

Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации

Департамент государственной политики и регулирования  
в сфере развития ООПТ и Байкальской природной территории

Государственный природный заповедник «Большая Кокшага»

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный  
технологический университет»

# Научные труды

## ГОСУДАРСТВЕННОГО ПРИРОДНОГО ЗАПОВЕДНИКА «БОЛЬШАЯ КОКШАГА»

Выпуск 9

Йошкар-Ола  
2020

УДК 630.574:(470.343)

ББК 43.4

Н 34

Научный редактор  
**Ю. П. Демаков**, доктор биологических наук

Рецензенты:

**Новоселов С. И.**, доктор сельскохозяйственных наук, ФГБОУ ВО  
«Марийский государственный университет»

**Денисов С. А.**, доктор сельскохозяйственных наук, ФГБОУ ВО  
«Поволжский государственный технологический университет»

*Рекомендовано к изданию научно-техническим советом  
Государственного природного заповедника «Большая  
Кокшага»*

Н 34 **Научные труды Государственного природного заповедника «Большая Кокшага»**. Вып. 9. – Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2020. – 256 с.  
ISBN 978-5-8158-2162-0

Представлены итоги исследований различных аспектов структурно-функциональной организации и развития биогеоценозов на территории заповедника «Большая Кокшага» и сопредельных пространствах.

Для широкого круга исследователей и специалистов в области биологии, экологии и природопользования.

УДК 630.574:(470.343)  
ББК 43.4

ISBN 978-5-8158-2162-0

© Коллектив авторов, 2020  
© ГПЗ «Большая Кокшага», 2020  
© ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», 2020

# Scientific Papers

OF THE STATE NATURE RESERVE  
«BOLSHAYA KOKSHAGA»

Issue 9

Yoshkar-Ola  
2020

СОДЕРЖАНИЕ

Chief editor:  
Doctor of Sci. in Biol. **Y.P. Demakov**

Reviewers:

**Novoselov S.I.**, Doctor of Sci. in Agriculture, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Mari State University”

**Denisov S.A.**, Doctor of Sci. in Agriculture, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Volga State University of Tehnology”

Scientific Papers of the State Nature Reserve «Bolshaya Kokshaga». Issue. 9. – Yoshkar-Ola: Volga State University of Tehnology, 2020. – 256 p.  
ISBN 978-5-8158-2162-0

© Group of authors, 2020  
© State Nature Reserve «Bolshaya Kokshaga», 2020  
© Volga State University of Tehnology, 2020

ISBN 978-5-8158-2162-0

Предисловие	7
<b>Исаев А.В., Шарафутдинов Р.Н., Гареев Б.И.</b> Эколого-геохимическая характеристика аллювиальных отложений в средней части реки Большая Кокшага и их роль в формировании почвенного покрова	8
<b>Исаев А.В., Демаков Ю.П., Шарафутдинов Р.Н., Митякова И.И.</b> Экогеохимия аллювиальных луговых и дерново-луговых почв заповедника «Большая Кокшага»	30
<b>Демаков Ю.П., Исаев А.В., Нуреев Н.Б., Митякова И.И.</b> Границы и причины изменчивости основных параметров почв лесных биогеоценозов Среднего Поволжья	72
<b>Демаков Ю.П., Исаев А.В.</b> Физические и химические параметры торфов верховых болот Республики Марий Эл	109
<b>Демаков Ю.П., Исаев А.В.</b> Сезонная и многолетняя динамика микроклимата почв в различных экотопах Республики Марий Эл	133
<b>Демаков Ю.П., Тишин Д.В., Искандиров П.Ю.</b> Закономерности роста деревьев разных поколений в сосняках заповедника «Большая Кокшага»	167
<b>Богданов Г.А.</b> Анализ лишенобиоты заповедника «Большая Кокшага»	194
<b>Богданов Г.А.</b> Анализ моховидных заповедника «Большая Кокшага»	207
<b>Рыжова Л.В., Ибраев И.В., Файзрахманова З.З.</b> Распространение и динамика основных заболеваний брусники в заповеднике «Большая Кокшага»	223
<b>Бедова П.В., Богданов Г.А.</b> Луговая растительность и энтомофауна окрестностей озера Соленое	234
<b>Рыжова Л.В.</b> «Ведьмины метлы» на березе повислой	241
<b>Рыжова Л.В.</b> Библиография научно-исследовательских работ, выполненных в Государственном природном заповеднике «Большая Кокшага» и на сопредельных территориях. Дополнение 6	244
Об авторах	254

## CONTENTS

Preface	7
<b>Isaev A.V., Sharafutdinov R.N., Gareev B.I.</b> Ecological and Geochemical Characteristics of Alluvial Deposits in the Middle Part of the Bolshaya Kokshaga and Their Role in the Formation of Soil Cover	8
<b>Isaev A.V., Demakov Iu.P., Sharafutdinov R.N., Mitiakova I.I.</b> Eco-geochemistry of Alluvial Meadow and Sod-Meadow Soils in Bolshaya Kokshaga Nature Reserve	30
<b>Demakov Iu.P., Isaev A.V., Nureev N.B., Mitiakova I.I.</b> Limits and Reasons for Variability of Major Soil Characteristics of Forest Biogeocenoses in the Middle Volga Region	72
<b>Demakov Iu.P., Isaev A.V.</b> Physical and Chemical Parameters of Peats of High Moors in Mari El Republic	109
<b>Demakov Iu.P., Isaev A.V.</b> Seasonal and Multi-Year Dynamics of Soil Microclimate in Various Ecotopes of Mari El Republic	133
<b>Demakov Iu.P., Tishin D.V., Iskandirov P.Iu.</b> Different Generation Trees Growth Regularities in Pine Forests of Bolshaya Kokshaga Nature Reserve	167
<b>Bogdanov G.A.</b> Bolshaya Kokshaga Nature Reserve Lichen Biota Analysis	194
<b>Bogdanov G.A.</b> Bolshaya Kokshaga Nature Reserve Bryophytes Analysis	207
<b>Ryzhova L. V., Ibraev I. V., Faizrakhmanova Z. Z.</b> Distribution and Course of Major Diseases of Red Bilberry in Bolshaya Kokshaga Nature Reserve	223
<b>Bedova P.V., Bogdanov G.A.</b> Meadow Vegetation and Entomofauna Around Lake Solenoe	234
<b>Ryzhova L.V.</b> “Witches` Brooms” on European White Birch	241
<b>Ryzhova L.V.</b> Bibliography of scientific studies, carried out in the State Nature Reserve «Bolshaya Kokshaga» and in the adjacent territories. Supplement 6	244
About authors	254

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Десятый выпуск Научных трудов заповедника «Большая Кокшага» посвящен 100-летию функционирования Высшего лесного образования в Среднем Поволжье и памяти его основателя – профессора Леонида Ивановича Яшнова, крупного ученого, талантливого педагога и первого заведующего кафедрой лесоводства Казанского института сельского и лесного хозяйства, впоследствии Поволжского лесотехнического института, а ныне Поволжского государственного технологического университета. Первым деканом лесохозяйственного факультета был Александр Александрович Юницкий, выпускник Петроградского лесного института. Первые лекции для студентов лесохозяйственного факультета, численность которых составляла всего 26 человек, состоялись 5 февраля 1919 года. Так началась история Высшего лесного образования в Среднем Поволжье, пережившего вместе со всей страной немало как героических, так и трагических событий.

В сборник вошли статьи, отображающие результаты исследования различных аспектов структурно-функциональной организации и развития лесных биогеоценозов. В первых пяти работах отражены результаты изучения почв и торфов, имеющие прямое отношение к проблеме биологического круговорота, показаны границы и выявленные причины изменчивости основных их параметров. В статье Ю.П. Демакова, Д.В. Тишина и П.Ю. Искандирова отражены закономерности роста деревьев разных поколений в сосновых лесах заповедника. В двух крупных работах Г.А. Богданова проведен анализ лишенобиоты и моховидных заповедника, а в статье Л.В. Рыжовой охарактеризовано распространение основных заболеваний брусники на его территории. Уверен, что все представленные в сборнике работы найдут широкий отклик научной общественности.

Глубоко благодарен доктору сельскохозяйственных наук С.И. Новоселову и доктору сельскохозяйственных наук С.А. Денисову за рецензирование сборника научных трудов, а также М.А. Зверевой за качественный перевод аннотаций статей.

**Ю.П. Демаков,**  
доктор биологических наук,  
научный редактор сборника

УДК 631.423.1

## ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В СРЕДНЕЙ ЧАСТИ РЕКИ БОЛЬШАЯ КОКШАГА И ИХ РОЛЬ В ФОРМИРОВАНИИ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА

А. В. Исаев, Р. Н. Шарафутдинов, Б. И. Гареев

*Приведены результаты геохимического и гранулометрического анализа состава аллювиальных отложений в среднем течении реки Большая Кокшага. Установлено, что наибольшая роль аллювия в формировании почвенного покрова проявляется на участках поймы, расположенных в непосредственной близости от русла реки (не далее 50 м), где его количество варьирует по годам от 10 до 116 т/га. На расстоянии от 50 до 500 м от русла реки аллювия ежегодно отлагается лишь 400-700 кг/га, а далее 500 м – не более 100 кг/га. В аллювии обнаружено 26 химических элементов, содержание которых во многом детерминировано его гранулометрическим составом и отражает влияние двух геохимических провинций: Центрально-Русской и Приуральской. Гумусовые горизонты почв прирусловой части поймы благодаря аллювию обогащаются Ca, Cr, Ti, Rb, Sr и Zr; а прирусловой и центральной частей поймы – As, Zn, P, S, Mn, Zr, Ni, Cl, Sr и S. Аллювиальные отложения способствуют формированию в пойменных биогеоценозах положительных естественных геохимических аномалий по Mn, P, As, Cu, Ni, Zn, S, Ba, Fe, Cr и Sr, а концентрация S, Mn, Ni, As и Zn превышает в них гигиенические нормативы ПДК и ОДК.*

**Ключевые слова:** заповедник «Большая Кокшага», геохимия почв, аллювиальные отложения, гранулометрический состав, элементный состав

### Введение

Интерпретация результатов изучения аллювиальных почв всегда представляется довольно сложной задачей для исследователя, поскольку на них, помимо прочих классических факторов почвообразования, оказывают влияние, по меньшей мере, еще два: аллювиальность и поемность. Некоторые исследователи выделяют еще фактор переменного гидроморфизма, обусловленного влиянием грунтовых вод [19]. Именно эти факторы зачастую влияют на формирование почвы в более значительной степени, чем все остальные, однако оценить это влияние не так просто. Публикаций, тем или иным образом освещающих эти вопросы, очень мало, хотя исследованию пойменных почв посвящено довольно много работ [7, 17, 23]. Наибольшее внимание аллювиальным отложениям и поемности уделяли гидрологи при изучении русловых деформаций [16]. Благодаря этим работам установлено, что особенности строения и формирования аллювиальных отложений определяются гид-

родинамикой потока в сочетании с блужданием русла, а также режимом уровня и расходов воды [21]. В почвоведческой же литературе встречается сравнительно небольшое количество работ, посвященных этой тематике. Одной из самых известных среди них является монография Г.В. Добровольского о почвах речных пойм центра Русской равнины [8]. Сведения о геохимии аллювия имеются также в работах Ю.Н. Водяницкого [2]. Таким образом, вопрос изучения химического состава аллювия как основного материала, из которого формируются пойменные почвы, и, возможно, определяющего свойства пойменных почв, остается открытым.

Одной из причин, тормозящих исследование свойств аллювия, является, на наш взгляд, отсутствие доступных исследователю простых способов его сбора. Так, при изучении литературы нами нигде не встречено описание таких способов, а в публикациях приводятся лишь характеристики аллювия, которые получены, возможно, при полевых исследованиях путем его сбора с поверхности почвы. Такой метод, однако, не вполне надежен, поскольку аллювий в процессе взаимодействия с погребенной им почвой, лесной подстилкой, а также с абиотическими и биоценотическими факторами среды может приобрести другие свойства, отличные от первоначальных, что существенно снижает качество полученных данных, а также не позволяет определить степень его накопления на единицу площади. Поэтому необходимо проводить исследование непосредственно «чистого» аллювия. Это возможно сделать, используя лишь специальные приспособления для его улавливания. Мы предлагаем в качестве такого материала пластиковое щетинистое покрытие без перфораций, которое имеется в свободной продаже и вполне доступно любому исследователю.

**Цель работы** заключается в проведении эколого-геохимического анализа аллювиальных отложений и оценке их роли в формировании почвенного покрова в пойменных ландшафтах заповедника.

### Объекты и методика исследования

Исследование аллювиальных наносов проведено на девяти временных пробных площадях (ВПП), заложенных в прирусловой и центральной частях поймы реки Большая Кокшага в пределах территории одноименного заповедника. ВПП расположены на линии, представляющей собой трансекту, пересекающую пойму реки перпендикулярно ее руслу (рис. 1). Таксационная характеристика древостоев на ВПП в прирусловой части поймы приведена в [11], в центральной – в [10], а описание геоморфологического строения поймы на исследуемом участке и поч-

венного покрова в [9]. Все пробные площади заняты древесной растительностью с доминированием в составе дуба черешчатого и липы мелколистной, за исключением ВПП 33, представленной лугом с доминированием таволги вязолистной. На ВПП 1-4 сформировались аллювиальные дерновые почвы легкого гранулометрического состава, на ВПП 29, 32, 33 и 35 – аллювиальные луговые поверхностнооглеенные средние и тяжелосуглинистые, а на ВПП 37 – аллювиальные дерново-луговые среднесуглинистые.

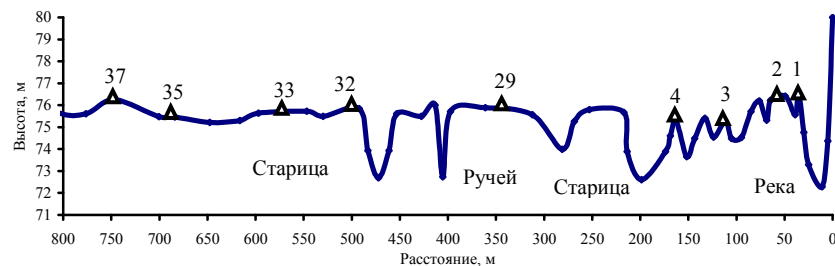


Рис. 1. Схема поперечного профиля части поймы. Треугольники – места установки наилоуловителей; 1, 2...37 – номера ПП

Для сбора аллювия использованы пластиковые щетинистые коврики без перфораций размером 40×44,5 см, которые устанавливали на каждой ВПП зимой на расстоянии друг от друга 5-7 м, укладывая их на предварительно очищенную от лесной подстилки и ветоши поверхность почвы, а также закрепляя по углам металлическими колышками из нержавеющей стали во избежание их сноса полрой водой (рис. 2). На участке центральной части поймы в каждом биотопе устанавливали по два наилоуловителя, в прирусловой части поймы – по одному.



Рис. 2. Наилоуловители после схода полрой воды

Весной сразу же после схода воды наилоуловители были освобождены от прошлогодней листвы, собраны поштучно в индивидуальные полиэтиленовые мешки, высушены в лаборатории при комнатной температуре и тщательно очищены от аллювия, который помещали в полиэтиленовые пакеты. Определение элементного состава аллювиальных отложений проведено с помощью рентгенофлуоресцентного анализа в Казанском Федеральном университете по методике, описанной в [13]. Гранулометрический состав определен в Набережночелнинском институте (филиале) Казанского Федерального университета на лазерном анализаторе размеров частиц серии «Микросайзер 201». Статистическая обработка полученных данных проведена на ПК с использованием пакета прикладных программ Excel и Statistika 5.0.

### Результаты исследования и их обсуждение

Исследования показали, что масса отложенного аллювия снижается по мере удаления от русла реки. Наибольшее количество наилка в 2018 году поступило на ВПП 1 и 2 – 31932 и 13224 кг/га соответственно (табл. 1). Уже на расстоянии нескольких десятков метров от русла количество его сокращается более чем в 70 раз. На наиболее удаленных от русла реки экотопах (ВПП 33, 35 и 37) масса аллювия не превышает нескольких десятков килограммов на 1 га. Эти данные свидетельствуют о том, что в современный период внутренние области центральной части поймы получают сравнительно небольшие порции свежих отложений. В результате роль аллювия в формировании почвенного покрова по мере удаления от русла реки снижается и уже на удалении нескольких десятков метров почти не проявляется. Это, в свою очередь, сказывается на строении почвенного профиля, в котором отсутствуют признаки слоистости [9], а зональные факторы формирования почв приобретают большее значение, чем азональные. Исследованиями также установлена высокая вариабельность массы аллювия, собранного в 2017 и 2018 годах в пределах одного и того же экотопа: наиболее сильно она различается на участке поймы, граничащей с руслом реки (ВПП 1), и только на ВПП 2 значения различаются менее существенно.

Таблица 1  
Количество аллювия, отложенного на различных участках поймы в 2017-2018 годах

Год	Масса аллювия в различных экотопах, т/га								
	ВПП 1	ВПП 2	ВПП 3	ВПП 4	ВПП 29	ВПП 32	ВПП 33	ВПП 35	ВПП 37
2017	116,68	10,15	1,36	1,24	Наилоуловители не устанавливались				
2018	31,93	13,22	0,42	0,72	0,64	0,40	0,07	0,03	0,02

Анализ гранулометрического состав аллювиальных отложений различных экотопов показал, что он имеет довольно слабую сортировку по фракциям, за исключением таковых на ВПП-1, представленной прирусловым валом. В аллювии этого экотопа доминируют частицы мелкого песка (табл. 2). В остальных экотопах на первом месте в ранговом ряду находятся частицы крупной пыли (так называемые лёссовые фракции), за ними с небольшим отрывом находятся фракции мелкого песка и мелкой пыли. Эти данные весьма показательны, так как свидетельствуют об утяжелении гранулометрического состава аллювиальных отложений по мере удаления от русла реки по поперечнику поймы, а следовательно, и о снижении силы проявления аккумулятивных процессов. Особенно четко это прослеживается на примере снижения доли фракции мелкого песка, долевого содержание которой, согласно Б.Н. Польскому [18], характеризует напряженность гидродинамических процессов в половодье: чем больше этой фракции, тем больше их напряженность.

Таблица 2

**Гранулометрический состав аллювиальных отложений**

Экотоп*	Содержание частиц разного размера, %						
	1-0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	<0,001	<0,01
ВВП-1	7,6	75,1	10,5	2,0	4,0	0,8	6,8
ВПП-2	0,7	34,7	39,3	7,7	15,4	2,2	25,3
ВВП-4	1,6	27,6	39,7	10,2	18,7	2,2	31,1
ВВП-29	1,8	29,4	35,7	11,0	19,9	2,2	33,1
ВВП-32	1,5	20,9	37,2	11,0	26,0	3,4	40,4

**Примечание:** \* гранулометрический состав аллювия других экотопов проведен не был по причине малого количества, собранного наилкоуловителями.

Валовой состав аллювия, выявленный с помощью рентгенофлуоресцентного анализа, весьма представительен и насчитывает 26 элементов, из которых только 15 постоянно присутствуют во всех образцах (табл. 3). Никель отсутствует в аллювиальных отложениях только в экотопе на ВПП 1, натрий и цирконий не обнаружены в наиболее удаленных от русла участках поймы на ВПП 33, 35 и 37, а барий и хлор, наоборот, – в наиболее близких к руслу экотопах. Мышьяк встречается спорадически как в экотопах прирусловой, так и центральной частях поймы. Ванадий, ниобий, бром, галлий и иттрий встречаются весьма редко, а последние четыре элемента – в единичных случаях. По этой причине при статистической обработке материала были использованы только те элементы, которые присутствуют во всех образцах.

Распределение содержания различных химических элементов по поперечнику поймы, а также потери массы аллювия при прокаливании имеют специфический характер. Так, концентрация кремния, калия,

натрия, циркония, хрома, алюминия и магния снижается с некоторыми всплесками на отдельных участках поймы. Причем в распределении по поперечнику поймы алюминия и магния прослеживается полная синхронность. У железа, кальция, марганца, фосфора, серы, цинка и хлора отмечается постепенное повышение содержания в аллювиальных отложениях от более молодых участков поймы к более зрелым. Содержание же органического вещества в этом направлении возрастает достаточно резко. Концентрация железа имеет резкий пик на ВПП 32, а марганца – на ВПП 33. Концентрация меди очень слабо изменяется по поперечнику поймы, и только на ВПП 32 и 35 наблюдаются пики ее содержания. Другие элементы (стронций, никель, рубидий и титан) не обнаруживают четкой дифференциации в зависимости от расположения экотопа по поперечнику поймы.

Таблица 3

**Элементный состав аллювия по данным сбора, проведенного в 2018 году**

Элемент	Содержание элементов в аллювии, мг/кг								
	ВПП 1	ВПП 2	ВПП 3	ВПП 4	ВПП 29	ВПП 32	ВПП 33	ВПП 35	ВПП 37
ППП, %	2,8	11,2	22,9	21,9	21,8	34,4	64,4	70,8	74,2
Si	380	294	283	245	242	145	66,3	47,3	41,7
Al	39060	64202	32671	57216	57067	42818	12908	9046	7704
Fe	19369	41280	26783	46968	52178	117295	57096	57105	43968
K	11482	14904	10040	14592	14015	13288	5819	9093	8681
Ca	8160	11382	16814	12994	14994	22846	28332	23338	18752
Mg	5924	10467	5992	10007	9762	7224	2617	2264	1834
Na	4915	7235	3094	4939	4720	1463	0,0	0,0	0,0
Ti	3330	3672	2097	3644	3701	4619	1492	1010	1004
Mn	533	1580	1453	2203	3576	8090	27753	14801	24925
P	1066	1981	2370	2626	2245	4530	4165	5975	4262
S	572	1185	1765	1559	1412	1602	2476	2698	2555
Ba	0,0	587	0,0	477	530	1111	1377	998	798
Zr	2877	379	444	239	245	408	0,0	0,0	0,0
Cr	296	175	112	121	125	205	76,0	31,5	58,8
Sr	400	150	93,0	126	145	149	437	194	130
Zn	53,0	116	210	138	158	265	345	243	270
Ni	0,0	68,4	63,6	71,5	114	181	77,0	524	63,6
Cu	52,7	63,9	62,3	67,1	68,7	109	73,5	192	61,5
Rb	83,2	55,8	32,9	55,8	74,1	126	84,1	61,3	67,7
As	0,0	18,9	0,0	18,9	0,0	58,3	26,5	0	37,9
Cl	0,0	0,0	0,0	161	245	213	191	448	371
V	0,0	0,0	0,0	206	190	0,0	0,0	37,0	15,1
Nb	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	36,4	0,0	0,0	0,0
Br	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	40,0	0,0	0,0
Ga	0,0	0,0	0,0	0,0	21,6	0,0	0,0	0,0	0,0
Y	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	49,6	0,0	0,0	0,0

**Примечание:** содержание кремния выражено в г/кг.

На первом месте в ранговом ряду по содержанию элементов в аллювии находится, как показали результаты статистической обработки собранного материала, кремний, за которым с большим отрывом следуют в порядке убывания железо, алюминий, кальций, калий, марганец, магний, фосфор, натрий, титан и сера (табл. 4). Концентрация в аллювии остальных элементов не превышает 1 г/кг. Содержание многих элементов отличается высоким размахом значений, что связано с различными топографическими и гидрологическими условиями, обусловившими его качественный и количественный состав.

Таблица 4

Статистические показатели содержания органического вещества и химических элементов в аллювии

Экотоп	Значения статистических показателей, мг/кг*					
	M <sub>x</sub>	max	min	Размах	Медиана	V, %
ППП, %	36,0	74,2	2,8	71,3	35,7	74,5
Si	193814	380322	41679	338643	169322	63,5
Al	35855	64202	7704	56497	28249	60,9
Fe	51338	117295	19369	97925	48963	54,3
K	11324	14904	5819	9084	4542	27,7
Ca	17512	28332	8160	20172	10086	36,9
Mg	6232	10467	1834	7235	3617	55,0
Na	2929	7235	0,0	8634	4315	91,6
Ti	2730	4619	1004	3615	1807	49,3
Mn	9435	27753	533	27221	13610	112,3
P	3247	5975	1066	4908	2454	48,1
S	1758	2698	572	2126	1063	40,0
Ba	653	1377	0,0	1377	688	72,2
Zr	510	2877	0,0	2877	1438	177,4
Cr	133	296	31,5	265	132	61,2
Sr	203	437	93,0	344	172	62,0
Zn	200	345	53,0	292	146	45,6
Ni	129	524	0,0	524	262	120,5
Cu	83,3	193	52,7	140	69,9	52,5
Rb	71,2	126	32,9	93,3	46,6	36,5
As	17,8	58,3	0,0	58,3	29,2	115,4
Cl	181	448	0,0	448	224	89,8

**Примечание:** \* M<sub>x</sub> – среднее арифметическое значение; min, max – минимальное и максимальное значения; размах – разность между max и min значениями; использование непараметрической статистики обусловлено существенным отличием характера распределения значений показателей в рядах от закона Гаусса.

