содержанию РЗЭ все породы близки к постархейскому австралийскому глинистому сланцу (РААС) [5], отличаясь незначительной обедненностью большинства элементов (до 1.7 раза), и лишь иногда они превышают РААС.

Для палеодинамических реконструкций обстановок формирования отложений использованы широко известные, разработанные в конце прошлого столетия, дискриминантные диаграммы, ссылки на которые приведены в многочисленных публикациях [7; 9; 10]. Распределение фигуративных точек химического состава песчаников на диаграмме F1–F2 (рис. 3а) свидетельствует, что породы казачкинской, решетниковской и барабашской свит локализованы в области составов, представляющих собой продукты размыва кислых магматических пород. Точки отложений мангугайской свиты преимущественно ложатся в область пород, образованных за счет эрозии средних и, частично, кислых пород. Интерпретация состава редких и РЗЭ на диаграммах Hf–La/Th, Zr/Sc–Th/Sc и La/Sc–Th/Co (рис. 3 б-г) подтверждает вывод о формировании отложений в основном за счет кислых магматических пород, при участии обогащенных кварцем и цирконом древних осадочных пород и основных-средних вулканитов.

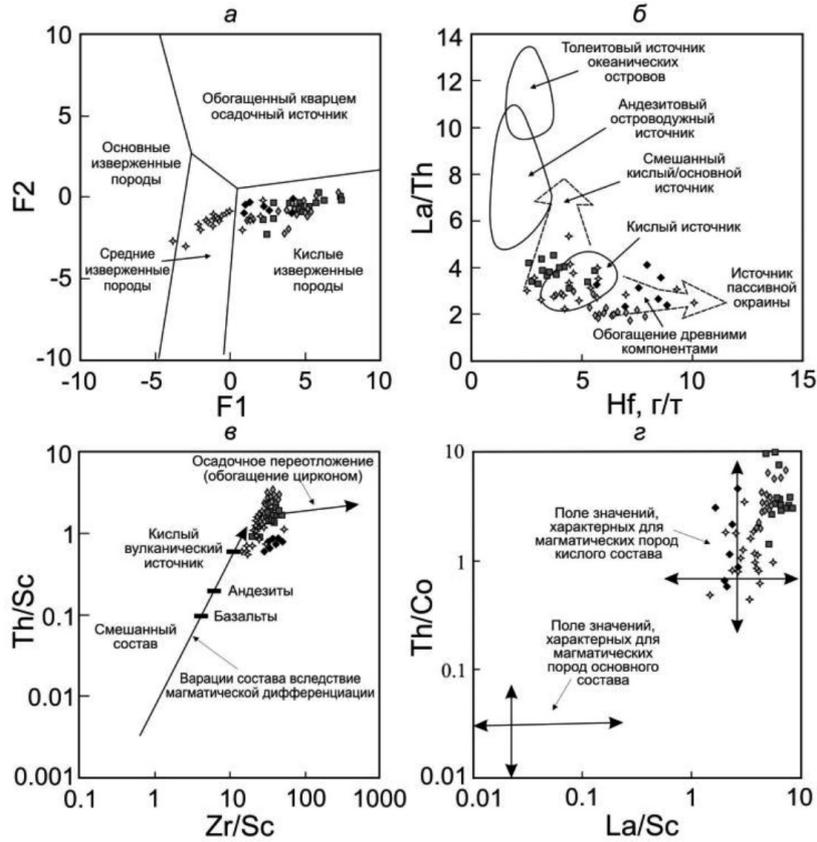


Рис. 3. Источники кластики для песчаников Лаолин-Гродековского террейна, диаграммы: а – F1-F2; б – Hf-La/Th; в – Zr/Sc-Th/Sc; г – La/Sc-Th/Co [6-8]. Условные обозначения см. на рис. 2

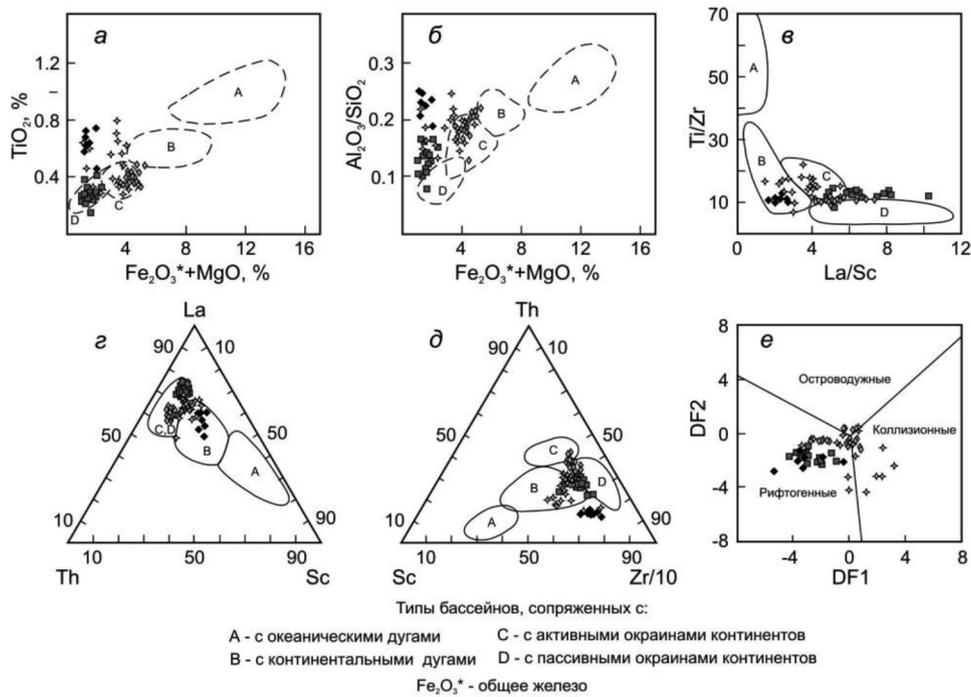


Рис. 4. Диаграммы интерпретации обстановок осадконакопления для отложений Лаолин-Гродековского террейна по геохимическому составу: а-д – типы бассейнов [6; 7; 9]; е – типы обстановок для пород с содержанием SiO<sub>2</sub> > 63% [10]. Условные обозначения см. на рис. 2

Локализация точек составов пород на диаграммах, применяемых для сравнения тектонических обстановок в различных седиментационных бассейнах [6; 7; 9] (рис. 4 а-д), показывает, что отложения казачкинской свиты накапливались в бассейне, связанном с континентальной островной дугой, решетниковской – в бассейнах, располагавшихся на пассивной континентальной окраине, а барабашской – на активной континентальной окраине. Эти бассейны были связаны с крупными движениями по трансформным разломам. Точки пород мангугайской свиты ложатся в поля бассейнов как континентальных дуг, так и активных окраин. На диаграмме DF1–DF2 [10] (рис. 4е) казачкинские и решетниковские песчаники занимают поле рифтогенных обстановок: авлакогенов, внутри- и межконтинентальных рифтов. Природа барабашской и мангугайской свит неоднозначна: их точки попадают в поля всех выделенных обстановок.

### Заключение

В результате проведенных исследований получены новые данные о геохимическом составе позднефанерозойских песчаных пород юга Лаоелин-Гродековского террейна (Приморье). Полученные результаты позволили восстановить геодинамические обстановки формирования его отложений и определить породный состав областей питания. Установлено, что отложения существенно различаются по геохимическому составу: песчаники барабашской и мангугайской свит более соответствуют грауваккам, казачкинской – лититовым ареникам, а решетниковской – аркозам. Породы характеризуются довольно высокой зрелостью кластического материала. Анализ полученных результатов на диаграммах, предназначенных для определения возможных обстановок осадконакопления и источников питания, показал, что точки составов пород свит попадают в поля с различными тектоническими режимами, что позволяет предполагать их накопление в обстановке, связанной с крупномасштабными, трансформными движениями океанической плиты относительно континентальной [3]. Отложения накапливались в основном за счет источников, сложенных кислыми магматическими породами, при незначительном участии основных-средних вулканитов и обогащенных древними компонентами осадочных пород.

*Исследования проведены при финансовой поддержке РФФИ, грант № 19-05-00037-а.*

### Список литературы / References

1. Чашин А.А., Чашин С.А., Касаткин С.А., Голозубов В.В. Позднетриасовые вулканиты Тальминского комплекса (Юго-Западное Приморье): минералогия, геохимия и генезис // Успехи современного естествознания. 2020. № 11. С. 139–148. DOI: 10.17513/use.37528.
2. Chashchin A.A., Chashchin S.A., Kasatkin S.A., Golozubov V.V. Late Triassic volcanic rocks of Talminsky complex (South-Western Primorye): mineralogy, geochemistry and genesis // Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya. 2020. № 11. P. 139–148 (in Russian).
3. Малиновский А.И., Голозубов В.В., Касаткин С.А. Геохимия, источники питания и геодинамические обстановки накопления нижнесилурийских терригенных отложений Лаоелин-Гродековского террейна (Приморье) // Успехи современного естествознания. 2019. № 11. С. 121–127. DOI: 10.17513/use.37250.
4. Malinovskiy A.I., Golozubov V.V., Kasatkin S.A. Geochemistry, power sources and geodynamic settings of the formation of upper Silurian terrigenous deposits of the Laeoling-Grodekovo terrane (Primorye) // Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya. 2019. № 11. P. 121–127 (in Russian).
5. Малиновский А.И. Особенности обстановок формирования палеозойских и раннемезозойских отложения Юго-Западного Приморья: результаты изучения и интерпретации вещественного состава песчаных пород // Успехи современного естествознания. 2020. № 7. С. 132–138. DOI: 10.17513/use.37443.
6. Malinovskiy A.I. Features of the environments of the formation of Paleozoic and Early Mesozoic deposits of South-Western Primorye: the results of the study and interpretation of the material composition of sand rocks // Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya. 2020. № 7. P. 132–138 (in Russian).
7. Pettijohn F.J., Potter P.E., Siever R. Sand and Sandstone. New York: Springer. 1987. 553 p. DOI: 10.1007/978-1-4612-1066-5.
8. Taylor S.R., McLennan S.M. Planetary crusts: Their composition, origin and evolution. Cambridge: Cambridge University Press, 2009. 378 p. DOI: 10.1111/j.1945-5100.2009.tb00744.
9. Летникова Е.Ф., Вещева С.В., Прошенкин А.И. Неопрогерозойские терригенные отложения Тувино-Монгольского массива: геохимическая корреляция, источники сноса, геодинамическая реконструкция // Геология и геофизика. 2011. Т. 52. № 12. С. 2110–2121.
10. Letnikova E.F., Proshenkin A.I., Veshcheva S.V. Neoproterozoic terrigenous deposits of the Tuva-Mongolian massif: Geochemical correlation, source areas, and geodynamic reconstruction // Geologiya i geofizika. 2011. V. 52. № 12. С. 1662–1671. DOI: 10.1016/j.rgg.2011.11.013.
11. Малиновский А.И. Палеогеодинамические обстановки формирования отложений Западно-Сахалинского террейна по геохимическим данным // Успехи современного естествознания. 2017. № 6. С. 83–89. DOI: 10.17513/use.3650.
12. Malinovsky A.I. Paleogeodynamic settings of the West Sakhalin terrain sediments formation based on geochemical data // Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya. 2017. № 6. P. 83–89 (in Russian).
13. Маслов А.В., Мизенс Г.А., Подковыров В.Н., Гареев Э.З., Сорокин А.А., Смирнова Ю.Н., Сокур Т.М. Синорогенные псаммиты: основные черты литохимии // Литология и полезные ископаемые. 2013. № 1. С. 70–96. DOI: 10.7868/S0024497X12050047.
14. Maslov A.V., Mizens G.A., Podkovyrov V.N., Gareev E.Z., Sorokin A.A., Smirnova Yu.N., Sokur T.M. Synorogenic psammites: major lithochemical features // Litologiya i poleznyye iskopayemye. 2013. V. 48. № 1. P. 74–97. DOI: 10.1134/S0024490212050045.
15. Маслов А.В., Подковыров В.Н., Гареев Э.З., Сергеева Н.Д. Синрифтовые песчаники: особенности валового химического состава и положение на дискриминантных палеогеодинамических диаграммах // Геодинамика и тектонофизика. 2018. Т. 9. № 1. С. 59–80. DOI: 10.5800/GT-2018-9-1-0337.
16. Maslov A.V., Podkovyrov V.N., Gareev E.Z., Sergeeva N.D. Syn-rift sandstones: the features of bulk chemical compositions, and positions on paleogeodynamic discriminant diagrams // Geodinamika i tektonofizika. 2018. V. 9. № 1. P. 59–80 (in Russian).
17. Verma S.P., Armstrong-Altrin J.S. New multi-dimensional diagrams for tectonic discrimination of siliciclastic sediments and their application to Precambrian basins. Chem. Geol. 2013. V. 355. P. 117–133. DOI: 10.1016/j.chemgeo.2013.07.014.

УДК 556.5

**РАЗНОМАСШТАБНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ УРОВНЯ ВОДЫ  
В ОЗЕРАХ РОССИИ. АРКТИЧЕСКИЙ РЕГИОН. УМБОЗЕРО****Мякишева Н.В., Давыденко Е.В., Орлов Д.А.***Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург,  
e-mail: davydenko91@mail.ru*

В работе использовались данные за период инструментальных наблюдений с 1946 по 2017 г. (70 лет). Выполнен вероятностный анализ внутригодовой и многолетней изменчивости уровней воды озера Умбозеро. Для анализа ритмики годовой цикличности уровня воды в озере использовался метод теории периодически коррелированных случайных процессов (ПКСП). Для объяснения выявленных особенностей многолетних колебаний уровня озера привлекались данные наблюдений за температурой воздуха и осадками на метеостанциях Мурманск, Ковдор, Каневка и Янискоски. Для анализа структуры временных рядов выполнялась их фильтрация с помощью методов низкочастотной и высокочастотной фильтрации Баттерворта с частотой среза  $\omega = 0,57$  рад./год. Временной ряд индекса де Мартона ( $\alpha^M$ ), рассчитанный по данным наблюдений на ближайшей к озеру метеостанции, позволил проанализировать увлажненность бассейна Умбозера. В работе показано, что в рассматриваемом регионе наблюдается общее потепление климата, на фоне которого четко выражен период относительного похолодания с 1940 по 1970 г. Увеличение осадков отмечается только для метеостанций Мурманск и Янискоски. Выявленное соотношение тепла и влаги приводит к незначительному росту общей увлажненности территории. Для многолетней изменчивости уровня воды в Умбозере характерно наличие статистически значимого линейного тренда на повышение, на фоне которого проявляются периоды локальной нестационарности, когда в течение нескольких лет наблюдается устойчивое увеличение или уменьшение уровня воды в озере. Для внутригодового хода уровня воды в озере Умбозере характерен максимум в июле, минимум – в апреле. Средняя многолетняя амплитуда колебания составляет 58 см при средней многолетней амплитуде дисперсии – 137 см<sup>2</sup>. Полученные результаты позволяют в дальнейшем рассматривать Умбозеро, функционирующее преимущественно в естественном режиме, в качестве озера-аналога при исследовании больших неизученных озёр Мурманской области.

**Ключевые слова:** озеро Умбозеро, уровни воды, разномасштабная изменчивость, вероятностный анализ**RUSSIAN LAKES WATER LEVEL MULTISCALE VARIABILITY.  
THE ARCTIC REGION. LAKE UMBOZERO****Myakisheva N.V., Davydenko E.V., Orlov D.A.***Russian State Hydrometeorological University, Saint Petersburg,  
e-mail: davydenko91@mail.ru*

The work used data for the period of instrumental observations from 1946 to 2017 (70 years). Probabilistic analysis of intra-annual and long-term variability of water levels of Lake Umbozero was performed. To analyze the rhythmicity of the annual cyclicity of the water level in the lake, the method of the theory of periodically correlated random processes (PCRCP) was used. To explain the revealed features of long-term fluctuations in the lake level, data from observations of air temperature and precipitation at the Murmansk, Kovdor, Kanevka and Yaniskoski weather stations were used. To analyze the structure of time series, they were filtered using low-frequency and high-frequency Butterworth filtering methods. The time series of the De Marton index ( $\alpha^M$ ) made it possible to analyze the moisture content of the Umbozer basin. The paper shows that in the region under consideration there is a general warming of the climate, against which the period of relative cooling from 1940 to 1970 is clearly expressed. The presence of a statistically significant linear trend for an increase in water levels has been revealed, against which periods of local unsteadiness are manifested, when a steady increase or decrease in the water level in the lake has been observed for several years. The obtained results allow us to further consider Umbozero, functioning mainly in a natural mode, as an analog lake in the study of large unexplored lakes of the Murmansk region.

**Keywords:** Lake Umbozero, water levels, variability of different scales, probabilistic analysis

Государственная программа «Социально-экономическое развитие арктической зоны Российской Федерации», действие которой продлено вплоть до 2024 года, предполагает оценку водных ресурсов региона в условиях изменяющегося климата и возрастающей антропогенной нагрузки. Озёра представляют собой ресурсы водоснабжения населения и промышленности, транспортные пути, являются регуляторами стока вытекающих рек, используются для

гидротехнического строительства, нужд энергетики и сельского хозяйства.

Уровень воды в больших озерах не только фиксирует водные ресурсы, но и служит интегральным показателем изменений климата на обширных территориях, что чрезвычайно важно при использовании озёрных вод в хозяйственных целях [1; 2].

Уровневый режим озёр формируется под воздействием активных (климатических) и адаптивных (подстилающая поверхность)

факторов [3-5]. В формировании климата европейской территории России большую роль играет Северо-Атлантическое колебание (САК) [6-8]. Основа САК заключается в перераспределении атмосферной влаги между Арктикой и субтропической Атлантикой. При этом переход САК из одной фазы в другую вызывает изменения в динамике большинства крупномасштабных атмосферных процессов. В свою очередь климатические факторы – температура воздуха и атмосферные осадки – воздействуют на колебания уровней озер.

Озеро Умбозеро находится в Ловозерском районе Мурманской области, в юго-западной части Кольского полуострова и принадлежит к бассейну Белого моря. Озеро имеет ледниково-тектоническое происхождение, занимая глубокую впадину между Хибинами на западе и тундрами Ловозерья на востоке. Это самое глубокое из больших озёр Кольского полуострова. Умбозеро – 4-е озеро Мурманской области и 42-е озеро России по площади водного зеркала. Общая площадь водосбора озера составляет 2131 км<sup>2</sup>. Уровень воды не регулируется, годовая амплитуда – 1,2 м. Минимальные уровни наблюдаются в мае, до вскрытия, максимальные – в июле и связаны с пиком снеготаяния. На данном озере проводились преимущественно экологические и гидробиологические изыскания.

В условиях слабой изученности озёр, которая значительно уступает изученности рек, чрезвычайную актуальность приобретает поиск озёр-аналогов. Озеро Умбозеро функционирует преимущественно в естественном режиме и может рассматриваться как озеро-эталон. Выявление закономерностей его функционирования позволит в дальнейшем существенно упростить исследование неизученных водоёмов. Одним из важнейших гидрологических и гидроэкологических показателей озера является уровень воды. Гидрологический режим озера Умбозеро изучен недостаточно. В связи с этим возникает необходимость оценки многолетних и внутригодовых уровней колебаний в условиях изменяющегося климата.

*Особенности многолетних колебаний уровня Умбозера*

Для анализа многолетней изменчивости уровня воды в озере использовались средние годовые значения высоты уровня  $H(t)$ , а также ежегодные последовательности средних величин для всех месяцев

года  $H_i(t)$ , где  $i = 1, \dots, 12$ . Эти ряды интерпретировались как близкие к стационарным случайным процессам, за основную вероятностную характеристику которых принимались функции распределения вероятностей значений высот уровня  $F(H)$  и  $F_i(H)$ . Дополнительно для детализации особенностей многолетних изменений привлекался и ряд средних месячных уровней.

В работе использовались данные за период инструментальных наблюдений с 1946 по 2017 г. (70 лет). Для изучения структуры временных рядов выполнялась их фильтрация. Традиционно для этих целей применяются различные аппроксимирующие функции (кубические сплайны, преобразование Фурье). В данной работе проводилась фильтрация Баттерворта [9].

Для многолетней изменчивости уровня воды в Умбозере характерно наличие статистически значимого линейного тренда на повышение (рис. 1).

Аналогичные особенности присущи и для ежегодных последовательностей средних значений для всех месяцев года. Однако значимые тренды на повышение уровня наблюдаются только для января, февраля и июня, когда реки и озера рассматриваемого региона находятся на грунтовом питании, которое является естественным регулятором. Зимой дополнительное регулирующее влияние оказывает и ледостав.

Результаты низкочастотной фильтрации Баттерворта с частотой среза  $\omega = 0,57$  рад./год позволили выявить периоды локальной нестационарности, когда в течение нескольких лет наблюдается устойчивое увеличение или уменьшение уровня воды в озере. Такие отрезки времени можно рассматривать как ветви «роста» и «спада» колебаний с периодом около 15 лет. Особенно четко такие флуктуации проявились с 1948 по 1962 год.

Для объяснения выявленных особенностей многолетних колебаний уровня озера привлекались данные наблюдений за температурой воздуха и осадками на метеостанциях Мурманск, Ковдор, Каневка и Янискоски (рис. 2).

В используемых рядах температур воздуха и годовых сумм осадков есть пропуски, связанные с отсутствием наблюдений за отдельные месяцы некоторых лет, что не позволяет рассчитать средние годовые значения. Однако, учитывая, что имеющиеся пропуски находятся в различных частях ряда, можно допустить, что их влияние на оценку значимости тренда не существенно.



Рис. 1. Хронологический график хода средних годовых уровней воды озера Умбозера

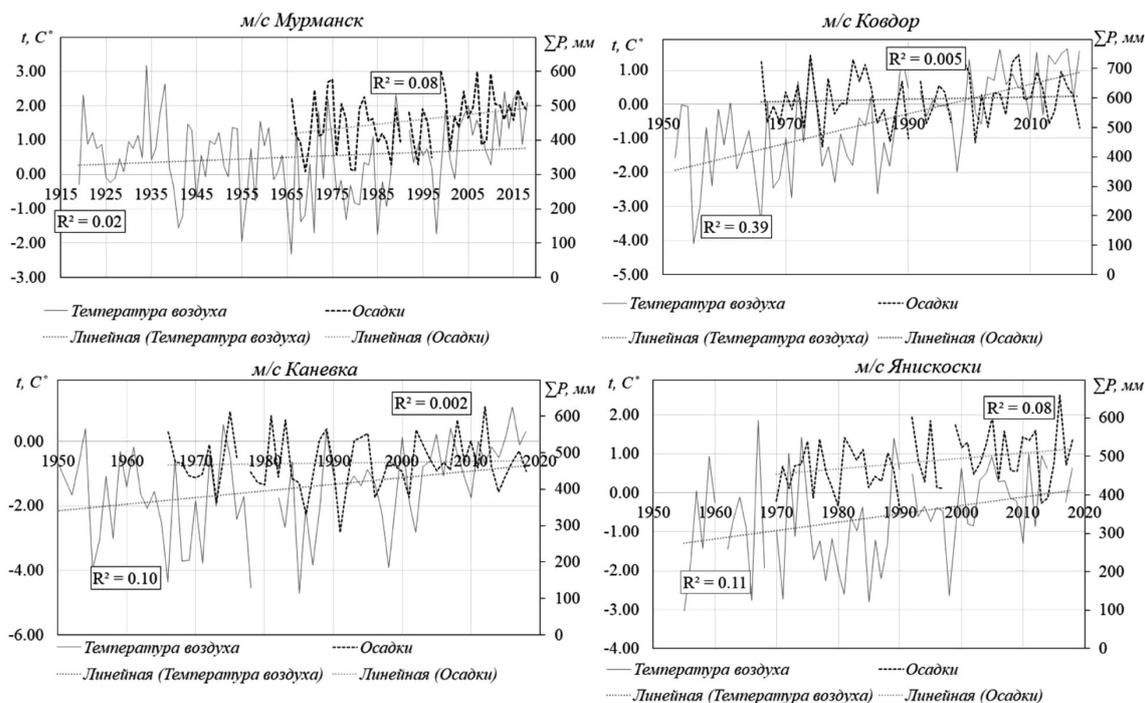


Рис. 2. Хронологические графики хода средних годовых температур воздуха и осадков

В рассматриваемом регионе наблюдается общее потепление климата. Для всех рядов средних годовых температур воздуха (кроме м/с Мурманск) характерен статистически значимый тренд на повышение, выраженный, однако, в разной степени для различных станций (табл. 1). Однако на фоне общего потепления наблюдается период относительного похолодания, особенно четко

выраженный на метеостанции Мурманск с 1940 по 1970 г. Увеличение осадков отмечается только для метеостанций Мурманск и Янискоски.

Отношение годовой суммы осадков ( $P$ , мм) к средней годовой температуре воздуха ( $T$  °C + 10 °C) (индекс де Мартона  $\alpha^M$ ) позволяет оценить общую увлажненность бассейна Умбозера (рис. 3).

**Таблица 1**

Статистические характеристики средних годовых значений температуры воздуха приземного слоя атмосферы и количества осадков за год

Средняя годовая температура воздуха						
м/с	среднее, 10°C	ско	Cv	Cs	R <sup>2</sup> , для тренда	значимость тренда
Мурманск	0,5	1,11	2,29	-0,33	0,027	-
Каневка	-1,5	1,39	-0,95	-0,6	0,095	+
Янискоски	-0,7	1,17	-1,79	-0,22	0,147	+
Ковдор	-0,5	1,37	-2,76	-0,4	0,392	+
Количество осадков за год, мм						
м/с	среднее, мм	ско	Cv	Cs	R <sup>2</sup> , для тренда	значимость тренда
Мурманск	491	82	0,17	-0,06	0,09	+
Каневка	484	61,3	0,13	0,32	0,04	-
Янискоски	518	73,4	0,14	0,44	0,09	+
Ковдор	598	83,16	0,14	-0,01	0	-

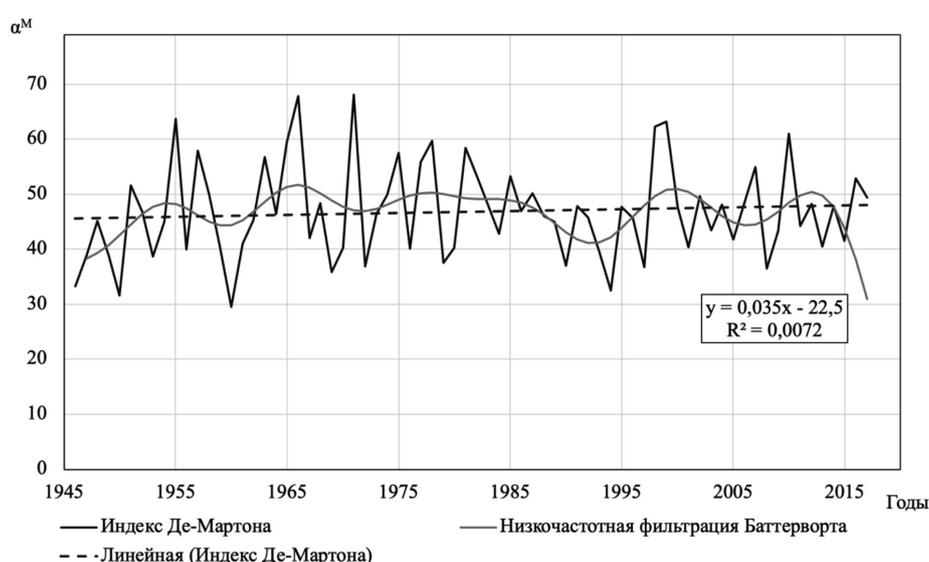


Рис. 3. Хронологический график изменения индекса де Мартона  $\alpha_M$  по данным м/с Мурманск

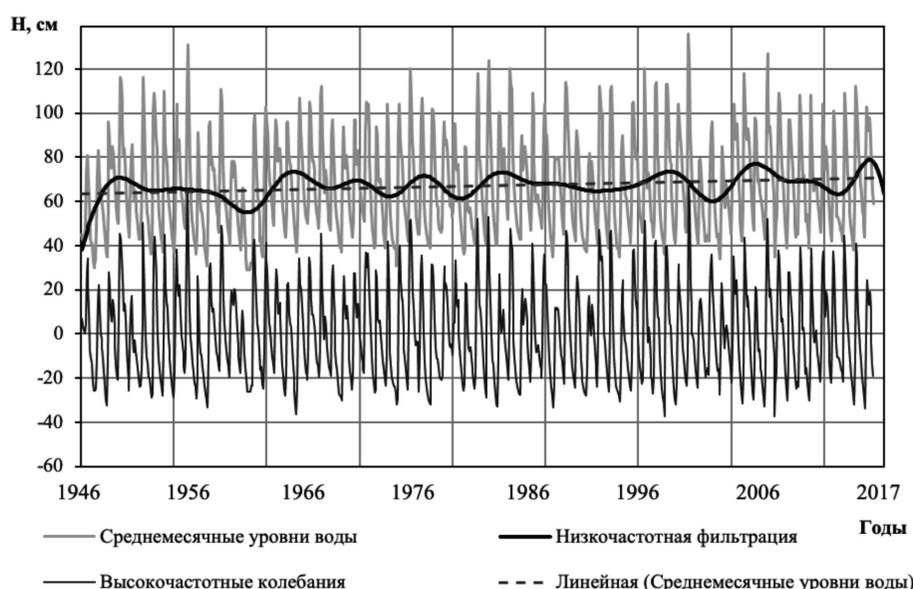


Рис. 4. Хронологический график хода средних месячных уровней воды озера Умбозеро

Временной ряд индекса де Мартона ( $\alpha^M$ ), рассчитанный по данным наблюдений на ближайшей к озеру метеостанции, отражает незначительное увеличение увлажненности бассейна Умбозера и наличие периодов локальной нестационарности, совпадающих с аналогичными периодами в колебаниях уровня воды в озере.

#### Особенности внутригодовых колебаний уровня озера

Для анализа ритмики годовой цикличности уровня воды в озере Умбозеро использовался метод теории периодически коррелированных случайных процессов (ПКСП). Теория и методы ПКСП достаточно подробно изложены в работе [4]. Основными вероятностными характеристиками ПКСП являются математическое ожидание  $m(t)$ , дисперсия  $D(t)$ , матрица корреляционных зависимостей внутригодовой из-

менчивости  $K(t, \tau)$ . Оценки вероятностных характеристик ПКСП  $m^*(t)$ ,  $D^*(t)$ ,  $K^*(t, \tau)$  вычислялись по ряду средних месячных высот уровней воды.

Поскольку ритмика годовой цикличности уровневых колебаний проявляется на фоне низкочастотных изменений, перед проведением расчетов характеристик внутригодового хода последовательно выполнялись низкочастотная и высокочастотная фильтрация Баттерворта с частотой среза  $\omega = 0,57$  рад./год (рис. 4).

Отметим, что низкочастотная фильтрация Баттерворта с частотой среза  $\omega = 0,57$  рад./год ряда средних месячных уровней позволила более детально выявить периоды локальной нестационарности многолетних колебаний.

На рис. 5 (а, б) представлены графики оценок математического ожидания и дисперсии внутригодовых колебаний уровня воды озера Умбозеро до и после фильтрации ряда.

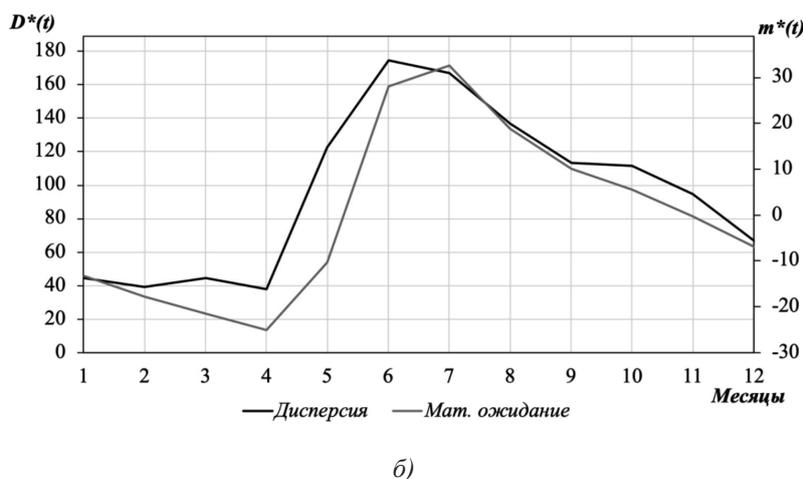
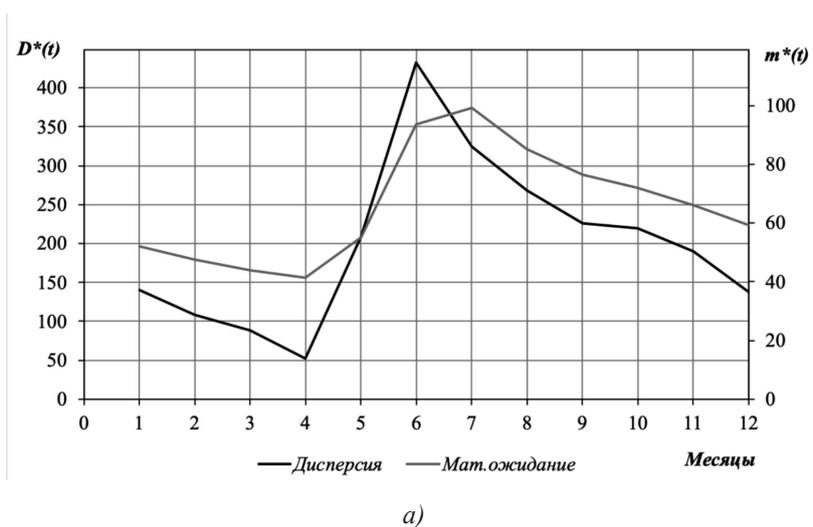
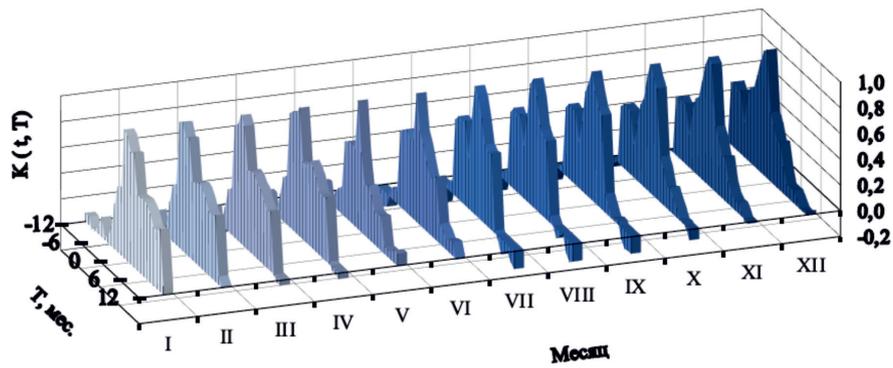
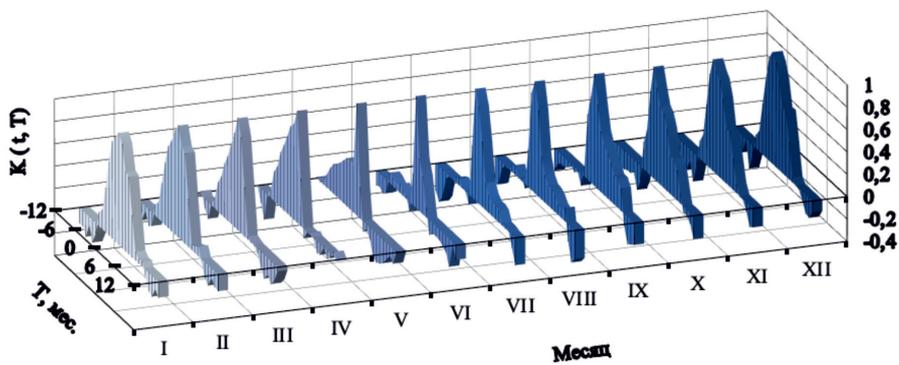


Рис. 5. Графики оценок математического ожидания и дисперсии среднемесячных уровней воды озера Умбозеро: а) до фильтрации; б) после фильтрации



а)



б)

Рис. 6. Графики оценок корреляционных зависимостей внутригодовой изменчивости уровней воды озера Умбозера: а) до фильтрации; б) после фильтрации

Таблица 2

Сравнение параметров авторегрессии AR(1) до и после фильтрации

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
До фильтрации	0,98	0,93	0,75	0,45	0,71	0,63	0,94	0,89	0,87	0,92	0,97	0,43
После фильтрации	0,93	0,84	0,86	0,42	0,28	0,47	0,87	0,77	0,75	0,84	0,92	0,94

Ход кривой  $m^*(t)$  как до, так и после фильтрации имеет четко выраженный сезонный характер: максимум приходится на июль, минимум – на апрель. Амплитуда колебания оценки  $m^*(t)$  после фильтрации не изменилась и составляет 58 см.

В отличие от хода кривой оценки дисперсии  $D^*(t)$  до фильтрации, когда минимум достигается в апреле и совпадает с минимумом оценки  $m^*(t)$ , для кривой  $D^*(t)$  после фильтрации характерно наличие периода минимальных значений с января по апрель. При этом максимум дисперсии до и после фильтрации приходится на июнь.

Амплитуда оценки дисперсии  $D^*(t)$  после фильтрации значительно уменьшилась – с 380 до 137 см<sup>2</sup>.

Для оценки внутригодовой коррелированности уровней воды в озере Умбозера были построены корреляционные зависимости  $K^*(t, \tau)$  для рядов до фильтрации и после фильтрации (рис. 6 а, б).

В табл. 2 приведены параметры авторегрессии первого порядка AR(1), аппроксимирующие корреляционные зависимости, представленные на рис. 6.

Из табл. 2 следует, что параметры AR(1) не значимы в апреле и декабре до фильтра-

ции и с апреля по июнь после фильтрации. Корреляционная связь ослабевает в период прохождения весеннего половодья на реках, впадающих в озеро. В остальное время года, когда преобладающим источником питания являются грунтовые воды, корреляционная связь является тесной.

Данная статья является продолжением цикла, посвященного изучению уровневого режима озер России [10; 11]. Описание водного режима некоторых озер Кольского полуострова также представлено в работе [12].

### Выводы

1. Потепление климата в бассейне Умбозера особенно чётко выражено с начала 1970-х годов.

2. Многолетние изменения индекса де Мартона  $\alpha^M$  и уровня воды в Умбозере достаточно хорошо согласуются и отражают увеличение увлажнённости территории. Поэтому временной ход уровней воды в озере можно рассматривать как индикатор изменений климата в его бассейне.

3. Для внутрigoдового хода уровня воды в озере Умбозеро характерен максимум в июле, минимум – в апреле. Средняя многолетняя амплитуда колебания составляет 58 см при средней многолетней амплитуде дисперсии – 137 см<sup>2</sup>.

### Заключение

Полученные результаты позволяют в дальнейшем рассматривать Умбозеро, функционирующее преимущественно в естественном режиме, в качестве озера-аналога при исследовании больших неизученных озёр Мурманской области, что внесет определенный вклад в освоение арктической зоны.

В дальнейшем предполагается установить связь между уровнем воды и основными составляющими водного баланса Умбозера – речным притоком и стоком.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ, № FSZU-2020-0009 «Исследование физических, химических и биологических процессов в атмосфере и гидросфере в условиях изменения климата и антропогенных воздействий».*

### Список литературы / References

1. Мьякишева Н.В. Многокритериальная классификация озер. СПб.: Гидрометеоиздат, 2009. 153 с.  
Myakisheva N.V. Multicriteria classification of lakes. SPb.: Gidrometeoizdat, 2009. 153 p. (in Russian).
2. Филатов Н.Н., Руховец Л.А., Назарова Л.Е., Георгиев Л.П., Ефремова Т.В., Пальшин Н.И. Влияние изменений

климата на экосистемы озер севера европейской территории России // Ученые записки РГГМУ. 2014. № 34. С. 48–55.

Filatov N.N., Rukhovets L.A., Nazarova L.E., Georgiev L.P., Efremova T.V., Palshin N.I. The impact of climate change on the ecosystems of lakes in the north of the European territory of Russia // Ucheniye zapiski RGGMU. 2014. No. 34. P. 48–55 (in Russian).

3. Лемешко Н.А., Сперанская Н.А. Особенности увлажнения Европейской территории России в условиях изменяющегося климата // Современные проблемы гидрометеорологии. СПб.: Астерион, 2006. С. 38–54.

Lemeshko N.A., Speranskaya N.A. Features of humidification of the European territory of Russia in a changing climate // Sovremennyye problemy gidrometeorologii. SPb.: Asterion, 2006. P. 38–54 (in Russian).

4. Рожков В.А. Теория и методы статистического оценивания вероятностных характеристик случайных величин и функций с гидрометеорологическими примерами. СПб.: Гидрометеоиздат, 2002. 780 с.

Rozhkov V.A. Theory and methods of statistical estimation of probabilistic characteristics of random variables and functions with hydrometeorological examples. SPb.: Gidrometeoizdat, 2002. 780 p. (in Russian).

5. Филатов Н.Н., Выручалкина Т.Ю., Дианский Н.А., Назарова Л.Е., Синюкович В.Н. Внутривековая изменчивость уровня крупнейших озер России // ДАН. 2016. Т. 467. № 5. С. 589–593.

Filatov N.N., Vyvachalkina T.Yu., Diansky N.A., Nazarova L.E., Sinyukovich V.N. Intra-century variability of the level of the largest lakes in Russia // DAN. 2016. Vol. 467. № 5. P. 589–593 (in Russian).

6. Выручалкина Т.Ю., Филатов Н.Н., Дианский Н.А., Гусев А.В. О прогнозе многолетних изменений уровня воды крупных озер // Труды Карельского научного центра РАН. 2016. № 9. С. 3–16.

Vyvachalkina T.Yu., Filatov N.N., Diansky N.A., Gusev A.V. On the forecast of long-term changes in the water level of large lakes // Trudy Karel'skogo nauchnogo centra RAN. 2016. № 9. P. 3–16 (in Russian).

7. Малинин В.Н., Гордеева С.М. Северо-Атлантическое колебание и увлажнение европейской территории России // Общество. Среда. Развитие. изд. Астерион № 2. 2014. С. 191–198.

Malinin V.N., Gordeeva S.M. North Atlantic oscillation and humidification of the European territory of Russia // Obshchestvo. Sreda. Razvitie. izd. Asterion № 2. 2014. P. 191–198 (in Russian).

8. Нестеров Е.С. Североатлантическое колебание; атмосфера и океан. М.: Триада, ЛТД, 2013. 144 с.

Nesterov E.S. North Atlantic oscillation; atmosphere and ocean. M.: Triada, LTD, 2013. 144 p. (in Russian).

9. Butterworth S. On the theory of filter amplifiers. Experimental wireless (and the wireless engineer). 1930. Vol. 7. № 85. P. 536–541.

10. Мьякишева Н.В., Бирюкова В.А. Разномасштабная изменчивость уровня воды в озерах России. I Озера Арктической зоны // Естественные и технические науки. 2018. № 12. С. 181–187.

Myakisheva N.V., Biryukova V.A. Different-scale variability of the water level in the lakes of Russia. I Lakes of the Arctic zone // Estestvennyye i tekhnicheskie nauki. 2018. № 12. P. 181–187 (in Russian).

11. Мьякишева Н.В., Давыденко Е.В., Орлов Д.А. Разномасштабная изменчивость уровня воды в озерах России. II Ладожское озеро // Естественные и технические науки. 2020. № 12. С. 166–172.

Myakisheva N.V., Biryukova V.A. Different-scale variability of the water level in the lakes of Russia. II Ladoga Lake // Estestvennyye i tekhnicheskie nauki. 2020. № 12. P. 166–172 (in Russian).

12. Давыденко Е.В., Гайдуклова Е.В., Дрегваль М.С. Особенности уровневого режима озер Кольского полуострова // Гидрометеорология и экология. 2020. № 61. С. 437–445.

Davydenko E.V., Gaidukova E.V., Dregval M.S. Features of the level regime of lakes of the Kola peninsula // Gidrometeorologiya i ekologiya. 2020. № 61. P. 437–445 (in Russian).

УДК 631:332.3

## ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ

Никонорова И.В., Гуменюк А.Е., Пивоваров И.А.

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова»,  
Чебоксары, e-mail: niko-inna@yandex.ru, annagumenuk@yandex.ru

В статье рассматриваются инструменты системы для постоянного мониторинга состояния сельскохозяйственных угодий и развития технического оснащения современных предприятий сельского хозяйства. Применение геоинформационных систем (ГИС) для оценки плодородия почв позволит повысить эффективность использования земельных ресурсов. Анализ вегетативных индексов и карты продуктивности поля, полученных с помощью ГИС, позволяет дистанционно определить такой показатель качества почвы, как продуктивность. А также найти участки почвы, к которым можно применить индивидуальный дифференцированный подход по внесению удобрений и режиму полива. Это позволит перейти к реализации технологий точного земледелия, сэкономить затраты и улучшить состояние почвы. Для усовершенствования метода оценки продуктивности при помощи ГИС, дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и построения зональных карт вегетативных индексов следует рассмотреть большее количество данных. Для дешифрования снимков и оценки плодородия исследуемых почв используется специализированная в области сельского хозяйства ГИС EOS Crop monitoring. EOS Crop monitoring имеет простой и понятный интерфейс и позволяет дешифровать космические снимки и получать индексы, характеризующие состояние почвы, в автоматическом режиме. И в данной работе с помощью ГИС EOS Crop monitoring исследуются почвы сельскохозяйственных угодий, расположенных в Чебоксарском районе Чувашской Республики. В качестве данных дистанционного зондирования используются снимки спутника SENTINEL-2, способного передавать как панхроматические, так и мультиспектральные изображения в полосовом режиме. Почвы исследуемого участка дерново-подзолистые, среднесуглинистые. Категория земель – сельскохозяйственного назначения, вид разрешенного использования – для сельскохозяйственного производства. Изменения индексов носят ярко выраженный сезонный характер. В течение года поле имеет неоднородный характер влажности почвы, есть участки, которые требуют дополнительного полива. Данные пространственного распределения индексов, собранные за несколько лет, с большой достоверностью позволяют выявить имеющие постоянную локализацию участки низкой продуктивности.

**Ключевые слова:** плодородие почв, состояние земель сельскохозяйственного назначения, географическая информационная система, агроландшафтное районирование земель

## ASSESSMENT OF THE FERTILITY STATE OF AGRICULTURAL AREAS WITH THE USE OF GIS TECHNOLOGIES

Nikonorova I.V., Gumenyuk A.E., Pivovarov I.A.

Chuvash State University named after I.N. Ulyanov, Cheboksary,  
e-mail: niko-inna@yandex.ru, annagumenuk@yandex.ru

Article discusses the tools of the system for continuous monitoring of the state of agricultural land and the development of technical equipment of modern agricultural enterprises. Using of GIS will increase the efficiency of the use of land resources. Analysis of vegetative indices and its mapping obtained using GIS makes it possible to remotely determine of soil productivity. Also to find areas of soil to which you can apply an individual differentiated approach to fertilization and irrigation regime. This will allow the transition to the implementation of precision farming technologies, save costs and improve the condition of the soil. To improve the method for assessing productivity using GIS, remote sensing data and the construction of zonal maps of vegetative indices, more data should be considered. To decipher the images and assess the fertility of the studied soils, the specialized in the field of agriculture GIS EOS Crop monitoring is used. GIS has a simple and intuitive interface and allows decrypting satellite images and receiving indices characterizing the state of the soil in automatic mode. Article examines the soils of agricultural land located in Cheboksary region, Chuvash Republic. The soils are sod-podzolic, medium loamy. Changes in the indices are of a pronounced seasonal nature. Throughout the year, the field has a non-uniform character of soil moisture; there are areas that require additional irrigation. The data of the spatial distribution of field indexes, collected over several years, with high reliability allow us to identify areas of low productivity with constant localization.

**Keywords:** soil fertility, state of agricultural lands, geographic information system, agrolandscape zoning of lands

Федеральным законом РФ «О государственном регулировании обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения» (1998) [1] проведение почвенных, агрохимических, фитосанитарных и эколого-токсикологических обследова-

ний и мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения определено одним из основных направлений агрохимического обслуживания. Этим законом в области обеспечения плодородия почв определены в качестве важнейших научные

исследования по разработке методик оценки состояния земель сельскохозяйственного назначения и учета показателей состояния их плодородия с учетом природно-сельскохозяйственного районирования, а также гидрофизических свойств почв [2–4].

Цель исследования – дать современную оценку плодородия почв сельхозугодий Чебоксарского района Чувашской Республики с использованием ГИС-технологий.

#### **Материалы и методы исследования**

В качестве надежного современного инструмента анализа состояния сельхозугодий может выступать географическая информационная система (ГИС) района исследований, содержащая структурированные сведения о фактическом состоянии земель и способы анализа пригодности земель под основные типы землепользования, а также схемы оптимизации размещения сельскохозяйственных угодий и посевов отдельных культур [5, 6].

Геоинформационная система позволяет картографировать географические объекты, а затем визуализировать и анализировать их по большому количеству параметров и на основе этих данных прогнозировать различные события.

Использование ГИС-технологий в инвентаризации земельных угодий, землеустройстве и кадастровых работах предусматривает решение следующих задач:

- оценка пригодности земель под возделывание сельскохозяйственных культур;
- мониторинг плодородия и отдельных свойств почв;
- оптимизация структуры землепользования, нарезка полей, участков;
- агроландшафтное районирование земель;
- региональные ограничения на использование земель;
- экономические показатели при размещении севооборотов в разных агроландшафтных группах земель [7].

ГИС объединяет средства обычных пакетов картографического отображения, функции тематического представления информации на основе привязки табличных данных к географическому местоположению с учетом дополнительной информации по находящимся в этих местах объектам. ГИС связывает инструменты графического отображения, работу с электронными таблицами, базами и хранилищами данных. Созданные карты не привязаны к отдельному моменту времени. В любой момент мож-

но обновить информацию, привязанную к карте, и внесенные изменения автоматически отразятся на ней.

К самым известным зарубежным ГИС относятся: 1) ArcGIS, AtlasGIS (Environmental Systems Research Institut, США); 2) AutoCAD (Autodesk, Inc., США); 3) EOS (EOS Data Analytics inc., США). К наиболее используемым отечественным ГИС разработкам относятся: 1) ГИС «Панорама АГРО», ГИС «Карта 2011» (ЗАО «КБ «ПАНОРАМА»); 2) Мобильная ГИС «ГеоПлан», ИАС «ГЕО-Агро» (ЗАО «ИЦ Геомир»); 3) ГИС «GeoDraw» (Центр геоинформационных исследований института географии РАН); 4) Web-ГИС «GeoMixer» (ООО «ИТЦ «СКАНЭКС»); 5) ГИС «АгроУправление», ГИС GEO'S (ООО «ЦентрПрограммСистем»). В последнее время все большее распространение получили web-ГИС. Одно из важных преимуществ архитектуры web-ГИС заключается в возможности интеграции данных реального времени, поступающих от различных датчиков.

В данной работе исследуются почвы сельскохозяйственных угодий, расположенных в Чебоксарском районе Чувашской Республики.

Для определения местоположения почв при подготовке к дешифрованию космических снимков используется публичная кадастровая карта <https://pkk.rosreestr.ru/>.

В качестве данных дистанционного зондирования используются снимки спутника SENTINEL-2, предназначенного для получения снимков с высоким разрешением, способного передавать как панхроматические, так и мультиспектральные изображения в полосовом режиме. Снимки размещены на <https://eos.com/landviewer>. Характеристики спектральных диапазонов спутника приведены в качестве общегеографической основы, для создания карт динамики плодородия почв используется цифровая карта на основе данных EOS EarthObservingSystem <https://eos.com/>.

Для дешифрования снимков и оценки плодородия исследуемых почв используется специализированная в области сельского хозяйства ГИС EOS Crop monitoring. EOS Crop monitoring имеет простой и понятный интерфейс и позволяет дешифровать космические снимки и получать индексы, характеризующие состояние почвы, в автоматическом режиме. Кроме того, результаты дешифрования доступны через интернет, что позволяет работать с данными участка дистанционно.

**Результаты исследования  
и их обсуждение**

На подготовительном этапе дешифрования определялось местоположение поля. Поле площадью 28 га, расположено 56° с.ш. 47° в.д. Почвы дерново-подзолистые, среднесуглинистые. Поле имеет угол склона 5°. Поле законтуренное. Вкрапленный леса нет. Содержание гумуса 1,5%. Категория земель – сельскохозяйственного назначения, вид разрешенного использования – для сельскохозяйственного производства. Определение местоположения поля показано на рис. 1.



Рис. 1. Определение местоположения поля

Поле находится близко к дороге и недалеко от пунктов реализации сельскохозяйственной продукции и приобретения промышленных товаров.

Для дешифрования были выбраны снимки спутника SENTINEL-2, полученные в различных комбинациях спектральных каналов. На рис. 2 представлен снимок поля в каналах 2, 3, 4.

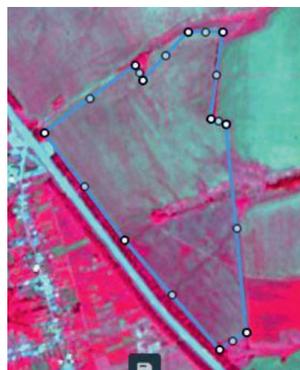
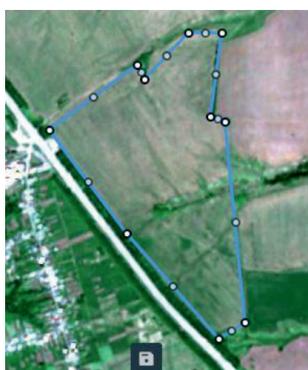
Также были выбраны снимки в других комбинациях спектральных каналов, которые используются для расчета вегетативных индексов и индекса влажности. На рис. 2, 3 представлен снимок поля в различных комбинациях спектральных каналов.

Для дешифрования космических снимков использовалась ГИС Crop Monitoring. Способ дешифрования – автоматизированное. На рис. 4 представлен снимок поля, загруженный в Crop Monitoring.

По спутниковым снимкам определялись вегетативные индексы и строились зонированные карты для определения проблемных участков почвы. На рис. 4 показаны карты вегетативных индексов и индекса влажности поля. Полученные карты вегетации позволяют сделать вывод, что поле имеет части с сорными растениями и части, требующие внесения азотных удобрений. Режим влажности поля неоднородный, есть сухие участки, требующие дополнительного полива.

Использование серии космических снимков на некотором отрезке времени позволяет проследить, как меняются карты вегетации. На рис. 5 показан график изменения индекса вегетации NDVI участка в течение года.

Индекс NDMI связан с фотосинтетической активностью растений. Уровень значений NDMI начинает возрастать в апреле. Минимум NDMI приходится на вторую половину лета, когда заканчивают развитие злаковые травы.



а) в комбинации спектральных каналов 2, 3, 4      б) в комбинации спектральных каналов 3, 4, 8

Рис. 2. Снимок спутника SENTINEL-2

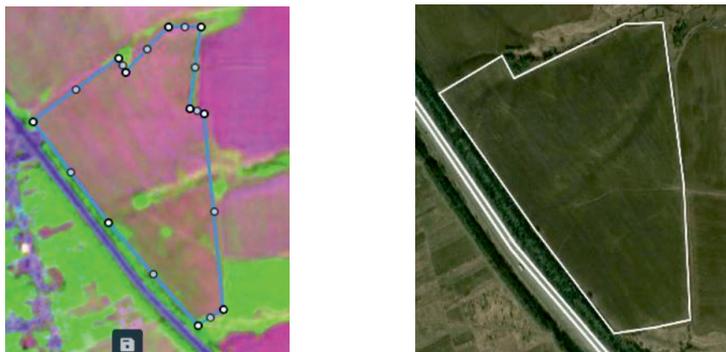
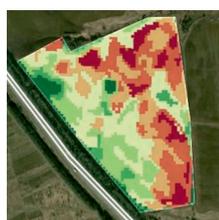
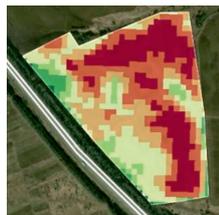


Рис. 3. Снимок спутника SENTINEL-2 в комбинации спектральных каналов 2, 8, 11



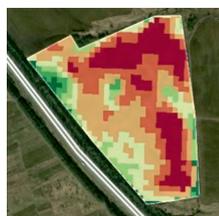
Карта индекса NDVI

зеленый цвет, 6,5% NDVI = 0,85 высокий уровень вегетации, поле может содержать сорные растения  
90,5% NDVI = 0,6÷0,78 средний уровень вегетации  
красный цвет, 3% NDVI = 0,54 низкий уровень вегетации, поле может иметь проблемы с вредителями или заболеваниями растений



Карта индекса NDRE

зеленый цвет, 5,4% NDRE = 0,59 высокий уровень вегетации  
82,9% NDRE = 0,37÷0,52 средний уровень вегетации  
красный цвет, 12,5% NDRE = 0,34 низкий уровень вегетации



Карта индекса MSAVI

зеленый цвет, 2,9% MSAVI = 0,61 высокий уровень вегетации  
84,8% MSAVI = 0,35÷0,52 средний уровень вегетации  
красный цвет, 12,3% MSAVI = 0,34 низкий уровень вегетации



Карта индекса ReCI

зеленый цвет, 2% ReCI = 14,41 высокий уровень вегетации  
69,1% ReCI = 3,63÷5,75 средний уровень вегетации  
красный цвет, 30,9% ReCI = 2,73 низкий уровень вегетации, поле требует внесения азотных удобрений



Карта индекса NDMI

зеленый цвет, 3,4% NDMI = 0,63 высокий уровень влажности  
69,6% NDMI = 0,05÷0,27 средний уровень влажности  
красный цвет, 27% NDMI = 0 низкий уровень влажности  
поле имеет разные режимы влажности почвы

Рис. 4. Карты индексов NDVI, NDRE, MSAVI, ReCI, NDMI

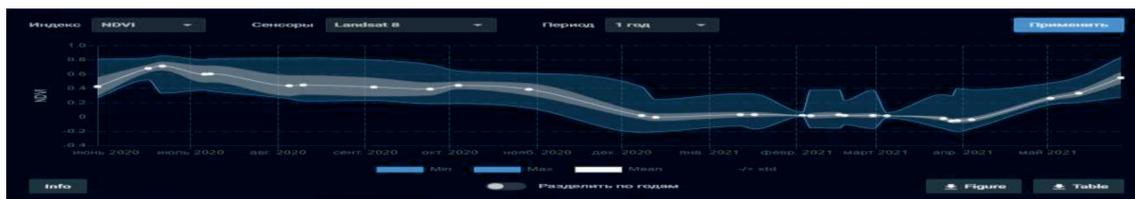


Рис. 5. График изменения индекса вегетации NDVI участка в течение года

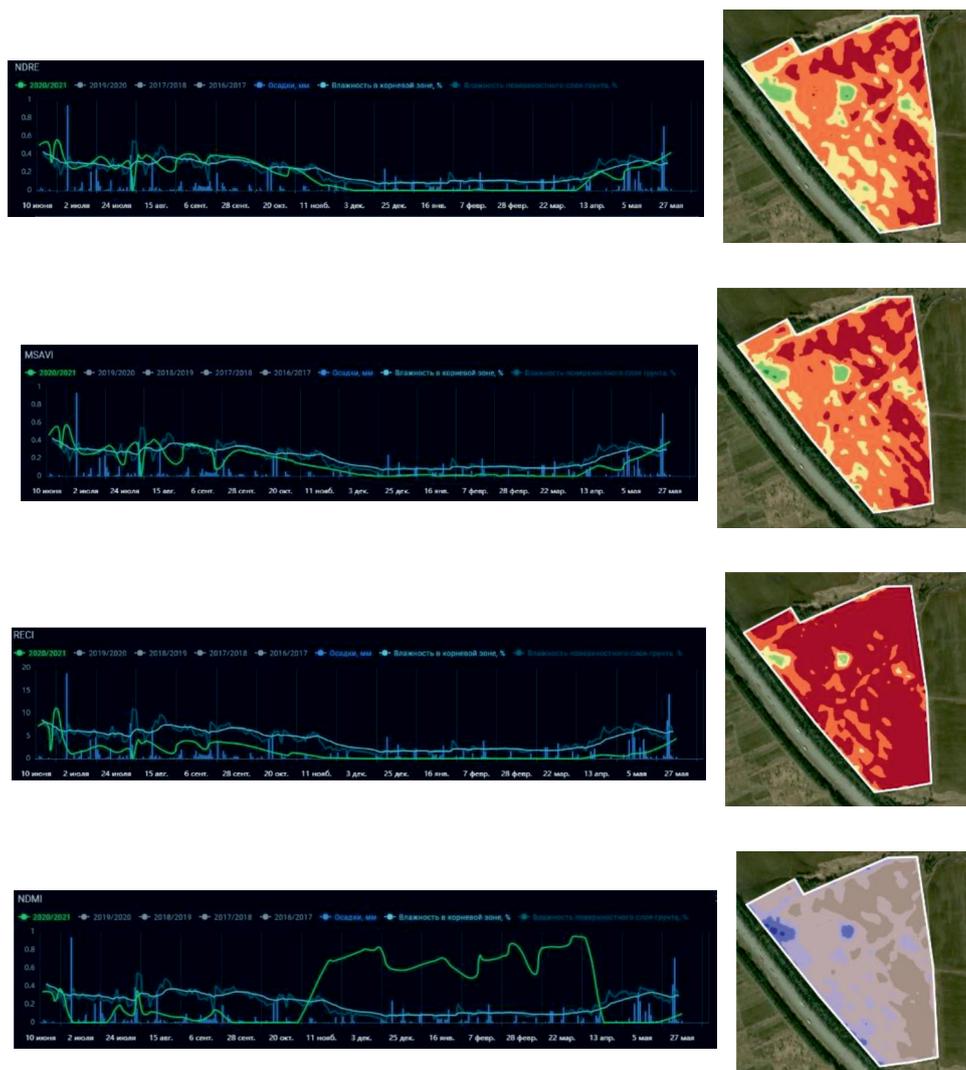


Рис. 6. Изменение индекса NDMI

Осенние дожди вызывают вторичную вегетацию злаков. На графике виден максимум. Низкие значения индекса не обязательно означают отсутствие растительного покрова. На NDMI оказывает влияние почвенный покров. На отражение почвами световой энергии влияет их увлажнение, структура, пористость.

На рис. 6 показаны графики изменения индексов вегетации и индекса влажности поля в течение года.

Изменения индексов носят ярко выраженный сезонный характер. В течение года поле имеет неоднородный характер влажности почвы, есть участки, которые требуют дополнительного полива.

Данные пространственного распределения индекса NDVI на поле, собранные за несколько лет, с большой достоверностью позволяют выявить имеющие постоянную локализацию участки низкой продуктивности. Если такие участки на поле есть и ежегодно воспроизводятся, то их появление связано с какой-то постоянной проблемой, которая из года в год негативно воздействует на развитие посевов [8]. На рис. 7 показана карта продуктивности исследуемого поля.



Рис. 7. Карта продуктивности поля

По карте продуктивности (рис. 7) видно, что поле показывает скорее среднюю продуктивность. Уровень продуктивности поля, найденный при помощи автоматизированного анализа вегетативного индекса NDVI за несколько лет, составляет около 40%. Для повышения продуктивности [8] рекомендуется осуществить отбор проб для агрохимического анализа почвы, а затем, по необходимости, вносить удобрения согласно результатам агрохимического анализа. Также следует обратить внимание и на агрофизические свойства почвы. Возможно, средняя продуктивность связана с агрофизическими особенностями поля и его гидрологическими условиями.

Метод определения продуктивности поля по карте вегетативного индекса NDVI является статистическим. Для увеличения степени достоверности определения продуктивности исследуемого поля надо рассмотреть более длительный отрезок времени. Также можно рассмотреть карты продуктивности нескольких полей и выбрать критерии оценки продуктивности.