Аллювиальные отложения экотопов по химическому составу и содержанию органического вещества имеют определенную территориальную приуроченность в распределении по поперечнику поймы, которая визуализируется с помощью кластерного анализа. Первый кластер

представлен только ВПП 1, второй – ВПП 2, 3, 4 и 29, а третий – всеми остальными ВПП (рис. 3). Так, ВПП 1 (прирусловый вал), расположенная в непосредственной близости от русла реки, где напряженность аккумулятивных процессов, а также скорость течения воды самая высокая, отличается наименьшим содержанием многих элементов в аллювии (рис. 4). Содержание же здесь кремния, хрома, циркония, натрия и стронция наибольшее, т.к. в этих условиях накапливаются более крупные песчаные частицы гранулометрического состава, представленные в основном кристаллами кварца. Содержание хрома, как будет показано ниже, довольно тесно связано с кремнием, поэтому он также накапливается в этом экотопе. Объяснить же высокое содержание здесь натрия, циркония и стронция сложно, поскольку небольшой объем выборки по этим элементам не позволяет провести корреляционный анализ.

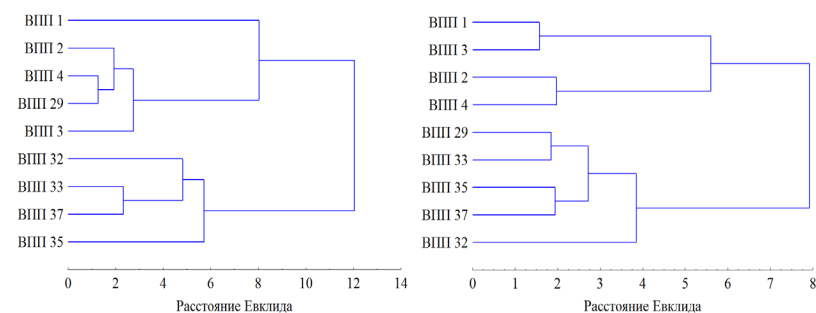


Рис. 3. Дендрограмма сходства экотопов по элементному составу аллювия (слева) и верхнего гумусового горизонта, построенная способом Варда по матрице нормированных данных

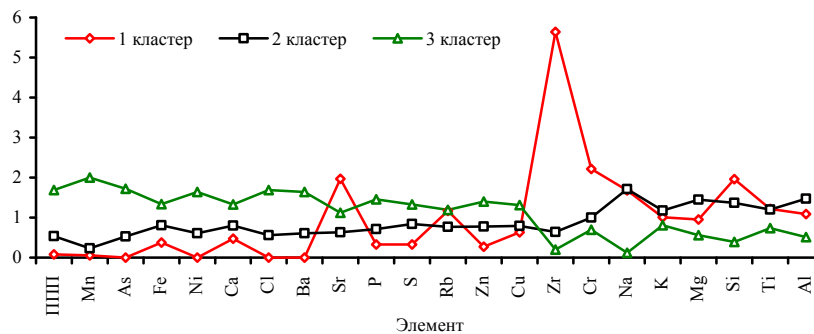


Рис. 4. Различия между кластерами по элементному составу аллювия и содержанию органического вещества



Аллювий экотопов второго кластера, по сравнению с остальными, имеет в целом среднее содержание почвы всех элементов в аллювии и повышенное натрия, калия, магния и алюминия. Аллювий же экотопов третьего кластера, наиболее удаленных от русла реки, обогащен глинистыми частицами, в составе которых содержится много марганца, мышьяка, железа, никеля, кальция, хлора, бария, фосфора, серы, рубидия, цинка и меди. Концентрация же кремния и связанных с ним элементов минимальна. Содержание органического вещества в аллювии экотопов данного кластера достигает наибольших величин.

Группировка экотопов по содержанию элементов в верхнем горизонте почв (0-10 см) показала довольно схожий результат с той лишь разницей, что ВПП 29 вошла во второй кластер вместе с участком, наиболее удаленными от русла реки и представленными луговыми и дерново-луговыми поверхностнооглеенными почвами. ВПП 1, 2, 3 и 4 образуют один кластер, представленный дерновыми почвами. Таким образом, в настоящее время по элементному составу аллювиальные отложения и верхние горизонты почв дифференцируются по поперечнику поймы сходным образом.

Валовой состав аллювия представляет собой довольно организованную, упорядоченную многокомпонентную систему, состоящую не из простого набора элементов, поступающего на поверхность поймы, а строго структурированную, имеющую свои внутренние связи между отдельными компонентами. Так, с помощью корреляционного и кластерного анализа, результаты которых дополняют друг друга, можно выделить эти структурные составляющие, обусловленные взаимодействием между собой определенных элементов (табл. 5, рис. 5). С содержанием органического вещества, выраженного через потерю при прокаливании, довольно тесную связь, описываемую степенным уравнением, имеют так называемые, органофильные элементы: кальций, фосфор, сера, марганец, цинк и медь (табл. 6, рис. 6). С алюминием тесно связаны калий, магний и титан, с кремнием – хром, а с железом – рубидий, причем связь в данном случае прямолинейная и высокая. Только стронций не имеет тесной связи ни с одним из рассмотренных элементов.

Таблица 5  
Матрица коэффициентов парной корреляции между содержанием элементов и органического вещества в аллювии и верхнем горизонте почвы

Элемент	Значение коэффициента корреляции															
	ППП	Si	Al	Fe	K	Ca	Mg	Ti	Mn	P	S	Cr	Sr	Zn	Cu	Rb
ППП		-0,977	0,725	0,958	0,158	0,741	0,705	0,722	0,735	0,859	0,613	-0,080	0,348	0,816	0,736	0,680
Si	-0,973		-0,848	-0,984	-0,362	-0,846	-0,835	-0,832	-0,755	-0,901	-0,697	-0,102	-0,520	-0,900	-0,830	-0,796
Al	-0,861	0,748		0,808	0,759	0,920	0,970	0,978	0,506	0,794	0,829	0,580	0,855	0,858	0,944	0,835
Fe	0,277	-0,475	-0,001		0,338	0,796	0,807	0,769	0,829	0,923	0,622	0,038	0,455	0,910	0,778	0,812
K	-0,742	0,619	0,926	0,119		0,732	0,801	0,721	0,261	0,349	0,552	0,833	0,942	0,590	0,636	0,714
Ca	0,808	-0,860	-0,668	0,579	-0,676		0,963	0,902	0,621	0,736	0,733	0,463	0,844	0,891	0,861	0,900
Mg	-0,822	0,704	0,994	0,018	0,927	-0,629		0,932	0,608	0,766	0,740	0,512	0,862	0,899	0,923	0,936
Ti	-0,781	0,623	0,881	0,347	0,855	-0,475	0,857		0,445	0,705	0,798	0,583	0,867	0,783	0,924	0,767
Mn	0,914	-0,885	-0,818	0,220	-0,810	0,779	-0,804	-0,713		0,680	0,254	-0,186	0,270	0,816	0,415	0,784
P	0,883	-0,929	-0,691	0,586	-0,506	0,844	-0,647	-0,515	0,697		0,743	0,147	0,414	0,877	0,756	0,728
S	0,960	-0,937	-0,789	0,239	-0,698	0,820	-0,728	-0,787	0,826	0,867		0,593	0,662	0,723	0,747	0,524
Cr	-0,799	0,768	0,559	-0,038	0,498	-0,619	0,476	0,730	-0,624	-0,674	-0,913		0,825	0,270	0,429	0,275
Sr	0,066	0,001	-0,313	-0,161	-0,511	0,178	-0,378	-0,178	0,341	-0,072	-0,083	0,276		0,638	0,747	0,714
Zn	0,842	-0,879	-0,697	0,511	-0,702	0,962	-0,654	-0,534	0,837	0,795	0,858	-0,669	0,072		0,779	0,911
Cu	0,517	-0,550	-0,413	0,420	-0,204	0,515	-0,382	-0,306	0,224	0,792	0,528	-0,426	-0,083	0,341		0,804
Rb	0,082	-0,224	-0,021	0,769	0,033	0,330	-0,063	0,417	0,213	0,263	-0,103	0,399	0,338	0,250	0,127	

Примечание: данные в верхней правой части матрицы – верхние горизонты почвы, в левой нижней части – аллювии.

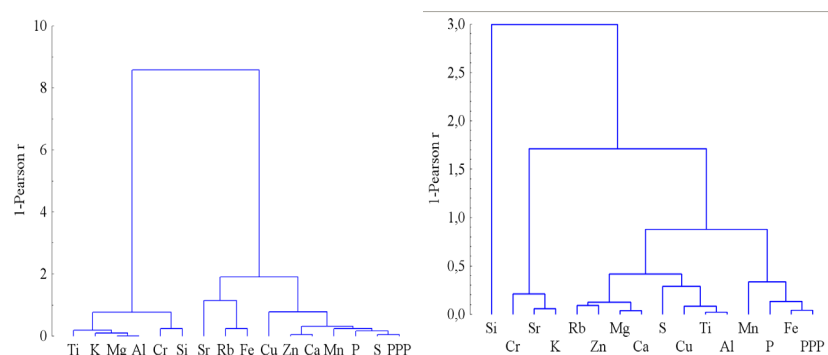


Рис. 5. Дендрограмма сходства химических элементов и потерь при прокаливании (ППП), построенная по фактическим данным их содержания в аллювии (слева) и верхнем горизонте почв

Таблица 6

Значения параметров функции, описывающей связь содержания элементов с различными агентами-носителями

Параметр уравнения	Значение параметров функции										
	Потери при прокаливании					Алюминий		Кремний			Железо
	Ca	Mn	P	S	Zn	K*	Mg	Ti	Cr	Na	Rb*
a	5,428	0,086	0,610	0,372	32,93	0,133	0,349	0,244	3,975	0,002	0,716
b	0,343	1,228	0,482	0,454	0,522	6,559	0,812	0,682	0,666	1,344	34,47
R <sup>2</sup>	0,833	0,852	0,899	0,971	0,906	0,858	0,989	0,915	0,697	0,605	0,591

Примечание: уравнение связи между алюминием и калием, железом и рубидием имеет вид  $Y = k \times X + b$ , а между остальными элементами –  $Y = a \times X^b$ .

Характер связей между содержанием элементов в аллювии и в верхнем слое почвы (0-10 см) рассмотренных экотопов существенно отличается. Так, например, все элементы в верхнем слое почв обнаруживают тесную связь с содержанием алюминия, особенно магний, титан, кальций и медь, тогда как в аллювии связь с алюминием у многих элементов отрицательная, за исключением калия, магния и титана. То же самое можно сказать и про потери при прокаливании: в аллювии связь ее с алюминием отрицательная, тогда как в верхнем горизонте почвы – высокая положительная. Корреляция содержания кремния в верхнем слое почвы со всеми элементами отрицательная, а в аллювии же положительная и высокая с алюминием, калием, магнием, титаном и хромом.

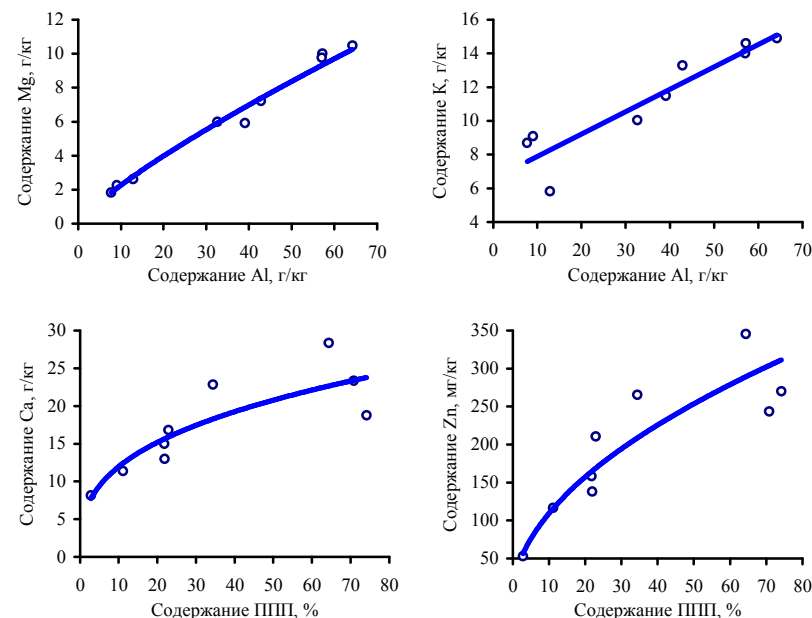


Рис. 6. Связь содержания некоторых элементов с потерей при прокаливании и концентрацией алюминия

Стронций, присутствующий в аллювии в виде примеси к различным минералам, корреляционно тесно связан, как показали расчеты, с алюминием, кальцием, магнием, титаном, хромом, а особенно с калием. Железо в аллювиальных отложениях не образует тесных корреляционных связей с большинством элементов, тогда как в почве его связь с ними весьма высока, особенно с фосфором и цинком. Столь существенные различия в характере связей между элементами в аллювии и почве связаны, по нашему мнению, с различными формами их участия в составе разных агентов-носителей. Так, например, тесные связи алюминия, железа и других элементов с потерями при прокаливании образцов верхнего слоя почвы свидетельствуют о том, что органическое вещество выступает здесь в качестве их носителя, тогда как в аллювии такого не наблюдается. Химические связи между элементами в аллювии, после того как он попадает на поверхность почвы, в результате почвообразовательного процесса претерпевают существенные изменения.

О причинах связей элементов между собой, без проведения минералогического анализа, мы можем только делать предположения, основываясь на знании химического строения различных минералов. Так, тесная связь титана с алюминием обусловлена его концентрацией в бокситах, представляющих собой алюминиевую руду. Титан в условиях выветривания и осаждения имеет геохимическое сродство с  $Al_2O_3$ . Связь магния с алюминием обусловлена тем, что оба они входят в состав глиноземов; а алюминия с калием – тем, что последний входит в состав полевых шпатов. Этим же, по-видимому, обусловлена и связь содержания алюминия с кремнием в аллювии. В почве связь между кремнием и алюминием отрицательная, что может свидетельствовать о разрушении полевых шпатов и перегруппировке веществ в разных соединениях при эпигенезе. Стронций имеет тесную связь в верхних горизонтах почвы с калием, алюминием и кальцием, что обусловлено вхождением его в минералы, содержащие алюминий (стенонит, стронциодрессерит, сванбергит и др.).

Анализ корреляционной матрицы между содержанием химических элементов и гранулометрическим составом аллювиальных отложений показал, что концентрация кремния, циркония, хрома и стронция очень тесно связана с содержанием песчаных частиц (табл. 7), в результате они формируют обособленный кластер (рис. 7). Это может быть обусловлено тем, что кремний и цирконий являются инертными малоподвижными элементами, особенно цирконий, входящий в состав трудно выветриваемого минерала циркона; в ходе гипергенных процессов он накапливается в песках с монацитом и магнетитом [20]. Цирконий имеет повышенное содержание в алевритовых и мелкопесчаных фракциях в покровных суглинках [7]. Ю.Н. Водяницкий [3] отмечает, что Sr и Cr, а также ряд других элементов концентрируются в почвах легкого гранулометрического состава при техногенном загрязнении аллювиальных почвах г. Перми, однако в нашем случае такое загрязнение отсутствует.

Сорбция остальных элементов осуществляется глинистыми и илистыми частицами, причем между ними наблюдается некоторая специализация в тяготении к фракциям определенного размера. Содержание таких элементов, как алюминий, калий и магний тесно связано только с крупнопылеватыми частицами, которые также образуют обособленный кластер; серы – со средней и мелкой пылью, а железа, кальция, титана, марганца, фосфора, цинка и меди – с илистой фракцией. Из всего перечня элементов только натрий и рубидий не обнаруживают тесной связи с гранулометрическим составом.

Таблица 7

Матрица коэффициентов парной корреляции между содержанием элементов и гранулометрическим составом аллювиальных отложений

Элемент	Значения коэффициентов корреляции между содержанием элементов и фракций						
	1-0,25 мм	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	<0,001	<0,01
Si	0,72	<b>0,90</b>	-0,73	<b>-0,89</b>	<b>-0,98</b>	<b>-0,97</b>	<b>-0,97</b>
Al	-0,73	-0,50	-0,72	0,45	0,26	0,18	0,31
Fe	-0,51	-0,70	0,50	0,67	0,86	<b>0,92</b>	0,82
K	<b>-0,92</b>	-0,78	<b>0,93</b>	0,71	0,58	0,52	0,62
Ca	-0,55	-0,75	0,54	0,75	<b>0,90</b>	<b>0,93</b>	0,87
Na	-0,02	0,29	-0,01	-0,35	-0,53	-0,55	-0,49
Mg	-0,80	-0,62	0,80	0,59	0,39	0,29	0,45
Ti	-0,51	-0,68	0,49	0,63	0,83	<b>0,92</b>	0,79
Mn	-0,45	-0,67	0,44	0,67	0,84	<b>0,88</b>	0,80
P	-0,58	-0,77	0,59	0,74	<b>0,90</b>	<b>0,94</b>	0,86
S	-0,87	<b>-0,98</b>	<b>0,90</b>	<b>0,98</b>	<b>0,96</b>	<b>0,89</b>	<b>0,97</b>
Zr	<b>0,98</b>	<b>0,97</b>	<b>-0,99</b>	<b>-0,94</b>	-0,87	-0,80	<b>-0,90</b>
Cr	0,83	0,81	-0,86	-0,84	-0,66	-0,50	-0,71
Sr	<b>0,98</b>	<b>0,97</b>	<b>-0,99</b>	<b>-0,94</b>	-0,87	-0,80	<b>-0,90</b>
Zn	-0,62	-0,81	0,62	0,80	<b>0,94</b>	<b>0,96</b>	<b>0,91</b>
Cu	-0,48	-0,68	0,47	0,64	0,83	<b>0,91</b>	0,79
Rb	0,12	-0,12	-0,15	0,13	0,38	0,48	0,31

Примечание: жирным шрифтом выделены коэффициенты корреляции, значения которых достоверны при  $p < 0,05$ .

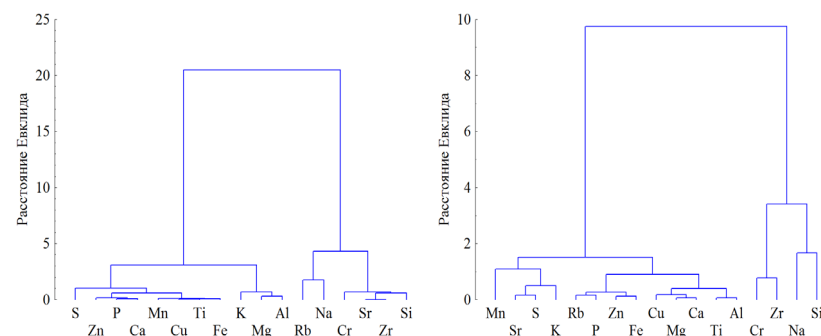


Рис. 7. Дендрограммы сходства содержания химических элементов в зависимости от гранулометрического состава в аллювиальных отложениях (слева) и в верхнем слое почв, построенные по коэффициентам парной корреляции

Сравнение связи между содержанием элементов и гранулометрическим составом аллювиальных отложений и верхнего слоя почв экотопов показало, что в целом они сходны. Разница заключается только в связи содержания таких элементов, как цирконий, хром и стронций, которые в

аллювиальных отложениях имеют положительную корреляцию с частицами > 0,05 мм, представляющими собой песчаные фракции, тогда как в верхнем горизонте почв – с частицами < 0,05 мм (рис. 8): у стронция корреляция тесная, а у циркония и хрома – слабая.

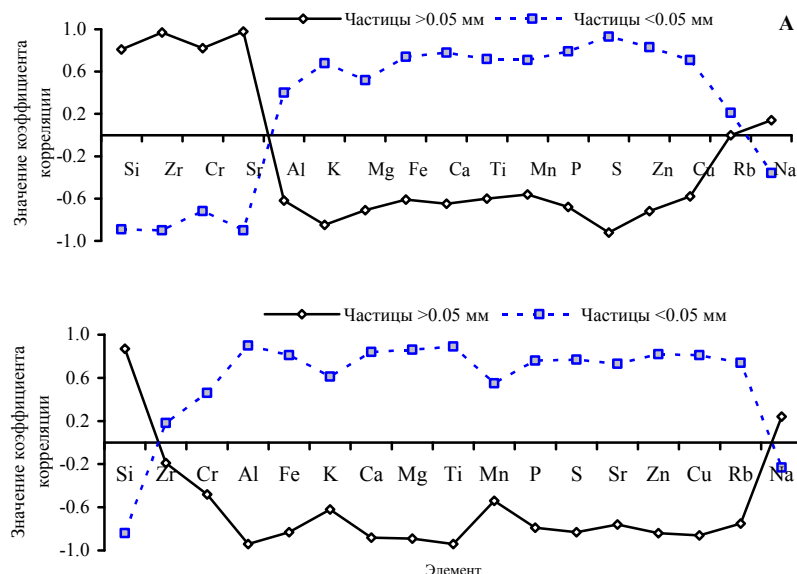


Рис. 8. Различия значений коэффициентов корреляции содержания элементов в зависимости от гранулометрического состава аллювиальных отложений (А) и верхнего слоя почв

Аллювиальные отложения играют существенную роль в биологическом круговороте веществ, являясь одним из источников поступления химических элементов, особенно для участков пойм, находящихся в непосредственной близости от реки, где его масса достигает нескольких десятков тонн на гектар. Полученные данные показали, что гумусовые горизонты почв экотопов, благодаря аллювию, обогащаются значительным набором химических элементов, особенно слабодерновая слоистая примитивная почва на ВПП 1 (рис. 9), где содержание кальция, хрома и титана превышает в 3 раза их концентрацию в почве, рубидия и стронция – 5 раз, а циркония – 22 раза! Экотопы второго кластера, куда вошли в основном аллювиальные дерновые почвы, обогащаются мышьяком, цинком, фосфором и серой. Экотопы третьего кластера, представленные луговыми и дерново-луговыми почвами, обогащаются марган-

цем, цирконием, никелем, хлором, фосфором, стронцием и серой, хотя концентрация отлагаемых элементов весьма незначительная. В верхнем горизонте почв этих экотопов содержится в целом больше натрия и кремния, чем привносится с аллювием, что свидетельствует как об их поступлении с опадом, так и об изменении пойменных процессов.

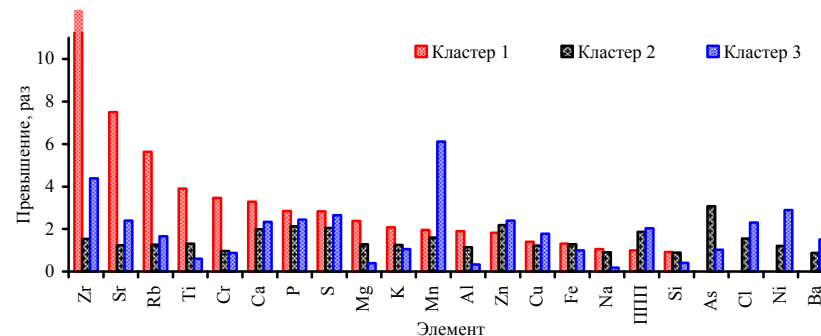


Рис. 9. Превышение содержания элементов и органического вещества в аллювии по сравнению с верхним горизонтом почв данных экотопов. У циркония оно достигает 22 раз и выходит далеко за пределы шкалы

Расчеты показали низкие значения арсенатного, никелевого и медного модулей в аллювии (табл. 8), что свидетельствует о прочном закреплении в нем железом тяжелых элементов [2]. Сходные значения установлены нами ранее в луговых и дерново-луговых почвах [10]. Значение фосфатного модуля в аллювии довольно значительное и превышает таковое у луговых и дерново-луговых почв, что отражает слабое закрепление фосфора в аллювии (с увеличением значения модуля прочность закрепления микроэлемента с соответствующим агентом-носителем, как показано исследователями [2], снижается).