### Заключение

Таким образом, анализ вегетативных индексов и карты продуктивности поля, полученных с помощью ГИС, позволяет дистанционно определить такой показатель качества почвы, как продуктивность. А так-

же найти участки почвы, к которым можно применить индивидуальный дифференцированный подход по внесению удобрений и режиму полива. Это позволит перейти к реализации технологий точного земледелия, сэкономить затраты и улучшить состояние почвы. Для усовершенствования метода оценки продуктивности при помощи ГИС, ДЗЗ и построения зональных карт вегетативных индексов следует рассмотреть большее количество данных.

### Список литературы / References

1. Федеральный закон от 16.07.1998 г. № 101-ФЗ «О государственном регулировании обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения» (с изм. 2020 года). [Электронный ресурс]. URL: <https://base.garant.ru/12112328/> (дата обращения: 07.12.2021).
2. Federal Law of July 16, 1998 No. 101-FZ «On State Regulation of Ensuring the Fertility of Agricultural Lands» (as amended in 2020). [Electronic resource]. URL: <https://base.garant.ru/12112328/> (date of access: 07.12.2021).
3. Васюков П.В., Васюков С.В., Гасанов И.М., Сироткин В.В. Гидрофизические параметры как основа качественной оценки основных зональных почв Чувашской Республики // Вестник Чувашского университета. 2013. № 3. С. 83–89.
4. Vasyukov P.V., Vasyukov S.V., Gasanov I.M., Sirotkin V.V. Hydrophysical parameters as a basis for a qualitative assessment of the main zonal soils of the Chuvash Republic // Bulletin of the Chuvash University. 2013. No. 3. P. 83–89.
5. Vasyukov P.V., Vasyukov S.V., Sirotkin V.V. Use of the data of remote sensing for definition of hydrophysical parameters of soils of the east and the south of the European Russia // American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture. 2014. T. 8. No. 9. P. 27–34.
6. Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2003. 240 с.
7. Methodical instructions for conducting integrated monitoring of soil fertility of agricultural lands. M.: FGNU «Rosinformagrotech», 2003. 240 p.
8. Варламов А.А., Гальченко С.А., Никонорова И.В., Мулендеева А.В., Ильин В.Н. Теория и практика управления земельными ресурсами регионов Среднего Поволжья. Чебоксары, Чувашский государственный университет. 2016. 240 с.
9. Varlamov A.A., Galchenko S.A., Nikonorova I.V., Mulendeeva A.V., Ilyin V.N. Theory and practice of land management in the regions of the Middle Volga region. Cheboksary, Chuvash State University. 2016. 240 p.
10. Копишев И.Е., Иманбаева М.Т., Байгарин Д.Д., Айдарбекова А.А. Применение ГИС-технологий при мониторинге состояния сельскохозяйственных угодий: сборник материалов международной научно-практической конференции. Астана, 2016. С. 289.
11. Kopishev I.E., Imanbaeva M.T., Baigarin D.D., Aydarbekova A.A. Application of GIS technologies in monitoring the state of agricultural land: Collection of materials of the international scientific and practical conference. Astana, 2016. P. 289.
12. Дитц Л.Ю., Билецкая Н.Л. Информационная оценка земель Новосибирской области // Гео-Сибирь. 2005. Т. 3. № 1. С. 131–135.
13. Dietz L.Yu., Biletskaya N.L. Information assessment of the lands of the Novosibirsk region // Geo-Siberia. 2005. T. 3. No. 1. P. 131–135.
14. Железнова С. Дистанционная оценка зон продуктивности поля – еще один шаг к точному земледелию. [Электронный ресурс]. URL: <https://exactfarming.com/ocenka-produktivnosti-polya> (дата обращения: 21.11.2021).
15. Zheleznova S. Remote assessment of field productivity zones – another step towards precision farming [Electronic resource]. URL: <https://exactfarming.com/ocenka-produktivnosti-polya> (date of access: 21.11.2021).

УДК 502.75:581.93

## ОЦЕНКА ФЛОРИСТИЧЕСКОГО СОСТАВА ГОСУДАРСТВЕННОГО ПРИРОДНОГО ЗАКАЗНИКА КРАЕВОГО ЗНАЧЕНИЯ «БЕШТАУГОРСКИЙ» СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЯ

Окрут С.В., Зеленская Т.Г., Степаненко Е.Е., Безгина Ю.А., Шкиря А.С.

ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет»,

Ставрополь, e-mail: inf@stgay.ru

В статье определен видовой состав растений экосистемы заказника, установлено общее количество видов, выделены преобладающие семейства и виды в классах однодольных и двудольных растений, многочисленным среди однодольных растений является семейство Мятликовых, или Злаковых, что свидетельствует о присутствии во флоре заказника злаково-разнотравных степей, остепнённых лугов. Для фитоценоза характерно присутствие семейств Осоковых (Cyperaceae) и Орхидных (Orchidaceae), к единичным видам можно отнести: сусяк зонтичный (*Butomus umbellatus*), ряска маленькая (*Lemna minor*), венечник ветвистый (*Anthericum ramosum*), тамус обыкновенный (*Tamus communis*). Количественная характеристика класса двудольных растений показала преобладание семейства сложноцветных, к часто встречаемым видам можно отнести представителей семейства бобовых. Проведен анализ эндемизма растительного покрова государственного природного заказника «Бештаугорский», представлено соотношение групп эндемиков, в котором 32% эндемичных видов составляют стеноэндемики и 18% эвриэндемики. Характеристика видовой разнообразия данных групп эндемиков свидетельствует о доминировании семейства астровых, вид ястребинка. Ястребинка бештаусскообразная (*Hieracium beschtaviceforme*) распределена в фитоценозе рассеянно. Остальные виды ястребинок относятся к редко встречающимся. Анализ эндемизма представляет собой часть географического анализа, это обусловлено тем, что само явление эндемизма определяет ограниченность ареала вида. В фитоценозе заказника представители группы субэндемиков составляют 50%, отмечено, что данные виды имеют ареалы, которые выходят за пределы изучаемого региона на граничные территории. Определена роль эндемиков в сохранении биологического разнообразия, среди стеноэндемиков кизильник Нефёдова (*Cotoneaster nefedovii*), шиповник удлинённоплодный (*Rosa dolichocarpa*), мордовник зеленолиственный (*Echinops viridifolius*) относятся к очень редко встречаемым видам на территории заказника, представители данной группы эндемиков нуждаются в сохранении уникального генофонда.

**Ключевые слова:** флора, видовой состав, фитоценоз, семейство, вид, эндемики, заказник, биологическое разнообразие

## ESTIMATION OF THE FLORISTIC COMPOSITION OF THE STATE NATURAL RESERVE OF LAND VALUE «BESHTAUGORSKY», STAVROPOL REGION

Okrut S.V., Zelenskaya T.G., Stepanenko E.E., Bezgina Yu.A., Shkirya A.S.

Stavropol State Agrarian University, Stavropol, e-mail: inf@stgay.ru

The article defines the species composition of plants in the ecosystem of the reserve, total number of species established, the predominant families and species in the classes of monocotyledonous and dicotyledonous plants are distinguished, numerous among monocotyledonous plants are the family Meadlikovy or grasses, which indicates the presence in the flora of the reserve of gramineous-forb steppes, steppe meadows, the phytocenosis is characterized by the presence of families Sedge (Cyperaceae) and Orchid (Orchidaceae), rare species include umbellate susak (*Butomus umbellatus*), small duckweed (*Lemna minor*), branched corolla (*Anthericum ramosum*), common tamus (*Tamus communis*). The quantitative characteristics of the class of dicotyledonous plants showed the predominance of the Asteraceae family, common species include representatives of the legume family. The analysis of the endemism and the vegetation cover of the state natural reserve «Beshtaugorsky», shows the ratio of endemic groups, in which 32% of endemic species are stenoendemics and 18% are euryendemics. Characteristics of the species diversity of these groups of endemics indicates the dominance of the Aster family, the hawk species. Beshtausky hawk (*Hieracium beschtaviceforme*) distributed in the phytocenosis scattered. The rest of the hawk species are rare. Endemism analysis is part of geographic analysis, connected with the phenomenon of endemism determines the limited range of the species. In the phytocenosis of the reserve sub-endemic groups make up 50%, these species have ranges that extend to border areas. The role of endemics in the conservation of biological diversity is determined, stenoendemic cotoneaster Nefedov (*Cotoneaster nefedovii*), elongated wild rose (*Rosa dolichocarpa*), mordovnik green-leaved (*Echinops viridifolius*) are very rare species in the reserve, representatives of this group of endemics need to preserve a unique gene pool.

**Keywords:** flora, species composition, phytocenosis, family, species, endemic, reserve, biological diversity

Необходимость сохранения биологического разнообразия обусловлена экологическим законом, определяющим низкий уровень устойчивости экосистем с малой численностью входящих в нее видов [1]. Стабильность в природных системах обе-

спечивается за счет имеющихся иерархической организации и интегрированных уровней. Поскольку в структуре экосистемы ведущую роль играют флористические сообщества, изучение растительного покрова является актуальной задачей [2].

Задачу сохранения биологического разнообразия призваны решать особо охраняемые природные территории (ООПТ) [3]. В современных условиях создание новых и поддержание в стабильном состоянии имеющихся ООПТ является одним из приоритетных направлений государственной политики в области экологии [4]. Направление связано с выполнением Российской Федерацией международных обязательств в сфере охраны окружающей среды [5]. Изучение флористических особенностей ООПТ и инвентаризация видового состава растительности является первоочередной задачей сохранения биологического разнообразия.

Цель исследования – провести анализ биологического разнообразия фитоценозов заказника, оценить эндемизм растительного покрова. Объектом нашего исследования явился Государственный природный заказник краевого значения «Бештаугорский», расположенный на территории Ставропольского края. Здесь расположены такие горы, как Змейка, Острая, Медовая, Тупая, Бык, Машук, Лысая, Железная, Развалка, Верблюд.

#### Материалы и методы исследования

В работе были использованы некоторые параметры семейственного спектра флоры. Информационной основой послужили флористические описания, содержащиеся в материалах комплексного экологического обследования заказника. При проведении исследований пользовались маршрутным методом. План маршрута составлялся с целью максимального охвата количества присутствующих на изучаемой территории экотопов и соответствующих им типов растительности. С целью уточнения распределения видов и количественных параметров закладывают еще пять учетных площадок по одному квадратному метру, расположен-

ных по углам и в центре площадки. Определение видового состава проводили, используя популярный атлас-определитель «Дикорастущие растения». Для описания фитоценозов использовали такие признаки, как видовой состав, количественные и качественные отношения между растениями, обилие видов, степень значимости в фитоценозе, особенности пространственной структуры, а также характер местообитания растительности. При определении растений-эндемиков использовался анализ систематического состава.

#### Результаты исследования и их обсуждение

Анализ данных по результатам обследования территории заказника свидетельствует о многообразии растительного сообщества, присутствующего в экосистеме заказника. Исследование территории заказника показало, что растительный покров в большей степени соответствует степной зоне. Растительные сообщества гор Бештау, Железная, Развалка представлены высотным поясом лесостепи. Отмечено чередование массивов широколиственного леса с луговыми степями. На горе Бештау сохранился реликтовый буковый лес. Оценка нарушенности территории показала, что большая часть равнинных территорий распаханы или застроены. Целинные участки сохранились фрагментами в балках, западинах и склонах гор, где преобладает луго-степная растительность.

При анализе флоры заказника установили, что общее количество составляет 1587 видов растений, относящихся к 128 семействам и 6 отделам. Наибольшее количество видов насчитывают покрытосеменные растения. Анализ присутствующих видов класса однодольных растений на территории заказника приведен в табл. 1.

Таблица 1

Присутствие видов в фитоценозе заказника класса однодольных растений

№ п/п	Название семейства	Латинское название	Количество видов
1	Рогозовые	Typhaceae	4
2	Ежеголовниковые	Sparganiaceae	3
3	Рдестовые	Potamogetonaceae	5
4	Занникелиевые	Zannichelliaceae	2
5	Частуховые	Alismataceae	3
6	Сусаковые	Butomaceae	1
7	Мятликовые (Злаковые)	Poaceae	143
8	Осоковые	Cyperaceae	41

Окончание табл. 1			
№ п/п	Название семейства	Латинское название	Количество видов
9	Ароидные	Araceae	3
10	Рясковые	Lemnaceae	1
11	Ситниковые	Juncaceae	9
12	Безвременниковые	Colchicaceae	3
13	Асфоделовые	Asphodelaceae	3
14	Венечниковые	Anthericaceae	1
15	Лилейные	Liliaceae	16
16	Гиацинтовые	Hyacinthaceae	12
17	Луковые	Alliaceae	19
18	Спаржевые	Asparagaceae	3
19	Ландышевые	Convallariaceae	6
20	Амариллисовые	Amaryllidaceae	3
21	Диоскорейные	Dioscoreaceae	1
22	Ирисовые(касатиковые)	Iridaceae	10
23	Орхидные	Orchidaceae	27

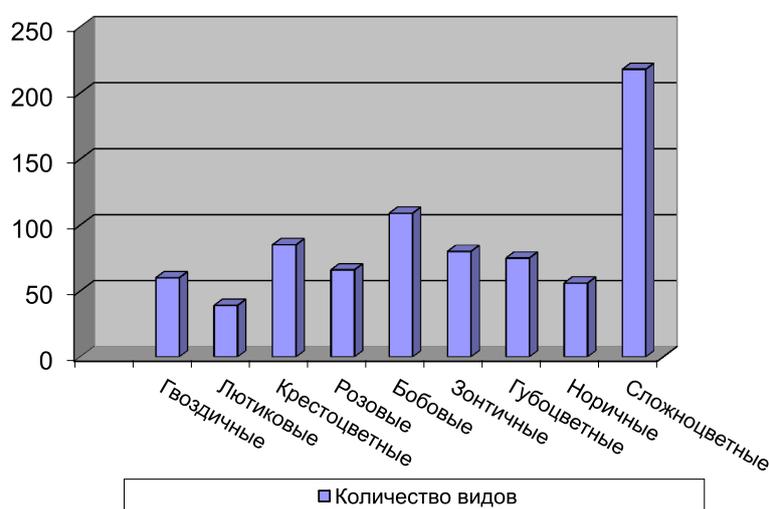


Рис. 1. Количественная характеристика семейств класса двудольных растений

Наиболее многочисленным среди однодольных растений является семейство Мятликовых, или Злаковых (Poaceae), оно представлено 143 видами. Семейство Осоковых (Cyperaceae) представлено 41 видом, Орхидных (Orchidaceae) – 27 видами. К единичным видам в биоценозе можно отнести такие виды, как сусак зонтичный (*Butomus umbellatus*) – семейство Сусаковые (Butomaceae), ряска маленькая (*Lemna minor*) – семейство Рясковые (Lemnaceae), венечник ветвистый (*Anthericum ramosum*) – семейство Венечниковые (Anthericaceae), Тамус обыкновенный (*Tamus communis*) – семейство Диоскорейные (Dioscoreaceae).

Преобладание видов злаковых свидетельствует о присутствии во флоре заказни-

ка злаково-разнотравных степей, остепнённых лугов.

На территории заказника отмечено многочисленное присутствие видов, относящихся к классу двудольных растений. На рис. 1 приведена количественная характеристика преобладающих семейств, среди гемикриптофитов.

Данные свидетельствует о преобладании семейства сложноцветных, что составило 218 видов. На исследуемой территории было определено 109 представителей семейства бобовых. Присутствие крестоцветных и зонтичных составило 85 и 80 видов соответственно.

Среди семейств, представленных относительно исследуемой территории, к редко

встречающимся в фитоценозе можно отнести виды лютиковых, розовых, норичниковых.

В ходе исследований был проведен анализ эндемизма растительного покрова государственного природного заказника «Бештаугорский». Анализ эндемизма представляет собой часть географического анализа, это обусловлено тем, что само явление эндемизма определяет ограниченность ареала вида.

Установили, что из 1587 видов, произрастающих на территории заказника, 34 вида относятся к эндемикам, что составляет 2,14%. Соотношение групп эндемиков приведено на рис. 2.

В фитоценозе заказника среди эндемичных видов 32% составляют стеноэндемики и 18% эвриэндемики. Изучение данных видов важно для сохранения биологического разнообразия. Достаточно часто данные группы эндемиков относятся к объектам первоочередной охраны, являясь носителя-

ми уникального генофонда. На представителей группы субэндемиков приходится 50%.

Состояние стеноэндемиков в фитоценозе приведено в табл. 2.

По количеству в группе стеноэндемиков доминирует семейство Астровых, второе место занимает семейство Розовые, по одному виду отмечены представители семейств Маковые и Бурачниковые. В семействе Астровые преобладают ястребинки. Ястребинка бештаусскообразная (*Hieracium beschtauiciforme*) распределена в фитоценозе рассеянно. Остальные виды ястребинок относятся к редко встречающимся.

Среди стеноэндемиков кизильник Нефёдова (*Cotoneaster nefedovii*), шиповник удлинённоплодный (*Rosa dolichocarpa*), мордовник зеленолиственный (*Echinops viridifolius*) относятся к очень редко встречаемым видам на территории заказника. Состояние эвриэндемиков в фитоценозе приведено в табл. 3.

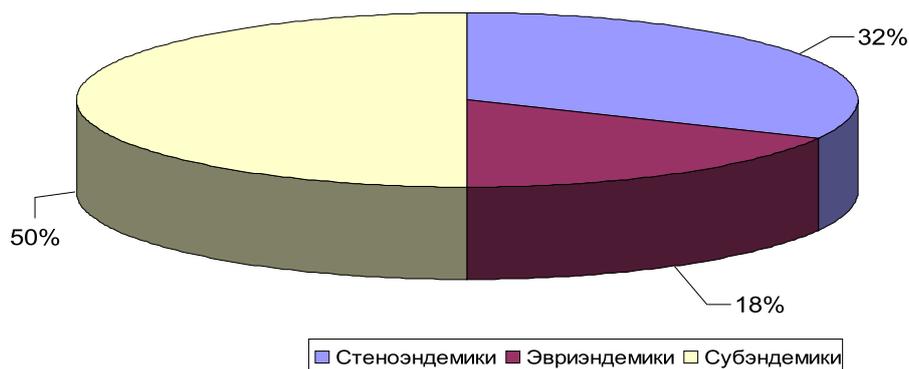


Рис. 2. Соотношение групп эндемиков в фитоценозе заказника

Таблица 2

Видовое разнообразие стеноэндемиков в фитоценозе заказника

№ п/п	Название вида	Обилие вида	Семейство
1	Мак Пачоского ( <i>Papaver dubium</i> )	Sp.	Маковые
2	Кизильник Нефёдова ( <i>Cotoneaster nefedovii</i> )	Rs.	Розовые
3	Шиповник удлинённоплодный ( <i>Rosa dolichocarpa</i> )	Rs.	Розовые
4	Окопник подкумский ( <i>Symphytum podcumicum</i> )	R.	Бурачниковые
5	Мордовник зеленолиственный ( <i>Echinops viridifolius</i> )	Rs.	Астровые
6	Ястребинка железистоветочковая ( <i>Hieracium adenobrachion</i> )	R.	Астровые
7	Ястребинка крупноватая ( <i>Hieracium. gigantellum</i> )	R.	Астровые
8	Ястребинка предкавказская ( <i>Hieracium caucasiense</i> )	R.	Астровые
9	Ястребинка бештаусскообразная ( <i>Hieracium beschtauiciforme</i> )	Sp.	Астровые
10	Ястребинка заострённолистная ( <i>Hieracium acuminatifolium</i> )	R.	Астровые
11	Ястребинка средняя ( <i>Hieracium medianiforme</i> )	R.	Астровые

Sp. – рассеянно, Rs. – очень редко, R. – редко.

Таблица 3

Видовое разнообразие эвриэндемиков в фитоценозе заказника

№ п/п	Название вида	Обилие вида	Семейство
1	Кострец Гордягина ( <i>Bromopsis gordjagini</i> )	Sp.	Злаковые
2	Гипсолюбка шаровидная ( <i>Gypsophila globulosa</i> )	Sp.	Гвоздичные
3	Ястребинка волосистосоцветная ( <i>Hieracium chaetothyrsum</i> )	Pl.	Астровые
4	Ястребинка жестковатая ( <i>Hieracium rigidellum</i> )	Sp.	Астровые
5	Ястребинка бештаусская ( <i>Hieracium beschtavicum</i> )	Sp.	Астровые
6	Мак Альберта ( <i>Papaver alberti</i> )	R.	Маковые

Sp. – рассеянно, Rs. – очень редко, R. – редко, Pl. – обычно.

Среди эвриэндемиков, так же как в группе стеноэндемиков, преобладающие виды относятся к семейству Астровых. По одному виду представлены семейства Злаковые, Гвоздичные, Маковые. В семействе Астровые среди эвриэндемиков аналогично стеноэндемикам преобладают ястребинки. Ястребинка волосистосоцветная (*Hieracium chaetothyrsum*) в фитоценозе является обычным видом. Ястребинка жестковатая (*Hieracium rigidellum*), ястребинка бештаусская (*Hieracium beschtavicum*), а также виды костреца Гордягина (*Bromopsis gordjagini*), гипсолюбка шаровидная (*Gypsophila globulosa*) относятся к рассеянными видам. Эфемерный вид мак Альберта (*Papaver alberti*) в биоценозе заказника является редким видом.

### Выводы

Анализ флоры заказника свидетельствует о преобладании среди однодольных растений в фитоценозе заказника семейства Мятликовых, или Злаковых, редко встречаются представители семейств Осоковых и Орхидных. Среди двудольных растений преобладает семейство сложноцветных, второе место по численности занимают бобовые.

В фитоценозе заказника среди эндемичных преобладающими являются стеноэндемики и эвриэндемики. Представители данных групп эндемиков, являясь единственными в своем роде, часто нуждаются в охране. Изучение эндемизма играет ведущую роль при проведении флористического районирования, даёт возможность выявить систематические, хорологические, ценоэкологические особенности эндемиков, определить их роль в экосистеме, что позволяет сохранить биологическое разнообразие.

### Список литературы / References

1. Викторов В.П., Куранова Н.Г., Черняева Е.В. Стратегии сохранения редких видов растений // Вестник ТГУ. Серия «Биология и экология». 2018. № 3. С. 106–129.
2. Viktorov V.P., Kuranova N.G., Chernyaeva E.V. Conservation strategies for rare plant species // Vestnik TvGU. Seriya «Biologiya i ekologiya». 2018. № 3. P. 106–129 (in Russian).
3. Дзыбов Д.С., Лысенко Н.Г., Дармилов Р.А. О переводе в статус ботанического заказника интразонального леса в сухостепной зоне Ставрополя // Экологический вестник Северного Кавказа. 2017. № 4. С. 56–64.
4. Dzybov D.S., Lysenko N.G., Darmilov R.A. On the transfer to the status of a botanical reserve of an intrazonal forest in the dry-steppe zone of the Stavropol Territory // Ekologicheskiy vestnik Severnogo Kavkaza. 2017. № 4. P. 56–64 (in Russian).
5. Ильяшенко В.Ю., Хляп Л.А., Ильяшенко Е.И., Куваев А.В., Мищенко А.Л., Бобров В.В., Варшавский А.А. Концепция значимых территорий и ее значение для эколого-просветительской деятельности и сохранения биоразнообразия на ООПТ // Научные исследования в заповедниках и национальных парках России: тезисы Все-рос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2016. С. 90–91.
6. Ilyashenko V.Yu., Khlyap L.A., Ilyashenko E.I., Kuvayev A.V., Mishchenko A.L., Bobrov V.V., Varshavsky A.A. The concept of significant territories and its significance for environmental education and biodiversity conservation in protected areas // Nauchnyye issledovaniya v zapovednikakh i natsional'nykh parkakh Rossii: tezisy Vse-ros. nauch.-prakt. konf. s mezhdunar. uchastiyem. Petrozavodsk: Karel'skiy nauchnyy tsentr RAN, 2016. P. 90–91 (in Russian).
7. Коновалов Д.А., Михеев А.Д., Лукашук С.П., Григоренко С.В. Сохранение редких и исчезающих видов растений на Ставрополье // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2013. № 3. С. 841–844.
8. Konovalov D.A., Mikheev A.D., Lukashuk S.P., Grigorenko S.V. Conservation of rare and endangered plant species in the Stavropol Territory // Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk. 2013. № 3. P. 841–844 (in Russian).
9. Лысенко Т.М., Иванова А.В., Архипова Е.А. Особенности флоры и растительности памятника природы «Синяя гора» (Саратовская область, Озинский район) // Известия Саратовского университета. 2018. Т. 18. № 2. С. 237–239.
10. Lysenko T.M., Ivanova A.V., Arkhipova E.A. Features of flora and vegetation of the natural monument «Blue Mountain» (Saratov region, Ozinsky district) // Izvestiya Saratovskogo universiteta. 2018. Vol. 18. № 2. P. 237–239 (in Russian).

УДК 504.064.2

## АККУМУЛЯЦИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ДРЕВЕСНЫМИ ПОРОДАМИ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫМИ КУЛЬТУРАМИ В УСЛОВИЯХ ПРИМАГИСТРАЛЬНОЙ ЭКОСИСТЕМЫ

Олива Т.В., Колесниченко Е.Ю., Панин С.И., Манохина Л.А.

ФГБОУ ВО «Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина»,  
Белгородская область, пос. Майский, e-mail: olivatv@mail.ru

В статье описаны результаты исследования по аккумуляции тяжелых металлов свинца и кадмия в почве, в листьях древесных пород и зеленой массе сельскохозяйственных культур примагистральной экосистемы. Результаты исследования показали, что в зависимости от удаленности от автомобильной дороги свинец и кадмий по-разному распределяются в почвах экосистемы. Максимальные значения тяжелых металлов установлены для почв примагистральной лесополосы. «Зеленый щит» выполняет свое назначение, почвы лесополосы и листья деревьев максимально аккумулируют свинец и кадмий, изымая их из миграции в агроценозе. Минимальная концентрация валового свинца обнаружена в почвенных образцах в 20 м, а кадмия – в 200 м от полевосащитной лесополосы. Установлен ряд снижения способности листьев деревьев накапливать свинец: *Robinia pseudoacacia* L. < *Ulmus parvifolia* Jacq. < *Fraxinus lanceolata* Borkh. < *Acer negundo* L. Уровень свинца в листьях *Acer negundo* L. выше в 2,8 и в 1,3 раза, чем в листьях *Robinia pseudoacacia* L. и *Ulmus parvifolia* Jacq. соответственно. В листьях всех древесных пород примагистральной полосы содержание свинца выше ПДК (по Прохоровой) в 2,5–6,9 раза, содержание кадмия – значительно ниже ПДК. Среднее содержание свинца в зеленой массе сельскохозяйственных культур формирует возрастающий ряд: пшеница < ячмень < горох < люцерна. Коэффициент биологического поглощения свинца увеличивается по мере увеличения расстояния от примагистральной лесозащитной полосы. Среднее содержание кадмия в зеленой массе сельскохозяйственных культур формирует возрастающий ряд: на расстоянии 20–100 м от лесополосы: горох > пшеница > ячмень > люцерна; на расстоянии 200 м от лесополосы: горох > пшеница > люцерна > ячмень. Коэффициент биологического поглощения кадмия для изучаемых сельскохозяйственных культур выше по сравнению с аналогичным коэффициентом для свинца. Коэффициент биологического накопления кадмия зеленой массой люцерны – самый высокий и при увеличении расстояния от примагистральной лесозащитной полосы становится максимальным.

**Ключевые слова:** примагистральная экосистема, свинец, кадмий, древесные породы растений, сельскохозяйственные культуры, коэффициент поглощения

## HEAVY METALS ACCUMULATION BY WOOD SPECIES AND AGRICULTURAL PLANT IN CONDITIONS OF ROADSIDE ECOSYSTEM

Oliva T.V., Kolesnichenko E.Yu., Panin S.I., Manokhina L.A.

The Belgorod state agrarian university named after V. Gorin, Belgorod region,  
Mayskiy, e-mail olivatv@mail.ru

The article describes the results of a study on the heavy metals accumulation of lead and cadmium in soil, in tree leaves and in the green mass of agricultural plant of a roadside ecosystem. The results of the study demonstrated lead and cadmium measured off differently in the ecosystem depending on the distance from the road. The maximum values of heavy metals are set for soils of the roadside wood line. The «Green Shield» serves its purpose, the soils of wood line and tree leaves accumulate lead and cadmium as much as possible, removing them from migration in agroecosystem. A minimum concentration of total lead was found in soil samples of 20 m, and cadmium 200 m from the field-protective wood line. The number of impairment in ability the tree leaves accumulate to accumulate lead have been established: *Robinia pseudoacacia* L. < *Ulmus parvifolia* Jacq. < *Fraxinus lanceolata* Borkh. < *Acer negundo* L. Lead level in leaves *Acer negundo* L. are in 2,8 and 1,3 times higher than in *Robinia pseudoacacia* L. and *Ulmus parvifolia* Jacq. leaves respectively. In the leaves of all wood species of the roadside the lead content is 2,5–6,9 times higher than the maximum concentration limit (according to Prokhorova), the cadmium content is significantly lower than the maximum concentration limit. The average content of lead in the green mass of agricultural plant forms an increasing series: wheat < barley < pea < lucern. The coefficient of biological absorption of lead increases as the distance from roadside wood line increases. The average cadmium content in the green mass of agricultural plant forms an increasing number: at a distance of 20–100 m from the wood line: peas > wheat > barley > lucern; 200 m from the wood line: peas > wheat > lucern > barley. The coefficient of biological absorption of cadmium for the studied agricultural plant is higher than the same coefficient for lead. The coefficient of biological accumulation of cadmium by the green mass of lucern is the highest and as the distance from the roadside wood line increases, it becomes maximum.

**Keywords:** roadside ecosystem, lead, cadmium, wood species, agricultural plant, the coefficient of accumulation

Для формирования устойчивого состояния примагистральных экосистем, подвергающихся постоянному антропогенному воздействию, необходимо тщательно подбирать древесные породы, способные поглощать экотоксиканты из окружающей

среды, а также превращать их в клеточные метаболиты [1–3]. Следует отметить, что высшие растения существенно различаются между собой способностью ассимилировать токсиканты, в том числе тяжелые металлы (ТМ) [4, 5]. Известно, что их аккумулирую-

щие способности зависят от роста, развития, биологического потенциала дерева, а также от природно-климатических условий территории и функционального назначения лесозащитной полосы [6–8]. Рассчитано, что от эксплуатации автомобильного транспорта доля загрязняющих веществ составляет более 55% от общей массы газообразных загрязнителей воздуха. Основную опасность из тяжелых металлов для растений составляют свинец и кадмий, так как они имеют особенность концентрироваться в приземном слое атмосферы и неблагоприятно воздействовать на древесные породы и сельскохозяйственные культуры [9, 10]. Тяжелые металлы начинают воздействовать на организм растения при самом первом контакте и сорбции надземными вегетативными органами, прежде всего листьями. Вследствие этого крона деревьев с большой ассимилирующей поверхностью является барьером для распространения многих ксенобиотиков, но и они сами в разной степени повреждаются этими токсикантами [11–13]. Поэтому для создания зеленой лесозащитной зоны необходимо оптимально подбирать древесные культуры, имеющие высокие накопительные способности и интенсивный темп роста и в то же время наивысшую устойчивость к воздействию этих веществ. В Белгородской области разработана и внедряется стратегия развития «Зеленая столица», которая предусматривает озеленение и ландшафтное обустройство территорий области, формирование лесополос на территориях объектов дорожной и придорожной инфраструктуры.

Целью нашей работы было изучение аккумуляции тяжелых металлов свинца и кадмия разными древесными породами и сельскохозяйственными культурами в условиях примыкающей экосистемы. Задачами исследований были: изучение особенностей накопления свинца и кадмия в почве и листьях деревьев придорожной лесозащитной лесополосы; изучение особенностей накопления свинца и кадмия растениями агроценоза, скрининг древесных культур, максимально аккумулирующихся в листьях ТМ; а также расчет коэффициента биологического поглощения свинца и кадмия древесными и сельскохозяйственными растениями придорожной лесозащитной лесополосы.

#### Материалы и методы исследования

Все исследования проведены в 2018–2019 гг. в условиях стационара Лаборатории по изучению систем земледелия им. Н.Р. Асыки ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, который тер-

риториально расположен вдоль федеральной трассы М2 «Крым»: Москва – Симферополь.