Таблица 8

Значение модулей закрепления микроэлементов железом в аллювии (ммоль/моль)

Модуль	Значение модуля на различных ВПП								
	ВПП 1	ВПП 2	ВПП 3	ВПП 4	ВПП 29	ВПП 32	ВПП 33	ВПП 35	ВПП 37
As/Fe	-	0,34	-	0,30	-	0,37	0,35	-	0,64
Ni/Fe	-	1,58	2,27	1,45	2,08	1,47	1,29	8,76	1,38
P/Fe	99,53	86,79	160,02	101,09	77,81	69,83	131,91	189,18	175,26
Cu/Fe	2,40	1,37	2,05	1,26	1,16	0,81	1,14	2,97	1,23

Среди обнаруженных в аллювиальных отложениях тяжелых металлов и металлоидов к элементам с высокой опасностью относятся As, Cr, Zn; к умеренной – Ni, Cu; малой – Ba, Mn, Sr [5]. Сравнение содержания

элементов в аллювии разных экотопов с ПДК [4], а мышьяка с ОДК (10 мг/кг) показало превышение S в 14, Mn – в 12, Ni – в 5, As и Zn – в 2, а Cr и Cu – в 1,1 раза (рис. 10). Наиболее сильные превышения отмечаются в аллювии, отложенном в экотопах, объединенных в третий кластер. Аллювиальные отложения, таким образом, приносят элементы, концентрация которых значительно превышает гигиенические нормативы и, тем самым, способствуют накоплению их в пойменных почвах. Одной из причин природного повышенного содержания химических элементов в почвообразующих породах можно считать наличие разнообразных рудных проявлений, эпигенез которых приводит к их переносу и осаждению в ландшафтах, подвергшихся деятельности реки, что наблюдается в различных областях России, где имеются природные геохимические аномалии [22].

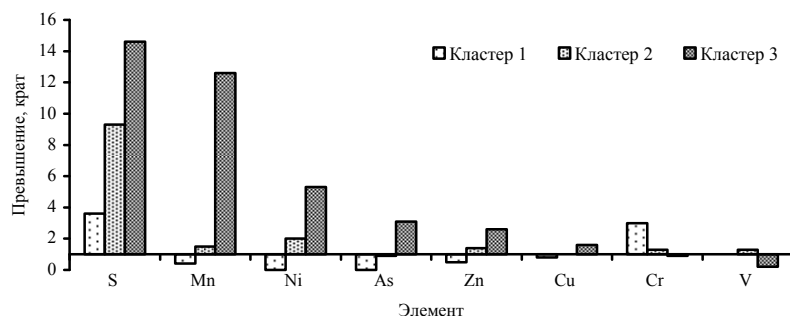


Рис. 10. Превышение содержания элементов в аллювии по сравнению с ПДК и ОДК

Полученные данные в сравнении со значениями кларков элементов верхней части континентальной земной коры [1, 14] были использованы для эколого-геохимической оценки аллювия и выявления региональной геохимической специализации фоновых ландшафтов. Построенные геохимические спектры выявили повышенное содержание марганца, фосфора, мышьяка, меди, никеля, цинка, серы, бария, железа, хрома, стронция и циркония, причем марганца более чем в 20, а циркония в 16 раз (рис. 11). Превышение в основном свойственно для аллювия, отлагающегося в экотопах третьего кластера, где его роль в формировании почв весьма незначительная из-за малого количества (16,9-404 кг/га). Для почв первого кластера отмечено значительное превышение по цирконию и хрому, содержание же других элементов несколько ниже кларкового значения. Для аллювиальных луговых почв отмечено повышенное содержание перечисленных выше элементов по сравнению с кларковым

значением. Таким образом, аллювиальные отложения, наряду с почвами, способствуют формированию в пойме среднего течения реки положительных естественных геохимических аномалий.

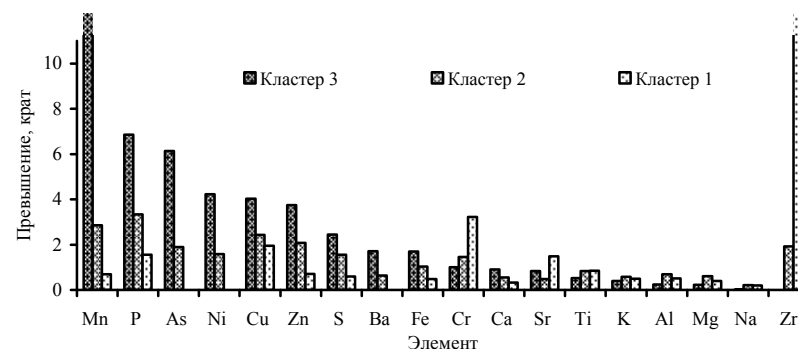


Рис. 11. Превышение содержания элементов в аллювии над кларком верхней части континентальной земной коры (по марганцу – в 24,5 раза; цирконию – 17 раз)

Какими же причинами может быть обусловлено содержание различных элементов в аллювии? Ответ на этот вопрос весьма сложен, так как пойма реки представляет собой своеобразный природный резервуар, в котором через элементный состав находит отражение геологическая история бассейна реки. Известно, что аллювиальные отложения образуются в процессе геохимической дифференциации рыхлых отложений и наследуют характерные черты микроэлементного состава исходных пород, что отражается в провинциальных особенностях их состава [8]. Рассматриваемая нами территория расположена в восточной части Центрально-Русской минералого-геохимической провинции Восточно-Европейской равнины на стыке с Приуральской [7]. Здесь сказывается влияние Уральской области сноса и кислых пород Балтийского щита. Таким образом, отложения наследуют состав элементов, характерный для двух провинций. Известно, что четвертичные отложения Приуралья отличаются повышенным количеством меди, ванадия и никеля, которые характерны для основных пород Урала. В то же время они содержат несколько менее циркония, столь характерного для кислых пород Балтийского щита [7]. В тех осадочных породах, для которых свойственно накопление в качестве главного компонента кремния, выражена аккумуляция циркония, титана и некоторых других редкоземельных элементов. Для сланцев обыкновенных и битуминозных, а также бокситов характерна аккумуляция мышьяка, меди, никеля, титана. Известняки же и

доломиты отличаются накоплением бария, стронция, марганца, свинца и бора [15].

Значительное превышение в аллювиальных отложениях содержания марганца, а с ним фосфора и мышьяка, над кларком земной коры может быть обусловлено их интенсивной миграцией с водораздельных пространств и накоплением в почвах, которые в дальнейшем подвергаются размыву. Такое явление характерно для рек, долины которых проложены среди зандровых низин с большим количеством болот и где почвенно-грунтовые воды бедны кальцием, но обогащены органическим веществом и закисными соединениями железа и марганца [8]. Привнос этих элементов может быть связан также с аллювием, образовавшимся в результате размыва почвообразующих пород, расположенных выше по течению реки и представленных покровными, валунными и лёссовидными суглинками, глинами и лёссами [6], которые, как известно [15], богаты марганцем.

Исследования показали, что элементный состав аллювия, принесенного рекой в разные годы, неодинаков и разница между содержанием элемента в пределах одного и того же экотопа довольно значительна (табл. 9). Наибольшие различия химического состава аллювия, отложенного в разные годы, отмечаются на ВПП 1, где напряженность аккумулятивных процессов самая высокая. Особенно велики различия у циркония, содержание которого на ВПП 1 в 2018 году оказалось в 16,8 раз выше, чем в 2017 году. Меньше всего различается по годам состав аллювия на ВПП 2 и 3, где разница в содержании почти всего спектра выявленных элементов не превышает 1,3 раза. На ВПП 4 разница между годами немного выше. В сложении химического состава аллювия на один и тот же участок поймы значительную роль играют случайные факторы, связанные с неоднородностью и большой турбулентностью водных потоков, а также поступлением отложений от размываемых берегов. Дисперсионный анализ показал, что химический состав аллювия не зависит ни от места отбора пробы (экотопа), ни от года его отложения. Исключение составляет лишь цинк, влияния экотопа на содержание которого достоверно при  $p < 0,05$ .

Таблица 9

Отношение содержания элементов в аллювии 2018 и 2017 годов

Экотоп	Значения содержания элементов в 2018 году по отношению к 2017 году, раз																	
	ППП	Si	Al	Fe	K	Ca	Na	Mg	Ti	Mn	P	S	Zr	Cr	Sr	Zn	Cu	Rb
ВПП 1	1,6	0,9	1,6	1,9	1,9	2,2	0,7	1,9	3,8	2,5	3,3	3,0	16,8	3,4	7,3	2,1	1,7	5,9
ВПП 2	0,7	1,0	1,2	0,9	1,2	1,0	0,9	1,2	1,2	0,8	0,8	1,0	1,3	1,1	1,3	1,1	1,0	1,1
ВПП 3	0,7	1,3	0,9	0,8	1,0	1,0	0,8	0,8	0,9	0,7	1,4	1,2	2,7	1,0	0,8	1,6	0,9	0,8
ВПП 4	1,3	0,7	2,5	2,2	2,6	2,0	1,3	2,7	3,6	3,0	2,8	2,3	2,6	1,8	2,3	1,6	1,2	2,9

## Заключение

Результаты проведенного исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. Для сбора аллювия целесообразно использовать наилкоуловители, изготовленные из пластикового щетинистого покрытия без перфораций (коврики для обуви). Их количество в экотопах, достаточное для получения требуемой массы аллювия, необходимо подбирать индивидуально на основе экспериментальных исследований.

2. Аллювиальные отложения среднего течения реки Большая Кокшага играют в настоящее время значительную роль только в формировании почвенного покрова на участках поймы, расположенной в непосредственной близости от русла реки (не далее 50 м), где их количество в разные годы составляет от 10 до 116 т/га. На удалении от русла реки от 50 до 500 м отлагается 400-700 кг/га аллювия, а далее 500 м – не более 100 кг/га.

3. Химический состав аллювиальных отложений среднего течения реки Большая Кокшага, представленный 26 элементами, содержание которых детерминировано гранулометрическим составом, отражает влияние двух геохимических провинций: Центрально-русской и Приуральской.

4. Гумусовые горизонты аллювиальных слабодерновых слоистых примитивных почв прирусловой части поймы, благодаря аллювию, обогащаются кальцием, хромом, титаном, рубидием, стронцием и цирконием, а луговые и дерново-луговые почвы прирусловой и центральной частей поймы – мышьяком, цинком, фосфором, марганцем, цирконием, никелем, хлором, стронцием и серой.

5. Концентрация элементов в аллювиальных отложениях превышает гигиенические нормативы (ПДК и ОДК) по S до 14, Mn – 12, Ni – 5, As и Zn – 2 раз. Они способствуют формированию в пойме среднего течения реки положительных естественных геохимических аномалий по таким элементам, как марганец, фосфор, мышьяк, медь, никель, цинк, сера, барий, железо, хром и стронций.

6. Аллювиальные отложения характеризуются низкими значениями арсенатного, никелевого и медного модулей, которые свидетельствуют о прочном закреплении тяжелых металлов и металлоидов. Значение фосфатного модуля в аллювии довольно значительное и превышает таковое у луговых и дерново-луговых почв.

7. Для лучшего понимания роли аллювиальных отложений в процессе формирования пойменных почв необходимо продолжить начатые исследования их элементного состава в течение еще нескольких лет.

**Библиографический список**

1. Виноградов, А. П. Средние содержания химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры / А.П. Виноградов // Геохимия. – 1962. – Вып. 7. – С. 555-571.
2. Водяницкий, Ю. Н. Гидрогенное загрязнение тяжелыми металлами аллювиальных почв г. Пермь / Ю.Н. Водяницкий, А.А. Васильев, М.Н. Власов // Почвоведение. – 2008. – № 11. – С. 1399-1408.
3. Водяницкий, Ю.Н. Тяжелые металлы и металлоиды в почвах / Ю.Н. Водяницкий. – Москва: ГНУ Почвенный институт им. В.В. Докучаева РАСХН, 2008. – 85 с.
4. ГН 2.1.7.2041-06. Предельно допустимые концентрации химических веществ в почве.
5. ГОСТ 17.4.1.02-83. Охрана природы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения.
6. Денисов, А. К. Леса Кировской области / А. К. Денисов // Леса СССР. Т. 1. – Москва: Наука, 1966. С. 341-377.
7. Добровольский, В. В. Гипергенез коры выветривания / В.В. Добровольский // Избранные труды. Т. 1. – Москва: Научный мир, 2007. – 512 с.
8. Добровольский, Г. В. Почвы речных пойм центра Русской равнины. 2-е изд., перераб. и доп. / Г.В. Добровольский. – Москва: Изд-во МГУ, 2005. – 293 с.
9. Исаев, А. В. Формирование почвенного и растительного покрова в поймах речных долин Марийского Полесья (на примере территории заповедника «Большая Кокшага») / А.В. Исаев. – Йошкар-Ола: Марийский государственный технический университет, 2008. – 240 с.
10. Исаев, А. В. Экогеохимия аллювиальных луговых и дерново-луговых почв заповедника «Большая Кокшага» / А.В. Исаев, Ю.П. Демаков // Летопись природы Государственного природного заповедника «Большая Кокшага», книга 24, 2017 год. – С. 67-110. (Фонды заповедника «Большая Кокшага»).
11. Исаев, А. В. Экогеохимия почв прирусловой части поймы, развивающихся в условиях меандрирования / А.В. Исаев, И.И. Митякова // Научные труды Государственного природного заповедника «Большая Кокшага». Вып. 8. – Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2017. – С. 76-114.
12. Исаев, А.В. Элементный состав аллювия прирусловой части поймы реки Большая Кокшага / А.В. Исаев, Ю.П. Демаков // Летопись природы Государственного природного заповедника «Большая Кокшага». Книга 23, 2016. – С. 56-66. (Научные фонды заповедника «Большая Кокшага»).
13. Использование рентгенофлуоресцентного анализа для оценки содержания химических элементов в почве лесных биогеоценозов / Ю.П. Демаков, А.В. Исаев, Б.И. Гареев, Г.А. Баталин // Научные труды Государственного природного заповедника «Большая Кокшага». Вып. 8. – Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2017. – С. 56-75.
14. Касимов, Н. С. Кларки химических элементов как эталоны сравнения в экогеохимии / Н.С. Касимов, Д.В. Власов // Вестн. Моск. ун-та. Серия 5. География. – 2015. – № 2. – С. 7-17.

15. Ковда, В. А. Микроэлементы в почвах Советского Союза / В.А. Ковда, И.В. Якушевская, А.Н. Тюрюканов. – Москва: Изд-во МГУ, 1959. – 66 с.
16. Маккавеев, Н. И. Русловые процессы / Н.И. Маккавеев, Р.С. Чалов – Москва: Изд-во МГУ, 1986 – 264 с.
17. Максимов, А.А. Структура и динамика биоценозов речных долин / А.А. Максимов. – Новосибирск: Наука, 1974. – 260 с.
18. Польский, Б. Н. Механический состав пойменных почв в связи с историей формирования пойм / Б.Н. Польский // Почвоведение. – 1958. – № 7. – С. 112-116.
19. Почвоведение / под. ред. В.А. Ковды, Б.Г. Розанова. – Москва: Высшая школа, 1988. Ч. 2. – 368 с.
20. Чертко, Н. К. Геохимия и экология химических элементов / Н.К. Чертко, Э.Н. Чертко. – Минск: Издательский центр БГУ, 2008. – 140 с.
21. Шанцер, Е. В. Аллювий равнинных рек умеренного пояса и его значение для познания закономерностей строения и формирования аллювиальных свит / Е.В. Шанцер // Тр. гос. ин-та геологических наук. Вып. 135. – Москва, 1951.
22. Элементный химический состав почв и растений Западного Таймыра / А.И. Сысо и др. // Сибирский экологический журн. – 2014. – № 6. – С. 855-862.
23. Яблонских, Л. А. Генезис и классификация почв пойм речных долин Среднерусского Черноземья / Л.А. Яблонских // Вест. Воронеж. гос. ун-та. Сер. география, геоэкология. – 2001. – № 1. – С. 31-40.

**ECOLOGICAL AND GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF ALLUVIAL DEPOSITS IN THE MIDDLE PART OF THE BOLSHAYA KOKSHAGA AND THEIR ROLE IN THE FORMATION OF SOIL COVER**

A. V. Isaev, R. N. Sharafutdinov, B. I. Gareev

**Keywords:** Bolshaya Kokshaga nature reserve, geochemistry of soils, river-borne sediments, granulometric composition, elemental composition

The results of geochemical and grain size measurements of river-borne sediments composition in the middle reaches of the Bolshaya Kokshaga are given. The authors revealed that the alluvium played the most important role for soil cover formation in the flood plain, close to the riverbed (within 50 m). In this area, the volume of alluvium varies from year to year and is from 10 to 116 t/ha. At a distance of 50 - 500 m from the riverbed, there is only 400-700 kg/ha of alluvium deposits, farther than 500 m – no more than 100 kg/ha. Twenty-six chemical elements were found in the alluvium. The content of these elements is mainly determined with their granulometric composition and reflects the influence of two geochemical regions (Central-Russian and Ural). Thus, the alluvium enriches the topsoil of close to the riverbed part of floodplain with Ca, Cr, Ti, Rb, Sr, and Zr, close to the riverbed and central part of floodplain – with As, Zn, P, S, Mn, Zr, Ni, Cl, Sr, and S. Alluvial deposits contribute to formation of positive natural geochemical anomalies on Mn, P, As, Cu, Ni, Zn, S, Ba, Fe, Cr, and Sr in the floodplain beogeocenoses. Concentration of S, Mn, Ni, As, and Zn exceeds the data of MAC (maximum allowable concentration) and TAC (tentative allowable concentration) health standards.

УДК 631.423.1

## ЭКОГЕОХИМИЯ АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ЛУГОВЫХ И ДЕРНОВО-ЛУГОВЫХ ПОЧВ ЗАПОВЕДНИКА «БОЛЬШАЯ КОКШАГА»

А. В. Исаев, Ю. П. Демаков, Р. Н. Шарафутдинов, И. И. Митякова

*Приведены результаты геохимического анализа состава аллювиальных дерново-луговых и луговых почв заповедника «Большая Кокшага», показавшего присутствие в первых из них 28 химических элементов, а во вторых – 34. Для дерново-луговых почв характерно повышенное, по сравнению с кларком литосферы, содержание As, Cu, Mn, P, Cr и Ni, а для луговых, кроме этого, Zn, Fe, Ba и V. В луговых почвах отмечено многократное превышение ПДК и ОДК по Mn, S, Ni, Cr и As, а в дерново-луговых – только по As и S. Аллювиальные луговые и дерново-луговые почвы имеют низкие значения арсенатного, никелевого и медного модулей, что свидетельствует о прочном закреплении в них тяжелых металлов. Содержание элементов в аллювиальных луговых почвах весьма слабо связано с их гранулометрическим составом, а в аллювиальных дерново-луговых, наоборот, – тесно. Поймы рек являются своеобразными фильтрами – барьерами, накапливающими химические элементы и предотвращающими их попадание в Мировой океан. В аллювиальных дерново-луговых почвах в слое толщиной 60 см накапливается в среднем на 1 га около 142 т железа, 204 т алюминия, 36 т калия, по 27 т кальция, натрия и магния, 11 т титана, а в аллювиальных луговых – 300 т железа, 290 т алюминия, 47-49 т магния и калия, 40 т кальция, 22 т натрия, 25 т марганца, 17 т титана, а также значительная масса других элементов.*

**Ключевые слова:** заповедник «Большая Кокшага»; аллювиальные почвы; геохимия; тяжелые металлы; геохимическая специализация ландшафтов.

### Введение

Изучение геохимии ландшафтов, рассматривающей вопросы распределения (концентрации и рассеяния) и процессы миграции химических элементов в земной коре, всегда представляет огромный интерес для исследователей [15, 27], позволяя глубже проникнуть в тайны функционирования сложных экологических систем, вскрыть механизмы их работы и на основе этих знаний разработать более эффективные меры повышения продуктивности лесов [35]. Изучение геохимии позволяет установить природные и техногенные аномалии, провести оценку контрастности и емкости геохимических барьеров [8, 18].

Известно, что многие свойства почв зависят от валового содержания в них химических элементов, которое во многом унаследовано от горных пород и частично меняется в процессе почвообразования [28]. Знание химического состава почв дает представление об их генезисе, по-

зволяет оценивать мощность природной или техногенной аномалии, а также определять источники поступления и скорость миграции элементов в экосистемах и ландшафтах [8, 45].

В Республике Марий Эл сравнительно мало исследований, посвященных изучению валового содержания химических элементов в почвах, а имеющиеся данные относятся в основном к восточной возвышенной ее части: Марийско-Вятскому увалу и Мари-Турекскому плато [9]. Данные же по геохимии почв Марийской низменной равнины и пойменных земель весьма скудны. Первые исследования в этой области связаны с работами Г.В. Добровольского [17] и В.Н. Смирнова [40], однако приведенные в них сведения фрагментарны и получены с использованием устаревших методик, что не позволяет сопоставлять их с современными данными.

**Цель работы** – оценить эколого-геохимическое состояние пойменных ландшафтов заповедника.

**Задачи:** 1) выявить состав валовых форм химических элементов и характер их распределения в различных типах пойменных почв, а также установить факторы, влияющие на их концентрацию; 2) провести оценку загрязнения почв заповедника тяжелыми металлами и металлоидами; 3) определить региональную геохимическую специализацию ландшафтов заповедника.

### Объекты и методика исследования

Исследования проведены на серии постоянных и временных пробных площадей (ППП и ВПП), заложенных в различных частях поймы реки Большая Кокшага (табл. 1). В июле 2017 г. на каждой из них были взяты для лабораторного анализа образцы почвы из четырех слоев (0-10, 10-20, 40-60 и 60-80 см) в трехкратной повторности. Определение элементного состава почв проведено с помощью рентгенофлуоресцентного анализа в Казанском Федеральном университете по методике, описанной в [26], а остальных физических и химических показателей – в лаборатории кафедры экологии и почвоведения Поволжского государственного технологического университета. Названия почв даны в соответствии с [31]. Статистическая обработка полученных данных проведена по смешанным образцам с использованием пакета прикладных программ Excel и Statistika. Для оценки влияния различных факторов на содержание элементов в слоях почвы на пробных площадях проводили двухфакторный дисперсионный анализ (факторы – экотоп, слой) без повторностей.