Объектами исследований являлись старовозрастные древесные породы растений лесополосы и ряд сельскохозяйственных культур, произрастающих согласно зернобобовому севообороту стационара. Древесные растения, наиболее широко представленные в лесозащитной полосе: ясень ланцетный (*Fraxinus lanceolata* Borkh.), вяз мелколистный (*Ulmus parvifolia* Jacq.), клен американский (*Acer negundo* L.), акация белая (*Robinia pseudoacacia* L.). Сельскохозяйственные культуры: озимая пшеница (*Triticum aestivum* L.), ячмень (*Hordeum vulgare* L.), горох (*Pisum sativum* L.), люцерна (*Medicago sativa* L.). Для изучения аккумуляции тяжелых металлов древесными породами и сельскохозяйственными культурами в условиях примыкающей экосистемы были отобраны 68 растительных и 72 почвенных образца.

Почва изучаемого участка стационара – это чернозем типичный. Количество общего гумуса в почвенных образцах равно 5,2–5,6%. Сумма поглощенных оснований и гидролитическая кислотность составляют около 40 мг-экв. и 2,2 мг-экв. соответственно. Степень насыщенности основаниями – около 98%. Следовательно, почвы стационара продуктивны и предполагают в соответствии с принятыми севооборотами высокие урожаи сельскохозяйственных культур. Сбор почвенного и растительного материала проводился в июле и августе – в период максимального развития и физиологической активности фотосинтетического аппарата древесных растений. Пробоотбор средних образцов почвы, зеленой массы сельскохозяйственных культур и листьев древесных пород осуществляли в одно и то же время, в одних и тех же точках отбора согласно рекомендациям нормативных документов и ГОСТ 17.4.4.02. Отбор листьев проводили с нижней части кроны деревьев приблизительно одного средневозрастного генеративного состояния. Отбор образцов зеленой массы сельскохозяйственных культур соответствовал системе севооборота в агроценозе Лаборатории по изучению систем земледелия. Отбор почвы и зеленой массы сельскохозяйственных культур проводили на расстоянии от примыкающей защитной лесополосы 20, 100 и 200 м. Все химические испытания проводили при нашем участии в Аккредитованной испытательной лаборатории ФГБОУ ВО «Белгородский государственный аграрный университет им. В.Я. Горина».

Таблица 1

Динамика среднего валового содержания свинца в почве лесополосы и агроценоза, мг/кг (натуральной влажности)

№ п/п	Место отбора почвенного образца	Валовая концентрация Pb	ОДК	РГФ
1	Лесополоса (защитная зона)	42,20 ± 0,44	1,3 ОДК	2,5РГФ
2	20 м от лесополосы (буферная зона)	18,84 ± 0,16	0,6 ОДК	1,1РГФ
3	100 м от лесополосы	21,46 ± 0,22	0,7 ОДК	1,3 РГФ
4	200 м от лесополосы	23,30 ± 0,15	0,7 ОДК	1,4 РГФ

### валовое содержание свинца, мг/кг

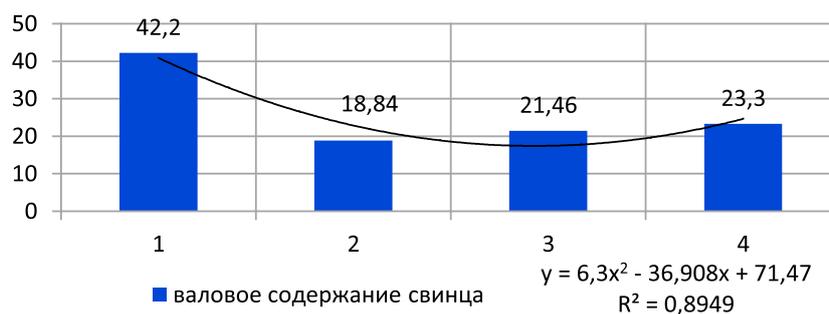


Рис. 1. Распределение свинца в почвах примагистральной экосистемы: 1 – почва полезащитной лесополосы; 2 – почва в 20 м от полезащитной лесополосы (буферная зона); 3 – почва агроценоза в 100 м от полезащитной лесополосы; 4 – почва агроценоза в 200 м от полезащитной лесополосы

Массовую долю тяжелых металлов в растительных образцах определяли методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии (ГОСТ 30178-96). Содержание подвижных форм почвенных микроэлементов определяли по методическим указаниям ЦИНАО. Металлы из образцов почвы извлекали ацетатно-аммонийным буферным раствором (рН 4,8). Отношение почвы к буферному раствору 1:10. Время экстракции 1 ч при взбалтывании на ротаторе. Были рассчитаны коэффициенты биологического поглощения свинца и кадмия растительными объектами. Составление диаграмм по результатам исследований осуществляли с использованием компьютерной программы Excel в среде операционной системы Microsoft Windows.

#### Результаты исследования и их обсуждение

Динамика среднего валового содержания свинца в изучаемых образцах почвы из-под деревьев защитной лесополосы и пахотной почве агроценоза представлена в табл. 1 и на диаграммах.

ОДК (ориентировочно допустимая концентрация) свинца в пахотных почвах

составляет 32 мг/кг, РГФ (региональный геохимический фон) для свинца находится в пределах 14,6–16,8 мг/кг. При анализе данных табл. 1 и диаграммы (рис. 1) видно, что уровень валового содержания свинца в почве примагистральной защитной лесополосы превышает в 1,3 раза значения ОДК и в 2,5 раза значения РГФ.

Установлено, что в почве на расстоянии от 20 до 200 м от примагистральной лесополосы валовое содержание свинца не превышает ОДК и находится в пределах 0,6–0,7 ОДК. Но при сравнении уровня тяжелого металла в пахотных почвах агроценоза со значениями регионального геохимического фона обнаружены факты загрязнения почв токсичным свинцом от 1,1 до 2,5 значений РГФ. Зону в 20 м от полезащитной лесополосы можно отнести к так называемой буферной зоне. Зависимость представлена полиномиальной линией тренда: уменьшение уровня содержания металла на расстоянии 20 м от лесополосы и затем увеличение на расстоянии 100, максимальное содержание – 200 м от примагистральной лесополосы. Величина достоверности аппроксимации  $R = 0,9$ , т.е. стремится к единице, что свидетельствует о достоверности

происходящих изменений. Валовое содержание тяжелых металлов является потенциальным резервом подвижных форм токсичных элементов, так как они могут активно участвовать в биогеохимическом цикле веществ при некоторых условиях и свойствах окружающей среды. Валовое содержание указывает на общую загрязненность почвы металлами, но в целом не отражает их доступности для организма растений, а уровни содержания подвижных металлов отражают путь миграции и доступности для организма растений. Динамика среднего содержания подвижных форм металла свинца в изучаемых образцах почвы из-под деревьев защитной лесополосы и пахотной почве агроecosистемы представлена в табл. 2.

Содержание подвижной формы свинца в почвах варьировало от 5,56 до 12,8 мг/кг. Концентрация подвижного свинца в почвах примагистральной лесополосы превышала значения ОДК, а на расстоянии 20 и 100 м стремилась к ориентировочно допустимому уровню. На расстоянии 200 м от защитной зеленой полосы содержание подвижной формы свинца не превышало ОДК. Процентное содержание подвижного свинца от валового количества составляло: для лесополосы – 29,7%; для зоны 20 м от лесополосы (буферной) – 32,1%; для зоны 100 м от лесополосы – 28,3% и для зоны 200 м от лесополосы – 24,4%. Более низкое содержание подвижной формы свинца в пахотных плодородных почвах на расстоянии 200 м от примагистральной лесополосы возмож-

но объяснить более напряженным путем миграции химического элемента в организм растения, а это представляет определенные риски получения экологически безопасной растениеводческой продукции.

Динамика среднего валового содержания кадмия в изучаемых образцах почвы из-под деревьев защитной лесополосы и пахотной почве агроecosистемы представлена в табл. 3.

Валовое содержание кадмия в пахотных почвах Белгородской области в среднем составляет 0,62–0,69 мг/кг. ОДК кадмия в пахотных почвах составляет 2 мг/кг, РГФ для кадмия находится в пределах 0,69 мг/кг. Валовое содержание кадмия в почвах изучаемой экосистемы варьировало от 0,78 мг/кг до 1,05 мг/кг. При анализе данных таблицы 3 видно, что уровень валового кадмия в почве примагистральной защитной лесополосы не превышает значения ОДК. Однако сравнение уровня тяжелого металла в пахотных почвах агроценоза со значением регионального геохимического фона обнаруживает напряженную ситуацию и аккумуляцию этого химического элемента: повышение уровня кадмия от 1,1 до 1,4 значений РГФ. Зависимость представлена линией тренда: линейная и величина достоверности аппроксимации  $R = 0,7$  (рис. 2). Следовательно, обнаруженная тенденция постепенного уменьшения значений валового содержания кадмия от лесополосы в направлении пахотных земель агроценоза недостоверна.

**Таблица 2**

Динамика среднего содержания подвижных форм свинца в почве лесополосы и агроценоза, ацетатно-аммонийный буферный раствор, рН 4,8, мг/кг (натуральной влажности)

№ п/п	Место отбора почвенного образца	Подвижная форма свинца	ОДК (6,0)
1	Лесополоса (защитная зона)	12,55 ± 0,25	2,1 ОДК
2	20 м от лесополосы (буферная зона)	6,04 ± 0,14	1,0 ОДК
3	100 м от лесополосы	6,08 ± 0,20	1,0 ОДК
4	200 м от лесополосы	5,68 ± 0,12	0,95 ОДК

**Таблица 3**

Динамика среднего валового содержания кадмия в почве лесополосы и агроценоза, мг/кг (натуральной влажности)

№ п/п	Место отбора почвенного образца	Валовая концентрация кадмия	ОДК	РГФ
1	Лесополоса (защитная зона)	0,99 ± 0,06	0,5 ОДК	1,4 РГФ
2	20 м от лесополосы (буферная зона)	0,84 ± 0,03	0,4 ОДК	1,2 РГФ
3	100 м от лесополосы	0,90 ± 0,04	0,5 ОДК	1,3 РГФ
4	200 м от лесополосы	0,75 ± 0,03	0,4 ОДК	1,1 РГФ

## валовое содержание кадмия, мг/кг

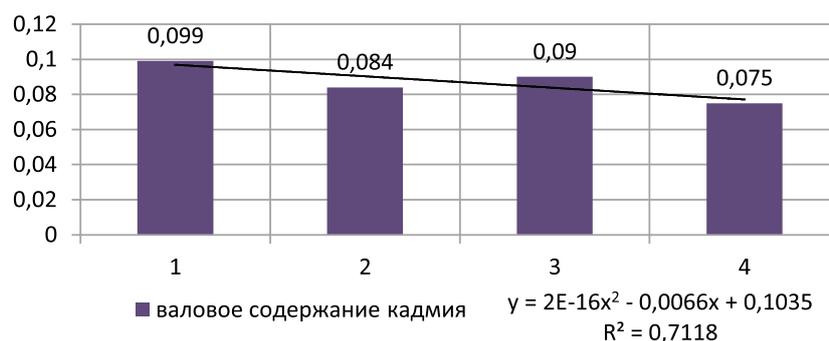


Рис. 2. Распределение кадмия в почвах примагистральной экосистемы: 1 – почва полезащитной лесополосы; 2 – почва в 20 м от полезащитной лесополосы (буферная зона); 3 – почва агроценоза в 100 м от полезащитной лесополосы; 4 – почва агроценоза в 200 м от полезащитной лесополосы

Таблица 4

Динамика среднего содержания подвижных форм кадмия в почве лесополосы и агроценоза, ацетатно-аммонийный буферный раствор, рН 4,8, мг/кг (натуральной влажности)

№ п/п	Место отбора почвенного образца	Подвижная форма Cd	ОДК
1	Лесополоса (защитная зона)	0,48 ± 0,06	2,4 ОДК
2	20 м от лесополосы (буферная зона)	0,20 ± 0,04	1,0 ОДК
3	100 м от лесополосы	0,20 ± 0,02	1,0 ОДК
4	200 м от лесополосы	0,15 ± 0,05	0,75 ОДК

Динамика содержания подвижных форм кадмия в изучаемых образцах почвы из-под деревьев защитной лесополосы и пахотной почве агроэcosystemы представлена в табл. 4.

Содержание подвижной формы кадмия в почвах варьировало от 0,10 мг/кг до 0,54 мг/кг. Концентрация подвижного кадмия в почвах примагистральной лесополосы превышала значения ОДК, а на расстоянии 20 м и 100 м стремилась к ориентировочно допустимому уровню. Обнаружено, что на расстоянии 200 м от защитной зеленой полосы содержание подвижной формы кадмия не превышало ОДК. Процентное содержание подвижного кадмия от валового количества составляло: для лесополосы – 48,5%; для зоны 20 м от лесополосы (буферной) – 23,8%; для зоны 100 м от лесополосы – 22,2% и для зоны 200 м от лесополосы – 20,9%. Более высокие значения подвижной формы кадмия в почвах примагистральной лесополосы, по всей видимости, объясняются существенным поступлением этого химического элемента и, возможно, изменением свойств данной почвенной экосистемы.

Итак, анализ динамики распределения ТМ в почвах экосистемы показывает, что минимальная концентрация валового свин-

ца обнаружена в почвенных образцах в 20 м от полезащитной лесополосы, а кадмия – в 200 м от полезащитной лесополосы. Максимальные значения ТМ установлены для почв примагистральной лесополосы. Следовательно, «зеленый щит» выполняет свое назначение и почвы лесополосы максимально аккумулируют свинец и кадмий, изымая таким путем их из миграции в агроценозе.

В табл. 5 показаны результаты динамики среднего содержания свинца и кадмия в листьях деревьев примагистральной лесополосы.

По литературным научным источникам, среднее фоновое содержание свинца и кадмия в надземной части древесных пород изменяется в широких пределах. Нами обнаружено, что в листьях клена американского и ясеня ланцетного свинец аккумулируется максимально по сравнению с другими изучаемыми породами древесных растений. Установлен ряд последовательности снижения способности листьев деревьев накапливать свинец: акация белая < вяз мелколистный < ясень ланцетный < клен американский. Уровень свинца в листьях клена американского был выше в 2,8 и в 1,3 раза, чем в листьях акации белой и вяза мелколистного соответственно.

При сравнении значений содержания данного токсичного металла в листьях с предельно допустимыми значениями, рассчитанными по Прохоровой, обнаружено, что для всех древесных пород примагистральной зеленой полосы имеет место превышение значения свинца в 2,5–6,9 раза. В отношении кадмия известны факты максимального поглощения металла корнями организма растения из окружающей среды, но меньшим образом – другими вегетативными органами, листьями в том числе. Это объясняют особенным механизмом организма растений, связанным с препятствием транспорта токсиканта из корневой системы в надземные органы и в генеративные органы. Механизм объясняют наличием особых белковых комплексов в тканях корней, которые связывают металл до определенного уровня, но после которого может начинаться некроз тканей корня. Поэтому предположительно, что в разных условиях произрастания концентрация кадмия в листьях будет примерно одинаковой при разных условиях вегетации растений. Данные табл. 5 демонстрируют, что содержание кадмия в листьях разных древесных пород достоверно не отличается, это значение значительно ниже ПДК. Отметим незначительно больший уровень кадмия в листьях клена американского и ясеня ланцетного. Средние значения коэффициентов биологического поглощения (КБП) свинца и кадмия листьями деревьев примагистральной лесополосы представлены в табл. 6.

Из данных табл. 6 видно, что самое высокое значение КБП свинца характерно для клена американского и ясеня ланцетного, а самое низкое значение – для акации белой. Самое высокое значение КБП кадмия характерно для клена американского и ясеня ланцетного, а для акации белой и вяза мелколистного коэффициенты были одинаковыми и ниже коэффициента для клена американского в 1,3 раза. Отметим, что КБП кадмия листьями древесных пород были существенно выше (в 1,8–3,8 раза) по сравнению с КБП свинца.

В табл. 7 показаны результаты динамики среднего содержания ТМ в натуральной зеленой массе сельскохозяйственных культур агроценоза, граничащего с примагистральной защитной лесополосой.

Анализ табличных данных свидетельствует, что сельскохозяйственная культура пшеница озимая по сравнению с другими изучаемыми культурами содержит наименьший уровень токсичного свинца в зеленой массе. Из литературных данных известно, что корень злаковых имеет особый барьерный механизм накопления и передачи по проводящей системе токсичных металлов в ткани. Наоборот, минимальные малые дозы свинца стимулируют белковый метаболизм, но высокие дозы свинца в почвенном растворе вызывают некроз тканей корней злаковых культур. На диаграммах (рис. 3) показана динамика накопления свинца в сельскохозяйственных культурах в зависимости от расстояния лесополосы.

Таблица 5

Динамика содержания свинца и кадмия в листьях деревьев примагистральной лесополосы (натуральной влажности)

№ п/п	Древесная порода примагистральной лесополосы	Концентрация свинца, мг/кг	Концентрация свинца, ПДК	Концентрация кадмия, мг/кг	Концентрация кадмия, ПДК
1	Акация белая ( <i>Robinia pseudoacacia L.</i> )	1,24 ± 0,15	2,5 ПДК	0,18 ± 0,03	0,6 ПДК
2	Вяз мелколистный ( <i>Ulmus parvifolia Jacq.</i> )	2,64 ± 0,24	5,3 ПДК	0,18 ± 0,06	0,6 ПДК
3	Клен американский ( <i>Acer negundo L.</i> )	3,44 ± 0,36	6,9 ПДК	0,24 ± 0,04	0,8 ПДК
4	Ясень ланцетный ( <i>Fraxinus lanceolata Borkh.</i> )	3,12 ± 0,12	6,3 ПДК	0,22 ± 0,02	0,7 ПДК

Таблица 6

Средние значения коэффициентов биологического поглощения свинца и кадмия листьями деревьев примагистральной лесополосы

№ п/п	Древесная порода примагистральной лесополосы	КБП свинца	КБП кадмия
1	Акация белая ( <i>Robinia pseudoacacia L.</i> )	0,10 ± 0,01	0,38 ± 0,02
2	Вяз мелколистный ( <i>Ulmus parvifolia Jacq.</i> )	0,21 ± 0,01	0,38 ± 0,04
3	Клен американский ( <i>Acer negundo L.</i> )	0,28 ± 0,02	0,50 ± 0,02
4	Ясень ланцетный ( <i>Fraxinus lanceolata Borkh.</i> )	0,25 ± 0,01	0,46 ± 0,01

Таблица 7

Динамика содержания свинца в зеленой массе сельскохозяйственных культур  
в условиях примагистральной экосистемы, мг/кг

№ п/п	Сельскохозяйственная культура	Расстояние от полевосащитной лесополосы, м					
		20 м		100 м		200 м	
		Свинец	Кадмий	Свинец	Кадмий	Свинец	Кадмий
1	Пшеница озимая	1,88 ± 0,04	0,12 ± 0,02	2,45 ± 0,09	0,14 ± 0,02	2,88 ± 0,05	0,12 ± 0,01
2.	Ячмень	2,46 ± 0,12	0,15 ± 0,01	2,86 ± 0,10	0,20 ± 0,03	3,42 ± 0,12	0,28 ± 0,02
3	Горох	3,44 ± 0,04	0,09 ± 0,02	3,94 ± 0,12	0,10 ± 0,02	3,98 ± 0,08	0,09 ± 0,01
4	Люцерна	3,98 ± 0,10	0,22 ± 0,02	4,12 ± 0,15	0,30 ± 0,04	4,08 ± 0,05	0,26 ± 0,04

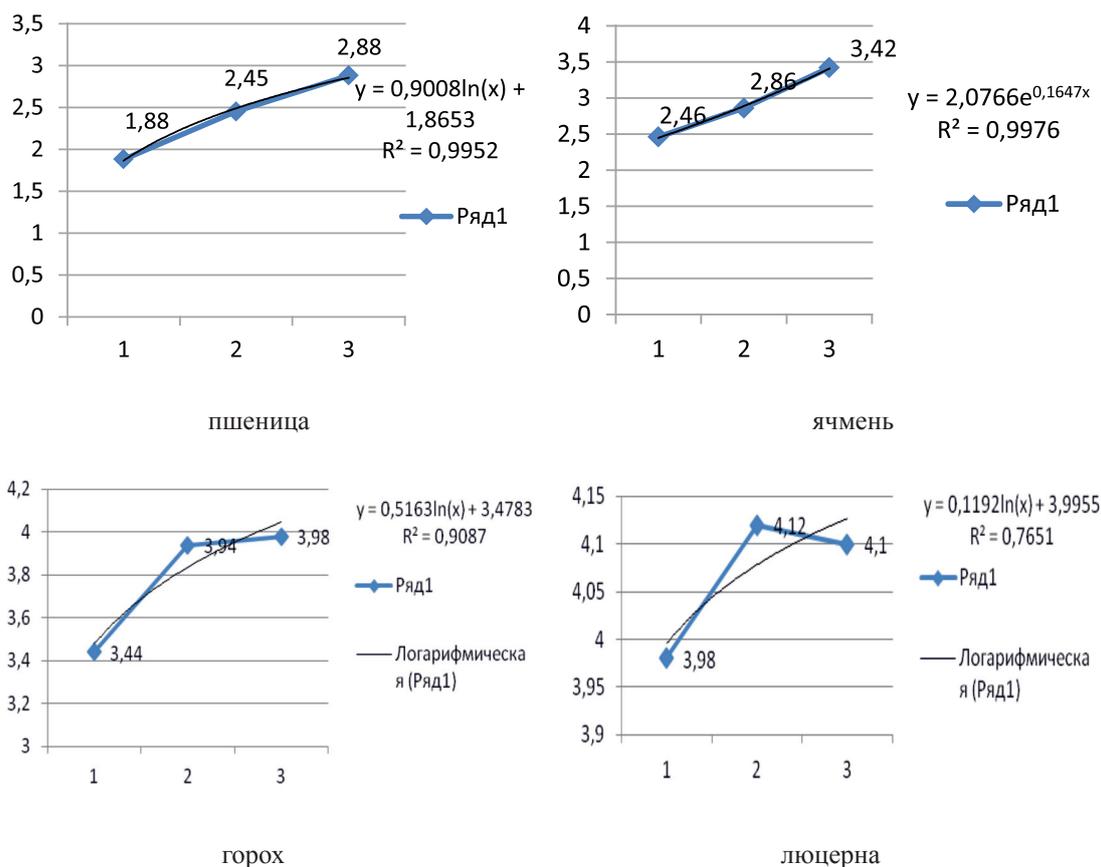


Рис. 3. Динамика накопления свинца в зеленой массе пшеницы, ячменя, гороха и люцерны в зависимости от расстояния: 1 – 20, 2 – 100 и 3 – 200 м до примагистральной лесополосы, мг/кг

Согласно диаграмме, пшеница аккумулирует свинец из окружающей среды, а динамика накопления свинца в зеленой массе растения имеет достоверный накопительный характер. Линия тренда логарифмическая. Величина достоверности аппроксимации  $R = 0,995$ , т.е. стремится к единице, что свидетельствует о достоверности происходящих изменений. Ячмень, как и пшеница, обладает накопительной способностью в отношении свинца. Линия тренда экспоненциальная. Величина

достоверности аппроксимации  $R = 0,998$ . Подобная зависимость обнаружена и для гороха. Линия тренда логарифмическая. Величина достоверности аппроксимации составляет  $R = 0,909$ . Максимальное содержание свинца обнаружено в зеленой массе кормовой культуры люцерны. Среднее содержание свинца в зеленой массе люцерны находилось в пределах 3,88–4,27 мг/кг. Наивысшее количество свинца обнаружено в зеленой массе люцерны на расстоянии 100 м от трассы. Отмечена тенденция даль-

нейшего снижения уровня свинца в зеленой массе люцерны с увеличением расстояния до 200 м от трассы. Это также соответствует уменьшению содержания в пахотных почвах подвижной формы данного металла. Итак, среднее содержание свинца в зеленой массе сельскохозяйственных культур формирует следующий возрастающий ряд: пшеница < ячмень < горох < люцерна.

На диаграммах (рис. 4) показаны результаты динамики среднего содержания кадмия в натуральной зеленой массе сельскохозяйственных культур агроценоза.

Пшеница аккумулирует кадмий из окружающей среды, динамика содержания кадмия в зеленой массе растения имеет накопительный характер. Максимальное количество кадмия обнаружено в зеленой массе пшеницы на расстоянии 100 м от трассы. Подобная зависимость обнаружена и для таких сельскохозяйственных культур, как горох и люцерна. Сельскохозяйственная культура горох по сравнению с другими изучаемыми культурами менее всего аккумулирует в зеленой массе токсичный кадмий.

Динамика накопления кадмия в зеленой массе ячменя в зависимости от расстояния до примагистральной лесополосы носит иной характер. Линия тренда экспоненциальная, сравнима с тенденцией аккумуляции в зеленой массе ячменя токсичного свинца. Величина достоверности аппроксимации составляет  $R = 0,998$ . Следовательно, сельскохозяйственная культура ячмень обладает достоверной накопительной способностью в отношении кадмия. Итак, уровень содержания кадмия в зеленой массе сельскохозяйственных культур формирует следующий возрастающий ряд: в условиях буферной зоны на расстоянии 20 м и на расстоянии 100 м от лесополосы: горох > пшеница > ячмень > люцерна; в условиях на расстоянии 200 м от лесополосы: горох > пшеница > люцерна ≥ ячмень.

В табл. 8 приводятся результаты расчета коэффициента биологического поглощения (КБП) свинца и кадмия сельскохозяйственными культурами в зависимости от расстояния произрастания до примагистральной лесополосы.

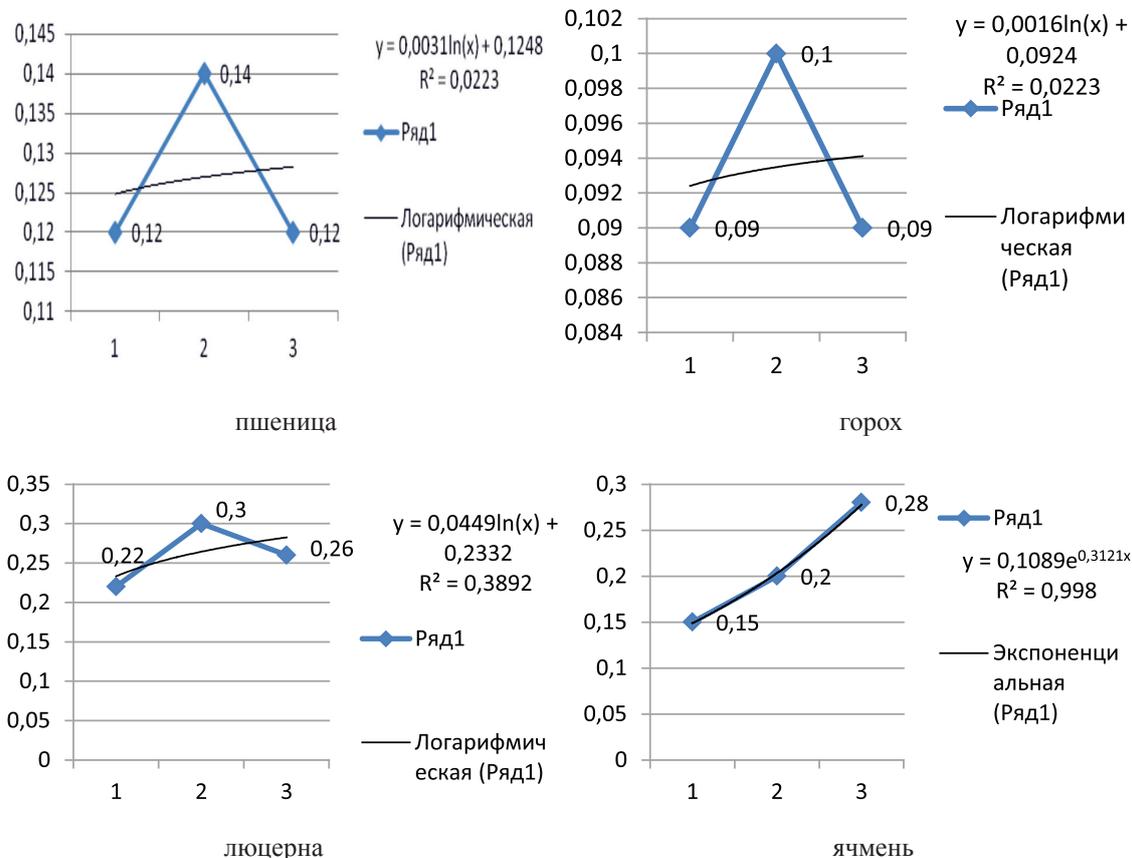


Рис. 4. Динамика накопления кадмия в зеленой массе пшеницы, гороха, люцерны и ячменя в зависимости от расстояния: 1 – 20, 2 – 100 и 3 – 200 м до примагистральной лесополосы, мг/кг

Таблица 8

Динамика значений КБП свинца и кадмия для сельскохозяйственных культур в условиях примагистральной экосистемы

№ п/п	Сельскохозяйственная культура	КБП, расстояние от полевосащитной лесополосы, м					
		20 м		100 м		200 м	
		Свинец	Кадмий	Свинец	Кадмий	Свинец	Кадмий
1	Пшеница озимая ( <i>Triticum aestivum L.</i> )	0,31	0,60	0,40	0,70	0,51	0,80
2.	Ячмень ( <i>Hordeum vulgare L.</i> )	0,41	0,75	0,47	1,0	0,60	1,60
3	Горох ( <i>Pisum sativum L.</i> )	0,57	0,45	0,65	0,50	0,70	0,60
4	Люцерна ( <i>Medicago sativa L.</i> )	0,66	1,1	0,68	1,50	0,72	1,55

Анализ данных табл. 8 показывает, что КБП свинца увеличивается по мере удаления (увеличения расстояния) от примагистральной лесозащитной полосы. Следовательно, увеличение валового содержания (до 200 м) и подвижных форм (до 100 м) в пахотной почве способствует аккумуляции свинца вегетативными тканями культур. КБП кадмия зеленой массой люцерны были самым высоким. Анализ данных показывает, что КБП кадмия увеличивается по мере удаления (увеличения расстояния) от примагистральной лесозащитной полосы. Отметим, что КБП кадмия для всех сельскохозяйственных культур было выше по сравнению с КБП свинца.

### Заклучение

«Зеленый щит» примагистральной защитной лесополосы выполняет свое назначение, почвы лесополосы и листья деревьев максимально аккумулируют свинец и кадмий, изымая их из миграции в агроценозе. Уровень валового содержания свинца в почве лесополосы превышает значения ОДК и РГФ. Уровень валового содержания свинца в пахотных почвах агроценоза не превышает значения ОДК, но составляет 1,1–2,5 РГФ. Это свидетельствует о фактах начального загрязнения свинцом пахотных почв примагистральной экосистемы. Концентрация подвижного свинца в почвах лесополосы составляла 2,1 ОДК, а в пахотных почвах – 0,95–1,0 ОДК. Минимальная концентрация валового свинца обнаружена в почвенных образцах в 20 м от лесополосы. Уровень валового содержания кадмия в почве лесополосы и в пахотной почве агроценоза не превышает значения ОДК, но незначительно превышает значения РГФ, что также говорит о возможном загрязнении пахотных почв примагистральной экосистемы кадмием. Минимальная концентрация валового кадмия обнаружена в почвенных

образцах в 200 м от полевосащитной лесополосы. Установлено, что в листьях древесных пород примагистральной зеленой полосы содержание свинца выше ПДК (по Прохоровой) в 2,5–6,9 раза. Установлен ряд снижения способности листьев деревьев накапливать свинец: акация белая < вяз мелколистный < ясень ланцетный < клен американский. Содержание кадмия в листьях разных древесных пород достоверно не отличалось и было значительно ниже ПДК. Самое высокое значение коэффициента биологического накопления свинца и кадмия характерно для клена американского и ясеня ланцетного, а самое низкое – для акации белой. Обнаружено, что сельскохозяйственная культура пшеница озимая по сравнению с другими изучаемыми культурами менее всего аккумулирует в зеленой массе свинец. Максимальное количество свинца обнаружено в зеленой массе люцерны на расстоянии 100 м от трассы. Среднее содержание свинца в зеленой массе сельскохозяйственных культур формирует возрастающий ряд: пшеница < ячмень < горох < люцерна. Среднее содержание кадмия в зеленой массе сельскохозяйственных культур формирует следующий возрастающий ряд: в условиях буферной зоны на расстоянии 20 м и на расстоянии 100 м от лесополосы – горох > пшеница > ячмень > люцерна; на расстоянии 200 м от лесополосы – горох > пшеница > люцерна > ячмень. Коэффициент биологического поглощения кадмия для изучаемых сельскохозяйственных культур выше по сравнению с аналогичным коэффициентом для свинца. Коэффициент биологического поглощения кадмия зеленой массой люцерны – самый высокий и при увеличении расстояния от примагистральной лесозащитной полосы становится максимальным. Отметим, что КБП кадмия для изучаемых сельскохозяйственных культур выше КБП свинца.

Список литературы / References

1. Здорнов И.А., Нагимов З.Я., Капралов А.В. Санитарное состояние придорожных защитных лесных полос в условиях Северного Казахстана // Успехи современного естествознания. 2018. № 3. С. 44–51.
- Zdornov I.A., Nagimov Z.Ya., Kapralov A.V. Sanitary state of roadside protective forest strips under Northern Kazakhstan conditions // Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya. 2018. № 3. P. 44–51 (in Russian).
2. Рагимов А.О., Мазиров М.А., Шентерова Е.М., Зунимаймайти А. Особенности аккумуляции тяжелых металлов в почвенном покрове придорожной территории автомобильной трассы на примере Судогорского района Владимирской области // Успехи современного естествознания. 2019. № 12–1. С. 122–127.
- Ragimov A.O., Mazirov M.A., Shenterova E.M., Zunimaymayti A. Features of accumulation of heavy metals in the soil cover of the road territory on the example of the Sudogodskiy district of the Vladimir region // Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya. 2019. № 12-1. P. 122–127 (in Russian).
3. Серегина Ю.Ю., Семенова И.Н., Кужина Г.Ш. Комплексная оценка загрязнения тяжелыми металлами почвенного покрова прибрежной зоны р. Белая Белорецкого района Республики Башкортостан // Живые и биокосные системы. 2013. № 3. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.jbks.ru/archive/issue-3/article-4> (дата обращения: 28.11.2021).
- Seregina Yu.Yu., Semenova I.N., Kuzhina G.Sh. Comprehensive assessment of heavy metal pollution of the soil cover of the coastal zone of the Belaya river of the Beloretsky district of the Republic of Bashkortostan // «Zhivye i biokosnye sistemy». 2013. № 3 [Electronic resource]. URL: <http://www.jbks.ru/archive/issue-3/article-4> (date of access: 28.11.2021). (in Russian).
4. Казанцев И.В., Матвеева Т.Б. Содержание тяжелых металлов в почвенном покрове в условиях техногенеза // Самарский научный вестник. 2016. № 1 (14). С. 34–37.
- Kazantsev I.V., Matveeva T.B. The content of heavy metals in the soil cover in the conditions of technogenesis // Samarskiy nauchnyy vestnik. 2016. № 1 (14). P. 34–37 (in Russian).
5. Олива Т.В., Романькова А.А. Использование различной накопительной способности тяжелых металлов органами растений в биоиндикации наземных экосистем // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический. 2009. Т. 114. № 3. С. 313.
- Oliva T.V., Romankova A.A. The use of various accumulative capacity of heavy metals by plant organs in the bioindication of terrestrial ecosystems // Byulleten' Moskovskogo obshchestva ispytatelej prirody. Otdel biologicheskij. 2009. V. 114. № 3. P. 313 (in Russian).
6. Авдеев Ю.М., Костин А.Е., Титов Д.В., Попов Ю.П. Экологическое состояние зеленых насаждений // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2017. № 7. С. 114–118.
- Avdeev Yu.M., Kostin A.E., Titov D.V., Popov Yu.P. Ecological condition of green spaces // Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2017. № 7. P. 114–118 (in Russian).
7. Авдеев Ю.М., Попов Ю.П., Хамитова С.М., Швецов П.А. Жизненное состояние фитоценозов в урбанизированной среде // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2017. № 10. P. 148–153.
- Avdeev Yu.M., Popov Yu.P., Khamitova S.M., Shvetsov P.A. Vital state of phytocenoses in urban environment // Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2017. № 10. P. 148–153 (in Russian).
8. Меншиков С.Л., Завьялов К.Е., Кузьмина Н.А., Мохначев П.Е., Цепордей И.С. Распределение деревьев опытных культур *Betula pendula* Roth. по ступеням толщины и уровень загрязнения почвы в зоне действия выбросов комбината «Магнезит» // Успехи современного естествознания. 2016. № 10. С. 84–89.
- Menshikov S.L., Zavyalov K.E., Kuzmina N.A., Mokhnachev P.E., Tsepordey I.S. Distribution of *Betula pendula* Roth. test crops by diameter class and level of pollution of soil in the area of emissions of the JSC «Magnesite» integrated industrial complex // Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya. 2016. № 10. P. 84–89 (in Russian).
9. Жуйкова Т.В., Зиннатова Э.Р. Аккумулирующая способность растений в условиях техногенного загрязнения почв тяжелыми металлами // Поволжский экологический журнал. 2014. № 2. С. 196–207.
- Zhuykova T.V., Zinnatova E.R. Accumulating capability of plants in areas anthropogenically polluted with heavy metals // Povolzhskij ekologicheskij zhurnal. 2014. № 2. P. 196–207 (in Russian).
10. Михайлова Т.А., Шергина О.В. Экологические критерии для расчета площади зеленых насаждений в промышленных городах // Успехи современного естествознания. 2015. № 6. С. 123–128.
- Mikhailova T.A., Shergina O.V. Ecological criteria for calculation green plantation area within industrial cities // Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya. 2015. № 6. P. 123–128 (in Russian).
11. Ветчинникова Л.В., Кузнецова Т.Ю., Титов А.Ф. Особенности накопления тяжелых металлов в листьях древесных растений на урбанизированных территориях в условиях // Труды Карельского научного центра РАН. 2013. № 3. С. 68–73.
- Vetchinnikova L.V., Kuznetsova T.Yu., Titov A.F. Patterns of heavy metal accumulation in leaves of trees in urban areas in the North // Trudy Karel'skogo nauchnogo centra RAN. 2013. № 3. P. 68–73 (in Russian).
12. Михайлова Т.А., Шергина О.В., Калугина О.В. Подбор древесных и кустарниковых растений для озеленения территорий, загрязняемых техногенными фторидами // Успехи современного естествознания. 2018. № 11–2. С. 284–288.
- Mikhaylova T.A., Shergina O.V., Kalugina O.V. Selection of trees and shrubs for planting territories polluted by technogenic fluorides of trees and shrubs for planting territories polluted by technogenic fluorides // Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya. 2018. № 11–2. P. 284–288 (in Russian).
13. Уразова А.Ф., Нагимов З.Я. Современное состояние защитных лесных насаждений вдоль Свердловской железной дороги // Успехи современного естествознания. 2021. № 1. С. 26–31.
- Urazova A.F., Nagimov Z.Ya. Current state of protective forest stands along the Sverdlovsk railway // Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya. 2021. № 1. P. 26–31 (in Russian).

УДК 556.5

**ОПЫТ МОДЕЛИРОВАНИЯ ГИДРОГРАФА ПРОРЫВНОГО ПАВОДКА ПРИ РАЗРУШЕНИИ ГРУНТОВЫХ ПЛОТИН В РЕЗУЛЬТАТЕ ПЕРЕЛИВА****<sup>1</sup>Распутина В.А., <sup>1</sup>Пряхина Г.В., <sup>1,2</sup>Попов С.В.**<sup>1</sup>*Санкт-Петербургский государственный университет,  
Санкт-Петербург, e-mail: lerasputina88@gmail.com;*<sup>2</sup>*АО «Полярная морская геологоразведочная экспедиция», Ломоносов*

При быстрых размывах грунтовых плотин искусственных водоемов и моренных перемычек приледниковых озер формируются катастрофические прорывные паводки, которые относятся к опасным гидрологическим явлениям и влекут за собой масштабный материальный ущерб и нередко приводят к человеческим жертвам. Эти опасные гидрологические явления характеризуются внезапностью и быстротечностью, поэтому организация наблюдений за ними представляет собой крайне сложную и к тому же небезопасную задачу. Для изучения этих явлений чаще всего применяются методы математического и физического моделирования. В данной статье представлена разработанная авторами методика расчета гидрографа прорывного паводка, который образуется при разрушении грунтовой плотины в результате перелива воды через ее гребень. Верификация разработанной методики была проведена на результатах физических экспериментов, которые выполнялись на специальной экспериментальной установке и в натуральных условиях. Полученные в результате физических экспериментов количественные характеристики прорывных паводков использовались для сравнения с данными, которые были получены при математическом моделировании. Сравнение смоделированных гидрографов прорывных паводков с полученными в результате физических экспериментов показало их сходимость. В настоящей работе также приведены результаты численных экспериментов, которые позволили получить зависимость расхода воды от начального размера прорыва, зависимости расходов воды от таких характеристик, как удельный вес материала, из которого сложена плотина, процентное содержание глины в этом материале и величина коэффициента шероховатости. Результаты работы были признаны удовлетворительными и показали работоспособность методики расчета.

**Ключевые слова:** прорывы грунтовых плотин, прорывные паводки, гидрограф прорывного паводка, опасные гидрологические явления, математическое моделирование, физическое моделирование

**MODELLING EXPERIENCE OF THE OUTBURST FLOOD HYDROGRAPH DUE TO THE EARTH DAMS DESTRUCTION AS A RESULT OF OVERFLOW****<sup>1</sup>Rasputina V.A., <sup>1</sup>Pryakhina G.V., <sup>1,2</sup>Popov S.V.**<sup>1</sup>*Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, e-mail: lerasputina88@gmail.com;*<sup>2</sup>*Polar Marine Geosurvey Expedition JSC, Lomonosov*

Catastrophic outburst floods are formed due to the destruction of earth artificial dams and moraine dams of the periglacial lakes. Outburst floods are dangerous hydrological phenomena that cause the large material damage and often lead to human losses. These dangerous hydrological phenomena are sudden and fleeting due to this the organization of observations is extremely difficult and unsafe. To study these hydrological phenomena the methods of mathematical modelling and physical modelling are most often used. This paper presents a methodology developed by the authors for calculating the outburst flood hydrograph, which is formed during the destruction of an earth dam due to water overflow through the crest. The methodology was verified using the results of physical experiments carried out on a special experimental setup and in natural conditions. The quantitative characteristics of outburst floods obtained as a result of physical experiments were used for comparison with the data obtained in mathematical modelling. Comparison of the simulated outburst flood hydrographs with obtained hydrographs as a result of physical experiments showed their convergence. The paper also presents the results of numerical experiments, which allowed to obtain the dependence of the discharge on the initial size of the breach, the dependence of the discharge on such characteristics as the specific gravity of the material from which the dam is built, the percentage of clay in this material and the roughness coefficient value. The results of the work were considered satisfactory and demonstrated the efficiency of the calculation method.

**Keywords:** earth dam outbursts, outburst floods, outburst flood hydrograph, dangerous hydrological phenomena, mathematical modelling, physical modelling

Прорывные паводки, образующиеся при разрушении искусственных и естественных грунтовых плотин вследствие их перелива, относятся к опасным гидрологическим явлениям и часто влекут за собой катастрофические последствия: значительный материальный ущерб и человеческие жертвы. Прорывы искусственных грунтовых плотин происходят в разных регионах нашей планеты с различными геоморфологическими

условиями, а прорывы естественных перемычек приурочены, как правило, к труднодоступным горным районам [1]. В последнем случае речь идет о моренных и приледниковых озерах. Переполнение их котловин (благодаря интенсивному притоку талых ледниковых вод, выпадению большого количества осадков или поступлению большого объема воды в результате прорыва моренного озера, расположенного

выше), а также уменьшение устойчивости плотины (в результате таяния ледяного ядра в моренной перемычке, фильтрации через рыхлый моренный материал, динамического движения ледяных глыб, снежных лавин и оползней, обвалов моренного материала и крупных валунов во время землетрясений) могут привести к запуску механизма прорыва и впоследствии спровоцировать сход селевых потоков [1-3].

В силу внезапности и быстротечности процессов прорывов организация наблюдений за ними крайне затруднена. Поэтому для изучения этих явлений целесообразным становится применение различных методов моделирования. В отечественной и зарубежной научной литературе достаточно много работ посвящено исследованию процесса прорыва искусственных грунтовых плотин [4-6] и внутриледниковых водоемов [7; 8]. Что касается прорывов естественных моренных плотин, то список опубликованных научных работ (особенно отечественных) не так обширен. В качестве примера можно отметить публикацию [3], где рассмотрены результаты моделирования прорывных паводков и селей в долине р. Гунт (Таджикистан) и семи долинах-притоках. Для этого была адаптирована двумерная модель движения водных и селевых потоков FLO-2D PRO (США) с использованием цифровой модели рельефа ALOS PALSAR (<https://asf.alaska.edu/data-sets/sar-data-sets/alos-palsar/>). Имеющиеся натурные данные о характеристиках прорывов в результате разрушений грунтовых плотин (время разрушения, морфометрия проранов, расходы воды) весьма ограничены, несмотря на многочисленность таких событий, и часто базируются лишь на свидетельствах очевидцев. Многие случаи прорывов плотин не фиксировались сразу после самого события или не были точно и полно описаны. В этой связи оценка эффективности моделирования путем сравнения характеристик модельных гидрографов с наблюдаемыми данными реальных прорывов вызывает определенные сложности.

В настоящей работе представлены результаты верификации модели расчета гидрографа прорыва при переливе через грунтовую дамбу. В отличие от моделей подобного класса [6; 9] авторами предложена аппроксимация поперечного сечения прорана, которая, по их мнению, более точно отражает процесс его развития; также предлагается учитывать изменение скорости потока в придонной части прорана на границе

с грунтом. Расчетные гидрографы сопоставлялись с данными, которые были получены авторами в ходе физического моделирования. На основе проведенных численных экспериментов показано влияние изменения характеристик грунта на скорость эрозии.

### Материалы и методы исследования

#### *Модель расчета гидрографа при прорыве грунтовой плотины*

Предложенная модель расчета гидрографа прорывного паводка разработана авторами и основывается на следующих представлениях:

- формирование прорывного паводка при переливе воды через гребень плотины начинается с момента, когда вода из подпруженного однородной искусственной плотинной или естественной моренной перемычкой водоема начинает течь по телу плотины и частично фильтроваться в нее;

- насыщение тела плотины водой ведет к снижению ее устойчивости, ввиду чего образовавшийся поток начинает ее разрушать и выносить частицы грунта, слагающего эту плотину;

- образование прорана происходит в центре гребня плотины, где уже имеется углубление малого размера; здесь происходит концентрация потока воды.

Если  $Q_B(t)$ ,  $Q_{IN}(t)$  и  $Q_S(t)$  – это переменные во времени расход воды через проран, расход воды притока, поступающего в водоем, и расход воды через водосбросы соответственно, то изменение объема водоема в случае его прорыва  $\Delta V(t)$  за время  $\Delta t$  составит:

$$\Delta V = \Delta t (Q_{IN} - Q_B - Q_S),$$

или, переходя к бесконечно малым величинам,

$$\frac{\partial V}{\partial t} = Q_{IN} \Delta t - Q_B \Delta t - Q_S \Delta t, \quad (1)$$

В качестве допущения примем, что течение воды через проран близко по параметрам к течению воды через водослив с широким порогом. Исходя из этого, для определения расхода воды через проран в каждый момент времени  $t$ ,  $t > t_0$ , где  $t_0$  – начальный момент времени, будем использовать уравнение [10]:

$$Q_B(t) = \mu \omega(t) \sqrt{2gH(t)}, \quad (2)$$

где  $\omega(t)$  – площадь поперечного сечения потока;  $\mu$  – коэффициент расхода, завися-

щий от типа водослива и условий его работы, изменяется в широком диапазоне ( $\mu = 0,3 \div 0,6$ );  $g$  – ускорение свободного падения;  $H$  – напор воды, равный разности отметок поверхности воды в потоке  $z_W(t)$  и дна прорана  $z_B(t)$  (рис. 1):

$$H(t) = z_W(t) - z_B(t). \quad (3)$$

Подставляя выражение (3) в уравнение (2), получаем уравнение для определения расхода воды через проран на каждый момент времени:

$$Q_B = M \omega(t) \sqrt{z_W(t) - z_B(t)},$$

где

$$M \equiv \mu \sqrt{2g}. \quad (4)$$

Отметка поверхности воды  $z_W(t)$  может быть получена по зависимости объема водоема от его глубины  $z_W = \mathbb{F}(V)$ , которая предполагается известной, например, по результатам батиметрической съемки.

Соотношение для расчета  $\omega(t)$  зависит от того, каким образом будет аппроксимирована форма поперечного сечения потока через проран, иными словами, как будет происходить развитие прорана. При моделировании чаще всего его форму аппроксимируют треугольником или трапецией [6].

Если  $D_T$  и  $D_B$  – ширина прорана в верхней и нижней части, а  $z_C$  – отметка гребня плотины, то площадь поперечного сечения потока  $\omega(t)$  и прорана  $\Omega(t)$  на каждый момент времени, с учетом (4), можно представить как:

$$\omega(t) = \frac{D_T(t) + D_B(t)}{2} (z_W - z_B), \quad (5)$$

$$\frac{\Delta \Omega}{\Delta t} = \left[ 2(z_C - \mathbb{F}(V(t))) + \sqrt{(D_T(t) - D_B(t))^2 + 4(\mathbb{F}(V(t)) - z_B(t))^2} \right] \frac{\Delta l}{\Delta t} + D_B(t) \frac{\Delta l_B}{\Delta t}. \quad (8)$$

Значения скорости приращения линейных размеров прорана равна скорости эрозии  $E(t)$ . Она определяется сдвиговым напряжением на эродируемой поверхности  $\tau$  [11], инициируемым водным потоком, причем эрозия имеет место только в том случае, когда превышено некоторое пороговое значение сдвигового напряжения  $\tau_c$  скорости эрозии.

$$\Delta l(t) = E(t) = K [\tau(t) - \tau_c],$$

где  $K$  – коэффициент эрозии, для расчета которого воспользуемся соотношением (9) по [6].

$$K = \frac{10\rho_W}{\rho_S} \exp \left\{ -0.12 \mathfrak{N}^{0.406} \left( \frac{\rho_S}{\rho_W} \right)^{3.1} \right\}, \quad (9)$$

где  $\rho_S$  – плотность материала, из которого сложена плотина,  $\rho_W$  – плотность воды,  $\mathfrak{N}$  – доля содержания глины в грунте, из которого сложена плотина.

$$\Omega(t) = \omega(t) + D_T(z_C - z_W), \quad (6)$$

тогда,

$$Q_B = M \frac{D_T(t) + D_B(t)}{2} (z_W - z_B)^{3/2},$$

или

$$Q_B = M \frac{D_T(t) + D_B(t)}{2} (\mathbb{F}(V(t)) - z_B)^{3/2}. \quad (7)$$

Предположим, что разрушение плотины и развитие прорана (изменение его размеров, а именно ширины и глубины) начинается в центральной части гребня плотины через некоторое малое и произвольно заданное нарушение поверхности. Приращение линейных размеров прорана, вызванные донной эрозией  $\Delta l_B(t)$ , меньше, чем у его боковых частей  $\Delta l(t)$ , поскольку скорость в придонном слое ниже среднего значения, используемого при расчете  $\Delta l(t)$ . Для расчета площади живого сечения потока  $\omega(t)$  на произвольный момент времени  $t$ ,  $t > t_0$ , его форма аппроксимируется трапецией, как наиболее часто встречающейся при описании форм проранов при прорывах (рис. 1а). В то же время в процессе углубления прорана происходит подмыв боковых стенок и их обрушение, в результате чего поперечное сечение прорана принимает более сложную форму (рис. 1б). Практически это означает, что профиль прорана в пределах смоченного периметра остается трапецидальным, а сверху – прямоугольным.

Таким образом, с учетом (5), (6) и (7), скорость приращения площади прорана можно записать следующим образом:

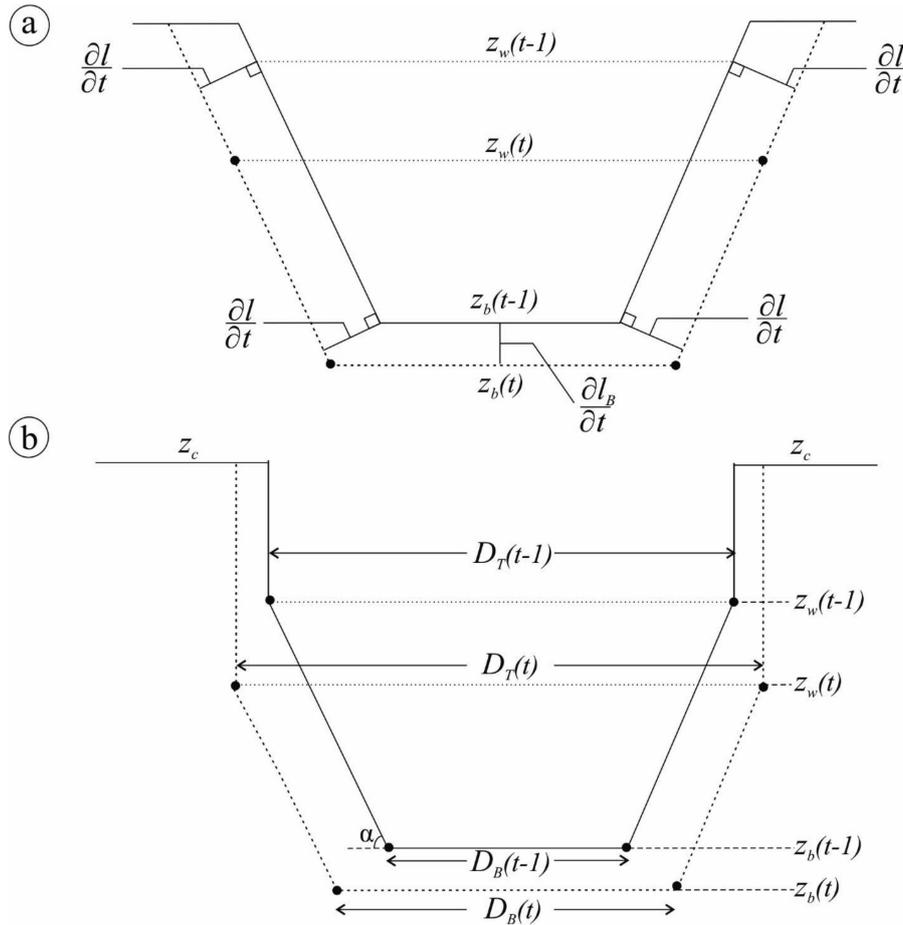


Рис. 1. Схема вычисления площади поперечного сечения потока (а) и площади прорана (b)  
 Обозначения:  $D_T(t)$  и  $D_B(t)$  – ширина прорана в верхней и нижней частях прорана соответственно,  
 $\frac{\partial l}{\partial t}$  – скорость денудации, соответствующая средней скорости потока,  
 $\frac{\partial l_B}{\partial t}$  – скорость денудации, соответствующая донной скорости потока,  
 $z_w(t)$  и  $z_b(t)$  – отметка воды и отметка дна прорана

Соотношение для расчета  $\tau(t)$  согласно [6]:

$$\tau(t) = \rho_w g R(t) S(t),$$

или

$$\tau(t) = \gamma_w R(t) S(t), \tag{10}$$

с учетом того, что  $\gamma_w = \rho_w g$ , где  $\gamma$  – удельный вес.

Если  $S(t)$  – энергетический уклон, согласно соотношению, предложенному в [6], определим как:

$$S(t) = \bar{v}^2 n^2 [R(t)]^{-4/3}, \tag{11}$$

где  $\bar{v}$  – средняя скорость потока воды, которая определяется как  $\bar{v} = \sqrt{2g(z_w - z_b)}$ ;  $n$  – коэффициент Стиклера, зависящий от крупности частиц грунта, характеризуется значениями в интервале от 0.01 до 0.05 и определяется соотношением  $n = (0.15 / \sqrt{g}) k^{1/6}$ , где  $k$  – крупность частиц грунта. Энергетический уклон также рассчитывается для донной скорости  $v_B$ ,

которая определяется по уравнению Караушева  $v_B = \bar{v} \sqrt{1 - \frac{z}{R(t)} \left( 0.57 + \frac{3.3}{C} \right)}$ , где  $z$  – глубина погружения точки,  $C$  – коэффициент Шези,  $R(t)$  – гидравлический радиус потока,

$$R(t) = \frac{\omega(t)}{D_B(t) + \sqrt{(D_T(t) - D_B(t))^2 + 4(z_W - z_B)^2}},$$

или

$$R(t) = \frac{0.5(D_T(t) + D_B(t))(\mathbb{F}(V(t)) - z_B)}{D_B(t) + \sqrt{(D_T(t) - D_B(t))^2 + 4(\mathbb{F}(V(t)) - z_B)^2}}. \quad (12)$$

Воспользуемся для определения  $\tau_c$  соотношением, предложенным в [14]:

$$\tau_c = 6.8 \xi^{1.68} \kappa^{-1.73} \zeta^{-0.97}, \quad (13)$$

где  $\xi$  – индекс пластичности грунта, % (характеристика, отражающая способность грунта удерживать воду, для супесей изменяется в пределах 1-7%, для суглинков 7-17%, для глин больше 17%), из которого сложена плотина,  $\zeta$  – пористость грунта.

Таким образом:

$$\frac{\partial l}{\partial t} = K \eta (\mathbb{F}(V(t)) - z_B) \left[ \frac{D_B(t) + \sqrt{(D_T(t) - D_B(t))^2 + 4(\mathbb{F}(V(t)) - z_B)^2}}{0.5(D_T(t) + D_B(t))(\mathbb{F}(V(t)) - z_B)} \right]^{1/3} - \phi, \quad (14)$$

где  $\eta \equiv 2\rho_w g^2 n^2$  и  $\phi \equiv K \tau_c$

$$\begin{aligned} \frac{\partial l_B}{\partial t} = & K \eta [\mathbb{F}(V(t)) - z_B(t)] \left[ \frac{D_B(t) + \sqrt{(D_T(t) - D_B(t))^2 + 4(\mathbb{F}(V(t)) - z_B(t))^2}}{0.5(D_T(t) + D_B(t))(\mathbb{F}(V(t)) - z_B(t))} \right]^{1/3} \times \\ & 1 - 0.95 [\mathbb{F}(V(t)) - z_B(t)] \left[ \frac{D_B(t) + \sqrt{(D_T(t) - D_B(t))^2 + 4(\mathbb{F}(V(t)) - z_B(t))^2}}{0.5(D_T(t) + D_B(t))(\mathbb{F}(V(t)) - z_B(t))} \right] \times \\ & \left[ 0.57 + 3.3 n_s \left( \frac{0.5(D_T(t) + D_B(t))(\mathbb{F}(V(t)) - z_B)}{D_B(t) + \sqrt{(D_T(t) - D_B(t))^2 + 4(\mathbb{F}(V(t)) - z_B)^2}} \right)^{-1/6} \right] - \phi. \quad (15) \end{aligned}$$

Скорости изменения элементов конфигурации прорана  $\frac{\partial l}{\partial t}$  и  $\frac{\partial l_B}{\partial t}$  зависят от постоянных для каждого объекта величин  $K$ ,  $\eta$ ,  $\phi$  и  $z_C$ , и определяются соотношениями (14) и (15), его изменяющимися линейными размерами  $D_T$ ,  $D_B$ ,  $z_B$ , а также уровнем воды  $z_W$ . Скорость изменения величин  $D_T$  и  $D_B$  определяется через  $\frac{\partial l}{\partial t}$  и  $\frac{\partial l_B}{\partial t}$  как

$$\frac{\partial D_T}{\partial t} = 2 \frac{\partial l}{\partial t}, \quad (16)$$

$$\frac{\partial D_B}{\partial t} = \frac{\partial l_B}{\partial t}. \quad (17)$$

Скорость падения уровня воды и сам уровень воды  $z_w$  определяются по объемной кривой,  $z_w = \mathbb{F}(V)$ , с учетом вытекшей воды через проран и возможного пополнения озера (16), т.е.

$$z_w(t) = \mathbb{F} \left( \int_{t_0}^t [Q_{IN}(t) - Q_B(t) - Q_S(t)] dt \right). \quad (18)$$

Подставляя полученные соотношения в (5) и численно решая полученное уравнение, найдем конфигурацию профиля прорана в каждый момент времени, а с учетом (1) получим изменяющийся во времени расход через него. Граничными условиями для решения краевой задачи выступают конфигурация прорана и расход на определенный момент времени или на момент завершения стадии (т.е.  $t \rightarrow \infty$ ), на который требуется знать общий объем вытекшей воды. Начальными условиями является объем воды в озере и его уровень, а также геометрические размеры дамбы. Так как модель не рассчитывает формирование первичного нарушения в теле плотины, обоснование и рекомендации к выбору его размеров были выполнены на основе численных экспериментов и приведены ниже.

### Результаты исследования и их обсуждение

#### Численные эксперименты

Для проверки алгоритма модели на адекватность был выполнен ряд численных экспериментов: при неизменной геометрии плотины и водоема вводились разные размеры начального нарушения в дамбе, а также различные характеристики грунта при прочих равных параметрах модели. Характеристики плотины и водохранилища для численных экспериментов соответствовали Кокпектинскому водохранилищу, расположенному в Казахстане (длина плотины 940 м, высота плотины 12 м, объем водохранилища 2.7 млн м<sup>3</sup>), прорыв которого случился 31 марта 2014 г. [12].

На рис. 2а и 2б представлена серия расчетных гидрографов при разных размерах первичного нарушения в теле дамбы. Выбранный интервал значений ширины составлял от 1 до 10 м, что соответствовало от 0.1% до 1% длины дамбы, глубина первичного нарушения задавалась от 0.8% до 8% высоты плотины.

Как показали расчеты, изменение ширины первичного нарушения при фиксированной глубине не влияет на время прохож-

дения волны, форму гидрографа и время начала прорыва. Что касается максимального расхода, то чем больше ширина первичного нарушения при прочих равных условиях, тем меньше максимальный расход. Это достаточно логично, так как в этом случае происходит более быстрое увеличение расходов воды, что в свою очередь ведет к более стремительному истечению воды из водоема. Более интенсивное истечение приводит к уменьшению напоров и, соответственно, уменьшению скорости течения, вследствие чего значение максимального расхода становится меньше. При этом увеличение ширины в два раза от начальной (с 1 до 2 м) приводит к снижению максимального расхода на 2%, а увеличение ширины в 10 раз от начальной (с 1 до 10 м) приводит к уменьшению максимального расхода всего лишь на 13.5% (рис. 2а).

Увеличение глубины первичного нарушения тела дамбы при прочих равных условиях практически не оказывает влияния на значения максимального расхода (изменение глубины в 10 раз (с 0.1 до 1 м) изменяет расход примерно на 1.5%), форму гидрографа и время прохождения волны паводка. В то же время значительно увеличивается время от начала перелива до достижения максимального расхода и спуска всего водоема: изменение глубины первоначального нарушения с 0.1 до 1 м увеличило время до 0.5 ч. Чем меньше первичная глубина, тем дольше будет происходить процесс размыва и позднее наступит максимальный расход воды, что также не противоречит природе протекания процесса.

Исходя из вышеизложенного, рекомендованные размеры первичного нарушения плотины предлагается задавать следующие: ширина не более 1% от длины, а глубина не более 5% от высоты дамбы. Именно в этих интервалах, как показали численные эксперименты, значения расходов меняются в пределах точности их измерений (5%).

Проведенные численные эксперименты также показали, что в наибольшей степени модель «чувствительна» к таким входным параметрам, как удельный вес материала, слагающего плотину, и процент содержания в нем глины, поскольку от них зависит величина коэффициента эрозии. На рис. 3а приведены полученные авторами графики зависимости коэффициента эрозии от удельного веса материала и процентного содержания глины для грунтов, которые наиболее часто используются при строительстве плотин и встречаются в составе моренных дамб, согласно [13].