Таблица 1

Таксационная характеристика древостоев пробных площадей

№ ПП	Состав древостоя по запасу	Элемент древостоя	Средний возраст, лет	Средняя высота, м	Средний диаметр, см	Полнота		Запас, м <sup>3</sup> /га
						абсолют., м <sup>2</sup> /га	относит.	
<i>Аллювиальные луговые почвы</i>								
ППП 2	80Лп16Д2Е2Вз	1 ярус: дуб	160	30,5	56,5	5,48	0,15	74
		1 ярус: липа	116	26,8	38,0	22,64	0,47	274
		1 ярус: ель	95	26,0	36,0	0,95	0,02	12
		2 ярус: липа	63	20,0	19,2	7,97	0,20	68
		2 ярус: вяз	67	15,6	15,2	1,08	0,04	8
		<b>В целом</b>		-	-	-	<b>38,12</b>	<b>0,88</b>
ППП 3	77Лп19Ос4Д	1 ярус: осина	67	30,5	47,1	7,47	0,18	97
		1 ярус: дуб	180	26,5	66,8	1,67	0,05	20
		1 ярус: липа	66	25,4	34,5	25,87	0,56	296
		2 ярус: липа	-	18,4	17,0	8,04	0,22	66
<b>В целом</b>		-	-	-	<b>43,05</b>	<b>1,01</b>	<b>479</b>	
ППП 15	57Лп43Д	1 ярус: дуб	162	29,5	68,8	12,94	0,35	167
		2 ярус: дуб	68	21,9	25,2	1,35	0,04	12
		2 ярус: липа	-	21,1	19,5	24,26	0,62	235
<b>В целом</b>					<b>38,55</b>	<b>1,01</b>	<b>414</b>	
ВПП 2	83Д13Лп4В	1 ярус: дуб	184	23,1	57,3	34,2	1,10	359
		1 ярус: липа	95	20,0	30,3	2,4	0,08	21
		2 ярус: дуб	87	16,7	28,7	6,8	0,30	62
		2 ярус: липа	37	15,9	12,2	5,0	0,16	37
		3 ярус: вяз	34	9,0	9,4	2,7	0,16	14
		3 ярус: липа	33	10,5	10,3	2,0	0,09	11
<b>В целом</b>					<b>53,1</b>	<b>1,89</b>	<b>504</b>	
ВПП 5	88Д12Лп	1 ярус: дуб	160	24,8	51,0	32,16	0,98	363
		2 ярус: липа	35	9,6	11,2	10,6	0,51	52
		2 ярус: дуб	69	13,5	22,5	2,15	0,10	15
<b>В целом</b>					<b>44,91</b>	<b>1,59</b>	<b>430</b>	
ВПП 29	67Д29Лп4В	1 ярус: дуб	206	29,8	63,2	31,8	0,87	422
		1 ярус: липа	110	29,0	41,5	6,2	0,12	81
		2 ярус: липа	65	18,6	23,0	12,2	0,35	106
		2 ярус: дуб	118	19,0	38,5	1,7	0,06	15
		3 ярус: липа	39	11,7	13,1	4,5	0,18	25
		3 ярус: вяз	30	10,0	8,6	0,83	0,05	5
<b>В целом</b>					<b>57,23</b>	<b>1,63</b>	<b>654</b>	
ВПП 32	66Д31Лп3Ос	1 ярус: дуб	172	25,5	54,2	22,6	0,68	263
		1 ярус: липа	103	23,8	31,7	5,1	0,12	56
		1 ярус: осина	75	26,0	35,0	1,1	0,03	12
		2 ярус: липа	67	19,7	23,4	8,9	0,24	81
		3 ярус: дуб	43	15,0	14,6	4,5	0,16	30
<b>В целом</b>					<b>42,2</b>	<b>1,23</b>	<b>442</b>	

Окончание таблицы 1

№ ПП	Состав древостоя по запасу	Элемент древостоя	Средний возраст, лет	Средняя высота, м	Средний диаметр, см	Полнота		Запас, м <sup>3</sup> /га
						абсолют., м <sup>2</sup> /га	относит.	
ВПП 33	<i>Синюхово-таволговый луг</i>							
ВПП 35	70Д19Лп1В	1 ярус: дуб	154	25,2	49,2	11,9	0,36	136
		1 ярус: липа	65	19,0	22,8	2,6	0,07	23
		2 ярус: дуб	37	10,1	11,2	5,0	0,27	27
		2 ярус: вяз	33	8,8	9,3	5,0	0,30	26
		2 ярус: липа	34	9,3	10,7	4,0	0,2	20
<b>В целом</b>					<b>28,5</b>	<b>1,20</b>	<b>232</b>	
<i>Аллювиальные дерново-луговые почвы</i>								
ППП 1	59Е21Лп20Д	1 ярус: ель	113	27,6	39,5	13,32	0,33	170
		1 ярус: дуб	140	29,0	51,3	4,86	0,13	63
		1 ярус: липа	70	22,8	28,8	5,76	0,14	57
		2 ярус: липа	-	17,4	13,5	1,96	0,05	12
		2 ярус: ель	75	20,8	22,2	1,72	0,05	17
<b>В целом</b>					<b>27,62</b>	<b>0,70</b>	<b>319</b>	
ППП 20	51Лп44Д5Е	1 ярус: липа	135	29,6	47,2	8,16	0,16	107
		1 ярус: дуб	185	30,1	62,6	8,72	0,24	117
		1 ярус: ель	80	29,3	47,8	1,72	0,04	22
		2 ярус: липа	60	20,3	23	11,08	0,29	103
		2 ярус: дуб	110	22,3	38,2	7,21	0,24	75
		3 ярус: липа	-	12,2	10,2	2,21	0,09	14
<b>В целом</b>					<b>39,1</b>	<b>1,06</b>	<b>438</b>	
ВПП 4	84Д17Лп2Б	1 ярус: дуб	170	24,6	54,0	33,6	1,03	378
		1 ярус: липа	70	19,5	24,6	1,6	0,06	20
		2 ярус: липа	42	15,0	14,2	5,4	0,2	42
		2 ярус: береза	74	18,5	22,6	1,34	0,05	10
<b>В целом</b>					<b>41,94</b>	<b>1,34</b>	<b>450</b>	
ВПП 37	87Д6Е3Лп4В	1 ярус: дуб	166	23,3	52,7	22,83	0,89	300
		1 ярус: ель	97	22,5	33,6	1,97	0,06	21
		2 ярус: дуб	53	12,0	17,1	4,52	0,22	27
		2 ярус: липа	48	12,4	17,0	2,20	0,08	12
		2 ярус: вяз	40	1,0	10,8	2,73	0,16	15
<b>В целом</b>					<b>34,25</b>	<b>1,41</b>	<b>375</b>	

Результаты исследования и их обсуждение

**Аллювиальные луговые почвы.** Рентгенофлуоресцентный анализ (РФА) выявил наличие в аллювиальных луговых почвах 34 химических элементов, которые в порядке убывания концентрации формируют следующий ранговый ряд: Si>Fe>Al>K>Mg>Ca>Mn>Na>Ti>P>Ba>S>Zr>>V>Cr>Sr>Zn>Ni>Cl>Cu>Rb>As>Y>Ga>Ce>Nb>Pd>Br>Ru>Mo>Ag>Pb>>Se>Co. Во всех образцах встречаются только первые 19 элементов, а

15 – не везде, из которых Ag, Co, Se, Pb, Y, Ga, Nb, Br, Ru, Pd, Mo и Ce – только в единичных из них и при статистическом анализе не рассматриваются. Из всего перечня элементов к тяжелым металлам и металлоидам относятся Fe, Mn, Ba, Zr, V, Cr, Sr, Zn, Ni, Cu, Rb, As, Y, Ga, Ce, Nb, Pd, Br, Ru, Mo, Ag, Pb, Se, Co. Содержание свинца и кобальта обнаружено только в слое почвы 0-10 см на ВПП-35 и в слое 10-20 см на ВПП-32, что свидетельствует об отсутствии загрязнения территории заповедника.

Статистическая обработка данных показала, что в аллювиальных луговых почвах среднее содержание железа и алюминия составляет 69 и 65 г/кг соответственно; калия и магния – более 10; кальция – 9,8; марганца 6,2; натрия 4,9; титана – 3,8; фосфора – 1,7; бария – чуть более 1,0 (табл. 2). Концентрация других элементов не превышает 1 г/кг. Наиболее стабильно содержание в почве Si, Al, K, Ca, Mg, Ti, Cr, Sr и Cu, коэффициенты вариации которого редко превышают 20 %, что свидетельствует о слабой дифференциации как между экотопами, так и в пределах почвенного профиля. Очень высока степень изменчивости содержания в почве Mn и Cl ( $V > 100\%$ ), что обусловлено как особенностями экотопов, так и вертикальной дифференциацией в пределах изученных почвенных слоев.

На ВПП-33 (синюхово-таволговая поляна) на глубине 0-10 см в большом количестве были обнаружены железо-марганцевые конкреции (орштейны) – округлые дробовины размером от 0,5 до 10 мм в диаметре, образование которых связано с чередованием окислительных и восстановительных процессов в условиях переувлажнения или заболачивания почв и участия микроорганизмов [5, 19-21]. Некоторые исследователи считают, что в аллювиальных почвах идет процесс формирования рорштейнов, тогда как синтез Fe-Mn конкреций ингибирован [5]. Нами же рорштейны нигде не были обнаружены, а встречались только орштейны. В Fe-Mn конкрециях выявлено содержание 20 химических элементов, в порядке убывания образующих следующий ранговый ряд: Mn > Fe > Si > Al > Ba > Ca > P > Mg > K > Na > Ti > S > Ni > Zn > Sr > As > Cu > Cr > Se > Rb (табл. 3), который сильно отличается от такового для аллювиальных почв, где первые шесть мест занимают Si, Fe, Al, K, Mg и Ca. Содержание Mn в этих конкрециях, по сравнению с верхним слоем почвы на данной ВПП, выше более чем в 30 раз; Ba – 11; P, Ni, Zn, As, Fe и S – более чем в 2; а Sr – в 1,2 раза. Конкреции, таким образом, способны выводить некоторые металлы и металлоиды из биологического круговорота путем сорбции и прочного закрепления (гидр)оксидами железа и марганца [5, 20].

Таблица 2  
Статистические показатели состава аллювиальных луговых почв

Элемент	Значение статистических показателей (n = 36)								
	M <sub>x</sub>	max	min	S <sub>x</sub>	m <sub>x</sub>	V	p	A	E
ППП	17,72	34,77	6,72	7,67	1,28	43,3	7,2	0,70	-0,37
Si	245804	348487	143968	47047	7841	19,1	3,2	-0,03	-0,35
Fe	69352	143884	22272	24491	4082	35,3	5,9	0,86	1,33
Al	65536	75412	51307	6807	1135	10,4	1,7	-0,40	-1,02
K	11221	15322	6551	2157	359,5	19,2	3,2	-0,22	-0,35
Mg	10819	13225	7333	1674	279,0	15,5	2,6	-0,46	-0,98
Ca	9810	15274	6193	2091	348,6	21,3	3,6	0,88	0,71
Mn	6211	39639	249,2	7716	1286	124,2	20,7	3,00	10,61
Na	4911	10423	1894	2195	366	44,7	7,5	0,53	-0,52
Ti	3891	4845	2569	595	99,1	15,3	2,6	-0,63	-0,39
P	1730	5211	326	979	163	56,6	9,4	1,49	3,66
Ba	1018	3354	467	613	102	60,2	10,0	2,35	6,24
S	418,4	1079	101,3	306	51,0	73,1	12,2	0,98	-0,36
Zr	228,1	373,0	82,6	84,4	14,1	37,0	6,2	-0,16	-1,11
V	140,8	214,0	0,0	55,9	9,3	39,7	6,6	-1,70	2,44
Cr	138,3	188,9	79,2	26,4	4,4	19,1	3,2	-0,12	-0,12
Sr	124,7	172,0	84,6	22,4	3,7	18,0	3,0	-0,07	-0,80
Zn	114,9	170,2	33,0	35,6	5,9	30,9	5,2	-0,48	-0,40
Ni	96,3	147,8	31,0	25,4	4,2	26,4	4,4	-0,15	0,14
Cl	70,3	311,0	0,0	85,3	14,2	121,3	20,2	1,00	0,48
Cu	63,7	89,2	41,3	9,6	1,6	15,0	2,5	0,37	0,85
Rb	57,6	84,1	27,7	15,5	2,6	26,9	4,5	-0,27	-0,52
As	23,0	63,3	0,0	14,8	2,5	64,5	10,8	1,12	1,57

**Примечание:** ППП – содержание выгоревшего органического вещества, %; содержание химических элементов выражено в мг/кг; M<sub>x</sub>, max, min – среднее, максимальное и минимальное значения признака; S<sub>x</sub> – среднее квадратическое (стандартное) отклонение; m<sub>x</sub> – ошибка среднего; V – коэффициент вариации, %; p – точность опыта, %; A – коэффициент асимметрии, E – коэффициент эксцесса.

Таблица 3  
Среднее содержание элементов в железо-марганцевых конкрециях на ВПП-33

Химические элементы и их содержание, мг/кг									
Mn / Fe	Si / Al	Ba / Ca	P / Mg	K / Na	Ti / S	Ni / Zn	Sr / As	Cu / Cr	Se / Rb
171634	69530	10940	7532	3275	1046	337	143	59,1	28,5
166958	24322	7685	3961	1053	807	325	78	47,9	16,5



Продолжение таблицы 5

Экотоп	Элементы, по содержанию которых различные экотопы достоверно отличаются между собой						
	ПП 2	ПП 3	ПП 15	ВП 2	ВП 5	ВП 29	ВП 32
<i>Слой почвы 10-20 см</i>							
ППП 3	-	-	-	-	-	-	-
ППП 15	-	-	-	-	-	-	-
ВПП 2	-	Ni	-	-	-	-	-
ВПП 5	Na, Rb	Na, Zn, Ni, Rb	Ca, Na, S, Zn, Rb	-	-	-	-
ВПП 29	-	-	-	-	Rb	-	-
ВПП 32	K, Zr, Sr	As	K, Zr, Sr	Si, Fe, K, Na, Ba, Zr, Ni, As	Si, Fe, Na, Mn, Ba, Zr, Cr, Zn, Ni, Rb	K, Zr	-
ВПП 33	Si, Fe, K, Ti, Mn, P, Ba, Zr, Sr, As	K, Ti, Mn, P, As	Fe, K, Ti, Mn, P, Ba, Zr, Cr, Sr, Rb	Si, Fe, K, Na, Mn, F, Ba, Zr, As	Si, Fe, Na, Mn, P, Ba, Zr, Cr, Zn, Ni, As	Si, Fe, K, Mn, P, Ba, Zr, Cr	P
ВПП 35	K, Sr, Rb	K, Zn, Rb, As	K, Zr, Cr, Sr, Zn, Rb	K, Na, Cr, Rb, As	K, Na, P, Zr, Cr	K, Zr, Cr, Rb	Zn, Rb
<i>Слой почвы 40-60 см</i>							
ППП 3	-	-	-	-	-	-	-
ППП 15	K, Zr	K, Zr	-	-	-	-	-
ВПП 2	-	-	-	-	-	-	-
ВПП 5	-	-	K, Rb	-	-	-	-
ВПП 29	Na, Zr	Na	-	-	-	-	-
ВПП 32	-	-	K, Zr, Sr	K	-	K, Na, Zr	-
ВПП 33	P	-	K, P, Zr, Cr, Sr	Na, P, Zr	P, Zr	K, Na, P, Zr, Cr	-
ВП 35	-	Zn, Rb	K, Ti, Sr, Rb	K	-	K	-

Окончание таблицы 5

Экотоп	Элементы, по содержанию которых различные экотопы достоверно отличаются между собой						
	ПП 2	ПП 3	ПП 15	ВП 2	ВП 5	ВП 29	ВП 32
<i>Слой почвы 60-80 см</i>							
ППП 3	-	-	-	-	-	-	-
ППП 15	K, Zr	-	-	-	-	-	-
ВПП 2	-	-	-	-	-	-	-
ВПП 5	Na, Rb	Ca, Na, Sr, Rb	K	-	-	-	-
ВПП 29	-	-	-	-	-	-	-
ВПП 32	-	-	K, Zr	-	Cu	-	-
ВПП 33	-	Sr	K, Zr, Cr, Sr	Zr	Si, Na, P, Zr	Zr	-
ВПП 35	Ca, Mg, Sr, Ni, Rb	Si, Fe, Ca, Mg, Ti, Sr, Zn, Ni, Cu, Rb	K, Mg, Cr, Sr, Rb	K, Mg, Ti, Sr, Zn, Rb	-	K, Mg, Sr, Zn, Rb	Al, Mg, Sr, Cu, Rb

**Примечание:** прочерк означает, что различия по содержанию элементов отсутствуют.

Достоверно сходны между собой по содержанию химических элементов, как следует из приведенных данных, почвы на ППП-2 и ППП-3, ППП-15 и ВПП-29, а также ВПП-2 и ВПП-5. Почвы ППП-2 и ППП-15 различаются между собой только по содержанию калия и циркония в слоях 40-60 и 60-80 см; ППП-3 и ППП-15 – по содержанию калия и циркония в слое 40-60 см; ППП-2 и ВПП-2 – по содержанию калия и серы в слое 0-10 см; ВПП-2 и ВПП-33 – по содержанию фосфора в слое 10-20 см; ППП-3 и ВПП-29 – по содержанию натрия в слое 40-60 см. Наиболее сходен химический состав почв на пробных площадях, находящихся, как правило, недалеко друг от друга, что наводит на мысль об одинаковых условиях их формирования и сходства элементного состава аллювия. Степень сходства почв экотопов, оцененная по коэффициенту Жаккара, в целом довольно высокая, особенно верхнего их слоя (табл. 6), который соответствует гумусовому горизонту. Он, как было установлено нами ранее [24], имеет достаточно высокое сходство также по физико-химическим показателям и гранулометрическому составу. Особенно сходны между собой по химическому составу элементов верхнего слоя почвы ППП-2, ППП-3, ППП-15, ВПП-29, ВПП-35, ВПП-2 и ВПП-5. Наиболее же сильно различаются между собой почвы на ВПП-2, ВПП-32, ВПП-33 и ВПП-35, а также ППП-2 и ВПП-32, ВПП-5, ВПП-32 и ВПП-33.

Таблица 6

**Значения статистических показателей коэффициентов сходства Жаккара для различных слоев луговых почв**

Слой почвы	Значения статистических показателей					
	$M_x$	max	min	$S_x$	$m_x$	V
0-10 см	0,749	0,897	0,553	0,086	0,014	11,5
10-20 см	0,680	0,904	0,384	0,134	0,022	19,6
40-60 см	0,743	0,904	0,569	0,085	0,014	11,4
60-80 см	0,715	0,887	0,455	0,110	0,018	15,3

Для оценки сходства экотопов по среднему содержанию в их почвах химических элементов был использован кластерный анализ, который показал, что все пробные площади группируются друг с другом в три почти равновеликих кластера (рис. 1). В первый из них вошли ППП-3, ВПП-32 и ВПП-33. Две из них расположены на катене очень близко друг от друга (60 м), тогда как ППП-3 находится от них на расстоянии 850 м. Неодинаковы они и по характеру фитоценозов: на ППП-3 и ВПП-32 произрастают смешанные сложные дубово-липовые древостои, а ВПП 33 представляет собой небольшую поляну, занятую лугом с доми-

нированием таволги вязолистной. Во второй кластер вошли ВПП-2 и ВПП-5, которые расположены на первой катене и находятся близко друг от друга (50-80 м). На этих пробных площадях произрастают дубово-липовые древостои. В третий кластер вошли ППП-2, ППП-15, ВПП-29 и ВПП-35. Первая из них расположена довольно далеко от других (600 м) и находится на правом берегу реки. ВПП-29 и ВПП-35 расположены на одной катене на расстоянии 300-350 м друг от друга, а ППП-15 находится также на левом берегу в стороне от них на расстоянии 750 м.

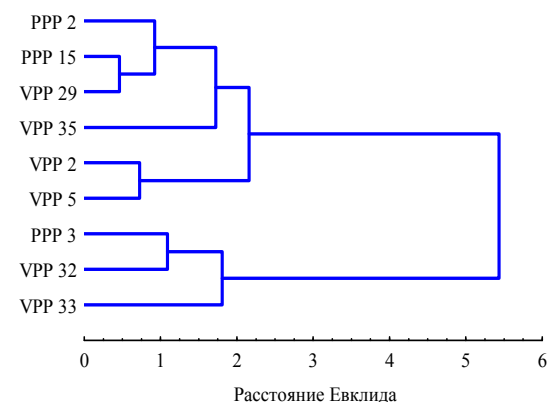


Рис. 1. Дендрограмма сходства экотопов по содержанию в почве химических элементов, построенная по матрице нормированных данных способом Варда

Почвы разных экотопов, объединенных в кластеры, различаются между собой в основном по содержанию марганца, фосфора, мышьяка, бария, железа, цинка, никеля, циркония и натрия (рис. 2). Почвы ППП-3, ВПП-32 и ВПП-33 характеризуются высокой концентрацией марганца, фосфора, мышьяка, бария, железа, цинка, никеля и рубидия, но уступают остальным экотопам по содержанию калия, хрома, кремния, циркония и натрия. В почвах второго кластера (ВПП-2 и ВПП-5), наоборот, содержание натрия, циркония, кремния и хрома выше, чем в других экотопах, но они значительно обеднены другими элементами, кроме магния, алюминия, титана, стронция и калия, концентрация которых примерно такая же, как в почвах экотопов других кластеров. Почвы на ППП-2, ППП-15, ВПП 29 и ВПП-35, расположенных выше по течению реки относительно остальных пробных площадей примерно на 3 км, занимают промежуточное положение, характеризуются средним уровнем содержания всех элементов в пойменных экотопах.

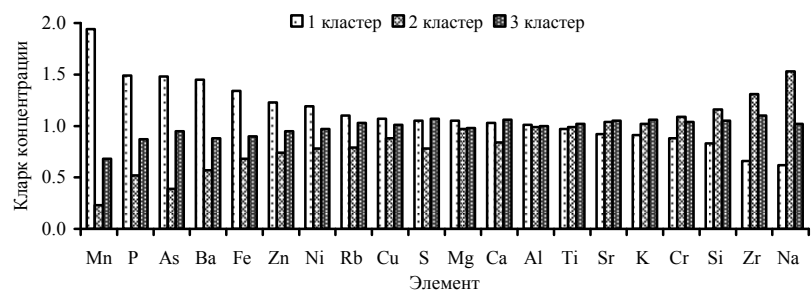


Рис. 2. Различия между кластерами по кларку концентрации химических элементов

Таким образом, все экотопы объединяются между собой по элементному составу почвы в разные по характеру растительности кластеры, которые иногда довольно далеко расположены друг от друга, что может свидетельствовать о влиянии каких-то иных факторов, которые однотипны для каждой из выделенных групп пробных площадей. Одним из таких факторов может выступать уровень грунтовых вод или уровень капиллярной каймы, на границе которого, как известно, формируется окислительно-восстановительный глеевый геохимический барьер, способствующий накоплению железа, марганца и других элементов. Нельзя исключать также влияние фактора аллювиальности, который определяет элементный состав наилка, отлагающегося в пойме.

По степени накопления в почве того или иного элемента все экотопы распределяются в ранговых рядах по-разному. Так, по содержанию в почвах железа и фосфора лидируют ВПП-33 и ВПП-32, а содержание же натрия здесь минимально (рис. 3). На ВПП-2 и ВПП-5, наоборот, концентрация натрия максимальна, а железа и фосфора минимальна. Интересно, что группировка экотопов в ряду по содержанию в почве железа полностью повторяет кластерный анализ. Калия и хрома больше всего содержится в почве экотопов на ППП-15 и ВПП-29, а наименьшая же их концентрация наблюдается на ВПП-32, ВПП-33 и ВПП-35. Содержание в почве магния в восьми экотопах (ВПП 2, 5, 29, 32, 33, ППП 2, 3 и 15) примерно одинаковое, тогда как на ВПП-35 оно в 1,5 раза меньше. Варьирование концентрации титана в почвах экотопов невелико: наибольшие значения отмечены на ППП-15, а наименьшие имеет группа пробных площадей, расположенных в пределах одной катены (ВПП-32, ВПП-33 и ВПП-35). Различие между экотопами по содержанию в почве элементов не связано с составом древостоя, а обусловлено, вероятнее всего, поемными процессами.

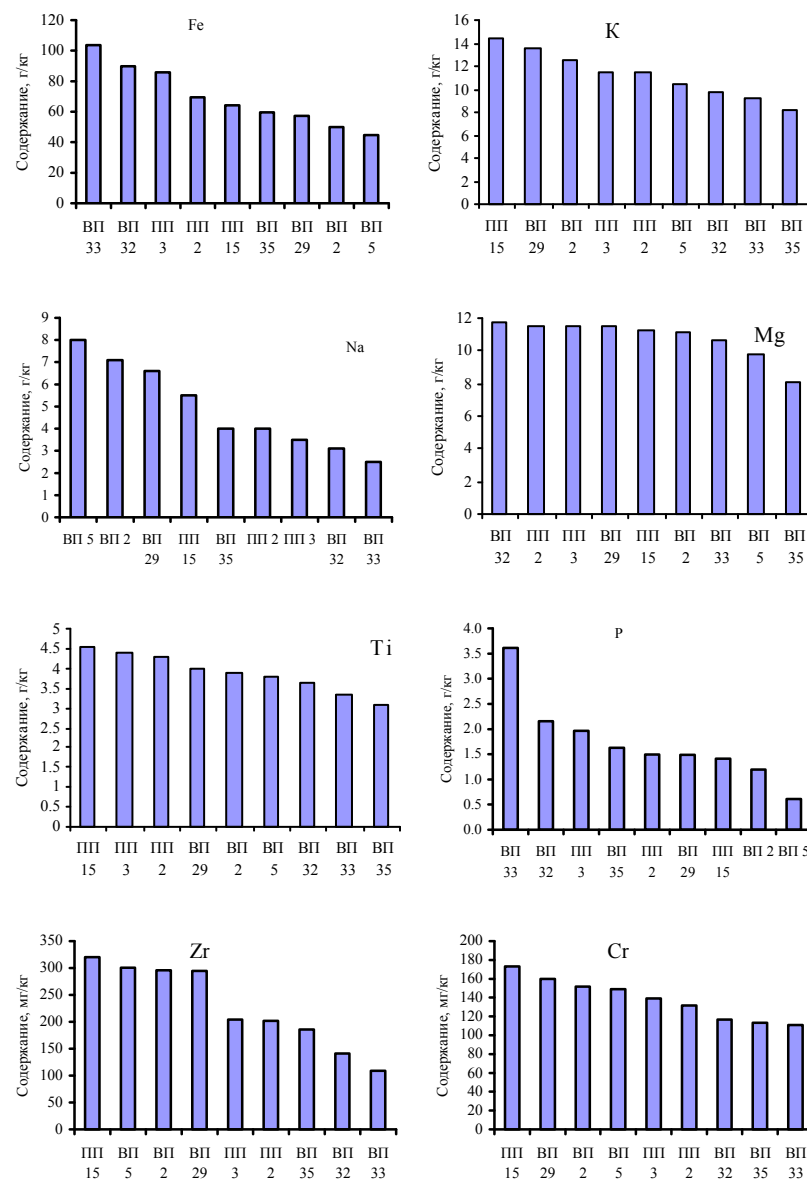


Рис. 3. Ранговый ряд пробных площадей по степени содержания в них различных элементов

По характеру вертикального распределения содержания элементов в почве всю совокупность элементов можно разделить на четыре группы, у первой из которых концентрация их с глубиной возрастает, у второй снижается, у третьей практически не изменяется, а у четвертой возрастает в слое 10-20 см и затем снижается ниже значений верхнего горизонта либо до его уровня (рис. 4). Следует отметить, что в третью группу вошли те элементы, у которых значения коэффициентов вариации концентрации самые низкие. Такое распределение элементов по профилю пойменных почв связано, по нашему мнению, в основном с составом аллювия, отлагавшегося в данных экотопах в различные периоды времени.