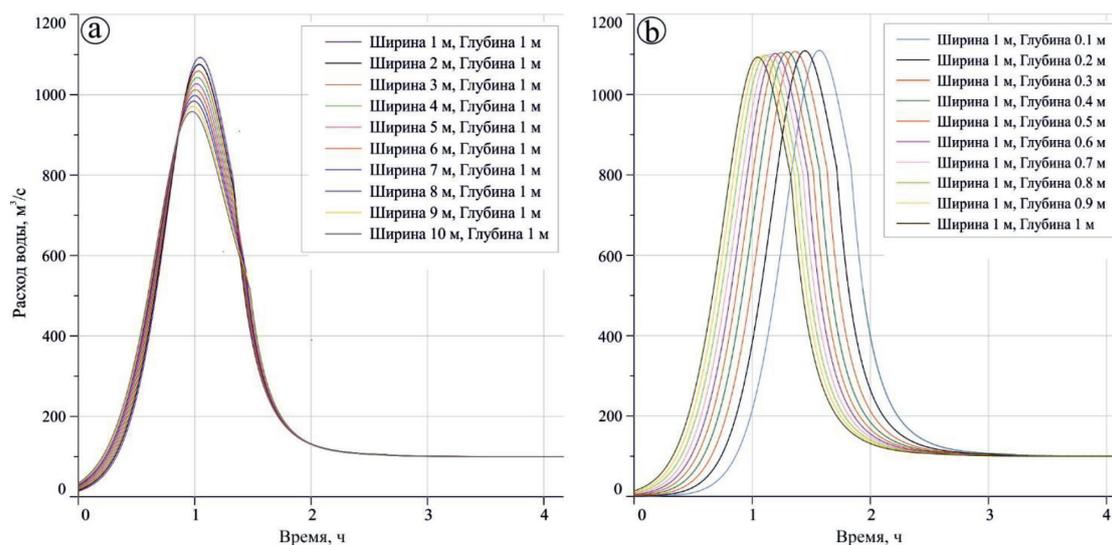


Рис. 2. Гидрографы при разной начальной ширине прорана (а) и глубине прорана (б)

Влияние вышеперечисленных параметров на величину максимального расхода воды проиллюстрировано на рис. 3б. Как видно из графиков, изменение содержания глины всего на 2% для разных по гранулометрическому составу грунтов ведет к изменению величины максимального расхода до 20%. Данная зависимость обусловлена влиянием этих факторов на скорость эрозии и, следовательно, на скорость разрушения плотины.

Что касается параметра  $n_s$  – коэффициента шероховатости, то в интервале значений, характерных для земляных русел (0.02–0.03), которые наилучшим образом подходят для случаев прорывов, его изменение приводит к изменению величин расходов до 5% (рис. 3с).

#### Физические эксперименты

Так как получить наблюдаемый гидрограф прорывного паводка возможно только в условиях эксперимента, верификация алгоритма модели была выполнена по данным, полученным в ходе серии физических экспериментов, проведенных на экспериментальной установке и в натуральных условиях (рис. 4). Экспериментальный водоем представлял собой емкость, выполненную из монолитного поликарбоната размером  $1 \times 1 \times 1.5$  м, состоящую из двух отсеков.

Первый отсек размером  $1 \times 1 \times 0.6$  м заполнялся водой. Во втором отсеке сооружалась дамба. Между отсеками была установлена перегородка с прямоугольным

отверстием ( $0.05 \times 0.15$  м) для перетекания воды. Во время заполнения первой емкости до начала эксперимента отверстие закрывалось затвором. Для фиксации уровня воды на стенке второй емкости была установлена мерная шкала. Натурные эксперименты были проведены в июле 2018 г. на Кавказе (рис. 4б) [14].

Расходы воды через проран по результатам экспериментов определялись по формуле:

$$Q = \frac{W_1 - W_2}{T}, \quad (19)$$

где  $Q$  – расход воды через проран, л/с;  $W_1$  и  $W_2$  – объемы при разных уровнях воды (дискретность 1 см),  $T$  – время, за которое уровень воды упал на 1 см. Для оценки сходимости рассчитанных по модели и полученных в результате эксперимента гидрографов был использован коэффициент Нэша-Сатклиффа (NS) [15], рекомендованного Американской ассоциацией гражданских инженеров для оценки состоятельности моделей стока, а также используемого Всемирной метеорологической организацией для сравнительного анализа моделей. Диапазон значений критерия находится в пределах от  $-\infty$  до 1, в общем случае моделирование признается удовлетворительным при  $NS > 0.5$ . В качестве примера приведем результаты экспериментов с наилучшим, удовлетворительным и наихудшим значениями NS (размеры дамб и характеристики грунтов представлены в таблице).

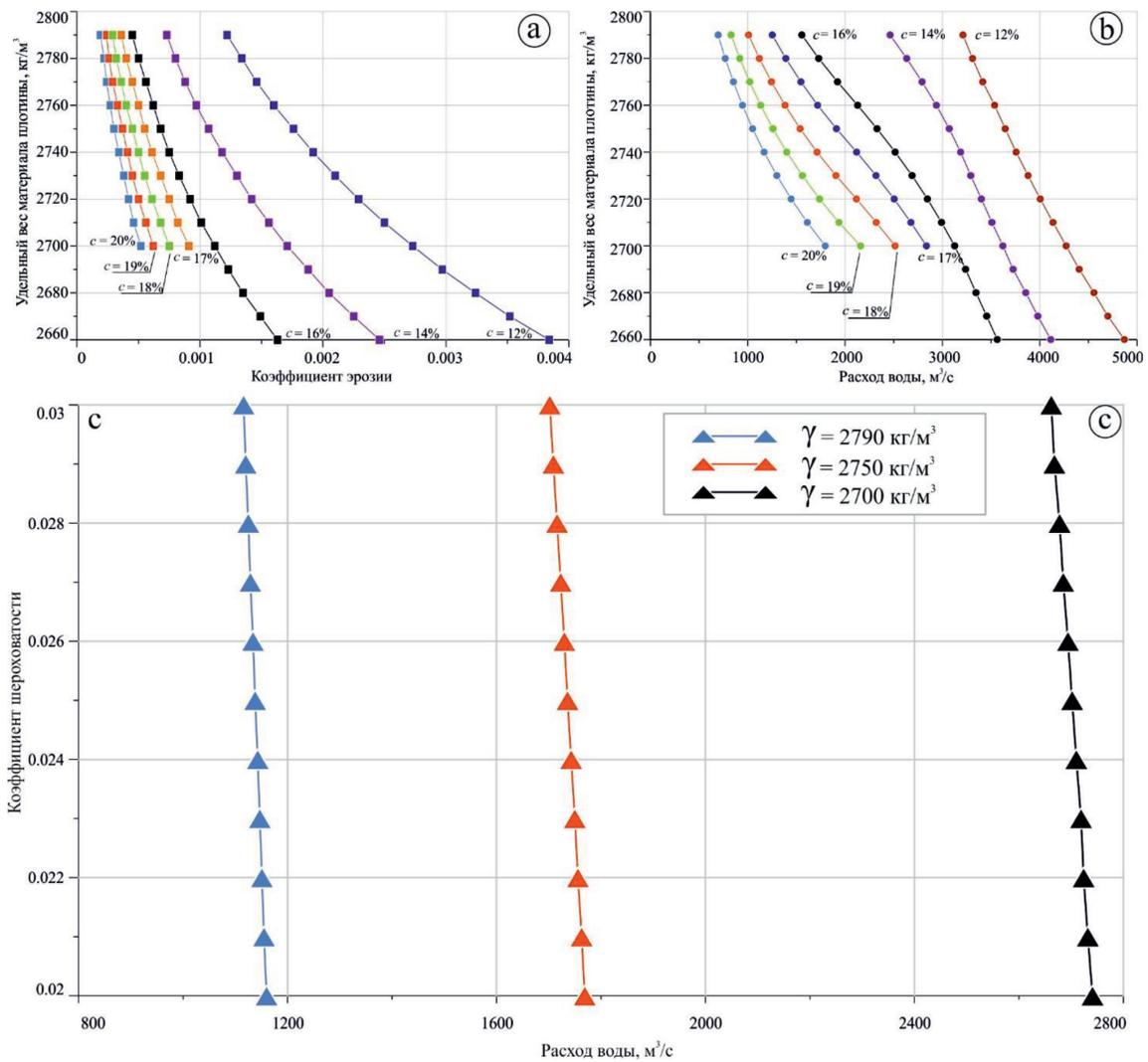


Рис. 3. Зависимость коэффициента эрозии от удельного веса материала плотины и процентного содержания глины в нем (а), зависимость расхода воды от удельного веса материала дамбы и процентного содержания глины в нем (б), зависимость расхода воды от величины коэффициента шероховатости (с)

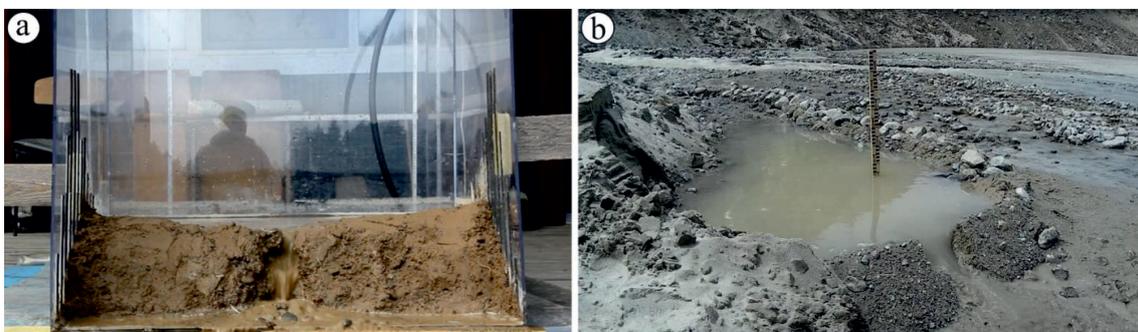


Рис. 4. Фотографии процесса разрушения модельных дамб: эксперимент № 1 (а) и эксперимент № 2 (б)

## Характеристики экспериментальных плотин и водоемов

№ п/п	1 эксперимент	2 эксперимент (натурный)	3 эксперимент
Грунт	Супесь	Моренный грунт	Супесь
Уд. вес грунта/% глины	2730 / 16%	2630 / 5%	2590 / 6.9%
Высота, м	0.2	0.17	0.35
Толщина по подошве, м	0.46	0.4	0.71
Длина по гребню, м	1	1.2	1
Ширина гребня, м	0.1	0.05	0.05
Длина откосов, м	0.29 и 0.33	0.3 и 0.3	0.55 и 0.55
Глубина начального прорана, м	0.005	0.005	0.01
Объем водоема, м <sup>3</sup>	0.183	0.203	0.312

Отметим, что, так как целью моделирования была проверка расчетного алгоритма, физические модели (плотины) имели произвольно заданные размеры и не являлись уменьшенными копиями известных плотин.

Полученные в результате эксперимента наблюдаемые и смоделированные гидрографы прорывов искусственных водоемов (рис. 5) характеризуются асимметричной формой (за исключением эксперимента № 2 (рис. 5b)): быстрым увеличением расходов воды и более плавным снижением их значений после достижения максимума. При моделировании не учитывается спонтанное обрушение грунта с бортов прорана, которое ведет к появлению локальных увеличений расходов воды на наблюдаемых гидрографах (рис. 5 а, b).

Анализ смоделированных и полученных в результате физических экспериментов гидрографов показал: наступление пиков прорывных паводков практически совпадает по времени; расхождение в наступлении максимальных расходов воды составляет от 5 (эксперимент № 1, рис. 5а) до 7 секунд (эксперименты № 2 и № 3, рис. 5b и 5с), что является отклонением не более чем на 5.5% от наблюдаемых. Наибольшее отклонение значений смоделированных максимальных расходов от полученных в результате экспериментов составило 6% (эксперимент № 1, 5а). При проведении эксперимента № 2 (рис. 5b) произошло спонтанное обрушение грунта на 19-й секунде, что привело к несовпадению пиков гидрографов. Именно для этого случая критерий NS принимает наименьшее значение – 0.42. В случае эксперимента № 1 NS составил 0.61, что говорит об удовлетворительной сходимости, а для эксперимента № 3 – 0.8, что свидетельствует о хорошей сходимости гидрографов

и, следовательно, о высоком качестве моделирования. В последнем случае образование прорана протекало исключительно за счет размыва тела дамбы, без спонтанных обрушений стенок, формирования фильтрационного канала (piping) и других нарушений.

### Заключение

Представленная в работе модель расчета гидрографа прорывного паводка относится согласно Paul J. Visser [9] к физически обоснованным моделям прорыва плотин, которые используют принципы гидравлики, эрозии и механики почвы для разработки пошаговых во времени решений описания процессов увеличения прорана и гидрографа прорыва. Опыт ее верификации показал, что результаты моделирования, согласно коэффициенту NS, в целом получены удовлетворительные, демонстрирующие работоспособность алгоритма. Как и во всех моделях данной группы, остается не решенным вопрос о формировании начального нарушения в теле плотины. Тем не менее по результатам численных экспериментов авторами предложен количественный критерий выбора размеров начального нарушения в теле плотины. Численные эксперименты подтвердили чувствительность модели к изменению коэффициента эрозии, который зависит от гранулометрического состава грунтов, слагающих плотины. В частности, изменение содержания глины всего на 2% для разных по гранулометрическому составу грунтов ведет к изменению величины максимального расхода до 20%. В этой связи дальнейшие шаги по совершенствованию алгоритма должны заключаться в учете неоднородностей в структуре искусственных грунтовых плотин и естественных моренных перемычек.

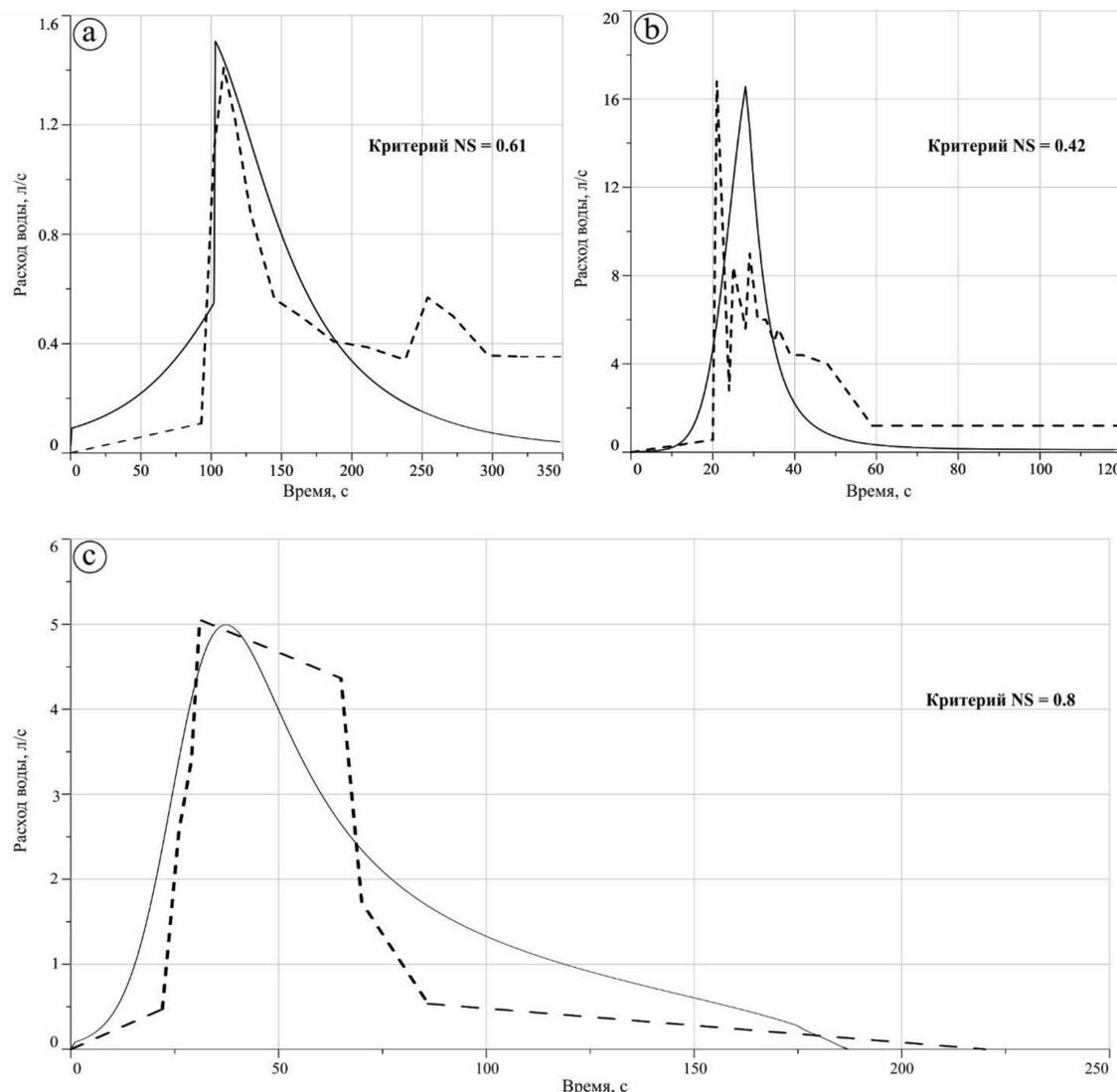


Рис. 5. Наблюдаемые (пунктирная линия) и смоделированные (сплошная линия) гидрографы прорывного паводка для эксперимента № 1 (а), эксперимента № 2 (б) и эксперимента № 3 (с)

Модель имеет простой в реализации алгоритм и, несмотря на определенные ограничения, может быть использована для оценочных расчетов характеристик прорывных паводков, формирующихся при переливе через грунтовые дамбы.

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 20-05-00343 А «Выявление особенностей протекания процесса прорывов озер оазисов Антарктиды на основе данных полевых исследований и математического моделирования».*

**Список литературы / References**

1. Черноморец С.С., Петраков Д.А., Алейников А.А., Беккиев М.Ю., Висхаджиева К.С., Докукин М.Д., Калов Р.Х., Кидяева В.М., Крыленко В.В., Крыленко И.В.,

Крыленко И.Н., Рец Е.П., Савернюк Е.А., Смирнов А.М. Прорыв озера Башкара (Центральный Кавказ, Россия) 1 сентября 2017 года // Криосфера Земли. 2018. Т. 22. № 2. С. 70–80. DOI: 10.21782/KZ1560-7496-2018-2(70-80).

Chernomorets S.S., Petrakov D.A., Aleinikov A.A., Bekkiev M.Iu., Viskhadzhiya K.S., Dokukin M.D., Kalov R.Kh., Kidiaeva V.M., Krylenko V.V., Krylenko I.V., Krylenko I.N., Rets E.P., Saverniuk E.A., Smirnov A.M. The outburst of Bashkara glacier lake (Central Caucasus, Russia) on September 1, 2017 // Kriosfera Zemli. 2018. Vol. 22. no. 2. P. 70–80 (in Russian). DOI: 10.21782/KZ1560-7496-2018-2(70-80) (in Russian).

2. Виноградова Т.А., Макушин М.А., Виноградов И.А., Парфенов Е.А., Кадацкая М.М., Сазонова С.И. Расчет морфометрических характеристик прорана и максимальных расходов при прорывах грунтовых плотин // Гидросфера. Опасные процессы и явления. 2019. Т. 1. Вып. 2. С. 280–295. DOI: 10.34753/HS.2019.1.2.006.

Vinogradova T.A., Makushin M.A., Vinogradov I.A., Parfenov E.A., Kadatskaya M.M., Sazonova S.I. Calculation of the morphometric characteristics of the closure channel and the extreme discharge during breakthroughs of ground dams //

Gidrosfera. Opasnyye protsessy i yavleniya. 2019. Vol. 1. is. 2. P. 280–295. DOI: 10.34753/HS.2019.1.2.006 (in Russian).

3. Кидяева В.М., Черноморец С.С., Савернюк Е.А., Крыленко И.Н., Докукин М.Д., Висхаджиева К.С., Бобов Р.А., Пирмаматов У.Р., Мародасейнов Ф.О., Раимбеков Ю.Х., Курбонмаматов Д.А., 2018. Моделирование прорывов горных озер и селевых потоков в Горно-Бадахшанской автономной области, Таджикистан // Третьи Виноградские чтения. Грани гидрологии: сборник докладов Международной научно-практической конференции памяти выдающегося русского ученого Ю.Б. Виноградова (г. Санкт-Петербург, 28-30 марта 2018 г.). С. 897–902.

Kidyayeva V.M., Chernomoretz S.S., Savernyuk E.A., Krylenko I.N., Dokukin M.D., Viskhadzhieva K.S., Bobov R.F., Pirmamadov U.R., Marodaseinov F.O., Raimbekov Y.H., Kurbonmamadov D.A., 2018. Modelling of mountain lakes outbursts and debris flows in the Gorno-Badakhshan autonomous region, Tajikistan // Tret'i Vinogradovskie chteniya. Grani gidrologii: sbornik dokladov Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii pamyati vydayushchegosya russkogo uchenogo Yu.B. Vinogradova (g. Sankt-Peterburg, 28-30 marta 2018 g.), 2018. P. 887–892 (in Russian).

4. Богославчик П.М. Расчетная модель размыва грунтовых плотин при переливе // Наука и техника. 2018. Т. 17. № 4. С. 292–296. DOI: 10.21122/2227-1031-2018-17-4-292-296.

Bogoslavchik P.M. Calculation Model of Soil Dam Wash-Away Due to Overflow // Nauka i tekhnika. 2018. Vol. 17. № 4. P. 292–296. DOI: 10.21122/2227-1031-2018-17-4-292-296 (in Russian).

5. Chang D.S., Zhang L.M. Simulation of the erosion process of landslide dams due to overtopping considering variations in soil erodibility along depth. Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 2010. Vol. 10. P. 933–946. DOI: 10.5194/nhess-10-933-2010.

6. Zhong Q., Chen S., Deng Z. A simplified physically-based breach model for a high concrete-faced rockfill dam: a case study. Water Science and Engineering. 2018. Vol. 11. Is. 1. P. 46–52. DOI: 10.1016/j.wse.2018.03.005.

7. Попов С.В., Пряхина Г.В., Боронина А.С. Оценка расхода воды в процессе развития прорывного паводка ледниковых и подледниковых водоемов // Криосфера Земли. 2019. Т. XXIII. № 3. С. 25–32. DOI: 10.21782/KZ1560-7496-2019-3(25-32).

Popov S.V., Pryakhina G.V., Boronina A.S. Estimation of water discharge during development of glacial and subglacial outburst floods // Kriosfera Zemli. 2019. Vol. 23. no. 3. P. 20–26. DOI: 10.21782/EC2541-9994-2019-3(20-26) (in Russian).

8. Boronina A., Popov S., Pryakhina G., Chetverova A., Ryzhova E., Grigoreva S. Formation of a large ice depression on Dalk Glacier (Larsemann Hills, East Antarctica) caused by the rapid drainage of an englacial cavity. J. Glaciol. 2021. P. 1–16. DOI: 10.1017/jog.2021.58.

9. Zhu Y., Visser P., Vrijling, J. Review on embankment dam breach modeling. New Developments in Dam Engineering. 2004. P. 1189–1196.

10. Караушев А.В. Речная гидравлика. Курс общей и специальной гидравлики для гидрологов. Л.: Гидрометеоздат, 1969. 417 с.

Karushev A.V. River hydraulics. General and Special Hydraulics Course for Hydrologists. L.: Gidrometeoizdat, 1969. 417 p. (in Russian).

11. Attal M., Cowie P.A., Whittaker A.C., Hopley D., Tucker G.E., Roberts G.P. Testing fluvial erosion models using the transient response of bedrock rivers to tectonic forcing in the Apennines. J. Geophys. Res. 2011. Vol. 116. F02005. DOI: 10.1029/2010JF001875.

12. Отчёт о выполнении работ по теме: «Оценка причин возникновения чрезвычайной ситуации, произошедшей на Кокпектинском водохранилище в ночь с 30 на 31 марта 2014 года с расчётом максимального расхода паводковых вод. Республика Казахстан» выполнено ООО НПО «Гидротехпроект», Караганда, 2014.

Progress report on the topic: «Assessment of the causes of the emergency that occurred at the Kokpekty reservoir on the night of March 30 to March 31, 2014 with the calculation of the maximum flow of flood waters. Republic of Kazakhstan» was carried out by Scientific and Production Organization Gidrotekhprom LLC, Karaganda, 2014. (in Russian).

13. ГОСТ 25100-2020. Грунты. Классификация. М.: Стандартинформ, 2020. 41 с.

14. Пряхина Г.В., Боронина А.С., Попов С.В., Распутина В.А., Войнаровский А.Е. Физическое моделирование разрушения грунтовой дамбы водохранилища в процессе переполнения водоема // Изв. РГО. 2019. Т. 151. № 2. С. 51–63. DOI: 10.31857/S0869-6071151251-63.

Pryakhina G.V., Boronina A.S., Popov S.V., Rasputina V.A., Voinarovskii A.E. Physical modelling of the destruction of reservoir ground dam in consequence of the overflow of water body // Izv. RGO. 2019. Vol. 151. № 2. P. 51–63. DOI: 10.31857/S0869-6071151251-63 (in Russian).

15. Nash J.E., Sutcliffe J.V. River flow forecasting through conceptual models part I—A discussion of principles. J. hydrology. 1970. № 10 (3). P. 282–290.

УДК 502/504:628.54:502

**ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ЛИНИИ  
ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ****Цыганков Д.А., Пирумова И.В., Воронцова Ю.В., Звягина Е.А.***ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет путей сообщения»,  
Новосибирск, e-mail: palsatan@outlook.com*

Статья представляет собой работу по оценке воздействия строительства внутренней железнодорожной линии промышленного предприятия длиной 566 м на воздушную и водную среду, земельные ресурсы (почвы), а также недра. При этом уделяется большое внимание образующимся отходам производства и потребления природных ресурсов, воздействию на растительный и животный мир, а также рассмотрению экономического ущерба от загрязнения окружающей среды. В результате проведения работы выяснилось, что большая часть загрязнения воздушной среды происходит за счёт проведения земляных работ по планированию территории застройки и пересыпке грунтов. Согласно принятым решениям, использование водных ресурсов главным образом носит безвозвратный характер, проявляющийся в их применении для производственных и хозяйственно-бытовых нужд персонала. По результатам проведённых исследований нарушение плодородного слоя почвы носит весьма ограниченный характер, а сам он срезается и перемещается на рекультивируемые территории. Одним из значимых решений проведённой работы является передача образующихся токсичных отходов производства и потребления сторонним организациям для последующего складирования, захоронения или утилизации вне территории строительства. Ввиду малой площади, охватываемой строительством, воздействие рассматриваемой производственной деятельности на растительный и животный мир рассматривается как допустимое. Наряду с этим в работе предусматривается возможность возникновения и меры по профилактике возникновения аварийных ситуаций на период производства работ. По результатам проделанной работы главным веществом, загрязняющим воздушную среду, являются взвешенные частицы и неорганическая пыль с содержанием  $\text{SiO}_2$  20–70%, которые формируют 84,7% суммы платежа за загрязнение воздушной среды. При этом из твёрдых отходов, утилизируемых вне территории строительства, 90,4% приходится на строительный мусор.

**Ключевые слова:** оценка воздействия, окружающая среда, железнодорожная линия, воздушная среда, водная среда, земельная среда, отходы, экономический ущерб

**ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT OF RAILWAY LINE CONSTRUCTION****Tsygankov D.A., Pirumova I.V., Vorontsova Yu.V., Zvyagina E.A.***Siberian Transport University, Novosibirsk, e-mail: palsatan@outlook.com*

The article is a work on assessing the impact of the construction of an internal railway line of an industrial enterprise with a length of 566 meters on the air, water environment, land resources (soils) and subsoil. At the same time, much attention is paid to production of consumption waste, the impact on flora and fauna, as well as consideration of economic damage from environmental pollution. As a result of the work, it turned out that most of the air pollution occurs due to excavation work to plan the development area and transfer soils. According to the decisions made in the work, the use of water resources is overwhelmingly irrevocable, manifested in their use for the production and household needs of the personnel. According to the results of the studies carried out, the disturbance of the natural soil layer is very limited, and it itself moves to reclaimed territories. One of the significant decisions of the work carried out is the transfer of the generated toxic production and consumption waste to third-party organizations for subsequent storage, utilization and disposal outside the construction side. Due to the small area covered by construction, the impact of the considered production activity of flora and fauna are considered acceptable. As the result of this, the work considers the possibility of occurrence and measures to prevent the occurrence of emergencies during the period of work. According to the results of the work done, the main substance that pollute the air are suspended particles and inorganic dust with a  $\text{SiO}_2$  20-70% content, which form 84.7% of the amount of payment for air pollution. At the same time, of the solid waste disposed of outside the construction side, 90.4% falls on construction waste.

**Keywords:** impact assessment, environment, railway line, air environment, water environment, land environment, waste, economic damage

Охрана окружающей природной среды является одной из основных проблем общества, в основную задачу которой входит предотвращение негативных экологических последствий хозяйственной деятельности человека. Работа промышленных предприятий приводит к увеличению выбросов токсичных веществ в окружающую среду, которые могут привести к серьёзным последствиям. Одним из мероприятий, на-

правленных на профилактику негативного воздействия производств на природу прилегающих территорий, является проведение процедуры оценки воздействия на окружающую среду, которая может быть не только важной социальной задачей, но и серьёзным фактором повышения эффективности общественного производства. Предельно допустимый выброс вредных веществ в атмосферу устанавливается для каждого

источника загрязнения отдельно при условии, что суммарные выбросы вредных веществ, поступающие от него и источников населённого пункта с учётом перспективы развития предприятия и рассеивания вредных веществ в атмосфере, не создадут приземную концентрацию, превышающую их предельно допустимые концентрации для населения, растительного и животного мира. Дополнительный результат работы по оценке воздействия на окружающую среду – установление нормативов предельно допустимых воздействий на водную среду, земли (почвы) и недр. Отдельным пунктом выступает анализ процесса накопления и поведения отходов производства продукции и потребления необходимых для этого природных ресурсов.

Оценка воздействия объектов железнодорожного транспорта на окружающую среду является обязательным элементом планирования, проектирования и развития отрасли [1].

Целью исследования является создание условий для экологически безопасного строительства внутренней железнодорожной линии промышленного предприятия.

#### Материалы и методы исследования

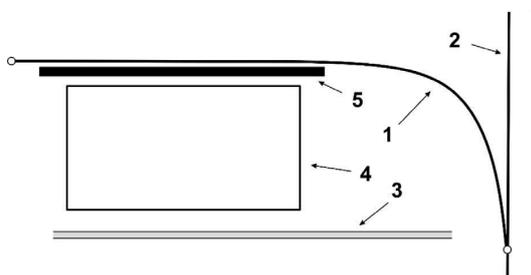
Научное исследование осуществлено на базе результатов анализа фактического состояния окружающей природной среды, а также использования данных об объёмах проводимых строительно-монтажных работ и их оценки с применением стандартизованных методик.

#### Результаты исследования и их обсуждение

Климат района строительства – резко континентальный. Для него характерно короткое и жаркое лето, сменяющееся длинной и холодной зимой. Наиболее холодным месяцем года является январь, а жарким – июль. Средняя температура воздуха января составляет  $-14^{\circ}\text{C}$ , а июля –  $+26,8^{\circ}\text{C}$ . Продолжительность периода с температурой воздуха не выше  $0^{\circ}\text{C}$  – 161 сутки. Средняя относительная влажность воздуха в январе составляет 74,2%, а в июле – 43,0%. В январе преобладают юго-западные ветры со средней скоростью 3,8 м/с, а в июле – северо-восточные со средней скоростью 2,2 м/с [2].