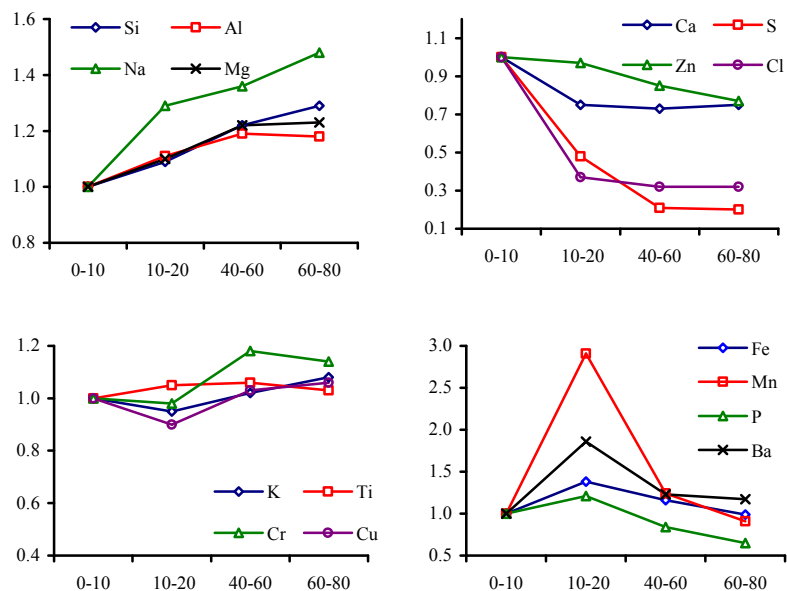


Рис. 4. Варианты изменения концентрации элементов с глубиной: ось абсцисс – слой почвы, ось ординат – концентрация элемента по отношению к верхнему слою

Кальций, сера, хлор и фосфор являются биофильными макроэлементами, поэтому они в большей степени накапливаются в верхних горизонтах почвы, а с глубиной их содержание довольно резко снижается, особенно серы и хлора. Накопление цинка и рубидия в верхних горизонтах обусловлено довольно тесной связью этих элементов с содержанием кальция, о чем речь пойдет ниже. Увеличение количества алюминия и магния обусловлено обогащением почвы глинистыми частицами, а синхронная их

динамика – тесной связью между собой. Остается непонятным повышение с глубиной содержания кремния, так как доля физического песка в почве постепенно снижается. Концентрация натрия и циркония также возрастает с глубиной, что может быть обусловлено довольно тесной связью этих элементов с содержанием кремния. Увеличение содержания элементов с глубиной может указывать также на отсутствие их выноса из почвы и накопление за счет привноса аллювия или же почвенно-грунтовых вод, о чем свидетельствуют литературные данные [17].

Наивысшая концентрация элементов в слое 10-20 см связана, возможно, с их осаждением на окислительно-восстановительном глеевом геохимическом барьере, о наличии которого свидетельствуют как резкое возрастание плотности сложения почв, так и ухудшение их структурности (табл. 7), выявленные нами ранее [24]. В этом слое проходит смена окислительных условий восстановительными, и в луговых почвах глубже 10-15 см очень часто наблюдаются четкие признаки оглеения. Г.В. Добровольский [17] для пойменных почв центра Русской равнины, указывал, что зона накопления железа тесно связана с уровнем почвенно-грунтовых вод. От содержания железа зависит и концентрация в почве марганца, бария, фосфора, а также других элементов, поэтому в слое почвы 10-20 см у них часто также отмечается максимум значений данного показателя. Кислотно-щелочной барьер, являющийся причиной осаждения ряда элементов в профиле аллювиальных почв, судя по всему, себя не проявляет, поскольку значения кислотности солевой вытяжки в разных горизонтах различаются весьма незначительно (табл. 8). Калий, титан, стронций, хром и медь распределены по профилю почти равномерно, и у них отсутствует, по-видимому, биогенная аккумуляция в гумусовом горизонте. Не происходит и их осаждение на окислительно-восстановительном глеевом барьере.

Таблица 7

Значения плотности сложения и коэффициента структурности верхних горизонтов аллювиальных луговых почв

Слой почвы, см	Значение показателя на пробных площадях								
	ППП-2	ППП-3	ППП-15	ВПП-2	ВПП-5	ВПП-29	ВПП-32	ВПП-33	ВПП-35
<i>Плотность сложения, г/см<sup>3</sup></i>									
0-10	0,76	0,62	0,83	0,94	0,79	0,83	0,61	0,67	0,52
10-20	1,00	0,94	1,02	1,13	1,43	1,09	0,97	1,03	1,03
<i>Коэффициент структурности</i>									
0-10	-	-	-	5,1	7,5	13,5	-	-	16,0
10-20	-	-	-	1,1	0,3	1,4	-	-	1,7

Таблица 8

Значение кислотности солевой вытяжки аллювиальных луговых почв

Слой почвы, см	Значение показателя pH солевой вытяжки почв на пробных площадях								
	ППП-2	ППП-3	ППП-15	ВПП-2	ВПП-4	ВПП-29	ВПП-32	ВПП-33	ВПП-35
0-10	5,11	5,25	5,67	5,41	5,08	5,74	5,66	4,43	4,82
10-20	4,39	3,95	5,03	4,72	3,91	5,33	5,08	4,49	4,73
40-60	4,37	3,59	4,11	4,26	3,66	4,92	4,45	4,63	4,78
60-80	5,52	4,80	4,01	4,22	3,85	4,69	5,32	4,52	5,09

Из указанной выше общей закономерности распределения элементов по профилю имеются исключения. Так, на ВПП-2 концентрация кремния с глубиной понижается, содержание же алюминия на ВПП-5 и ВПП-35 вначале повышается, а в слое почвы 60-80 см резко понижается. На ВПП-29 оно довольно сильно флуктуирует по слоям. Содержание натрия на ВПП-2 достигает максимума в слое почвы 10-20 см, а затем резко снижается. У многих же элементов, как уже было отмечено, фактор «слой» не оказывает достоверного влияния на их содержание в почве.

Корреляционный анализ показал, что между содержанием в почве многих химических элементов существует достоверная и часто довольно тесная связь (табл. 9), а вся их совокупность по значениям коэффициентов корреляции группируется друг с другом в два больших кластера, каждый из которых, в свою очередь, разбит на подкластеры (рис. 5), в один из которых вошли литофильные элементы: кремний, натрий, цирконий и хром. Они имеют отрицательную тесную связь с большинством остальных элементов, а также с содержанием в почве органического вещества, выраженной потерями при прокаливании.

Выше мы отмечали, что аллювиальные луговые почвы отличаются от дерновых меньшим содержанием натрия и циркония. Причина этого теперь становится понятной, так как эти элементы очень тесно связаны с содержанием кремния, которого в дерновых почвах содержится значительно больше. Магний и титан тесно связаны по содержанию в почве с алюминием и образуют обособленный подкластер, являющийся составной частью большого кластера, куда входят также стронций и калий. Таким образом, калий, натрий, магний, титан, цирконий, хром и стронций имеют родство с алюмосиликатами, которые выступают в качестве их агентов-носителей. Тесная связь кремния с натрием и цирконием обусловлена, по-видимому, особым составом силикатов, в которых преобладают последние два элемента, а цирконий имеет геохимическое сходство с кремнием, образуя минерал циркон или ортосиликат циркония [45].

Таблица 9  
Матрица коэффициентов корреляции содержания химических элементов и органического вещества в аллювиальных луговых почвах

Элемент	Значение коэффициентов корреляции между элементами																							
	ППП	Si	Al	Fe	K	Ca	Na	Mg	Ti	Mn	P	S	Ba	Zr	Cr	Sr	Zn	Ni	Cu	Rb	As	V		
Si	-0,89	1,00																						
Al	-0,48	0,19	1,00																					
Fe	0,44	-0,78	0,09	1,00																				
K	-0,39	0,38	0,48	-0,44	1,00																			
Ca	0,63	-0,53	-0,09	0,09	0,26	1,00																		
Na	-0,76	0,86	0,15	-0,74	0,50	-0,50	1,00																	
Mg	-0,26	-0,05	0,91	0,24	0,49	0,11	-0,02	1,00																
Ti	-0,19	0,04	0,72	-0,03	0,64	0,32	0,14	0,63	1,00															
Mn	0,38	-0,65	-0,19	0,86	-0,45	-0,08	-0,53	-0,01	-0,30	1,00														
P	0,64	-0,83	-0,24	0,87	-0,47	0,16	-0,73	-0,06	-0,27	0,81	1,00													
S	0,82	-0,57	-0,56	0,01	-0,05	0,73	-0,42	-0,42	-0,03	0,02	0,29	1,00												
Ba	0,29	-0,60	-0,09	0,87	-0,40	-0,04	-0,54	0,06	-0,18	0,96	0,74	-0,05	1,00											
Zr	-0,78	0,82	0,33	-0,67	0,72	-0,29	0,89	0,14	0,43	-0,56	-0,73	-0,36	-0,51	1,00										
Cr	-0,65	0,64	0,44	-0,53	0,80	-0,10	0,68	0,36	0,47	-0,52	-0,64	-0,32	-0,45	0,84	1,00									
Sr	-0,31	0,25	0,45	-0,29	0,86	0,37	0,39	0,44	0,79	-0,34	-0,42	0,05	-0,22	0,67	0,71	1,00								
Zn	0,62	-0,81	0,11	0,67	0,11	0,56	-0,62	0,35	0,28	0,56	0,64	0,44	0,53	-0,45	-0,22	0,17	1,00							
Ni	0,27	-0,61	0,32	0,77	0,08	0,30	-0,51	0,51	0,36	0,64	0,54	0,03	0,70	-0,32	-0,12	0,22	0,80	1,00						
Cu	0,05	-0,20	0,41	0,25	0,24	0,38	-0,38	0,50	0,32	-0,02	0,14	-0,03	0,07	-0,13	0,18	0,27	0,25	0,29	1,00					
Rb	0,41	-0,47	0,24	0,25	0,57	0,78	-0,36	0,47	0,49	0,04	0,19	0,46	0,05	-0,12	0,15	0,51	0,77	0,57	0,43	1,00				
As	0,43	-0,67	-0,23	0,85	-0,53	-0,02	-0,62	-0,03	-0,33	0,84	0,80	0,02	0,82	-0,65	-0,63	-0,44	0,42	0,50	0,03	0,02	1,00			
V	0,08	-0,44	0,24	0,78	-0,33	-0,04	-0,62	0,32	0,01	0,52	0,45	-0,25	0,60	-0,47	-0,36	-0,27	0,43	0,73	0,43	0,15	0,54	1,00		
Гумус	0,77	-0,59	-0,51	0,15	-0,16	0,56	-0,47	-0,36	-0,11	0,12	0,43	0,83	0,04	-0,46	-0,36	-0,08	0,47	0,10	-0,03	0,39	0,07	-0,15	1,00	
pH	0,42	-0,28	-0,35	-0,02	0,07	0,64	-0,35	-0,15	-0,19	-0,01	0,12	0,49	-0,02	-0,29	-0,21	0,04	0,24	0,04	0,17	0,46	0,13	-0,13	-0,06	1,00

Примечание: жарным шрифтом выделены значения коэффициента корреляции достоверные при  $p=0,01$ .



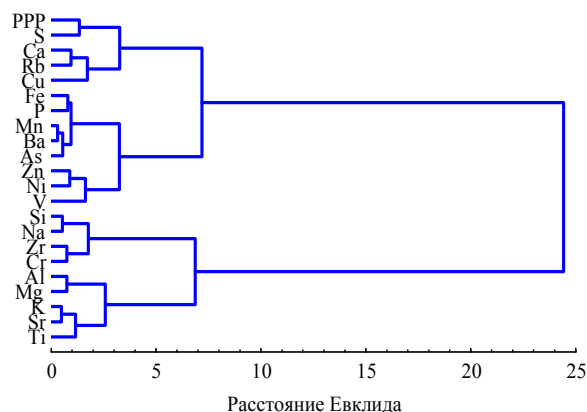


Рис. 5. Дендрограмма сходства элементов, построенная способом Варда по матрице коэффициентов корреляции

Тесные связи алюминия с магнием и титаном, кальция с рубидием, а также калия с хромом и стронцием, возможно, свидетельствуют о том, что алюминий, кальций и калий могут выступать в роли агентов-носителей, закрепляющих указанные элементы, так как способны образовывать совместно с ними минералы. Это предположение, однако, требует дополнительной проверки. Тесная связь элементов может быть также обусловлена и их сорбцией на поверхности глинистых минералов, что весьма существенно отличается от закрепления элементов на агенте-носителе, когда они включаются в решетку минералов.

В аллювиальных луговых почвах концентрация фосфора, бария, мышьяка, цинка, никеля и ванадия довольно тесно зависит от содержания в них железа и марганца, которые совместно с медью, рубидием, кальцием и серой, а также с органическим веществом (потерями при прокаливании) объединяются в один большой кластер с различными внутренними связями. Установленная достоверная тесная положительная связь некоторых элементов между собой может быть обусловлена как их родством с определенными агентами-носителями, так и сорбционными свойствами, обусловленными как органическими, так и минеральными компонентами твердой фазы почвы. Известно, в частности, что в почвах главными агентами-носителями тяжелых металлов и металлоидов являются гумус, слоистые силикаты, гидроксиды железа и оксиды марганца. В луговых почвах связь содержания большинства элементов с гумусом и гранулометрическим составом, как будет показано ниже, не установлена. Следовательно, основными агентами-носителями будут гидроксиды железа и оксиды марганца.

Такие элементы, как фосфор, барий, мышьяк, цинк, никель и ванадий, которые тесно связаны с концентрацией железа, в аллювиальных луговых почвах можно считать сидерофильными. Большинство этих элементов, однако, тесно связано с содержанием марганца, который, в свою очередь, весьма тесно коррелирует с железом. Известно, что марганец может либо выступать в роли сидерофила (тогда связь его с вышеперечисленными элементами понятна), либо не проявлять таких свойств. В этом случае марганец сам способен образовывать оксиды в почве [5, 6, 39] и выступать в качестве самостоятельного агента-носителя тяжелых элементов, которые объединены с ним в группу манганофилов. Определить является ли марганец, а точнее его оксиды, в аллювиальных луговых почвах агентом-носителем, или же он обладает родством с железом, только на основе корреляционного анализа нельзя, хотя вероятность этого весьма высока. Косвенным показателем этого является его максимальное по отношению к другим элементам содержание в железо-марганцевых конкрециях. Именно по концентрированию и закреплению тяжелых металлов в почвенных ортштейнах, как отмечает Ю.Н. Водяницкий [7, 39], идентифицировать агенты-носители легче. Медь, которая согласно почвенной классификации [7] относится к элементам органофилам и манганофилам, по содержанию в почве не имеет тесной связи ни с одним из выявленных элементов: максимален коэффициент ее корреляции с магнием, но и он не превышает 0,54.

Связь содержания элементов друг с другом имеет в большинстве случаев линейный характер. Так, к примеру, концентрация натрия и циркония на 74 и 67 % соответственно обусловлена содержанием в почве кремния, а магния и титана на 83 и 52 % – алюминия (рис. 6). Содержание фосфора и марганца на 70-75 % зависит от концентрации в почве железа, а хрома и стронция на 63 и 73 % – калия. Тесные связи обусловлены совместным содержанием элементов в кристаллических решетках основных минералов [17]. Концентрация элементов, за исключением серы, весьма слабо связана с содержанием в почве органики.

Содержание многих элементов в аллювиальных луговых почвах, как это ни парадоксально, слабо зависит от их гранулометрического состава, который оказывает достоверное влияние только концентрацию в них алюминия и серы (табл. 10, рис. 7). Противоположная картина наблюдается в аллювиальных дерновых почвах приустьевой части поймы, где установлена очень тесная связь всех элементов, за исключением кремния, с содержанием частиц меньше 0,05 мм [25]. Многочисленные литературные источники также показывают тесную связь содержания химических элементов с фракциями гранулометрического состава [1-4, 12,

15, 18, 22, 23, 27, 28, 30, 32-34, 37, 38, 42]. Однако имеются данные, в которых отмечается отсутствие связи между содержанием некоторых химических элементов и механическим составом почв [42, 44], в том числе и аллювиальных [5].

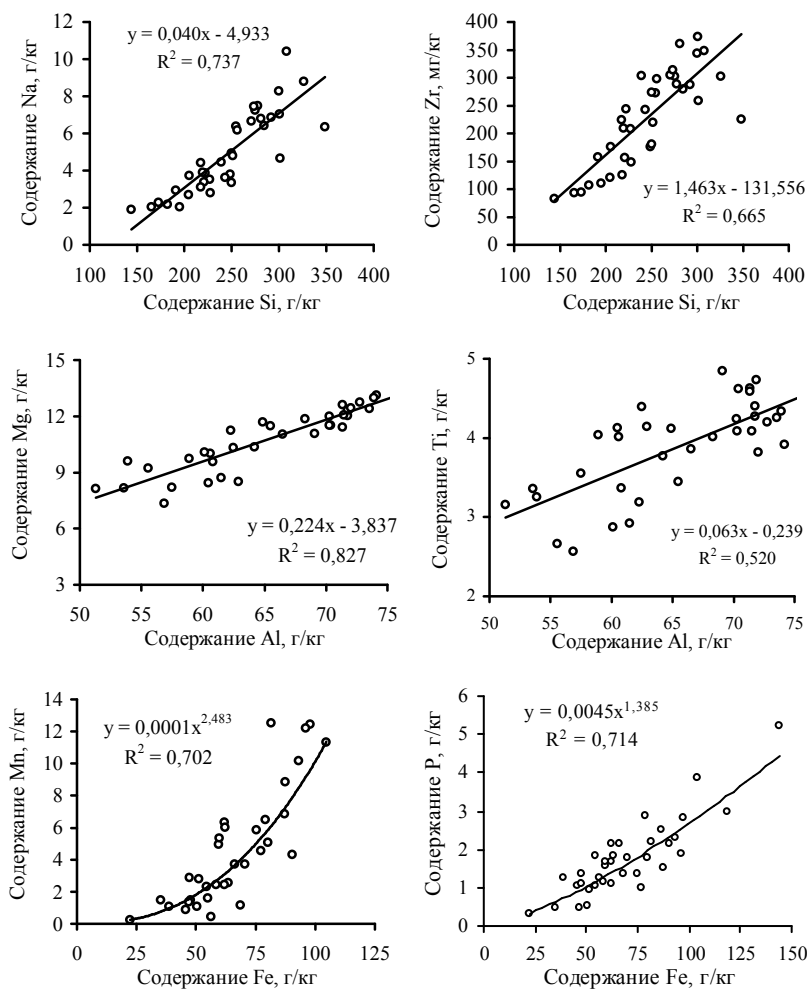


Рис. 6. Характер связи содержания некоторых элементов друг с другом в аллювиальных луговых почвах

Таблица 10

Матрица коэффициентов корреляции между содержанием химических элементов в луговых почвах и их гранулометрическим составом

Элемент	Значение коэффициента корреляции для различных фракций					
	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	<0,001	<0,01
Si	0,087	-0,282	0,453	0,308	-0,045	0,261
Al	-0,413	-0,555	0,032	0,344	0,448	<b>0,613</b>
Fe	-0,355	-0,086	-0,195	0,011	0,211	0,145
K	0,001	0,076	0,081	-0,021	-0,098	-0,079
Ca	0,222	0,297	-0,437	-0,401	0,013	-0,344
Na	0,150	0,004	0,358	0,146	-0,231	-0,024
Mg	-0,298	-0,439	-0,135	0,210	0,431	0,475
Ti	-0,263	-0,133	-0,005	0,000	0,196	0,169
Mn	-0,207	0,054	-0,101	-0,042	0,040	-0,015
P	-0,193	0,205	-0,211	-0,083	-0,068	-0,160
S	0,330	<b>0,672</b>	-0,362	-0,551	-0,329	<b>-0,717</b>
Ba	-0,240	-0,037	-0,067	0,023	0,082	0,070
Zr	0,012	0,000	0,395	0,161	-0,224	-0,001
Cr	0,039	-0,044	0,261	0,011	-0,046	0,027
Sr	0,013	0,068	0,090	-0,089	-0,059	-0,087
Zn	-0,146	0,247	-0,415	-0,313	0,086	-0,220
Ni	-0,203	-0,098	-0,275	-0,104	0,288	0,120
Cu	-0,185	-0,234	-0,011	0,116	0,201	0,245
Rb	-0,024	0,216	-0,375	-0,299	0,069	-0,216
As	-0,247	0,043	-0,137	-0,031	0,066	0,007
V	-0,373	-0,431	-0,089	0,290	0,338	0,462

**Примечание:** здесь и далее фракция крупного и среднего песка не приводится, так как почти во всех слоях она отсутствует; жирным шрифтом выделены значения коэффициента корреляции достоверные при  $p < 0,01$

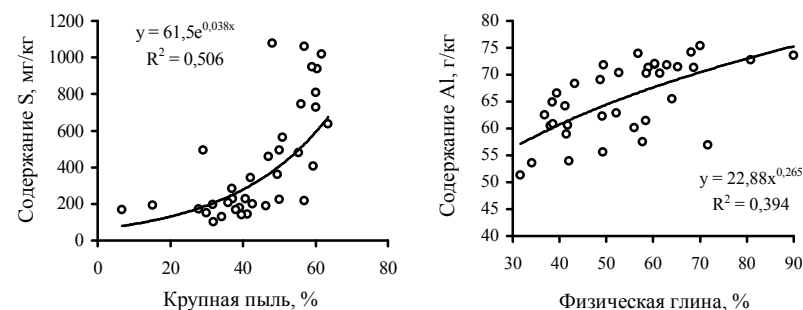


Рис. 7. Зависимость содержания некоторых элементов от гранулометрического состава луговых почв

Почему же в луговых почвах связь между содержанием химических элементов весьма низкая? Ответ можно найти, обратившись к морфологическому строению почвенных слоев. Дело в том, что под гумусовым горизонтом, нижняя граница которого редко опускается ниже 15 см, залегает довольно плотный переходный горизонт АВ, в котором довольно часто встречаются небольшие по размеру ржавые примазки, отделить которые от вмещающей породы очень тяжело. Это, скорее всего, начальная стадия образования Fe-Mn конкреций. Поскольку для анализа мы брали весь горизонт вместе с этими новообразованиями, которые, как показано выше, интенсивно накапливают многие элементы, то и связь их с гранулометрическим составом, выступающим в роли агента-носителя, может искажаться. Это предположение можно проверить, проведя корреляционный анализ только для верхнего слоя почвы, который полностью подтвердил его, показав наличие тесной связи содержания химических элементов с гранулометрическим составом (табл. 11). Особенно тесная связь отмечена для многих элементов с содержанием илистой фракции. Только у кремния, натрия, циркония стронция и хрома она отрицательная, что свидетельствует об их связи с суммой песчаных фракций. Содержание же в почве алюминия, калия, титана и меди очень слабо связано с глинистой и илистой фракциями ( $r < 0,28$ ), что весьма необычно. Корреляционный анализ содержания элементов в нижних слоях почвы не выявил их тесной связи с гранулометрическим составом. Это косвенно доказывает, что их содержание связано более с наличием Fe-Mn новообразований, чем с гранулометрическим составом. Гумусовые же горизонты аллювиальных луговых почв, вследствие своей высокой структурности, обладают большой порозностью и хорошей аэрацией, на что указывал еще Г.В. Добровольский [17], поэтому накопление в них железа и марганца наблюдается сравнительно редко.

Еще одной причиной слабой связи элементов друг с другом может явиться довольно значительный разброс их концентрации в луговых почвах, превышающий вариацию содержания фракций гранулометрического состава. Отсутствие связи между содержанием тяжелых металлов и мелкоземом в аллювиальных почвах с тяжелым гранулометрическим составом г. Перми отмечал также Ю.Н. Водяницкий [5], объяснив это слабой их фильтрационной способностью, сдерживающей свободную миграцию ионов металлов.

Таблица 11

Матрица коэффициентов корреляции содержания химических элементов от фракций гранулометрического состава для слоя почвы 0-10 см

Элемент	Значение коэффициента корреляции для различных фракций					
	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	<0,001	<0,01
Si	0,116	0,464	0,626	-0,565	<b>-0,874</b>	-0,682
Al	-0,294	-0,149	-0,035	0,313	0,278	0,428
Fe	-0,340	-0,223	-0,478	0,330	<b>0,849</b>	0,559
K	0,020	-0,147	-0,170	0,193	0,166	0,170
Ca	0,320	-0,609	-0,700	0,642	0,593	0,512
Na	0,069	0,322	0,621	-0,386	-0,767	-0,464
Mg	-0,235	-0,262	-0,428	0,419	0,640	0,522
Ti	-0,041	-0,242	0,028	0,340	0,056	0,340
Mn	-0,322	-0,215	-0,430	0,296	<b>0,810</b>	0,534
P	-0,071	-0,228	-0,506	0,265	<b>0,641</b>	0,347
S	0,337	-0,523	-0,522	0,545	0,372	0,389
Ba	-0,245	-0,389	-0,451	0,480	<b>0,835</b>	0,692
Zr	0,014	0,349	0,566	-0,392	-0,696	-0,454
Cr	-0,085	0,543	0,335	-0,574	-0,507	-0,619
Sr	0,097	-0,141	0,037	0,171	-0,098	0,099
Zn	-0,175	-0,429	-0,644	0,543	<b>0,922</b>	0,686
Ni	-0,314	-0,331	-0,465	0,465	<b>0,841</b>	0,674
Cu	0,137	0,172	-0,342	-0,193	0,061	-0,329
Rb	-0,071	-0,429	-0,557	0,533	0,731	0,601
As	-0,128	-0,166	-0,437	0,167	<b>0,815</b>	0,401
V	-0,366	0,021	-0,267	0,074	0,706	0,368

**Примечание:** жирным шрифтом выделены значения коэффициента корреляции, достоверные при  $r=0,01$

Среди обнаруженных в почве тяжелых металлов и металлоидов к группе высоко опасных элементов относятся As, Cr, Zn, Pb, Se; умеренно опасных – Ni, Cu, Co, Mo; мало опасных – Ba, V, Mn, Sr [11]. Установлено, что среднее содержание хрома в аллювиальных луговых почвах превышает установленный уровень ПДК [10] в 1,4 раза, а мышьяка же, уровень ПДК для которого слишком низок [5], содержится в них в 2,3 раза больше уровня ОДК (10 мг/кг). Содержание никеля превышает ПДК в 2,4 раза, серы – в 2,6, а марганца – в 4,1. Содержание же Zn, Cu и V приближается к уровню ПДК (рис. 8). В железо-марганцевых конкрециях содержание марганца превышает ПДК в 114, никеля и мышьяка – в 8, серы – в 5, цинка – в 3 раза, а меди и хрома не превышает ее значений. Железо-марганцевые конкреции являются, таким образом, временными аккумуляторами опасных тяжелых металлов и способны на некоторое время выводить их из биологического круговорота, устраняя попадание в почвенный раствор и живые организмы [5].

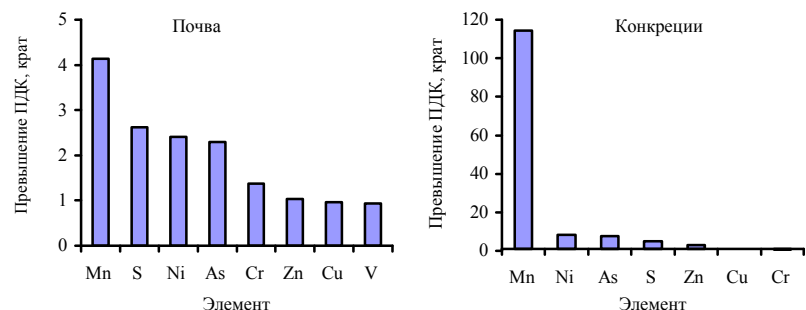


Рис. 8. Превышение концентрации элементов значений ПДК и ОДК в аллювиальных луговых почвах и железо-марганцевых конкрециях

При геохимической характеристике почв для оценки их буферной роли и степени опасности концентрации в них тяжелых металлов и металлоидов применяются так называемые геохимические модули, представляющие собой показатели закрепления элементов агентом-носителем, в качестве которого чаще всего выступает железо. Ю.Н. Водяницкий [8] выделяет четыре основных модуля: медный, представляющий собой молярное отношение Cu/Fe (ммоль/моль), никелевый (Ni/Fe), арсенатный (As/Fe) и фосфатный (P/Fe). Увеличение значения модуля указывает на непрочность закрепления железом того или иного элемента. Расчеты показали, что значение арсенатного модуля для аллювиальных луговых почв р. Б. Кокшага составляет в среднем 0,26; медного – 0,9; никелевого – 1,38; фосфатного – 43,3 (табл. 12). Для почв пойм рек Пермского края их значения гораздо выше: у арсенатного модуля они составляют 2 единицы, медного – 4, а никелевого – 6 [8].

Таблица 12

Значение статистических показателей различных модулей закрепления элементов железом в аллювиальных луговых почвах

Модуль	Значение статистических показателей модуля						
	M <sub>x</sub>	max	min	S <sub>x</sub>	m <sub>x</sub>	V, %	P, %
As/Fe	0,26	0,44	0,09	0,07	0,01	26,9	4,7
Ni/Fe	1,38	2,25	0,86	0,28	0,05	20,5	3,4
P/Fe	43,3	66,9	17,6	13,4	2,23	31,0	5,2
Cu/Fe	0,90	1,99	0,37	0,31	0,05	34,6	5,8

Проведенные нами исследования показали повышенное содержание в аллювиальных луговых почвах поймы р. Б. Кокшага, по сравнению с

кларками элементов верхней части континентальной земной коры [29], мышьяка, фосфора, меди, никеля, цинка, железа, хрома, бария, ванадия, а особенно марганца (рис. 9). Содержание других элементов несколько ниже кларкового значения. По марганцу и мышьяку здесь формируются сильные, а по P, Cu, Ni, Zn, Fe, Cr, Ba и V – слабые положительные естественные геохимические аномалии. Пойму среднего течения реки Б. Кокшага можно считать геохимической фацией, так как почвы в ней обладают одинаковыми физико-химическими и геохимическими свойствами, а также способностью накопления осадочных пород. Причины превышения содержания в почве ряда элементов определить в настоящее время сложно, и для этого требуется проведение дополнительных исследований.

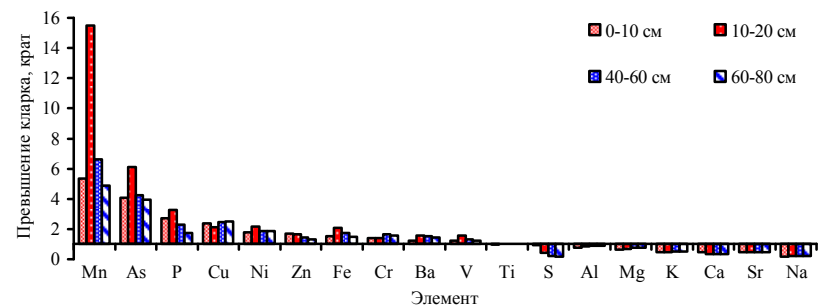


Рис. 9. Превышение содержания элементов в аллювиальных луговых почвах по отношению к кларку верхней части континентальной земной коры

Расчеты показали, что в 60-см слое аллювиальных луговых почв поймы среднего течения р. Б. Кокшага содержится в среднем на 1 га около 300 т железа, почти 290 т алюминия, 47-49 т магния и калия, более 40 т кальция, 25 т марганца, 22 т натрия, более 17 т титана, а также значительная масса других элементов с запасом менее 10 т/га (табл. 13). Эти величины, конечно, не так значительны по сравнению с рудными залежами данных элементов, но это колоссальные потенциальные резервы, сравниться с которыми могут не многие почвы мира.

**Аллювиальные дерново-луговые почвы.** В аллювиальных дерново-луговых почвах выявлено наличие только 28 химических элементов, что на 6 элементов меньше, чем аллювиальных луговых. Все элементы в порядке убывания концентрации формируют следующий ранговый ряд: Si > Al > Fe > K > Mg > Na > Ca > Ti > Mn > P > Ba > S > Zr > Cr > V > Sr > Ru > > Pd > Cu > Ni > Zn > Cl > Rb > Y > Ga > As > Nb > Co. 16 элементов из их числа (Si, Al, Fe, K, Ca, Na, Mg, Ti, Mn, P, Zr, Cr, Sr, Zn, Ni, Cu) присут-

ствуют во всех слоях, а V, Ru, Pd, Y, Ga, Nb и Co обнаружены лишь в единичных образцах. Из всего перечня элементов к тяжелым металлам и металлоидам относятся: Fe, Mn, Ba, Zr, V, Cr, Sr, Zn, Ni, Cu, Rb, As, Y, Ga, Nb, Pd, Ru, Co.

Таблица 13

**Статистические показатели запасов химических элементов в аллювиальных луговых почвах поймы среднего течения р. Б. Кокшага**

Элемент	Содержание элементов в различных слоях почвы, кг/га				
	0-10 см	10-20 см	40-60 см	60-80 см	Всего
Si	157534,1	250350,3	339519,2	344394	1091797,5
Al	42118,4	68356,7	90033,6	87759,8	288268,5
Fe	42778,9	86515,1	90290,5	78003,1	297587,5
K	8145,1	11134,6	14678,8	15332	49290,5
Ca	8685,4	9490,1	11482,3	11682	41339,9
Mg	6850,6	10935,2	15052,6	14923,1	47761,5
Na	2936,8	5515,6	6803,1	7199,08	22454,6
Mn	2750,9	11815,2	6297,4	4826,47	25689,9
Ti	2715,4	4168,8	5162,4	4981,64	17028,3
P	1293,1	2281,3	1947,2	1520,74	7042,4
S	624,3	432,7	241,2	231,775	1529,9
Ba	544,9	1451,7	1220,4	1157,38	4374,3
Zr	141,5	247,5	322,2	328,034	1039,2
V	99,2	170,1	202,1	220,107	691,5
Cr	94,4	135,6	197,0	188,129	615,1
Sr	91,1	130,1	158,6	167,737	547,5
Zn	90,3	127,0	138,7	127,352	483,3
Ni	63,3	111,5	121,1	121,221	417,1
Cu	46,1	59,8	85,4	86,2682	277,6
Rb	48,4	55,6	69,3	71,6935	245,0
As	15,8	35,1	29,9	24,8767	105,6

Результаты статистической обработки полученных данных показали, что в аллювиальных дерново-луговых почвах среднее содержание многих элементов в 1,5-2 раза ниже, чем в аллювиальных луговых (табл. 14). Так, к примеру, содержание алюминия составляет 43, железа – 31, калия – 7,7, кальция, натрия и магния – 5,7-5,8 г/кг, а титана – 2,6 г/кг. Концентрация других элементов не превышает 1 г/кг. Наиболее стабильна концентрация в почве Si и Cu, коэффициенты вариации которой не превышают у них 20 %. Очень высокой степенью изменчивости отличаются S, P, Mn и As, что обусловлено как особенностями экотопов, так и вертикальной дифференциацией их концентрации в пределах изученных почвенных слоев.

Таблица 14

**Статистические показатели содержания органического вещества и химических элементов в дерново-луговых почвах поймы среднего течения р. Б. Кокшага**

Элемент	Значение статистических показателей (n = 16)								
	M <sub>x</sub>	max	min	S <sub>x</sub>	m <sub>x</sub>	V	p	A	E
ППП, %	7,5	24,7	0,8	6,6	1,1	88,1	14,7	1,49	1,96
Si, г/кг	345,0	440,3	247,8	61,8	10,3	17,9	3,0	-0,19	-0,99
Al, г/кг	43,6	73,0	9,5	19,3	3,22	44,3	7,4	-0,15	-0,85
Fe, г/кг	31,2	56,5	13,8	14,0	2,33	44,7	7,5	0,41	-1,12
K, г/кг	7,69	12,0	2,5	2,9	0,49	38,1	6,4	-0,19	-0,71
Ca, г/кг	5,73	12,4	1,3	3,2	0,53	55,8	9,3	0,56	-0,20
Na, г/кг	5,76	10,1	1,9	2,3	0,38	39,7	6,6	0,24	-0,25
Mg, г/кг	5,80	11,2	0,8	3,5	0,58	59,7	10,0	0,24	-1,38
Ti, г/кг	2,58	4,3	0,6	1,2	0,20	46,1	7,7	-0,33	-1,00
Mn, мг/кг	677,5	1849,3	125,0	587,3	97,9	86,7	14,5	1,07	0,09
P, мг/кг	504,9	1410,4	55,0	463,7	77,3	91,8	15,3	1,09	0,03
S, мг/кг	287,3	908,0	0,0	288,8	48,1	100,5	16,8	1,23	0,21
Ba, мг/кг	355,8	664,0	0,0	198,2	33,0	55,7	9,3	-0,33	-0,40
Zr, мг/кг	237,4	399,0	54,0	97,1	16,2	40,9	6,8	-0,70	-0,02
Cr, мг/кг	108,2	165,1	45,0	37,1	6,2	34,3	5,7	-0,33	-1,00
Sr, мг/кг	85,6	138,9	29,0	33,6	5,6	39,3	6,5	-0,07	-0,82
Zn, мг/кг	46,5	91,1	16,0	26,8	4,5	57,7	9,6	0,59	-1,29
Ni, мг/кг	47,6	81,9	23,0	18,6	3,1	39,1	6,5	0,68	-0,80
Cu, мг/кг	48,0	64,4	35,0	9,6	1,6	20,0	3,3	0,08	-1,32
Rb, мг/кг	25,2	51,5	0,0	13,7	2,3	54,5	9,1	0,21	-0,32
As, мг/кг	8,9	20,2	0,0	6,9	1,2	77,9	13,0	-0,15	-1,16

Результаты дисперсионного анализа показали, что по содержанию большинства элементов достоверно различаются между собой как экотопы, так и слои почвы в пределах одного экотопа (табл. 15). Только на концентрацию кальция, натрия, марганца, циркония, хрома и меди данные факторы не оказывают достоверного влияния, так как доля шумов, т.е. неучтенных факторов, у них весьма высока. На содержание кремния, алюминия, железа, калия, магния, титана, бария, стронция, цинка, никеля и рубидия наибольшее достоверное влияние оказывают особенности экотопа (доля влияния фактора более 42 %), нежели вертикальная дифференциация. Концентрация же фосфора, серы и мышьяка в большей степени связана с вертикальной дифференциацией их по профилю почвы. На значение потерь при прокаливании наибольшее влияние (79,5 %) оказывает также положение в пределах почвенного профиля: чем глубже расположен слой, тем меньше в нем органики.

Таблица 15  
**Результаты дисперсионного анализа характера распределения содержания органического вещества и химических элементов по экотопам и профилю аллювиальных дерново-луговых почв**

Фактор	Значение параметров для потерь при прокаливании (ППП) и различных химических элементов																				
	ППП	Si	Al	Fe	K	Ca	Na	Mg	Ti	Mn	P	S	Ba	Zr	Cr	Sr	Zn	Ni	Cu	Rb	As
А	<0,15	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,15	<0,031	<0,01	<0,01	<0,30	<0,02	<0,50	<0,01	<0,30	<0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,15	<0,01	<0,06
	<0,01	<0,01	<0,60	<0,08	<0,30	<0,03	<0,40	<0,70	<0,02	<0,02	<0,01	<0,01	<0,15	<0,50	<0,20	<0,02	<0,09	<0,30	<0,25	<0,15	<0,01
Б	5,7	42,9	66,5	54,4	69,5	17,2	47,5	69,6	56,6	6,5	15,6	0,0	64,1	14,2	53,5	71,9	55,7	56,9	23,0	57,7	19,1
	79,5	37,9	0,0	16,6	3,7	40,3	1,3	0,0	25,0	55,3	70,7	91,1	9,9	0,0	8,8	16,3	14,8	6,1	11,7	11,5	52,1
Шумы	14,8	19,2	33,5	29,0	26,8	42,5	51,2	30,4	18,4	38,2	13,7	8,9	25,9	85,8	37,9	11,8	29,4	37,0	65,2	30,8	28,8

Примечание: фактор А – экотоп, фактор Б – слой; объем выборки = 16

Результаты сравнения значений концентраций элементов в разных экотопах по критерию Шеффе показали, что верхний слой 0-10 см достоверно отличается в них только по содержанию фосфора, слой почвы 10-20 см – цинка и стронция, слой почвы 40-60 см – Al, K, Ti, Ba, Cr, и Sr, слой почвы 60-80 см – K, Ti, Sr и Rb (табл. 16). По содержанию остальных элементов различия не достоверны на 1 % уровне значимости. Таким образом, слои почвы 0-10 и 10-20 см различных экотопов имеют наибольшее сходство по содержанию химических элементов, а слои 40-60 см и 60-80 – наименьшее, что связано, вероятнее всего, с особенностями их гранулометрического состава.

Таблица 16

**Матрица различия слоев дерново-луговых почв по содержанию химических элементов (0,01 % уровень значимости)**

Экотоп	Элементы, по содержанию которых экотопы достоверно отличаются между собой		
	ППП 1	ППП 20	ВПП 4
Слой почвы 0-10 см			
ППП 20	P		
ВПП 4	P	-	
ВПП 37	-	-	-
Слой почвы 10-20 см			
ППП 20	-		
ВПП 4	Zn	Sr	
ВПП 37	-	-	-
Слой почвы 40-60 см			
ППП 20	-		
ВПП 4	-	K, Ti, Ba, Cr, Sr	
ВПП 37	-	Al, Ba, Sr	-
Слой почвы 60-80 см			
ППП 20	-		
ВПП 4	Ti, Sr	K, Ti, Sr, Rb	
ВПП 37	-	-	-

Наиболее высокое сходство химического состава верхнего слоя почв (0-10 см) отмечается между ППП-20, ВПП-4 и ВПП-37 (табл. 17). Почва же на ППП-1 менее сходна с ними по составу. Нижележащие слои почвы в изученных экотопах имеют значительно меньшее сходство химического состава. Довольно большое отличие ППП-1 от других экотопов может быть связано с составом древостоя, в котором преобладает ель.

Таблица 17

**Матрица коэффициентов сходства экотопов по содержанию химических элементов в дерново-луговых почвах**

Экотоп	Значение коэффициента Жаккара между экотопами		
	ППП 1	ППП 20	ВПП 4
Слой почвы 0-10 см			
ППП 20	0,585		
ВПП 4	0,542	0,801	
ВПП 37	0,618	0,857	0,800
Слой почвы 10-20 см			
ППП 20	0,703		
ВПП 4	0,508	0,492	
ВПП 37	0,792	0,728	0,549
Слой почвы 40-60 см			
ППП 20	0,482		
ВПП 4	0,562	0,269	
ВПП 37	0,713	0,341	0,742
Слой почвы 60-80 см			
ППП 20	0,530		
ВПП 4	0,395	0,238	
ВПП 37	0,720	0,420	0,545

На первом месте в ранговом ряду по содержанию в почве всех элементов, кроме кремния, находится ВПП-4, за которой следует ВПП-37 (рис. 10). Последние же места занимают почвы на ВПП-20 и ППП-1, что связано, возможно, с различием степени их развития: почвы в первых двух экотопах являются более молодыми и приближаются по своим свойствам к аллювиально-луговым.

Содержание в почве кремния, как было установлено, на всех пробных площадях с глубиной увеличивается, а у остальных элементов в целом снижается, однако это наблюдается не всегда. Так, на ППП-1 и ВПП-37 содержание алюминия достигает максимума в слое почвы 40-60 см, а на ВПП-4 – на глубине 10-20 см. Содержание железа на ППП-2 и ВПП-4 максимально в слое почвы 10-20 см, а калия на ВПП 4 – в слое 60-80 см. Эти флуктуации связаны в основном с изменением гранулометрического состава почв.

Корреляционный анализ показал, что между содержанием в почве ряда химических элементов существует достоверная и часто довольно тесная положительная связь (табл. 18), а вся их совокупность объединяется друг с другом в три разновеликих кластера (рис. 11). В первый кла-

стер входят элементы, связь которых с потерями при прокаливании очень тесная (сера, кальций, мышьяк, медь, марганец и фосфор). Кремний образует отдельный «хуторской» кластер, так как связь его с другими элементами отрицательная. Все остальные элементы, между содержанием в почве которых существует тесная положительная связь, объединяются во второй кластер. Связь содержания элементов друг с другом в большинстве случаев линейная. Так, содержание в почве Mg и Ba на 95 % обусловлено содержанием в ней Al; Sr и Sr – на 90 % – K; P на 87 % – Mn; а Zn – на 81 % содержанием Fe.

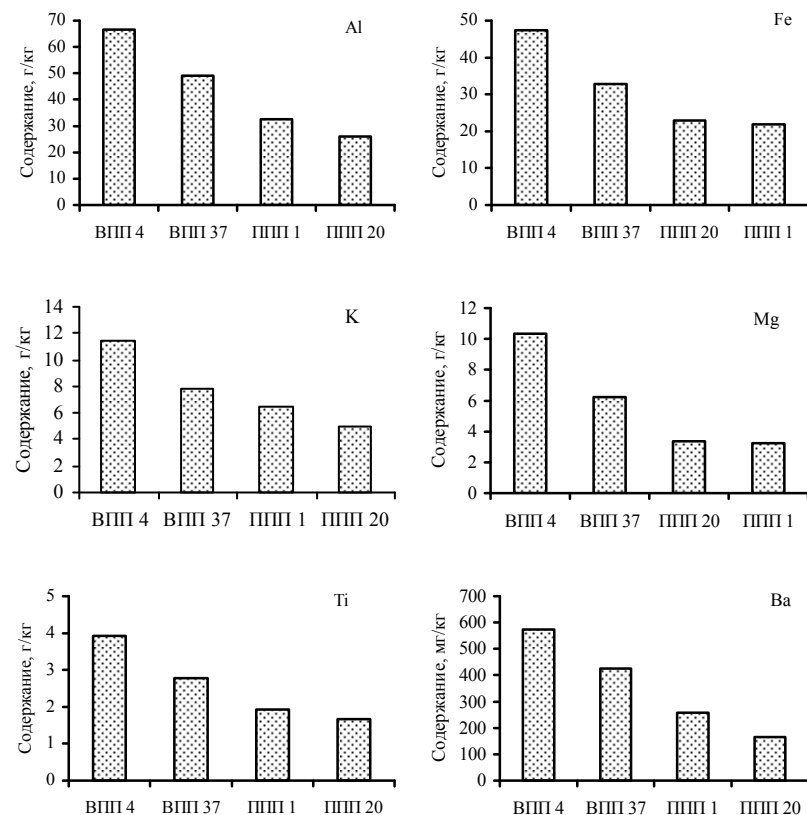


Рис. 10. Ранговый ряд экотопов по содержанию в их почвах разных элементов

Таблица 18  
Матрица коэффициентов корреляции содержания химических элементов и органического вещества в аллювиальных дерново-луговых почвах поймы р. Большая Кокшага

Элемент	Значение коэффициентов корреляции																				
	ППП	Si	Al	Fe	K	Ca	Na	Mg	Ti	Mn	P	S	Ba	Zr	Cr	Sr	Zn	Ni	Cu	Rb	
Si	-0,71	1,00																			
Al	0,31	<b>-0,85</b>	1,00																		
Fe	0,49	<b>-0,91</b>	<b>0,82</b>	1,00																	
K	0,31	<b>-0,85</b>	<b>0,94</b>	<b>0,79</b>	1,00																
Ca	<b>0,68</b>	<b>-0,90</b>	<b>0,77</b>	<b>0,74</b>	<b>0,80</b>	1,00															
Na	-0,12	-0,32	0,54	0,38	<b>0,64</b>	0,18	1,00														
Mg	0,27	<b>-0,84</b>	<b>0,98</b>	<b>0,82</b>	<b>0,93</b>	<b>0,78</b>	0,42	1,00													
Ti	0,52	<b>-0,95</b>	<b>0,91</b>	<b>0,91</b>	<b>0,92</b>	<b>0,84</b>	0,57	<b>0,87</b>	1,00												
Mn	<b>0,81</b>	<b>-0,84</b>	0,50	<b>0,77</b>	0,58	<b>0,80</b>	0,08	0,52	<b>0,72</b>	1,00											
P	<b>0,83</b>	<b>-0,85</b>	0,50	<b>0,72</b>	0,56	<b>0,84</b>	0,00	0,53	<b>0,71</b>	<b>0,94</b>	1,00										
S	<b>0,92</b>	<b>-0,73</b>	0,30	0,54	0,38	<b>0,77</b>	-0,11	0,30	0,57	<b>0,89</b>	<b>0,94</b>	1,00									
Ba	0,43	<b>-0,90</b>	<b>0,97</b>	<b>0,84</b>	<b>0,93</b>	<b>0,83</b>	0,53	<b>0,93</b>	<b>0,94</b>	0,57	0,60	0,44	1,00								
Zr	0,38	<b>-0,65</b>	<b>0,70</b>	0,58	<b>0,81</b>	<b>0,71</b>	<b>0,68</b>	0,61	<b>0,76</b>	0,53	0,45	0,42	<b>0,73</b>	1,00							
Cr	0,42	<b>-0,86</b>	<b>0,90</b>	<b>0,81</b>	<b>0,96</b>	<b>0,80</b>	<b>0,65</b>	<b>0,86</b>	<b>0,93</b>	<b>0,66</b>	<b>0,58</b>	0,45	<b>0,90</b>	<b>0,86</b>	1,00						
Sr	0,40	<b>-0,91</b>	<b>0,93</b>	<b>0,88</b>	<b>0,97</b>	<b>0,82</b>	0,61	<b>0,90</b>	<b>0,97</b>	<b>0,64</b>	<b>0,64</b>	0,47	<b>0,95</b>	<b>0,77</b>	<b>0,95</b>	1,00					
Zn	0,52	<b>-0,92</b>	<b>0,83</b>	<b>0,90</b>	<b>0,80</b>	<b>0,85</b>	0,14	<b>0,88</b>	<b>0,86</b>	<b>0,77</b>	<b>0,79</b>	0,60	<b>0,82</b>	0,49	<b>0,76</b>	<b>0,84</b>	1,00				
Ni	0,40	<b>-0,87</b>	<b>0,85</b>	<b>0,88</b>	<b>0,81</b>	<b>0,85</b>	0,18	<b>0,90</b>	<b>0,84</b>	<b>0,67</b>	<b>0,70</b>	0,51	<b>0,84</b>	0,54	<b>0,77</b>	<b>0,85</b>	<b>0,96</b>	1,00			
Cu	0,50	<b>-0,77</b>	<b>0,66</b>	<b>0,76</b>	<b>0,64</b>	<b>0,78</b>	0,02	<b>0,71</b>	<b>0,68</b>	<b>0,72</b>	<b>0,67</b>	0,55	<b>0,67</b>	0,47	<b>0,69</b>	<b>0,68</b>	<b>0,83</b>	<b>0,88</b>	1,00		
Rb	0,42	<b>-0,90</b>	<b>0,89</b>	<b>0,82</b>	<b>0,93</b>	<b>0,88</b>	0,37	<b>0,92</b>	<b>0,89</b>	<b>0,68</b>	<b>0,74</b>	0,55	<b>0,90</b>	0,66	<b>0,84</b>	<b>0,92</b>	<b>0,91</b>	<b>0,89</b>	<b>0,68</b>	1,00	
As	<b>0,75</b>	<b>-0,90</b>	<b>0,67</b>	<b>0,84</b>	<b>0,70</b>	<b>0,82</b>	0,34	<b>0,64</b>	<b>0,88</b>	<b>0,89</b>	<b>0,83</b>	<b>0,78</b>	<b>0,74</b>	<b>0,64</b>	<b>0,80</b>	<b>0,79</b>	<b>0,76</b>	<b>0,70</b>	<b>0,68</b>	<b>0,71</b>	1,00

Примечание: \* здесь и далее жирным шрифтом выделены значения коэффициента корреляции, достоверные при  $r = 0,01$ .