Объектом исследования является площадка строительства железнодорожной ветки, имеющей выход на грузовой фронт погрузочно-разгрузочного пути. Строя-

щийся путь для предприятия определён как внутренний и состоит из соединительной и погрузочно-разгрузочных частей. На нём расположен фронт грузовых операций в пределах линейного грузового фронта. Земляное полотно проектируемого пути на всём протяжении представлено насыпью типовой конструкции высотой до 6 м. Перед началом отсыпки земляного полотна производится срезка почвенно-растительного слоя толщиной 20 см по всей длине трассы проектируемого железнодорожного пути. На грузовом фронте проектируемого пути предусматривается погрузка-выгрузка стальных и полиэтиленовых труб, выгрузка мешков с гранулами полиэтилена и прочих грузов на специально оборудованной для этого грузовой площадке с твёрдым водонепроницаемым покрытием. Строящаяся железнодорожная линия принадлежит предприятию «Темир-Сервис Астана». Подача, уборка, расстановка вагонов, а также техническое обслуживание пути осуществляется манёвровыми бригадами предприятия «Астанинское железнодорожное хозяйство» (рисунок).



*Внутренние железнодорожные пути производственного объекта: 1 – строящаяся железнодорожная ветка; 2 – существующая железнодорожная ветка; 3 – внутренняя автострада; 4 – производственное здание; 5 – погрузочно-разгрузочная площадка*

Основные объёмы и сроки проведения работ указаны в табл. 1.

Загрязнение воздушной среды в период проведения строительно-монтажных работ прежде всего обусловлено приведением земляных работ, которые включают в себя снятие, погрузку, трансформирование плодородного слоя почвы и отсыпку железнодорожного полотна щебнем. Предусматривается разработка грунта с общим объёмом выемки  $8360,4 \text{ м}^3$ , который используют для планирования территории и обратной за-

сыпки траншей. Для проведения этих работ необходимо вывезти плодородный слой грунта в количестве 3593,4 м<sup>3</sup> с объёмом временного хранения 579,6 м<sup>3</sup>. Основным загрязнителем атмосферы при проведении этих производственных процессов является неорганическая пыль с содержанием SiO<sub>2</sub> 20–70%. Показатели, характеризующие её выделение, представлены в табл. 2, а их расчёты проведены по методике [3].

Согласно [4] указанные в табл. 2 интенсивности выбросов токсичной пыли с содержанием SiO<sub>2</sub> 20–70% не будут формировать опасные концентрации этого загрязнителя в атмосфере прилегающих территорий.

Поскольку на период строительства к работе будет привлечено 85 чел., то общий расход питьевой воды за это время составит 242,0 м<sup>3</sup>, а водоотведение – 169,4 м<sup>3</sup>. Техни-

ческая вода на время строительства будет доставляться из соответствующего источника, а её расход составит 2761,9 м<sup>3</sup> (табл. 3).

В связи с тем, что в зоне расположения объекта строительства отсутствуют поверхностные водные объекты, мероприятия по защите водной среды не предусматриваются.

В качестве мероприятий по сохранению земель в работе предусматривается снятие плодородного слоя почвы с нарушаемой поверхности и его перемещение на рекультивируемые участки, находящиеся вне пределов производственной территории.

По результатам геологоразведочных работ в районе строительства не обнаружены запасы полезных ископаемых. В этой связи в работе не предусматриваются мероприятия по охране недр.

**Таблица 1**

Базовые технико-экономические показатели строительства железнодорожного пути

№	Наименование показателей	Единицы измерения	Количество
1	Укладка пути	м	566,0
2	Земляные работы	м <sup>3</sup>	2732,0
3	Срок строительства	мес.	3,4
4	Период строительства	май – август 2021 г.	

**Таблица 2**

Расчёт объёмов выделяемой пыли, содержащей SiO<sub>2</sub> 20–70% при ведении земляных работ

№	Наименование производственного процесса	Единицы измерения	Количество
1	Снятие и погрузка плодородного слоя	г/с	0,017
		т/период	0,0073
2	Формирование плодородного слоя	г/с	0,0003
		т/период	0,00013
3	Разгрузка щебня	г/с	0,032
		т/период	0,017
4	Планирование железнодорожного полотна	г/с	0,0006
		т/период	0,0004
5	Отсыпка железнодорожного полотна щебнем	г/с	0,03228
		т/период	0,01715
6	Разгрузка грунта	г/с	0,033
		т/период	0,024
7	Формирование железнодорожного полотна	г/с	0,00028
		т/период	0,00015

**Таблица 3**

Баланс водопотребления и водоотведения

№	Наименование показателя	Единицы измерения	Количество
1	Потребление свежей воды на производственные нужды	м <sup>3</sup> /г	2761,9
2	Потребление свежей воды на хозяйственно-бытовые нужды	м <sup>3</sup> /г	242,0
3	Водоотведение хозяйственно-бытовых нужд	м <sup>3</sup> /г	169,4

Таблица 4

Образование отходов производства и потребления на период строительства

№	Наименование показателя	Единицы измерения	Количество
1	Строительный мусор и ТБО	т/ч	10,1
2	Тара из-под лакокрасочных материалов	т/ч	0,6
3	Ветошь промасленная	т/ч	0,5
4	Огарки электродов	т/ч	0,02

Таблица 5

Размеры платежей за нормативные выбросы в атмосферу в течение периода строительства

№	Наименование загрязняющего вещества	Плата за 1 т, руб.	Количество, т	Сумма платы, руб.
1	Железа оксид	2,5	0,047	475,27
2	Марганец и его соединения	0,8	0,003	8,55
3	Взвешенные частицы	0,8	1,021	3312,08
4	Азота диоксид	1,7	0,076	521,97
5	Пыль неорганическая SiO <sub>2</sub> 20–70%	0,8	1,314	4262,83
6	Свинец и его соединения	332,2	0,00006	86,23
7	Пыль древесная	0,8	0,022	71,12
8	Прочие	0,03	1,702	207,17

Примечание. Сумма платы рассчитана с учётом максимальной разовой платы и местного повышающего коэффициента.

Согласно анализу технологии строительства железнодорожного пути в период строительства объекта будут формироваться следующие виды отходов: строительный мусор; тара из-под лакокрасочных материалов; твёрдые бытовые отходы; промасленная ветошь; огарки электродов. Все они передаются сторонним организациям для складирования, захоронения или утилизации (табл. 4).

Расчёт платы за загрязнение воздуха проведён согласно методике [5], а результаты представлены в табл. 5.

В качестве мероприятий по сохранению качества воздушной среды предусматриваются: выполнение земляных работ с пылеподавлением; приёмка строительных материалов без их хранения на территории производства работ; использование отходов в собственном строительном производстве или их передача на утилизацию сторонним организациям; укрытие автомобилей, перевозящих пылящие грузы, тентами.

Для снижения общего уровня загрязнения воздуха и экономии технической воды при проведении работ предусматривается: доставка грузов автосамосвалами с плотно закрытыми бортами; отсутствие заправки автотранспорта в пределах строительной площадки; обработка поверхностей, подверженных коррозии, битумом; использование биотуалетов.

Под регулированием выбросов загрязняющих веществ в атмосферу понимается их кратковременное сокращение в периоды неблагоприятных метеорологических условий (НМУ): сильных инверсий температуры воздуха, штилей, туманов, пыльных бурь, влекущих за собой резкое увеличение загрязнения атмосферы.

Для НМУ на участке строительно-монтажных работ предусматриваются:

1. Снижение производительности отдельных аппаратов и технологических линий, работа которых связана со значительным выделением в атмосферу вредных веществ.

2. Прекращение работы оборудования, если сроки начала планово-предупредительных работ по ремонту технологического оборудования и наступления НМУ достаточно близки.

3. Уменьшение интенсивности технологических процессов, связанных с повышенными выбросами вредных веществ в атмосферу на тех предприятиях, где за счёт интенсификации и использования более качественного сырья возможна компенсация отставания в периоды НМУ.

4. Отключение аппаратов и оборудования, работа которых связана со значительным загрязнением воздуха.

5. Временное прекращение погрузочно-разгрузочных работ, а также отгрузки гото-

вой продукции, сыпучего сырья и реагентов, являющихся источниками загрязнения.

6. Перераспределение нагрузки производств и технологических линий на более эффективное оборудование.

7. Остановка пусковых работ на аппаратах и технологических линиях, сопровождающихся выбросами в атмосферу.

8. Запрет выезда на линии автотранспортных средств с неотрегулированными двигателями.

Первым мероприятием по охране поверхности территории застройки предусмотрено рациональное расположение зданий, объектов строительства и временных сооружений с учётом требований рационального использования земельных ресурсов, а вторым – частичная засыпка котлованов с использованием вынутых грунтов.

Проектируемый объект расположен на урбанизированной территории, подвергнутой антропогенному воздействию. Эта территория не является местом обитания краснокнижных видов животных и растений. На прилегающей площади отсутствуют особо охраняемые природные территории, а также исторические и археологические памятники. При проведении строительных работ снос зелёных насаждений не предусматривается в связи с их отсутствием. Воздействие на растительный и животный мир при реализации проекта на период строительства оценивается как допустимое.

Основными причинами возможных аварийных ситуаций являются технологические, механические и организационно-технологические отказы, а также чрезвычайные ситуации. Это может являться следствием нарушения технологии производства работ, полного или частичного разрушения машин и механизмов, а также пожаров и взрывов. Поэтому в работе предусматривается периодическое проведение всех видов инструктажей, контроль наличия средств индивидуальной защиты работников и умения ими пользоваться, своевременное устранение утечек горюче-сезоточивых материалов, а также использование металлической тары для сбора отработанных масел.

### Заключение

В данной работе была выполнена качественная и количественная оценка воздействия строительства внутренней железнодорожной ветки предприятия «Темир-Сервис Астана» на окружающую природную среду с выявлением источников негативного воздействия, а также проведена комплексная

оценка состояния затрагиваемых работами природных объектов и сред.

На основании результатов проделанной работы можно сделать следующие выводы:

1. В результате проведённой оценки воздействия комплекса строительно-монтажных работ на окружающую воздушную среду выяснилось, что её наибольшее загрязнение происходит вследствие выбросов взвешенных частиц и неорганической пыли с содержанием  $\text{SiO}_2$  20–70%. В этой связи 84,7% общей суммы платежа за нанесение ущерба воздушной среде обусловлено выбросами этих двух видов загрязнений.

2. Несмотря на высокий объём безвозвратного водопотребления, составляющий 94,4%, ввиду его общего небольшого количества загрязнение поверхностных и подземных водных объектов не происходит.

3. Воздействие на почвенный покров земли оценивается как незначительное.

4. Вследствие заключения хозяйственных договоров по передаче образующихся отходов производства и потребления природных ресурсов сторонним организациям, их действие не оказывает влияния на окружающую природную среду в пределах территории строительства. При этом 90,4% образующихся отходов производства приходится на строительный мусор.

5. Воздействие объекта строительства на растительный и животный мир оценивается как допустимое.

### Список литературы / References

1. Экологическая стратегия ОАО «Российские железные дороги» на период до 2017 года и на перспективу до 2030 года. Утверждена распоряжением ОАО «РЖД» от 12 мая 2014 года № 1143 р. [Электронный ресурс]. URL: [http://www.rzd-expo.ru/innovation/regulatory\\_documents/07\\_293r.pdf](http://www.rzd-expo.ru/innovation/regulatory_documents/07_293r.pdf) (дата обращения: 17.12.2021).

Environmental strategy of JSC Russian Railways for the period up to 2017 and for the future until 2030. Approved by the order of JSC Russian Railways dated May 12, 2014 No. 1143 r. [Electronic resource]. URL: [http://www.rzd-expo.ru/innovation/regulatory\\_documents/07\\_293r.pdf](http://www.rzd-expo.ru/innovation/regulatory_documents/07_293r.pdf) (date accessed: 17.12.2021) (in Russian).

2. СПРК 2.04-01-2017. Строительная климатология. Свод правил республики Казахстан. [Электронный ресурс]. URL: [https://azimut-geology.kz/library/inzh\\_geo/100-sp-rk-204-01-2017-stroitel'naya-klimatologiya.html](https://azimut-geology.kz/library/inzh_geo/100-sp-rk-204-01-2017-stroitel'naya-klimatologiya.html) (дата обращения: 17.12.2021).

SPRK 2.04-01-2017. Construction climatology. The set of rules of the Republic of Kazakhstan. [Electronic resource]. URL: [https://azimut-geology.kz/library/inzh\\_geo/100-sp-rk-204-01-2017-stroitel'naya-klimatologiya.html](https://azimut-geology.kz/library/inzh_geo/100-sp-rk-204-01-2017-stroitel'naya-klimatologiya.html) (date accessed: 17.12.2021) (in Russian).

3. Методика расчёта выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. К приказу министра охраны окружающей среды республики Казахстан от 18.04.2018 № 100-П. [Электронный ресурс]. URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V14M0009585> (дата обращения: 17.12.2021).

Methodology for calculating emissions of pollutants into the atmosphere. By order of the Minister of Environ-

mental Protection of the Republic of Kazakhstan dated 04/18/2018 No. 100-P. [Electronic resource]. URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V14M0009585> (date of access: 17.12.2021) (in Russian).

4. Методика расчёта нормативов выбросов от неорганизованных источников. Приложение № 13 к приказу министра охраны окружающей среды республики Казахстан от 18.04.2018 № 100-П. [Электронный ресурс]. URL: [https://online.zakon.kz/Document/?doc\\_id=30378563](https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=30378563) (дата обращения: 17.12.2021).

Methodology for calculating emission standards from fugitive sources. Appendix No. 13 to the order of the Minister of Environmental Protection of the Republic of Kazakhstan dated

April 18, 2018 No. 100-P. [Electronic resource]. URL: [https://online.zakon.kz/Document/?doc\\_id=30378563](https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=30378563) (date of access: 17.12.2021) (in Russian).

5. Методика расчёта платы за эмиссию в окружающую среду. Приказ министра охраны окружающей среды республики Казахстан от 08.04.2019 № 68-П. [Электронный ресурс]. URL: [https://adilet.zan.kz/rus/docs/V090005672\\_](https://adilet.zan.kz/rus/docs/V090005672_) (дата обращения: 17.12.2021).

Methodology for calculating payments for emissions into the environment. Order of the Minister of Environmental Protection of the Republic of Kazakhstan dated 08.04.2019 No. 68-P. [Electronic resource]. URL: [https://adilet.zan.kz/rus/docs/V090005672\\_](https://adilet.zan.kz/rus/docs/V090005672_) (date of access: 17.12.2021) (in Russian).

УДК 504.054

**ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ТЕРРИТОРИИ  
ПОД СТРОИТЕЛЬСТВО АЗОВСКОГО ЗЕРНОВОГО ТЕРМИНАЛА****Шишкина Д.Ю., Баумара М.А., Латун В.В.***ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», Ростов-на-Дону, e-mail: diana@sfedu.ru*

Ростовская область вносит большой вклад в экспорт российского зерна. По итогам 2020/2021 сельскохозяйственного года область стала лидером экспорта зерна из России благодаря развитой инфраструктуре морских портов Ростов, Азов и Таганрог. Строительство портовых сооружений ведет к росту антропогенной нагрузки на ландшафты Нижнего Дона, поэтому изучение экологического состояния территории до начала застройки является актуальной задачей. Статья основана на материалах, полученных в ходе инженерно-экологических изысканий на участке под строительство зернового терминала в Азовском морском порту. Изыскания проводились в 2019–2020 годах на территории площадью 3 га и участке акватории площадью 4 га. Изучались химический состав и уровень загрязнения атмосферного воздуха, поверхностных и подземных вод, почв, донных отложений. Установлен высокий уровень загрязнения атмосферного воздуха, обусловленный повышенными концентрациями взвешенных веществ, оксида углерода, диоксида и оксида азота, бенз(а)пирена и формальдегида. Для воды реки Дон характерны повышенные по сравнению с нормативами качества воды для рыбохозяйственных водоемов содержания сульфатов, нитритов, фенолов, нефтепродуктов и комплекса тяжелых металлов. Почвы отличаются пониженными, относительно регионального геохимического фона, содержаниями тяжелых металлов и мышьяка, что связано с низким содержанием гумуса и глинистых частиц. Содержание бенз(а)пирена и нефтепродуктов в почве не превышает предельно допустимых концентраций, в то же время выявлено загрязнение хлорорганическими инсектицидами и полихлорированными бифенилами. Донные отложения по микроэлементному составу близки к почвам, загрязнение органическими веществами отсутствует. Эколого-геохимическая ситуация оценена как напряжённая.

**Ключевые слова:** зерновой терминал, река Дон, Ростовская область, загрязнение, тяжелые металлы

**ECOLOGICAL AND GEOCHEMICAL ASSESSMENT OF THE TERRITORY  
FOR CONSTRUCTION OF THE AZOV GRAIN TERMINAL****Shishkina D.Y., Baumara M.A., Latun V.V.***Southern Federal University, Rostov-on-Don, e-mail: diana@sfedu.ru*

The Rostov region makes a great contribution to the export of Russian grain. At the end of the 2020/2021 agricultural year, the region became the leader in grain exports from Russia thanks to the developed infrastructure of the seaports of Rostov, Azov and Taganrog. The construction of port facilities leads to an increase in the anthropogenic load on the landscapes of the Lower Don, therefore, the study of the ecological state of the territory before the start of development is an urgent task. The article is based on materials obtained in the course of engineering and environmental surveys at the site for the construction of a grain terminal in the Azov seaport. The surveys were carried out in 2019–2020 on an area of 3 hectares and a section of water area of 4 hectares. The chemical composition and level of pollution of atmospheric air, surface and ground waters, soils, bottom sediments were studied. A high level of atmospheric air pollution was established, due to increased concentrations of suspended solids, carbon monoxide, dioxide and nitrogen oxide, benzo (a) pyrene and formaldehyde. The water of the Don River is characterized by an increased content of sulfates, nitrites, phosphates, phenols, petroleum products and a complex of heavy metals in comparison with the water quality standards for fishery reservoirs. The soils are characterized by low contents of heavy metals and arsenic relative to the regional geochemical background, which is associated with a low content of humus and clay particles. The content of benzo (a) pyrene and petroleum products in the soil does not exceed the maximum permissible concentrations, at the same time, pollution with organochlorine insecticides and polychlorinated biphenyls has been revealed. In terms of trace element composition, bottom sediments are close to soils, there is no organic pollution. The ecological and geochemical situation was assessed as tense.

**Keywords:** grain terminal, Don river, Rostov region, pollution, heavy metals

Ростовская область имеет выгодное расположение с точки зрения возможностей развития водного транспорта, прежде всего за счет реки Дон, проходящей через всю территорию области и соединенной Волго-Донским каналом с другими речными артериями России. По Дону осуществляется выход судов в Азовское, Черное моря и далее в международные воды. Все три круглогодичных морских порта (Азовский, Ростовский и Таганрогский) являются универсальными, при этом основными грузами выступают зерно и уголь. В рам-

ках нацпроекта «Международная кооперация и экспорт» перед Ростовской областью поставлена задача довести объем агроэкспорта до 5,4 млрд долларов. С этой целью в донском регионе продолжается развитие экспортноориентированной логистической инфраструктуры, в частности реализуется четыре инвестпроекта, направленных на увеличение пропускной способности терминалов в портах Азова и Таганрога не менее чем на 13 млн тонн [1].

Интенсивное развитие портовой инфраструктуры, рост грузооборота Ростовского

и Азовского портов, строительство Багаевского гидроузла увеличивают и без того мощную антропогенную нагрузку на геосистемы дельты Дона. В этих условиях возрастает актуальность исследований, направленных на изучение экологического состояния наземных и аквальных ландшафтов, ещё не подвергшихся антропогенному преобразованию.

Целью исследования является комплексная эколого-геохимическая оценка территории и акватории под строительство зернового терминала в морском порту Азов.

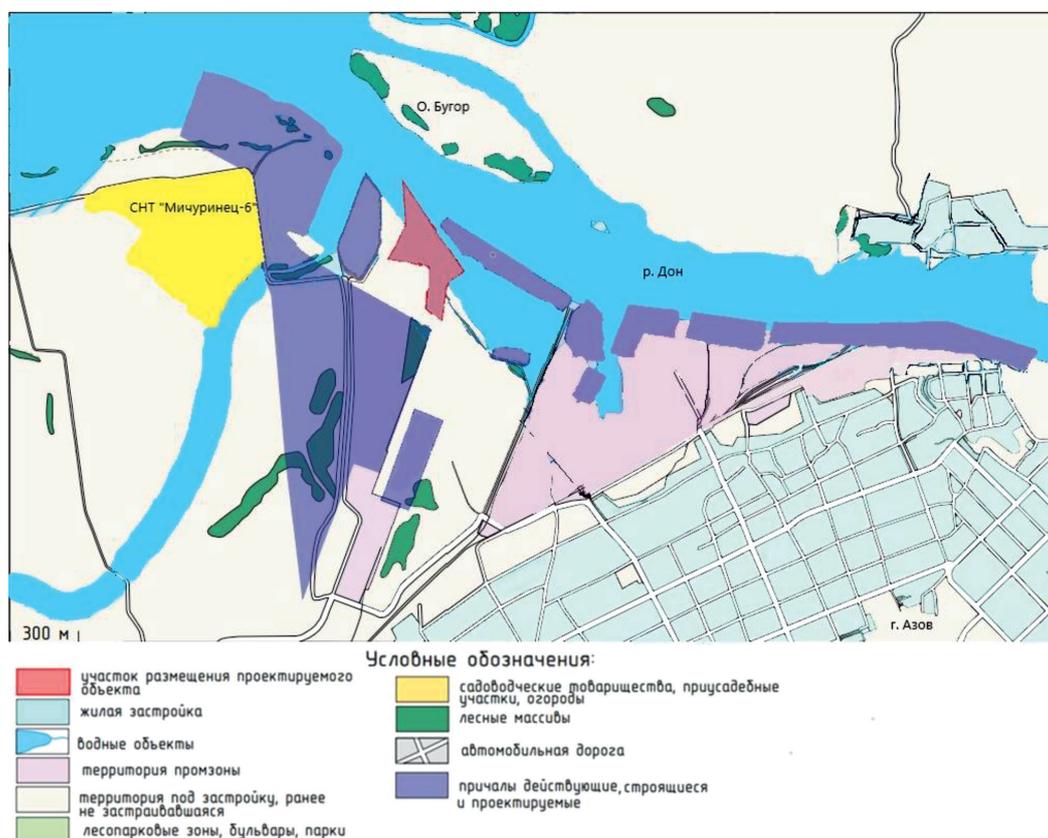
#### Материалы и методы исследования

В основу статьи положены результаты инженерно-экологических изысканий (ИЭИ), проведенных в 2019–2020 гг. на участке под строительство зернового терминала в Азовском морском порту на левом берегу р. Дон. Карта-схема района размещения проектируемого объекта приведена на рисунке. Изыскания выполнялись на территории площадью 3 га и на примыкающем участке акватории искусственного залива (ковша) площадью 4 га. Участок с за-

пада, юга и востока окружен действующими и строящимися портовыми причалами морского порта Азов.

На территорию проектируемого зернового терминала распространяется ряд экологических ограничений. Участок расположен в границах водоохранной зоны и прибрежной защитной полосы р. Дон – рыбохозяйственного объекта высшей категории. Кроме того, он находится во втором поясе зоны санитарной охраны (ЗСО) водозаборных сооружений МП «Азовводоканал» и входит в третий пояс ЗСО водозаборных сооружений в районе х. Дугино – источника водоснабжения населения г. Ростова-на-Дону.

В рамках ИЭИ проведены эколого-геохимические и агрохимические исследования, изучен химический состав почв, донных отложений, природных вод, атмосферного воздуха и выявлены наличие и уровень загрязнения этих компонентов окружающей среды. В ходе изысканий было отобрано 10 проб почвы, 8 – донных отложений, 2 пробы подземных вод и 2 пробы воды из р. Дон.



Карта-схема района размещения проектируемого Азовского зернового терминала

**Таблица 1**

Содержание загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, мг/м<sup>3</sup>

Загрязняющие вещества	Площадка изысканий	г. Азов [2]		ПДКс.с. [3]	ПДКм.р. [3]	Класс опасности
		2019 г.	2020 г.			
Взвешенные вещества	0,4	0,2	0,3	0,15	0,5	3
Диоксид серы	0,009	0,004	0,007	0,05	0,5	3
Оксид углерода	4,0	1,6	1,5	3,0	5,0	4
Диоксид азота	0,19	0,03	0,03	0,1	0,2	3
Оксид азота	0,15	0,02	0,039	–	0,4	3
Бенз(а)пирен, нг/м <sup>3</sup>	1,57	0,4	0,6	1,0	–	1
Формальдегид	0,024	0,007	0,008	0,01	0,05	2

Для изучения состояния атмосферного воздуха использовались данные, предоставленные Северо-Кавказским управлением по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, а также материалы Государственного доклада «О состоянии окружающей среды и природных ресурсов Ростовской области» [2]. В пробах воды определялись общие показатели качества вод (сухой остаток, общая жесткость, водородный показатель и др.), концентрации главных ионов, а также содержания биогенных веществ и основных загрязняющих веществ.

В пределах площадки изысканий изучалось распределение в почвах и донных отложениях химических элементов и соединений, являющихся приоритетными токсикантами окружающей среды: тяжелых металлов, мышьяка, нефтепродуктов и бенз(а)пирена, а также удельная активность природных и техногенных радионуклидов. Дополнительно исследовались показатели, определяемые для зон санитарной охраны водоемов [3].

Тяжелые металлы в пробах почв и донных отложений анализировались методами атомно-эмиссионной и атомно-абсорбционной спектроскопии. Для определения содержания нефтепродуктов использовался флуориметрический метод, цианидов – фотометрический метод, полихлорбифенилов и галогенорганических пестицидов – газожидкостная хроматография, бенз(а)пирена – жидкостная хроматография. Анализы выполнялись в ФГБУ ГЦАС «Ростовский» и АНО «Испытательный центр «НОРТЕСТ».

#### **Результаты исследований и их обсуждение**

Фоновые концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, кроме диоксида серы, выше среднесуточных ПДК

(ПДКс.с.) (табл. 1). Кратность превышения ПДК веществ третьего и четвертого классов опасности варьирует от 1,3 (оксид углерода) до 2,7 (взвешенные вещества). Для оксида азота ПДКс.с. не установлена, но сравнение со среднегодовой ПДК (0,06 мг/м<sup>3</sup>) показывает превышение этого норматива в 2,5 раза. Содержания веществ первого и второго классов опасности – бенз(а)пирена и формальдегида – превосходят среднесуточную ПДК в 1,57 и 2,4 раза. Максимальные разовые ПДК (ПДКм.р.) не превышены ни по одному веществу.

Рассчитанный индекс загрязнения атмосферы (ИЗА<sub>5</sub>) составляет 9,5, что определяет уровень загрязнения атмосферного воздуха как высокий. Причиной высокого уровня загрязнения атмосферного воздуха является интенсивная антропогенная нагрузка на территорию порта, где проводятся погрузочно-разгрузочные работы с пылящими грузами (каменный уголь, зерно и др.) и работает транспорт. Загрязнение атмосферного воздуха в пределах Азовского морского порта носит стабильный характер, причём основной вклад в его формирование вносят зерновая и угольная пыль, суммарное поступление которых в атмосферу превышает 120 т/год [4]. Концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе на территории г. Азов, наблюдаемые в последние годы, заметно ниже по сравнению с территорией морского порта. Лишь содержания взвешенных веществ превышают в 1,3–2 раза среднесуточные ПДК.

В пробах воды р. Дон и грунтовых вод определялся широкий комплекс гидрохимических показателей и концентраций химических элементов и веществ (табл. 2). При экологической оценке принимался во внимание комплексный характер использования р. Дон – как источника хозяйственно-

питьевого водоснабжения, а также водного объекта рыбохозяйственного значения высшей категории, поэтому экологическое состояние оценивалось на основе требований, предъявляемых как к воде подземных и поверхностных водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования, так и к воде водных объектов рыбохозяйственного значения [3; 5]. При этом, исходя из требований п. 14 Постановления Правительства Российской Федерации от 13 февраля 2019 г. № 149, нормативы качества принимались на уровне наименьшего из гигиенического или рыбохозяйственного нормативов.

По сравнению с рыбохозяйственными нормативами в донской воде повышены величины БПК<sub>5</sub> и ХПК, содержания сульфатов, нитритов, фосфатов, фенолов нефтепродуктов, меди, никеля, свинца и марганца. Самое высокое превышение ПДК отмечается по фенолам – в 63 раза. Содержание растворённого кислорода в 10 раз ниже нормы. Гидрохимический состав проб

из акватории проектируемого терминала в целом близок к составу донской воды, установленному в результате многолетних наблюдений и ежегодного мониторинга [2; 6]. Изменчивость гидрохимического состава обусловлена разным временем отбора проб, соответствующим различным фазам гидрологического цикла.

В грунтовых водах по сравнению с нормативами хозяйственно-питьевого водоснабжения постоянно превышены показатели ХПК; в отдельные сезоны – минерализация, содержание фенолов и нефтепродуктов. В целом гидрохимический состав поверхностных и подземных вод весьма близок, поскольку грунтовые воды, приуроченные к аллювиальным отложениям, имеют тесную связь с р. Дон. Следует подчеркнуть, что небольшая глубина залегания грунтовых вод и отсутствие вышележащего водоупорного горизонта обусловили крайне низкую степень их защищенности от проникающих с поверхности загрязнений.

Таблица 2

Гидрохимические показатели и содержание химических веществ в воде, мг/дм<sup>3</sup>

Показатели, ед. измерения	Вода р. Дон	Подземные воды	Показатели качества и ПДК химических веществ [3]	Нормативы качества и ПДК <sub>гр</sub> [4]
Водородный показатель, ед. рН	7,62–8,2	7,71–8,03	6–9	–
Сухой остаток	612–856	328–1192	1000	–
Общая жёсткость, мг-экв/дм <sup>3</sup>	6,18	2,6–8,73	7	–
Растворённый кислород	0,4–8,34	6,49–9,41	не менее 4,0	не менее 4,0
Взвешенные вещества	0,09–4,8	12–43	не более + 0,75 к фону	–
ХПК, мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	28,4–60	77–139	30,0	–
БПК <sub>5</sub> , мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	2,6–2,84	2,88	4,0	2,1
Сульфаты	183–200	8,26–307	500	100
Хлориды	79,4–135	19,3–135	350	300
Нитраты	0,64–2,1	3,4	45	40
Нитриты	0,099	0,12–0,28	3,0	0,08
Аммоний-ион	0,13	0,29–0,53	1,5	0,4
Фосфаты	0,54	3,01	3,5	0,15
Железо	0,076	0,11–0,14	0,3	0,1
Марганец	0,0103–0,043	0,013	0,1	0,01
Медь	0,0032	0,04–0,0044	1,0	0,001
Никель	0,012–0,0152	0,0075	0,02	0,01
Свинец	0,0025–0,0073	0,0002	0,01	0,006
Цинк	0,0076–0,043	0,011–0,017	5,0	0,01
Кремний	4,49	1,16–3,12	20	–
Нефтепродукты	0,018–0,16	0,054–0,49	0,1	0,05
Фенолы	0,0006–0,063	0,0073–0,16	0,1	0,001

Таблица 3

Содержание химических элементов в верхнем почвенном горизонте на площадке изысканий, мг/кг

Химические элементы	Пределы колебаний содержания	Среднее содержание	Региональный геохимический фон [7]	Местный геохимический фон	ПДК, ОДК для песчаных и супесчаных почв [3]
Свинец	1,03–2,87	2,19	24	18	32
Цинк	3,32–12,5	9,02	84,3	57	55
Кадмий	0,05	0,05	0,22	0,16	0,5
Ртуть	0,005	0,005	0,018	0,011	2,1
Мышьяк	0,39–0,9	0,61	4,76	3,3	2
Никель	7,67–12,2	10,7	41	33	20
Медь	2,4–5,35	4,4	34,8	27	33

На участке изысканий развиты аллювиальные примитивные и слоистые почвы супесчаного состава (содержание физической глины 13,09–14,22%). Исследуемые почвы имеют слабощелочную реакцию среды (рН = 8,0–8,5) и низкое содержание гумуса – 0,52–0,75%. Поглощительная способность варьирует от средней (ЕКО 18,4 мг-экв/100 г) до выше средней (ЕКО 34,2 мг-экв/100 г).