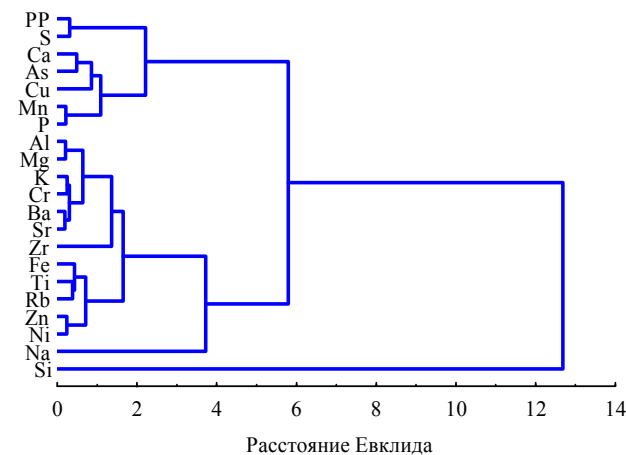


Рис. 11. Дендрограмма сходства химических элементов, построенная способом Варда по матрице коэффициентов корреляции

Содержание многих элементов в аллювиальных дерново-луговых почвах, как и в дерновых [25], весьма тесно связано, в отличие от луговых почв, с их гранулометрическим составом (табл. 19). Концентрация в почве алюминия, магния и хрома обусловлена в основном содержанием в ней илистой фракции, а содержание титана – фракцией крупной пыли. Связь содержания всех элементов, за исключением кремния, с песчаными фракциями отрицательная. Все это может свидетельствовать о том, что основными агентами-носителями в дерновых и дерново-луговых почвах являются не гидроксиды железа и оксиды марганца, как в луговых, а органические и минеральные компоненты твердой фазы почвы, обеспечивающие их сорбционные свойства. Дерновые и дерново-луговые почвы, таким образом, существенно отличаются от луговых характером химических связей между элементами, и выделение данных типов почв вполне оправданно. В дерновых и дерново-луговых почвах связь между элементами унаследована от аллювия, что доказывают данные корреляционного анализа, но в процессе их развития происходит перестройка химических взаимодействий и построение новых минералов на базе гидроксидов железа и оксидов марганца, выступающих в роли агентов-носителей. Среднее содержание в дерново-луговых почвах серы в 1,8 раза превышает уровень ПДК, никеля – 1,2 раза, а хрома – в 1,1 раза (рис. 12). Содержание же мышьяка в 4,4 раза превышает уровень ОДК, а Cu, Mn и Zn не превышает ПДК. Значения арсенатного,



никелевого, медного и фосфатного модулей в аллювиальных луговых почвах довольно низки (табл. 20), что свидетельствуют о прочном закреплении железом в них тяжелых элементов.

Таблица 19

Матрица коэффициентов корреляции содержания химических элементов от фракций гранулометрического состава дерново-луговых почв

Элемент	Значение коэффициента корреляции между элементами и фракциями						
	1-0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	<0,001	<0,01
Si	<b>0,617</b>	<b>0,716</b>	<b>-0,782</b>	-0,361	-0,252	-0,517	-0,340
Al	<b>-0,687</b>	<b>-0,706</b>	0,554	<b>0,626</b>	<b>0,641</b>	<b>0,806</b>	<b>0,709</b>
Fe	-0,482	<b>-0,750</b>	<b>0,679</b>	0,295	0,216	0,530	0,305
K	<b>-0,713</b>	<b>-0,666</b>	<b>0,644</b>	0,553	0,531	<b>0,742</b>	0,608
Ca	-0,573	<b>-0,672</b>	<b>0,726</b>	0,343	0,251	0,444	0,321
Na	<b>-0,654</b>	-0,381	0,481	0,539	0,467	<b>0,654</b>	0,545
Mg	-0,556	<b>-0,688</b>	0,476	0,505	0,557	<b>0,734</b>	<b>0,615</b>
Ti	<b>-0,686</b>	<b>-0,795</b>	<b>0,812</b>	0,478	0,345	<b>0,637</b>	0,448
Mn	-0,391	-0,564	<b>0,757</b>	0,048	-0,118	0,183	-0,035
P	-0,382	-0,517	<b>0,755</b>	0,034	-0,154	0,112	-0,076
S	-0,355	-0,401	<b>0,759</b>	-0,023	-0,263	-0,046	-0,191
Ba	<b>-0,735</b>	<b>-0,696</b>	<b>0,662</b>	0,566	0,562	<b>0,760</b>	<b>0,636</b>
Zr	<b>-0,783</b>	-0,556	<b>0,684</b>	0,617	0,505	<b>0,643</b>	0,584
Cr	<b>-0,694</b>	<b>-0,737</b>	<b>0,699</b>	0,486	0,478	<b>0,750</b>	0,561
Sr	<b>-0,683</b>	<b>-0,733</b>	<b>0,731</b>	0,458	0,416	<b>0,696</b>	0,503
Zn	-0,387	<b>-0,698</b>	0,569	0,264	0,210	0,441	0,278
Ni	-0,372	<b>-0,740</b>	0,531	0,296	0,269	0,473	0,330
Cu	-0,209	<b>-0,711</b>	0,446	0,093	0,158	0,364	0,195
Rb	<b>-0,634</b>	-0,603	<b>0,642</b>	0,455	0,391	0,574	0,462
As	-0,526	<b>-0,756</b>	<b>0,868</b>	0,199	0,032	0,397	0,137

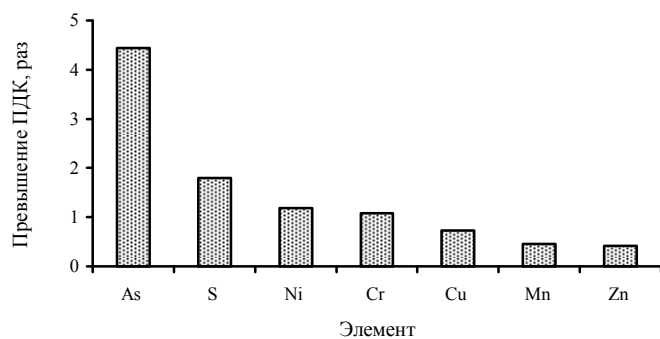


Рис. 12. Превышение концентрации элементов в аллювиальных дерново-луговых почвах относительно уровня ПДК и ОДК

Таблица 20

Статистические показатели модулей закрепления железом тяжелых элементов в дерново-луговых почвах (ммоль/моль)

Модуль	Значения статистических показателей модуля						
	M <sub>x</sub>	Max	min	S <sub>x</sub>	m <sub>x</sub>	V	P
As/Fe	0,19	0,44	0,00	0,14	0,04	77,0	19,3
Ni/Fe	1,54	2,25	0,94	0,35	0,09	22,8	5,7
P/Fe	26,56	65,88	6,13	19,21	4,80	72,3	18,1
Cu/Fe	1,55	2,70	0,87	0,55	0,14	35,3	8,8

Расчеты показали, что в аллювиальных дерново-луговых почвах повышено, по сравнению с кларком литосферы, содержание мышьяка, меди, марганца, фосфора, хрома и никеля (рис. 13), формирующих в среднем течении реки Большая Кокшага естественные положительные геохимические аномалии. Выявить причину повышенного содержания этих элементов в почве, как и источник их поступления, в настоящее время не представляется возможным. Для этого необходимо провести дополнительные исследования. Установлено, что запасы многих химических элементов в верхнем 60-см слое аллювиальных дерново-луговых почв в 1,5-2 раза меньше, чем луговых почв, однако все же достигают значительных величин. Так, в среднем на 1 га запасы алюминия в них составляют 204 т, железа – около 143 т, калия – 36 т, кальция, натрия и магния – около 27 т, титана – более 11 т (табл. 21).

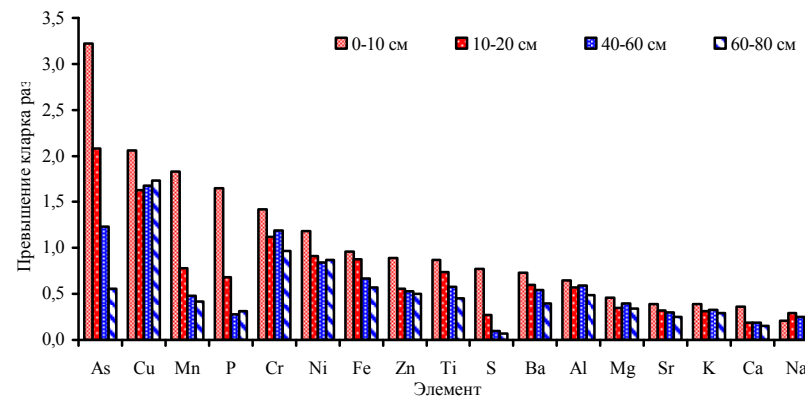


Рис. 13. Превышение содержания элементов в аллювиальных дерново-луговых почвах над кларком верхней части континентальной земной коры

Таблица 21  
Статистические показатели запасов химических элементов в дерново-луговых почвах

Элемент	Содержание элементов в различных слоях почвы, кг/га				
	0-10 см	10-20 см	40-60 см	60-80 см	Всего
Si	238689,9	407068,1	516783,4	535069,0	1697610,9
Al	40416,5	49518,0	63043,4	51261,9	204239,8
Fe	31380,4	40943,2	38424,6	31993,5	142741,8
K	7605,4	8241,5	10764,6	9340,9	35952,3
Ca	7816,0	5711,6	6829,6	5307,8	25665,0
Na	4319,1	7887,7	8448,0	6869,7	27524,6
Mg	5585,4	5959,1	8494,2	7085,7	27124,4
Ti	2796,2	3262,6	3217,4	2440,2	11716,3
Mn	1149,4	718,7	530,9	441,7	2840,7
P	931,8	547,6	281,3	297,6	2058,3
S	608,0	298,4	132,0	93,9	1132,4
Ba	377,0	424,3	482,1	342,9	1626,4
Zr	245,6	276,5	327,5	253,8	1103,5
Cr	108,3	117,9	155,2	124,1	505,5
Sr	88,0	99,1	115,9	92,7	395,8
Zn	54,2	47,9	55,9	51,9	209,9
Ni	48,9	52,2	59,7	60,4	221,2
Cu	46,1	51,4	64,0	65,1	226,5
Rb	28,8	26,8	31,6	27,9	115,0
As	13,1	12,1	8,8	3,8	37,7

Приведенные данные показывают, что аллювиальные луговые и дерново-луговые почвы поймы реки Большая Кокшага являются своеобразными фильтрами-барьерами, задерживающими значительные объемы химических элементов, поступающих с водоразделов, предотвращая, тем самым, загрязнение мирового океана. Они, несмотря на значительные концентрации особо опасных химических элементов, создают условия для произрастания сложных и высокопроизводительных широколиственных лесов, что обеспечивается благодаря их буферным свойствам, в результате которых эти элементы выводятся из биологического круговорота.

### Заключение

1. В аллювиальных луговых почвах присутствует 34, а в аллювиальных дерново-луговых – 28 химических элементов, среди которых доминирует по содержанию кремний. Второе место в ранговом ряду элементов, расположенных в порядке убывания их содержания, в аллювиальных луговых почвах занимает железо, а в дерново-луговых – алюминий. Довольно велико содержание в аллювиальных почвах калия,

кальция, натрия и магния. Значительно меньше в них содержится титана и марганца. Замыкают ранговый ряд элементов Zn, Ni, Cu, Rb и As, концентрации которых во многих случаях не превышает 60-170 мг на 1 кг почвы.

2. В аллювиальных луговых почвах часто встречаются железомарганцевые конкреции, в состав которых входит 20 химических элементов. Содержание марганца в них в 30 раз выше, чем в окружающей их почве, Ba – в 11 раз, а P, Ni, Zn, As, Fe и S – более чем в 2 раза.

3. Наиболее стабильно содержание в дерново-луговых почвах кремния и меди, а в луговых – также Al, K, Mg, Ti, Cr и Sr, коэффициент вариации которого редко превышает у них 20 %. Очень высока изменчивость содержания в луговых почвах Mn, S и Cl, а в дерново-луговых – S, P, Mn и As, коэффициент вариации которых выше 70 %.

4. Вся совокупность элементов по характеру вертикального распределения в почвенном профиле луговых почв разделяется на четыре группы: у первой из них (Si, Al, Na, Mg, Zr) концентрация элементов с глубиной возрастает, у второй (Ca, S, Zn, Rb, Cl) – падает, у третьей (K, Ti, Cr, Sr, Cu) – практически не изменяется, у четвертой (Fe, Mn, P, Ba, Ni, As, V) – в слое 10-20 см возрастает, а затем падает ниже значений верхнего горизонта, либо до его уровня. В дерново-луговых почвах содержание кремния с глубиной возрастает, а всех остальных элементов в основном снижается.

5. В аллювиальных луговых почвах связь содержания химических элементов с их гранулометрическим составом выявлена только для самого верхнего слоя толщиной 10 см. Наиболее тесна связь с содержанием илистой фракции концентрации в почве Fe, Mn, P, Ba, Zn, Ni и As. В остальных же слоях связь между содержанием химических элементов и гранулометрическим составом почв слабая. В аллювиальных дерново-луговых почвах содержание многих элементов, наоборот, весьма тесно связано с их гранулометрическим составом.

6. Дерново-луговые почвы существенно отличаются от луговых по характеру химических связей между элементами. Основными агентами-носителями в дерново-луговых почвах являются не гидроксиды железа и оксиды марганца, как в луговых, а органические и минеральные компоненты твердой фазы почвы, обеспечивающие их сорбционные свойства. В дерново-луговых почвах все элементы, за исключением кремния, довольно тесно связаны между собой. Слабо связаны с другими элементами только натрия, сера и цирконий.

7. Содержание в луговых почвах марганца превышает ПДК в 4,1 раза; серы – в 2,6; никеля – в 2,4; хрома – в 1,4. Мышьяка в них содер-

жится в 2,3 раза выше уровня ОДК. В дерново-луговых почвах содержание мышьяка выше уровня ОДК в 4,4 раза, а превышение же концентрации других элементов относительно ПДК ниже: по сере – в 1,8 раза; Ni – в 1,2; Cr – в 1,1 раза. В Fe-Mn конкрециях превышение ПДК и ОДК по Mn достигает 114 раз; Ni – 8,4; As – 7,8; S – 5; Zn – 3.

8. Аллювиальные луговые и дерново-луговые почвы имеют низкие значения арсенатного, никелевого и медного модулей, что свидетельствует о прочном закреплении в них железом тяжелых металлов.

9. Аллювиальные луговые и дерново-луговые почвы отличаются интенсивной миграцией и накоплением многих элементов, особенно железа и марганца. Для дерново-луговых почв характерно повышенное, по сравнению с кларком литосферы, содержание As, Cu, Mn, P, Cr и Ni, а для луговых – еще и Zn, Fe, Ba и V. По этим элементам формируются естественные положительные геохимические аномалии. В аллювиальных дерново-луговых почвах в слое мощностью 60 см содержится в среднем на 1 га около 204 т алюминия; 142 т железа; 36 т калия; около 27 т кальция; натрия и магния; более 11 т титана. В аллювиальных луговых почвах запасы этих элементов гораздо выше: алюминия 290 т; железа – около 300 т; магния и калия 47-49 т; кальция 40 т; марганца 25 т; натрия 22 т; титана более 17 т.

#### Библиографический список

1. Архипов, А.И. Никель в почвах Алтая / А.И. Архипов // Мир науки, культуры, образования. – 2008. – № 2(9). – С. 16-19.
2. Вайчис, М. Валовое содержание тяжелых металлов в лесных почвах Литвы / М. Вайчис, А. Рагуотис, К. Армолайтис, Л. Кубертавичене // Почвоведение. – 1998. – № 12. – С. 1489-1494.
3. Вариабельность параметров почвы пойменного биогеоценоза / А.В. Исаев, Ю.П. Демаков, Т.Х. Гордеева, А.А. Бажина // Научные труды Государственного природного заповедника «Большая Кокшага». Вып. 7. – Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2015. С. 41-78.
4. Влияние гранулометрического состава на поглощение меди, свинца и цинка черноземными почвами Ростовской области / Т.М. Минкина, Д.Л. Пинский, С.С. Манджиева, Е.М. Антоненко, С.Н. Сушкова // Почвоведение. – 2011. – № 11. – С. 1304-1311.
5. Водяницкий, Ю. Н. Гидрогенное загрязнение тяжелыми металлами аллювиальных почв г. Пермь / Ю.Н. Водяницкий, А.А. Васильев, М.Н. Власов // Почвоведение. – 2008. – № 11. – С. 1399-1408.
6. Водяницкий, Ю. Н. Изучение тяжелых металлов в почвах / Ю.Н. Водяницкий. – Москва: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2005. – 109 с.
7. Водяницкий, Ю. Н. Сродство тяжелых металлов и металлоидов к фазам-носителям в почвах / Ю.Н. Водяницкий // Агрохимия. – 2008. – № 9. – С. 87-94.

8. Водяницкий, Ю. Н. Тяжелые металлы и металлоиды в почвах / Ю.Н. Водяницкий. – Москва: Почвенный институт им. В.В. Докучаева РАСХН, 2008. – 85 с.

9. Газизуллин, А. Х. Почвенно-экологические условия формирования лесов Среднего Поволжья / А.Х. Газизуллин. – Казань: РИЦ «Школа», 2005. – 496 с.

10. ГН 2.1.7.2041-06. Предельно допустимые концентрации химических веществ в почве.

11. ГОСТ 17.4.1.02-83. Охрана природы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения. – Москва, 1983. – 12 с.

12. Григорьян, Б. Р. Тяжелые металлы в компонентах островных экосистем Куйбышевского водохранилища / Б.Р. Григорьян, Д.В. Иванов, Т.А. Фасхутдинова // Экологические системы островов Куйбышевского водохранилища. – Казань: Фэн, 2002. – С. 220-281.

13. Демаков, Ю. П. Вариабельность содержания зольных элементов в напочвенном покрове и верхнем слое почвы сосняка лишайникового / Ю.П. Демаков, А.В. Исаев, В.И. Таланцев // Научные труды Государственного природного заповедника «Большая Кокшага». Вып. 7. – Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2015. – С. 29-40.

14. Демаков, Ю. П. Содержание органики и зольных элементов в напочвенном покрове и почве сосняков лишайниково-мшистых / Ю.П. Демаков, А.В. Исаев, В.И. Таланцев // Научные труды Государственного природного заповедника «Большая Кокшага». Вып. 6. – Йошкар-Ола: Мар. гос. ун-т, 2013. – С. 56-76.

15. Добровольский, В. В. Гипергенез и коры выветривания / В.В. Добровольский // Избранные труды. Т.1. – Москва: Научный мир, 2007. – 512 с.

16. Добровольский, Г. В. Значение учения В.Р. Вильямса о почвообразовании в поймах рек в развитии почвоведения / Г.В. Добровольский // Почвоведение. – 1988. – № 9. – С. 32-36.

17. Добровольский, Г. В. Почвы речных пойм центра Русской равнины / Г.В. Добровольский. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МГУ, 2005. – 293 с.

18. Жарикова, Е. А. Геохимическая характеристика почв восточного побережья Северо-Сахалинской низменности / Е.А. Жарикова // Почвоведение. – 2017. – № 1. – С. 40-47.

19. Зайделман, Ф. Р. Теория образования светлых кислых элювиальных горизонтов почв и ее прикладные аспекты / Ф.Р. Зайделман. – Москва: КРАСАНД, 2010. – 248 с.

20. Зайдельман, Ф. Р. Генезис и диагностическое значение новообразований почв лесной и лесостепной зон / Ф.Р. Зайдельман, А.С. Никифорова. – Москва: Издательство МГУ, 2001. – 216 с.

21. Зайдельман, Ф. Р. Ортштейны – марганцево-железистые конкреционные новообразования (итоги исследований) / Ф.Р. Зайдельман, А.С. Никифорова // Почвоведение. – 2010. – № 3. – С. 270-281.

22. Иванов, Д. В. Фоновое содержание тяжелых металлов в компонентах островных экосистем Куйбышевского водохранилища: дис.... канд. биол. наук / Д.В. Иванов. – Казань, 1997. – 146 с.

23. Ильин, В. Б. Тяжелые металлы в системе почва-растение / В.Б. Ильин. – Новосибирск: Наука, СО. 1991. – 151 с.

24. Исаев, А. В. Формирование почвенного и растительного покрова в поймах речных долин Марийского Полесья (на примере территории заповедника «Большая Кокшага») / А.В. Исаев. – Йошкар-Ола: Марийский государственный технический университет, 2008. – 240 с.

25. Исаев, А. В. Экогеохимия почв прирусловой части поймы, развивающихся в условиях меандрирования / А.В. Исаев, И.И. Митякова // Научные труды Государственного природного заповедника «Большая Кокшага». Вып. 8. – Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2017. С. 76-114.

26. Использование рентгенофлуоресцентного анализа для оценки содержания химических элементов в почве лесных биогеоценозов / Ю.П. Демаков, А.В. Исаев, Б.И. Гареев, Г.А. Баталин // Научные труды Государственного природного заповедника «Большая Кокшага». Вып. 8. – Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2017. – С. 56-75.

27. Кабата-Пендиас, А. Микроэлементы в почвах и растениях: пер. с англ. / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – Москва: Мир, 1989. – 439 с.

28. Карпачевский, Л. О. Экологическое почвоведение / Л.О. Карпачевский. – Москва: ГЕОС, 2005. – 336 с.