Распределение тяжёлых металлов и металлоидов (ТММ) в почвенном покрове довольно равномерное. Характерной особенностью является низкое, по сравнению с зональными чернозёмами, содержание всех химических элементов, обусловленное гранулометрическим составом почвообразующих пород – аллювиальных преимущественно кварцевых песков, резко обеднённых ТММ. Кларки рассеяния по отношению к региональному фону – североприазовским чернозёмам ООПТ «Персиановская степь» – варьируют от 3,8 (никель) до 11 (свинец). В качестве местного геохимического фона использовались результаты анализа почвенной пробы, отобранной в сходных ландшафтно-геохимических условиях за восточной окраиной Азова. Очевидно, что по сравнению с местным фоном почвы площадки изысканий также обеднены тяжёлыми металлами и мышьяком (табл. 3).

В основном концентрации элементов на один–два порядка меньше ОДК для песчаных и супесчаных почв, исключая никель, концентрации которого сопоставимы с санитарно-гигиеническими нормативом, и ртути, ПДК которой на три порядка превосходит установленные нами концентрации.

Низкие содержания ТММ в супесчаных и песчаных аллювиально-луговых и аллювиально-слоистых почвах донской дельты, отмеченные многими исследователями,

обусловлены слабой гумусированностью почв, низким содержанием поглощенных катионов и илистых частиц [8]. Концентрации химических элементов в донных отложениях сопоставимы с таковыми в почвах. Так, средние содержания Pb составляют 2,36, Cu – 4,09, Zn – 11,24 мг/кг. Микроэлементный состав донных отложений акватории ковша в целом соответствует известным данным по геохимии песчаной фракции осадков русла Дона [9].

Нефтепродукты в пробах почвы и донных осадков обнаружены в концентрациях от 5 до 15 мг/кг. В настоящее время отечественная ПДК для нефтепродуктов ещё не разработана, поэтому для приближенной оценки можно воспользоваться величиной 1000 мг/кг, которая рекомендуется в качестве рубежа между допустимым и низким уровнем загрязнения [10]. Содержания бенз(а)пирена в почве и донных отложениях не достигают 0,005 мг/кг, что также значительно ниже ПДК (0,02 мг/кг).

Расположение проектируемого объекта в пределах ЗСО источников водоснабжения диктует необходимость определения ряда показателей оценки санитарного состояния почв населенных пунктов в зонах санитарной охраны водоемов: азота аммонийного и нитратного, хлоридов, фенолов, полихлорированных бифенилов (ПХБ), детергентов и др. Так, содержание аммонийного азота варьировало от 2,29 до 2,71 мг/кг, азота нитратного от 1,68 до 3,36 мг/кг, хлоридов – от 20,2 до 47,2 мг/кг. Концентрации некоторых веществ, например фенолов и цианидов, были ниже предела обнаружения – 0,05 и 0,5 мг/кг соответственно.

Особого внимания заслуживает содержание в почве хлорорганических инсектицидов гексахлорциклогексана (ГХЦГ) и дихлордифенилтрихлорметилметана (ДДТ). Если со-

держание первого не достигает 0,01 мг/кг при ПДК 0,1 мг/кг, то концентрация второго в одной пробе равна 0,064, а во второй – 0,16 мг/кг, что в 1,6 раза превышает ПДК. Содержание полихлорированных бифенилов (ПХБ) в этой же почвенной пробе составляет 0,22 мг/кг – в 11 раз выше ОДК.

Удельная эффективная активность естественных радионуклидов (Th-232, Ra-226, K-40) в почвах и донных отложениях сравнивалась с нормативом для строительных материалов, используемых для вновь строящихся жилых и общественных зданий. Этот показатель изменяется от 31,81 до 104,24 Бк/кг, что ниже норматива 370 Бк/кг.

### Выводы

1. Атмосферный воздух выделяется среди остальных компонентов ландшафта самым широким спектром загрязняющих веществ: из семи изученных веществ – концентрации шести превышают среднесуточные ПДК. Наиболее высокими концентрациями отличаются оксид азота и взвешенные вещества.

2. В акватории проектируемого терминала наблюдаются повышенные по сравнению с ПДК в воде водных объектов рыбохозяйственного значения величины БПК<sub>5</sub> и ХПК, содержания сульфатов, нитритов, фосфатов, фенолов нефтепродуктов, меди, никеля, свинца и марганца. Наибольшая кратность превышения ПДК установлена для фенолов.

3. Сравнение полученных гидрохимических показателей и концентраций веществ в подземных водах с нормативами хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования показало превышение по величине ХПК, минерализации, содержанию фенолов и нефтепродуктов.

4. Почвенно-геохимическая специфика заключается в обеднении ТММ по сравнению с локальным и региональным фоном ввиду лёгкого гранулометрического состава. В то же время почва на площадке изысканий загрязнена органическими экотоксикантами ДДТ и ПХБ.

5. Ввиду высокого уровня загрязнения атмосферного воздуха, присутствия в воде и почве комплекса токсичных элементов и веществ эколого-геохимическая ситуация в пределах площадки изысканий оценивается как напряжённая.

### Список литературы / References

1. В июне значительно вырос экспорт пшеницы из портов Ростовской области. [Электронный ресурс]. URL: [http://www.don-agro.ru/index.php/news/773-v-iyune-znachitelno-](http://www.don-agro.ru/index.php/news/773-v-iyune-znachitelno-vyros-eksport-pshenitsy-iz-portov-rostovskoj-oblasti)

[vyros-eksport-pshenitsy-iz-portov-rostovskoj-oblasti](http://www.don-agro.ru/index.php/news/773-v-iyune-znachitelno-vyros-eksport-pshenitsy-iz-portov-rostovskoj-oblasti) (дата обращения: 15.11.2021).

In June, wheat exports from the ports of the Rostov region increased significantly. [Electronic resource]. URL: <http://www.don-agro.ru/index.php/news/773-v-iyune-znachitelno-vyros-eksport-pshenitsy-iz-portov-rostovskoj-oblasti> (date of access: 15.11.2021) (in Russian).

2. Экологический вестник Дона «О состоянии окружающей среды и природных ресурсов Ростовской области в 2020 году». [Электронный ресурс]. URL: <https://минприродыро.рф/projects/19/> (дата обращения: 30.11.2021).

Ecological Bulletin of the Don «On the state of the environment and natural resources of the Rostov region in 2020». [Electronic resource]. URL: <https://минприродыро.рф/projects/19/> (date of access: 30.11.2021) (in Russian).

3. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 № 2 «Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». [Электронный ресурс]. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_375839/fa69e15a74de57cbe09d347462434c11fcfeeaca/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_375839/fa69e15a74de57cbe09d347462434c11fcfeeaca/) (дата обращения: 15.11.2021).

Resolution of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation dated 28.01.2021 No. 2 «On the approval of sanitary rules and norms SanPiN 1.2.3685-21 «Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of environmental factors for humans». [Electronic resource]. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_375839/fa69e15a74de57cbe09d347462434c11fcfeeaca/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_375839/fa69e15a74de57cbe09d347462434c11fcfeeaca/) (date of access: 15.11.2021) (in Russian).

4. Арташесян А.А., Комиссаров К.Б., Филь А.В. Предложение для ОАО «Азовский морской порт» по уменьшению количества выбросов загрязняющих веществ в атмосферу для улучшения экологической обстановки на предприятии и за его пределами // Транспорт. Экономика. Социальная сфера. (Актуальные проблемы и их решения): сборник статей III Международной научно-практической конференции (г. Пенза, 21–22 апреля 2016 г.). Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2016. С. 8–15.

Artashesyan A.A., Komissarov K.B., Fil' A.V. Proposal for JSC «Azov Sea Port» to reduce the amount of emissions of pollutants into the atmosphere to improve the environmental situation at the enterprise and beyond // Transport. Ekonomika. Social' naya sfera. (Aktual' nye problemy i ih resheniya): sbornik statej III Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii (g. Penza, 21–22 aprelya 2016 g.). Penza: Penzenskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet, 2016. P. 8–15 (in Russian).

5. Приказ Министерства сельского хозяйства РФ от 13.12.2016 г. № 552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения». [Электронный ресурс]. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_211155/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_211155/) (дата обращения: 15.11.2021).

Order of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation dated 13.12.2016 No. 552 «On approval of water quality standards for fishery water bodies, including standards for maximum permissible concentrations of harmful substances in the waters of fishery water bodies». [Electronic resource]. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_211155/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_211155/) (date of access: 15.11.2021) (in Russian).

6. Дельта Дона: эволюция в условиях антропогенной трансформации стока. Ростов-на-Дону: ФГУП «АзНИИРХ», 2009. 184 с.

The Don Delta: evolution in the conditions of anthropogenic transformation of runoff. Rostov-na-Donu: FGUP «AzNIIRH», 2009. 184 p. (in Russian).

7. Шишкина Д.Ю. Тяжелые металлы в почвах Ростова-на-Дону. Ростов-н/Д.: Издательство ЮФУ, 2017. 98 с.

Shishkina D.Y. Heavy metals in the soils of Rostov-on-Don. Rostov-n/D.: Izdatel'stvo YUFU, 2017. 98 p. (in Russian).

8. Минкина Т.М., Федоров Ю.А., Невидомская Д.Г., Манджиева С.С., Козлова М.Н. Особенности содержания

и подвижность тяжелых металлов в почвах поймы реки Дон // Аридные экосистемы. 2016. Т. 22. № 1. С. 86–98.

Minkina T.M., Fedorov Y.A., Nevidomskaya D.G., Mandzhieva S.S., Kozlova M.N. Specific features of content and mobility of heavy metals in soils of floodplain of the Don river // Aridnye ekosistemy. 2016. Vol. 22. № 1. P. 86–98. (in Russian).

9. Хованский А.Д., Латун В.В., Хорошев О.А., Денисов В.И. Оценка воздействия на окружающую среду углубления и расширения судоходных каналов в дельтах рек // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2018. № 1. С. 104–111. DOI: 10.23683/0321-3005-2018-1-104-111.

Hovanskij A.D., Latun V.V., Horoshev O.A., Denisov V.I. Estimation of environmental impact of deepening and widening of navigable canals in river deltas // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Severo-Kavkazskij region. Estestvennye nauki. 2018. № 1. P. 104–111. DOI: 10.23683/0321-3005-2018-1-104-111 (in Russian).

10. Порядок определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими элементами. М.: Управление охраны почв и земельных ресурсов Минприроды России, 1993. 31 с.

Procedure for determining the extent of damage from land pollution by chemical elements. M.: Upravlenie ohrany pochv i zemel'nyh resursov Minprirody Rossii, 1993. 31 p. (in Russian).

## СТАТЬИ

УДК 630\*266

**ЛЕСОВОДСТВЕННО-МЕЛИОРАТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ  
ПОЛЕЗАЩИТНЫХ НАСАЖДЕНИЙ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ****Михин В.И., Михина Е.А.***ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет  
имени Г.Ф. Морозова», Воронеж, e-mail: dr.mikhin2018@yandex.ru*

Защитные искусственные лесные насаждения Краснодарского края формируют экологический каркас ландшафта. Лесоводственные и мелиоративные особенности таких биологических объектов проявляются в зависимости от лесокультурных, агротехнических приёмов создания, их общего состояния, роста и продуктивности. В смешанных культурах в возрасте 25 лет с участием акации белой, груши и яблони лесной формируется ажурная структура. Тополь является быстрорастущей породой и имеет наибольшие показатели роста по отношению к сопутствующим породам. В возрасте 25-28 лет акация белая превосходит своих спутников по диаметру и высоте на 9,6-56,4% и имеет сохранность растений 56,3-61,5%. Насаждения из ясеня зелёного в молодом возрасте (8 лет) имеют сохранность около 80%, где их ветрозащитная высота составляет 9,8 м и средний диаметр – 4,2 см. Такие насаждения по критериям лесоводственно-мелиоративной оценки формируют высокий показатель (5а). Культуры из абрикоса обыкновенного в возрасте 9-21 года представлены ажурной структурой с сохранностью породы 68,2-71,8%. Они достигают высоты 3,4-7,5 м при среднем диаметре 4,8-10,8 см. У ореха грецкого в возрасте 17 лет в защитных насаждениях средний диаметр составляет 12,2 см, высота – 7,2 м. Насаждения из гледичии обыкновенной, ореха грецкого и акации белой в возрасте 25-30 лет формируют выпуклый поперечный профиль, что важно учитывать при формировании эффективных структур насаждений. Наибольший рост в высоту у гледичии обыкновенной, акации белой и ореха грецкого наблюдается на чернозёме обыкновенном среди других типов почв.

**Ключевые слова:** защитные насаждения, высота, диаметр, лесоводственно-мелиоративная оценка**FORESTRY-RECLAMATION FEATURES PROTECTIVE  
PLANTATIONS OF KRASNODAR REGION****Mikhin V.I., Mikhina E.A.***Voronezh State Forestry University named after G.F. Morozov,  
Voronezh, e-mail: dr.mikhin2018@yandex.ru*

Protective artificial flatter plantations of Krasnodar territory form the ecological framework of the landscape. Silvicultural and reclamation features of such biological objects are manifested depending on silvicultural, agrotechnical methods of creating their general condition, growth and productivity. In mixed cultures at the age of 25, with the participation of white acacia, pear and forest apple, an openwork structure is formed. Poplar is a fast growing species and has the highest growth rates in relation to the accompanying species. At the age of 25 – 28 years, white acacia surpasses its satellites in diameter and height by 9.6 – 56.4% and has a plant safety of 56.3 – 61.5%. Green ash plantations at a young age (8 years) are about 80% safe, where their wind-shelter height is 9.8 m and an average diameter of 4.2 cm. Such plantations, according to the criteria of silvicultural-reclamation assessment, form a high indicator (5a). Crops of common apricot at the age of 9 – 21 years are represented by an openwork structure with a preservation of the breed of 68.2 – 71.8%. They reach a height of 3.4 – 7.5 m with an average diameter of 4.8 – 10.8 cm. A 17 year old walnut in protective plantations has an average diameter of 12.2 cm, a height of 7.2 m. common hedsitsia, walnut and white acacia at the age of 25 – 30 years form a convex transverse profile, which is important to take into account when forming effective plantation structures. The greatest growth in height in common gleditsia, white acacia and walnut is observed on ordinary chernozem among other types of soils.

**Keywords:** protective plantings, height, diameter, silvicultural-reclamation assessment

Искусственные линейные насаждения формируют экологический каркас в агроландшафтах. При занимаемой площади в Краснодарском крае около 130 тыс. га лесистость пашни составляет 2,9% [1]. Такие насаждения представлены чистыми и смешанными по составу, в них произрастают определенные виды древесных пород и кустарников с различными агротехническими и лесокультурными приёмами выращивания [2]. Они оказывают определённое влияние на экологические факторы защищённых зон. Их эффективность предопределяет-

ся структурой поперечного профиля. Вопросы теории и практики формирования таких защитных насаждений с заданными биометрическими параметрами, позволяющими иметь на пашне высокопродуктивные культуры с максимальным мелиоративным эффектом, рассматриваются в работах В.В. Таниюкевича [3], В.И. Турусова, А.А. Лепёхина, А.С. Чеканыхшкина [4], П.Н. Проездова, Д.А. Маштакова [5]. Наши исследования дополняют научную концепцию по формированию законченных систем защитных насаждений в зональном аспекте.

Цель наших исследований – выявить наиболее эффективные искусственные защитные линейные насаждения на основе их роста в различных почвенных условиях и мелиоративных функций. Это позволит преобразовать агротерритории, улучшить экологию ландшафтов, повысить биопродуктивность агрокультур.

#### Материалы и методы исследования

Биометрические показатели в искусственных линейных защитных насаждениях изучались в условиях Тихорецкого (пробн. площади 3, 4, 5), Кореновского (пробн. площади 6, 7, 8, 9) и Отрадненского (пробн. площади 10, 11, 12, 13) районов, где почвенный покров на объектах представлен чернозёмом обыкновенным и южным [1; 2].

Возраст определялся по архивным материалам и годичным кольцам моделей, средний диаметр с учётом площади сечения среднего дерева, средняя высота по графику соотношений диаметров и высот, сохранность по фактическому показателю с переводом в процентное содержание, конструкция насаждений по количеству просветов в вертикальном профиле древостоя, ходу роста в высоту и по диаметру с использованием модельных деревьев. Лесоводственная и мелиоративная оценка выполнялась по шкале Е.С. Павловского, бонитет по М.М. Орлову [6]. Выявление особенностей по формированию защитных насаждений на основе их роста, лесоводственных и лесомелиоративных свойств позволяет обосновывать параметры оптимальных лесомелиоративных культур на пашне. Экспериментальные данные обрабатывались вариационно-статистическими методами [7].

#### Результаты исследования и их обсуждение

Лесомелиоративные комплексы Краснодарского края имеют свои определенные исторические корни в связи со специфическими природно-климатическими условиями. Древесные породы ориентированы на растения естественных насаждений, которые уже давно приспособились к среде обитания [1; 2]. Ассортимент пород и агротехника выращивания защитных насаждений нуждаются в совершенствовании и уточнении на зональной основе. Анализ материалов показал (табл. 1), что видовой состав лесополос в основном представлен ясенем зелёным (Яз), акацией белой (Акб), абрикосом обыкновенным (Абр), орехом

грецким (Орг), грушей (Грл), яблоней (Ябл) и другими породами.

Орех грецкий (*Juglans regia* L.) произрастает как в чистых культурах, так и в смешанных. Обычно защитные насаждения формируются с большим размещением посадочных мест и меньшей густотой, что в дальнейшем предопределяет рост и развитие растений. Так, орех грецкий к 17 годам достигает высоты 7,2 м при среднем диаметре 12,2 см, где сохранность равна 79,6% и первоначальное размещение культур 5000 шт./га (пробн. площадь 8).

Чистые лесополосы из акации белой (*Robinia pseudoacacia* L.) при ширине междурядий 2,5 м и расстоянии между рядами в ряду 1,5 м в возрасте 8 лет имеют сохранность 71,6%, а их средний диаметр равен 4,3 см, средняя высота 2,9 м. Насаждения оцениваются по II классу бонитета (пробн. площадь 7). Их запас составляет всего лишь 10,8 м<sup>3</sup>/га. В данных насаждениях формируется ажурная конструкция, которая считается наиболее оптимальной в данных почвенно-климатических условиях. При этом лесные полосы имеют высокие показатели по лесоводственной и мелиоративной оценке (5а). Культуры аналогичного породного состава шириной 10,0 м и первоначальной густотой создания 2000 шт./га (размещение 2,5 x 1,5 м) к возрасту 9 лет также имеют сравнительно высокую сохранность (68,2%), оптимальную конструкцию, высокую лесоводственно-мелиоративную оценку.

В лесополосах при введении акации белой в опушечные ряды, где центральная часть насаждения представлена сопутствующей породой ясенем зелёным, главная порода в возрасте 16 лет имеет сохранность 66,5%, и ее средняя высота составляет 8,9 м, диаметр 10,1 см, что оценивается по высокому классу бонитета. Разница в показателях составляет 17,8-31,3%, формируется состав 6Акб4Яз. Лесонасаждение защитного назначения характеризуется значимыми показателями оценки в лесоводственном и лесомелиоративном отношении (5б). При ширине 15,0 м формируется продуваемая конструкция, что необходимо учитывать при формировании лесомелиоративных комплексов.

Лесные полосы шириной 12,5 м чистые по составу из ясеня зеленого (*Fraxinus lanceolata* Borkh.) в возрасте 8 лет достигают высоты 2,8 м при среднем диаметре 4,7 см, где запас 10,9 м<sup>3</sup>/га, ажурная структура продольного профиля.

Таблица 1

Биометрические показатели искусственных линейных насаждений

№ пр. пл.	Схема смещения Число рядов	Порода	Размещение посадочных мест, м/ширина, м	Возраст, лет	Густота посадки, шт./га	Сохранность, %	Средние		Бонитет	ЛМО насаждений
							диаметр, см	высота, м		
3	Яз/5	Яз	$\frac{2,5 \times 1,5}{12,5}$	8	2666	78,9	4,2	2,8	II	5а
4	Акб/4	Акб	$\frac{2,5 \times 1,5}{10,0}$	9	2666	68,2	4,8	3,4	II	5б
5	Акб-Яз-Яз-Яз-Акб/5	Акб Яз	3,0x1,5/15	16	884 1334	66,5 60,1	10,1 8,4	8,9 5,9	Ia I	5б
6	Абр/4	Абр	3,0x1,5/12	21	2222	71,8	10,8	7,5	I	4б
7	Акб/6	Акб	2,5x1,5/15	8	2666	71,6	4,3	2,9	II	5а
8	Орг/3	Орг	5,0x4,0/15	17	500	79,6	12,2	7,2	II	4б
9	Шел-Акб-Акб-Акб-Грл/5	Акб Грл Шел	3,0x1,0/15	28	2000 667 667	61,5 50,8 58,3	17,2 9,1 15,0	15,6 6,8 14,1	Ia III I	5б
10	Акб-Т-Т-Ябл+Грл/4	Т Акб Грл Ябл	3,0x1,0/12	25	1666 834 417 417	40,1 56,3 69,5 65,2	20,4 15,5 8,0 7,2	17,6 14,0 6,5 6,1	Ia Ia III III	4б

В акациево-ясеневых насаждениях (пробн. площадь 5), в силу своих биологических свойств в возрасте 16 лет, главная порода превосходит сопутствующую по среднему диаметру на 1,7 см, средней высоте на 3,0 м и сохранности растений на 6,4%. Кроме того, отмечаются различия в классе бонитета.

Абрикос обыкновенный (*Armenica vulgaris* L.) находит определенное применение в защитном лесоразведении. В лесополосах при первоначальной густоте создания 2222 шт./га (размещение 3,0 x 1,5 м), ширине 12,0 м, в возрасте 21 года (пробн. площадь 6) он достигает диаметра 10,8 см, ветрозащитной высоты 7,5 м, сохранности породы 71,8% и запаса 60,8 м<sup>3</sup>/га. Четырехрядное насаждение в лесоводственно-мелиоративном плане оценивается по шкале 4 балла, конструкция – ажурная, что вполне приемлемо для данных почвенно-климатических условий.

В возрасте 28 лет в лесной полосе, созданной из пяти рядов при размещении 3,0x1,0 м, сохранность акации белой равна 61,5%, груши лесной (*Pyrus communis* L.) 50,8%, шелковицы (*Morus alba* L.) – 58,3%. Биометрические показатели роста акации белой по диаметру составляют 17,2 см, груши лесной 9,1 см, шелковицы – 15,0 см, высота соответственно 15,6, 6,8 и 14,1 м. Акация белая произрастает по Ia бонитету, груша лесная по III и шелковица по I. На-

саждение имеет ажурную конструкцию и оценивается по шкале акад. Е.С. Павловского 5б (пробн. площадь 9).

В возрасте 25 лет в защитном насаждении, созданном из четырех рядов при размещении растений 3,0x1,0 м, сохранность тополя равна 40,1%; груши лесной 69,5%; яблони – 69,5%; акации белой – 56,3%. Биометрические показатели роста тополя по диаметру составляют 20,4 см, акации белой – 15,1 см, груши лесной – 8,0 см, яблони – 7,2 м, по высоте соответственно 17,6, 14,0, 6,5 и 6,1 м. Тополь и акация белая произрастают по Ia бонитету, груша лесная и яблоня по III. Насаждение имеет ажурную конструкцию и оценивается по шкале акад. Е.С. Павловского 4б (пробн. площадь 10).

Таким образом, лесомелиоративные комплексы в лесоаграрных ландшафтах должны обеспечивать полную защиту сельскохозяйственных угодий от неблагоприятных природных явлений, эрозийных процессов, повышать экологическую ёмкость территорий. Все мероприятия по благоустройству агротерриторий должны проводиться в сжатые сроки с использованием современных технологий и с учётом эколого-ландшафтной системы земледелия.

Древесные породы в защитных насаждениях в различных почвенных условиях имеют отличительные показатели роста (табл. 2).

Таблица 2

Рост древесных пород в искусственных защитных линейных насаждениях, м

Возраст, лет	Почва			
	Чернозём обыкновенный		Чернозём южный	
	Акация белая	Гледичия обыкновенная	Акация белая	Гледичия обыкновенная
4	0,9	1,2	0,7	1,1
12	4,3	5,0	4,1	4,7
18	6,2	7,1	5,8	6,3
30	12,3	13,4	11,7	12,3

Таблица 3

Характеристика древесных пород в разных рядах насаждений

№ пр. пл.	Возраст, лет	Порода	Крайние ряды		Центральные ряды		Различия, %	
			Показатели				по высоте	по диаметру
			высота, м	диаметр, см	высота, м	диаметр, см		
11	26	Орг	10,1	13,3	12,0	12,2	15,8	8,3
12	23	Акб	12,0	15,9	13,8	14,0	13,0	12,0
13	28	Гло	13,4	17,4	15,7	15,9	14,7	8,6

На чернозёме обыкновенном акация белая к возрасту 30 лет имеет по высоте средний прирост 0,41 м/год, на черноземе южном – 0,39 м/год. Для гледичии обыкновенной (*Gleditsia tricanthos* L.) такие различия составляют соответственно 0,44 и 0,40 м/год. В лесных полосах активность в росте изменяется с учетом возрастных показателей. На черноземе обыкновенном у акации белой имеется снижение энергии роста в возрасте 15–19 лет, на чернозёме южном – 16–18 лет. Гледичия обыкновенная характеризуется более активным ростом в высоту до возраста 19–21 год, на чернозёме южном 18–20 лет. Данные закономерности характеризуют их эколого-биологические свойства, которые необходимо учитывать при подборе пород в схемах смешения. Более значимые показатели роста в высоту у акации белой и гледичии обыкновенной отмечаются на чернозёме обыкновенном по сравнению с показателями роста на чернозёме южном.

Древесные породы в зависимости от физиологических показателей, влияющих на их рост, имеют различия в биометрических параметрах в разных рядах произрастания (табл. 3).

Защитные насаждения в возрасте 23–28 лет на чернозёме обыкновенном из ореха грецкого, акации белой и гледичии обыкновенной формируют выпуклый поперечный профиль (пробн. площадь 11, 12 и 13). Для ореха грецкого характерны наибольшие различия в росте по высоте крайних и цен-

тральных рядов (15,8%). У гледичии обыкновенной такая закономерность составляет 14,7%, акации белой – 13,0%. Различия в росте по диаметру наибольшее значение имеют акация белая (12,0%), гледичия обыкновенная и орех грецкий – 8,3–8,6%. Такая особенность произрастания в искусственных культурах способствует иметь наиболее оптимальный профиль по аэродинамическим характеристикам биологических объектов. Это позволит защитить дополнительно приполюсную зону на пашне.

#### Заключение

1. Защитные насаждения в возрасте 25 лет (размещение 3,0 x 1,0 м) представлены тополем бальзамическим, яблоней и грушей лесной, где при ширине 12,0 м формируется ажурная конструкция, которая вполне приемлема для обустройства агро-территории лесомелиоративными комплексами. Тополь превосходит по биометрическим показателям роста сопутствующие породы в 1,35–2,88 раза, что обусловлено его биологическими особенностями.

2. В искусственных лесных насаждениях с участием акации белой, гибридных тополей, яблони и груши лесной шириной 12,0–15,0 м с размещением растений 3,0 x 1,0 м в возрасте 25–28 лет акация имеет сохранность 56,3–61,5%, отстает в росте от тополя по диаметру на 5,3 см, высоте – на 3,6 м, превосходит по биометрическим показателям шелковицу на 9,6–47,1%, яблони лесную – на 52,3–56,4%, грушу лесную –

на 47,1-56,5%. Запас стволовой древесины достигает 95 и 138 м<sup>3</sup>/га, сформировалась ажурная конструкция.

3. Груша лесная – хорошая сопутствующая порода в защитном лесоразведении Краснодарского края. В противозрозионных насаждениях в возрасте 28 лет из шелковицы, груши лесной и акации белой главная порода превосходит по биометрическим показателям в росте и сохранности сопутствующие. Для уменьшения изъятия пахотных земель ширина стокорегулирующих лесополос не должна превышать 15,0 м.

4. Лесные полосы в возрасте 8 лет из ясеня зеленого имеют средний диаметр 4,2 см, среднюю высоту – 9,8 м, сохранность 78,9%. При ширине междурядий 2,5 м и 5 рядах формируется ажурная конструкция. Для повышения эффективности насаждений во вновь создаваемых лесомелиоративных комплексах следует формировать оптимальное количество рядов.

5. Лесомелиоративные насаждения шириной 10,0-12,0 м чистые по составу из абрикоса обыкновенного в возрасте 9-21 года имеют высоту 3,4-7,5 м, диаметр 4,8-10,8 см и сохранность – 68,2-71,8%. В них формируется ажурная конструкция. Для повышения мелиоративных свойств и уменьшения изъятия пахотных земель из оборота целесообразно ширину защитного насаждения принимать не более 15,0 м.

6. Орех грецкий занимает значительные площади в защитном лесоразведении Краснодарского края. В лесных полосах с его участием в возрасте 17 лет при ширине 15,0 м обычно формируется ажурная конструкция. Диаметр ореха грецкого составляет 12,2 см, высота – 7,2 м.

7. В лесных насаждениях в возрасте 23–28 лет из ореха грецкого, акации белой и гледичии обыкновенной сформирован выпуклый профиль, где крайние ряды имеют

большой диаметр на 8,3–12,0% и отстают в росте по высоте на 13,0–15,8%.

8. Лучший рост акации белой, гледичии обыкновенной и ореха чёрного отмечается на чернозёме обыкновенном, чем на чернозёме южном.

#### Список литературы / References

1. Дубинок Н.Н., Танокевич В.В., Тюрин С.В., Состояние и лесомелиоративная эффективность полезащитных лесонасаждений Краснодарского края // Российская сельскохозяйственная наука. 2017. № 1. С. 36–38.

Dubinok N.N., Tanyukevich V.V., Tyurin S.V., Condition and meliorative efficiency of protection plants in Krasnodar region // Rossiyskaya sel'skokhozyaystvennaya nauka. 2017. No. 1. P. 36–38 (in Russian).

2. Караманян А.С., Михина Е.А., Михина В.В. Рост, формирование полезащитных насаждений Кореновского района Краснодарского края // Докучаевское наследие и развитие научного земледелия в России. Воронеж: Истоки, 2017. С. 221–223.

Karamanyan A.S., Mikhina E.A., Mikhina V.V. Growth, formation of shelter plantations Korenovsky district of Krasnodar Territory // Dokuchayevskoye nasledie i razvitiye nauchnogo zemledeliye v Rossii. Voronezh: Istoki, 2017. P. 221–223 (in Russian).

3. Танокевич В.В. Продуктивность и мелиоративная роль лесных полос степных агролесоландшафтов. Новочеркасск: Лик, 2012. 175 с.

Tanyukevich V.V. Productivity and reclamation role of forest strips of steppe agroforestry landscapes. Novochechassk: Lik, 2012. 175 p. (in Russian).

4. Турусов В.И., Лепёхин А.А., Чеканышкин А.С. Опыт лесной мелиорации степных ландшафтов: монография. ФГБНУ «НИИСХ ЦЧП». Воронеж: Истоки, 2017. 228 с.

Turusov V.I., Lepyokhin A.A., Chekanyshkin A.S. Amperesecond. Experience of forest melioration of steppe landscapes: monografiya. FGBNU «NIISKH TSCHP». Voronezh: Istoki, 2017. 228 p. (in Russian).

5. Проездов П.Н., Маштаков Д.А. Агролесомелиорация. Саратов: Амрит, 2016. 472 с.

Proezdov P.N., Mashnikov D.A. Agrolesomelioraciya. Saratov: Amirit, 2016. 472 p. (in Russian).

6. ОСТ 56-69-83. Площадки пробные лесоустroительные. Методы закладки. М.: Издательство стандартов, 1984. 60 с.

OST 56-69-83. Ploshhadki probnye lesoustroitel'nye. Metody zakladki. M.: Izdatel'stvo standartov, 1984. 60 p. (in Russian).

7. Кудряшов Н.Н. Вариационная статистика: учебное пособие. Пенза: ФГБОУ ВО Пензенский ГАУ, 2018. 131 с.

Kudryashov N.N. Variational statistics: a training manual. Penza: FGBOU VO Penzenskiy GAU, 2018. 131 p. (in Russian).