29. Касимов, Н. С. Ларки химических элементов как эталоны сравнения в экогеохимии / Н.С. Касимов, Д.В. Власов // Вестн. Моск. ун-та. Серия 5. География. – 2015. – № 2. – С. 7-17.

30. Кашин, В. К. Ванадий в компонентах ландшафтов Западного Забайкалья / В.К. Кашин // Почвоведение. 2017. – № 10. – С. 1196-1207.

31. Классификация и диагностика почв СССР / В.В. Егоров, В.М. Фридланд, Е.Н. Иванова и др. – Москва: Колос, 1977. – 224 с.

32. Ковда, В. А. Биогеохимия почвенного покрова / В.А. Ковда. – Москва: Наука, 1985. – 264 с.

33. Коробицина, Ю. С. Экологическая оценка загрязнения тяжелыми металлами почвенного покрова г. Северодвинска / Ю.С. Коробицина и др. // Научный диалог. Естествознание. Экология. Науки о земле. – 2013. – № 3 (15). – С. 75-93.

34. Кудрин, С. А. Средний химический состав основных типов почв европейской части СССР по валовым анализам // С.А. Кудрин // Почвоведение. – 1963. – № 5. – С. 21-25.

35. Обмен веществ и энергии в сосновых лесах Европейского Севера / Н.И. Казимиров, А.Д. Волков, С.С. Зябченко, А.В. Иванченко, Р.М. Морозова. – Ленинград: Наука, 1977. – 304 с.

36. ОСТ 56-69-83 Площади пробные лесоустроительные. Методы закладки.

37. Перельман, А. И. Геохимия / А.И. Перельман. – Москва: Высшая школа, 1979. – 423 с.

38. Попова, Л. Ф. Комплексная эколого-химическая оценка и нормирование качества почвенно-растительного покрова городских экосистем (на примере Архангельска): автореф. дисс. ... д-ра биол. наук / Л.Ф. Попова. – Петрозаводск. 2015. – 35 с.

39. Роль соединений железа в закреплении тяжелых металлов и мышьяка в аллювиальных и дерново-подзолистых почвах в районе г. Пермь / Ю.Н. Водяницкий, А.А. Васильев, М.Н. Власов, В.В. Коровушкин // Почвоведение. – 2009. – № 7. – С. 794-805.

40. Смирнов, В.Н. Почвы Марийской АССР, их генезис, эволюция и пути улучшения / В.Н. Смирнов. – Йошкар-Ола: Марийск. кн. изд-во, 1968. – 532 с.

41. Содержание тяжелых щелочноземельных (Sr, Ba) и редкоземельных (Y, La, Ce) металлов в техногенно-загрязненных почвах / Ю.Н. Водяницкий, А.Т. Савичев, А.А. Васильев, Е.С. Лобанова, А.Н. Чащин, Е.В. Прокопович // Почвоведение. – 2010. – № 7. – С. 879-890.

42. Химия тяжелых металлов, мышьяка и молибдена в почвах / под ред. Н.Г. Зырина и Л.К. Садовниковой. – Москва: Изд-во Моск. ун-та, 1985. – 208 с.

43. Хрусталева, М. А. Экогеохимия моренных ландшафтов Русской равнины / М.А. Хрусталева. – Москва: Техполиграфцентр, 2002. – 315 с.

44. Чернова, О. В. Изменения валового содержания микроэлементов в почвах европейской территории России в зависимости от их гранулометрического состава / О.В. Чернова, Д.Ю. Груздков // Доклады по экологическому почвоведению. – 2006. – № 1, вып. 1. – С. 132-151.

45. Чертко, Н. К. Геохимия и экология химических элементов: справочное пособие / Н.К. Чертко, Э.Н. Чертко. – Минск: Издательский центр БГУ, 2008. – 140 с.

#### ECOGEOCHEMISTRY OF ALLUVIAL MEADOW AND SOD-MEADOW SOILS IN BOLSHAYA KOKSHAGA NATURE RESERVE

A. V. Isaev, Iu. P. Demakov, R. N. Sharafutdinov, I. I. Mitiakova

**Keywords:** Bolshaya Kokshaga nature reserve, alluvial soils, geochemistry, heavy metals, geochemical differentiation of landscapes

The results of geochemical analysis of composition of alluvial sod-meadow soils and meadow soils in Bolshaya Kokshaga nature reserve are given. The analysis revealed the presence of 28 chemical elements in the sod-meadow soils, and 34 chemical elements – in the meadow soils. High concentration of As, Cu, Mn, P, Cr, and Ni in comparison with concentration of these elements in the the lithosphere clarke is typical for the sod-meadow soils. For meadow soils, it is Zn, Fe, Ba, and V, in addition to the above listed chemical elements. In meadow soils, it was found a multiple exceedence of MAC (maximum allowable concentration) and TAC (tentative allowable concentration) on Mn, S, Ni, Cr, and As, in the sod-meadow soils – on As and S only. Alluvial meadow and sod-meadow soils have low values of arsenate, nickel, and cupric moduli, which is the evidence of durable fixation of heavy metals in them. The content of chemical elements is loosely bound with their granulometric composition in the alluvial meadow soils. In contrast, the content of elements in the alluvial sod-meadow soils is tightly bound. Floodplains are particular filters, accumulating chemical elements and preventing from their penetration into the world ocean. In a 60cm layer of alluvial sod-meadow soils, about 142 tons of ferrum (Fe), 204 tons of aluminium (Al), 36 tons of potassium (K), 27 tons of calcium (Ca), sodium (Na) and magnesium (Mg), 11 tons of titanium (Ti) are accumulated, on average, per hectare. In alluvial meadow soils, 300 tons of ferrum (Fe), 290 tons of aluminium (Al), 47-49 tons of magnesium (Mg) and potassium (K), 40 tons of calcium (Ca), 22 tons of sodium (Na), 25 tons of manganese (Mn), 17 tons of titanium (Ti), as well as a considerable number of other chemical elements are accumulated.

УДК 631.412

## ГРАНИЦЫ И ПРИЧИНЫ ИЗМЕНЧИВОСТИ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПОЧВ ЛЕСНЫХ БИОГЕОЦЕНОЗОВ СРЕДНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

Ю. П. Демаков, А. В. Исаев, Н. Б. Нуреев, И. И. Митякова

*На основе сформированной электронной базы данных оценены пределы изменчивости основных физических, химических и биологических параметров почв лесных биогеоценозов Среднего Поволжья и установлены детерминирующие их факторы. Сделан вывод о том, что использовать для оценки лесорастительных свойств почв весь существующий набор показателей нецелесообразно, поскольку это приводит к неоправданно высоким затратам труда и усложнению последующего анализа. Для этой цели достаточно оценивать гранулометрический состав почв, рН KCl-вытяжки, содержание в них гумуса и обменных оснований. Необходимо также оптимизировать существующую методику исследования почв, проводя отбор образцов для лабораторных анализов специальным буром с глубины 0-20, 30-50 и 60-80 см, что не только существенно сократит трудозатраты, но и всю последующую работу по оценке взаимосвязей между свойствами почв и производительностью древостоев, а также биологического круговорота веществ в лесных экосистемах.*

**Ключевые слова:** лесные биогеоценозы; почвы; гранулометрический состав; физические и химические свойства; статистическая оценка; взаимосвязи; математические модели.

### Введение

Почва – сложная динамическая многокомпонентная система, обладающая различными физическими, химическими и биологическими свойствами, описываемыми большим набором показателей, информативность которых часто не вполне ясна и является избыточной, что приводит к необоснованно высоким затратам труда и усложнению последующего анализа. Исследованиями свойств почв ученые занимаются давно и весьма плодотворно [1, 4, 6, 8, 13, 18, 20, 22, 23, 25, 26, 31], однако границы и причины их изменчивости в пределах того или иного географического района или природной зоны остаются пока в большинстве случаев невыясненными. Слабо проведена также оценка информативности многих показателей состояния почв, далеко не в полной мере выявлены имеющиеся взаимосвязи между ними и не получены отображающие их математические модели, что существенным образом отражается на качестве исследовательских работ.

**Цель работы** заключается в установлении пределов и причин вариабельности физических и химических свойств почв лесов Среднего Поволжья, выявлении имеющихся взаимосвязей между ними и отображении их в форме математических моделей, что является одним из важнейших этапов работы по оптимизации методики почвенно-экологических исследований.

### Материал и методика исследований

Исходным материалом для расчетов служили собственные данные и материалы исследований различных авторов [3, 5, 8, 9, 14, 20, 27, 30, 32, 37, 38], проведенных в биогеоценозах Среднего Поволжья, в том числе на территории заповедника «Большая Кокшага», на основе которых была создана электронная база данных, содержащая информацию об основных показателях почв в 1980 образцах, взятых в 330 разрезах. Цифровой материал обработан на компьютере с использованием общепринятых методов математической статистики [11, 16] и прикладных программ Excel и Statistica.

### Результаты исследования и их обсуждение

Основой почвы, ее механическим каркасом является твердая фаза, состоящая из частиц различного размера, представляющих собой осколки почвообразующей горной породы, частично преобразованной биоценозом в процессе своего развития [18, 23, 25, 31]. Характер распределения этих частиц по их размеру в общей массе твердой фазы почвы отображает гранулометрический состав, который определяет многие ее физические, химические и биологические свойства. Анализ исходного материала показал, что почвы лесных биогеоценозов Среднего Поволжья весьма разнообразны по долевному участию в них частиц разного размера, варьирующему в очень больших пределах, достигающих 98 % (табл. 1). Наиболее значительно представлена в выборке фракция частиц размером менее 0,01 мм, относящаяся к физической глине, доля участия которой изменяется наиболее значительно. Очень сильно варьирует в почвах также доля участия крупного и среднего песка. Меньше же всего изменяется фракция средней пыли, долевого участия которой в выборке очень мало.

Таблица 1

**Статистическая оценка гранулометрического состава почв лесных биогеоценозов**

Размер частиц	Значения статистических показателей (N = 1538)*					
	Mx	min	max	размах	Me	As
0,25-1 мм	12,6	0,0	96,1	96,1	48,0	-0,737
0,05-0,25 мм	23,6	0,0	93,4	93,4	46,7	-0,495
0,01-0,05 мм	24,2	0,0	77,1	77,1	38,5	-0,371
0,005-0,01 мм	7,9	0,0	52,9	52,9	26,5	-0,702
0,001-0,005 мм	10,5	0,0	40,3	40,3	20,2	-0,480
< 0,001 мм	21,2	0,0	72,0	72,0	36,0	-0,411
< 0,01 мм	39,6	0,1	97,7	97,6	48,8	-0,189

**Примечание:** \* здесь и далее: Mx – среднее арифметическое значение доли участия фракции; min, max – минимальное и максимальное значения; размах – разность между max и min значениями; Me – медиана; As – коэффициент асимметрии распределения ( $A = Mx / Me - 1$ ); использование непараметрической статистики обусловлено существенным отличием характера распределения значений показателей в рядах от закона Гаусса.

Разные фракции почвы определенным образом коррелируют друг с другом (табл. 2). Наиболее тесно связаны между собой фракции физической глины ( $X$ , %), мелкой пыли ( $Y_1$ , %), среднего ( $Y_2$ , %) и крупного ( $Y_3$ , %) песка (рис. 1), что с высокой достоверностью ( $p < 0,001$ ) аппроксимируют следующие уравнения регрессии:

$$Y_1 = 0,23 \times X^{0,919}; R^2 = 0,603; \quad (1)$$

$$Y_2 = 15,2 \times (X + 0,43)^{0,765} \times \exp[-60,0 \times 10^{-3} \times (X + 0,43)]; R^2 = 0,562; \quad (2)$$

$$Y_3 = 73,4 \times \exp(-76,37 \times 10^{-3} \times X); R^2 = 0,641. \quad (3)$$

Связь между долевым участием фракции крупной пыли ( $Y_4$ , %) и физической глины параболическая и менее тесная, описываемая следующим уравнением регрессии:

$$Y_4 = 25,6 \times 10^{-3} \times X^{2,636} \times \exp(-63,5 \times 10^{-3} \times X); R^2 = 0,415. \quad (4)$$

Таблица 2

**Матрица коэффициентов корреляции гранулометрического состава почв лесных биогеоценозов**

Фракция почвы, мм	Значение коэффициента корреляции между разными фракциями почвы					
	1-0,25 мм	0,25-0,05 мм	0,05-0,01 мм	0,01-0,005 мм	0,005-0,001 мм	< 0,001 мм
1-0,25	1,00					
0,25-0,05	0,10	1,00				
0,05-0,01	-0,63	-0,53	1,00			
0,01-0,005	-0,46	-0,42	0,42	1,00		
0,005-0,001	-0,51	-0,49	0,37	0,33	1,00	
< 0,001	-0,56	-0,57	0,32	0,26	0,44	1,00
< 0,01	-0,68	-0,67	0,46	0,57	0,72	0,89

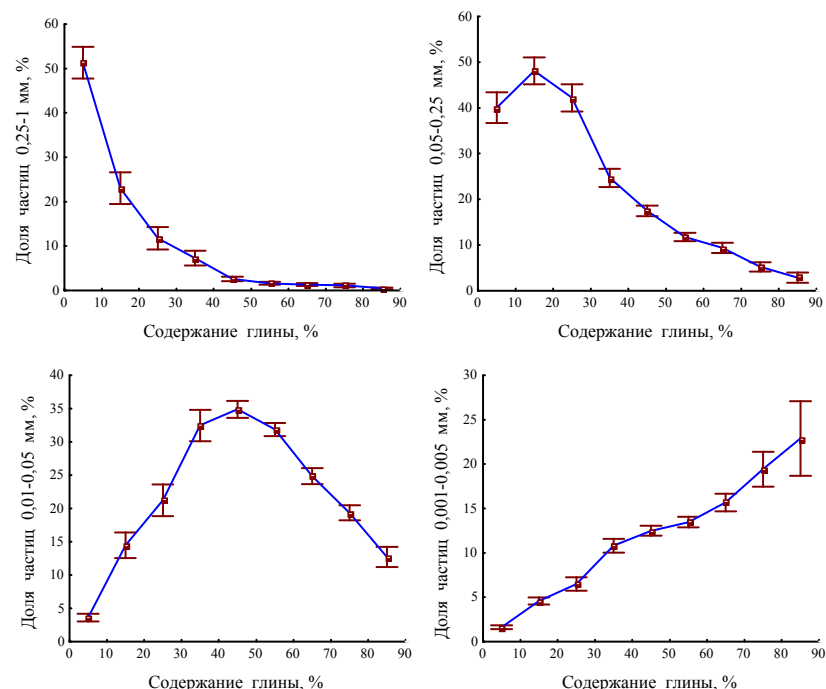


Рис. 1. Характер зависимости различных фракций твердой фазы почвы от содержания в ней физической глины

Гранулометрический состав почв несет в себе информацию о различных ее свойствах и генезисе, однако вклад каждой из фракций в этом далеко не одинаков и раскрыт пока не в полной мере. В исследовательской работе оперируют обычно только фракциями физической глины и ила, считая, что они являются основой почвенной матрицы, содержащей целый ряд адсорбированных катионов, полностью определяющих лесорастительные свойства почв [23, 25, 31]. Эти фракции почвы увеличивают также ее поглотительную способность за счет роста общей и удельной поверхности частиц. Анализ исходного материала полностью подтвердил это положение (рис. 2), показав, что между суммой обменных оснований (COO, мг-экв. на 100 г почвы) и содержанием глинистых частиц ( $X$ , %) существует тесная связь, которую с высокой достоверностью ( $p < 0,001$ ) описывает следующее уравнение регрессии:

$$COO = 0,574 \times X^{0,951}; R^2 = 0,666. \quad (5)$$

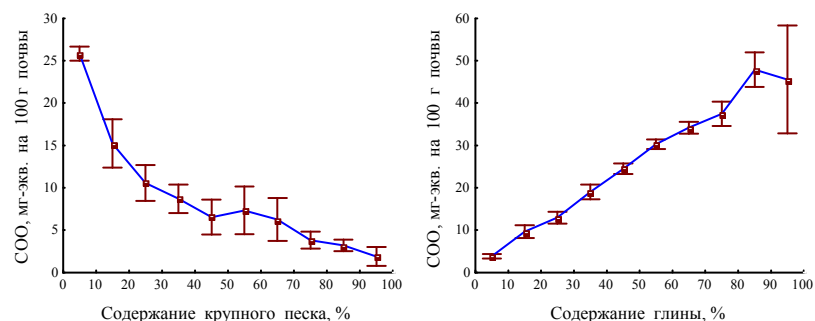


Рис. 2. Характер зависимости между суммой обменных оснований (COO) и содержанием в почве фракций крупного песка и физической глины

Линия, описываемая этим уравнением всех изменений содержания в почве физической глины, является неким *эталоном*, всякие отклонения от которого, обусловленные действием других факторов, в том числе и инструментальных ошибок, должны являться предметом детального анализа, позволяющего выявить особенности свойств почв каждого исследуемого биотопа. Причиной погрешностей в оценке COO в почвах является, в частности, наличие малорастворимых карбонатов кальция и магния, что часто приводит к завышению результатов анализа. Для грубой оценки степени концентрации в почвах обменных оснований (не путать со степенью насыщенности почв основаниями!) можно воспользоваться соответствующей шкалой, разработанной нами на основе фактических данных (табл. 3).

Таблица 3

Шкала балльной оценки содержания в почве суммы обменных оснований в зависимости от содержания в ней физической глины

Содержание глины, %	Сумма обменных оснований в почве, мг-экв. на 100 г				
	Очень низкая	Низкая	Средняя	Высокая	Очень высокая
< 5	< 3,5	3,5-12,0	12,1-20,7	20,8-29,2	> 29,2
5-10	< 5,2	5,2-13,9	14,0-22,6	22,7-31,2	> 31,2
10-20	< 7,9	7,9-16,7	16,8-25,5	25,6-34,3	> 34,3
20-30	< 11,4	11,4-20,4	20,5-29,4	29,5-38,4	> 38,4
30-40	< 15,0	15,0-24,1	24,2-33,3	33,4-42,5	> 42,5
40-50	< 18,5	18,5-27,8	27,9-37,2	37,3-46,5	> 46,5
50-60	< 22,0	22,0-31,6	31,7-41,1	41,2-50,6	> 50,6
60-80	< 27,3	27,3-37,2	37,3-46,9	47,0-56,7	> 56,7
> 80	< 30,9	30,9-40,9	41,0-50,8	50,9-60,8	> 60,8

Для детальной же оценки необходимо использовать соответствующий коэффициент концентрации, который является отношением фактической величины к эталонной (нормативной). На характер функциональной зависимости суммы обменных оснований в почве определенное значение оказывает содержание в ней гумуса, особенно сильно проявляющееся при высоких его значениях (табл. 4). Характер и теснота между этими параметрами почв во многом определяются, как нам представляется, региональными особенностями образования почв, в том числе и минералогического состава, что позволят определить в будущем только специальные исследования, раскроющие также информационное значение остальных фракций почв, которое нами пока не выявлено.

Таблица 4

Изменение суммы обменных оснований (COO) в почве в зависимости от содержания в ней физической глины и гумуса

Содержание глины, %	COO в зависимости от содержания в почве гумуса, %			
	< 1	1-3	3-6	> 6
< 5	3,5	2,7	-	-
5-10	3,6	6,8	7,1	-
10-20	6,0	8,3	10,9	26,0
20-30	10,0	13,1	18,3	25,4
30-40	16,0	14,7	23,1	34,3
40-50	22,1	20,5	23,4	35,1
50-60	26,3	29,6	32,1	40,7
> 60	33,5	35,6	37,1	45,1

Важнейшей характеристикой почвы, свидетельствующей о ее генезисе, степени зрелости, накопленном потенциале плодородия или же степени его нарушенности, а также надежности функционирования всей экосистемы, является содержание гумуса [10, 23, 29, 35], которое, как и все остальные параметры, изменяется в довольно больших пределах (табл. 5), определяемых глубиной взятия образца, содержания в нем суммы обменных и физической глины (рис. 3), что с очень высокой достоверностью ( $p < 0,001$ ) для всей совокупности данных описывают следующие уравнения регрессии:

$$Y = 1,420 \times Z^{0,508} \times \exp(-57,06 \times 10^{-3} \times X); R^2 = 0,632; \quad (6)$$

$$Y = 1,396 \times Z^{0,524} \times \exp(-42,54 \times 10^{-3} \times COO); R^2 = 0,716. \quad (7)$$

где Y – содержание гумуса, %; Z – содержание в образце физической глины, %; X – глубина взятия образца почв, см; COO – сумма обменных оснований, мг-экв. на 100 г почвы.

Таблица 5

**Статистическая оценка основных параметров почв лесных биогеоценозов Среднего Поволжья**

Параметр почвы*	Значения статистических показателей					
	N	M <sub>x</sub>	min	max	Me	As
Содержание гумуса, %	1621	2,20	<0,01	14,8	7,40	-0,70
Коэффициент насыщенности почвы гумусом	1621	0,34	0,02	1,05	0,53	-0,36
СОО, мг-экв. на 100 г**	1690	19,4	<0,01	79,3	39,6	-0,51
Коэффициент концентрации СОО**	1555	1,19	0,03	8,3	4,15	-0,71
pH водной суспензии	1884	6,23	3,81	9,48	6,65	-0,06
pH солевой вытяжки	1812	4,99	3,10	7,88	5,49	-0,09
Отношение pH вод / pH сол	1608	0,82	0,52	0,99	0,76	0,08
Гидролитическая кислотность, мг-экв. на 100 г	1667	4,22	0,07	38,5	19,3	-0,78
Содержание общего азота, %	1621	0,132	<0,01	0,728	0,364	-0,64
Содержание P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг на 100 г	1279	8,5	<0,1	77,5	38,7	-0,78
Содержание K <sub>2</sub> O, мг на 100 г	1250	12,8	<0,1	95,5	47,7	-0,73
Плотность сложения почвы, г/см <sup>3</sup>	735	1,35	0,44	1,87	1,16	0,17
Плотность твердой фазы почвы, г/см <sup>3</sup>	595	2,57	2,10	2,80	2,45	0,05
Пористость (скважность) почвы, %	595	46,8	27,8	82,6	55,2	-0,15
Твердость почвы, г/см <sup>2</sup>	184	16,4	3,5	30,0	16,8	-0,02
Гигроскопическая влажность, %	993	3,01	0,05	10,6	5,3	-0,43
Максимальная гигроскопическая влажность, %	221	7,66	0,19	21,9	11,0	-0,30
Влажность завядания, %	221	11,5	0,28	32,8	16,5	-0,30
Максимальная влагоемкость, %	595	38,6	15,4	187,7	117,0	-0,67
Интенсивность выделения CO <sub>2</sub> , мг/кг×час	407	22,5	0,1	282,2	141,2	-0,84

**Примечание:** \* – исключая слой лесной подстилки; \*\* – сумма обменных оснований.

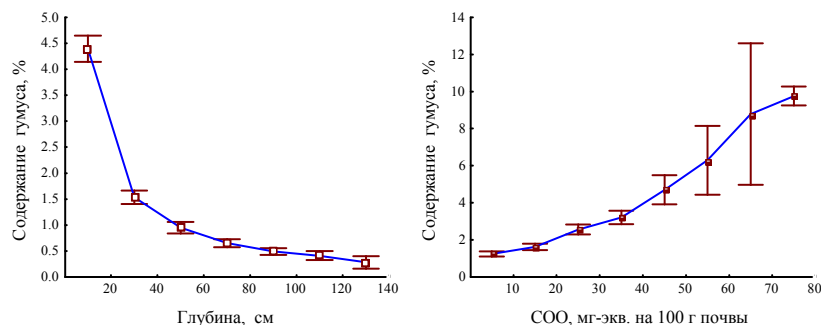


Рис. 3. Изменение содержания гумуса в почве в зависимости от ее глубины и суммы обменных оснований

Отношение фактического содержания гумуса к предельно возможному на той или иной глубине взятия образца при определенном содержании в нем физической глины можно назвать коэффициентом насыщенности ( $K_{нас}$ ). Его использование в исследовательской работе позволяет объективнее оценить степень реализации почвами своего потенциала в конкретных биотопах. Для грубой оценки степени гумусированности почвы можно воспользоваться соответствующей шкалой (табл. 6).

Таблица 6

**Шкала для оценки степени гумусированности верхнего 20-см слоя почвы в зависимости от содержания в нем физической глины**

Содержание глины, %	Степень гумусированности почвы при различном содержании в ней гумуса, %				
	Очень низкая	Низкая	Средняя	Высокая	Очень высокая
< 5	< 0,90	0,90-1,84	1,85-2,79	2,80-3,70	> 3,70
5-10	< 1,40	1,40-2,79	2,80-4,20	4,21-5,55	> 5,55
10-20	< 1,80	1,80-3,64	3,65-5,45	5,46-7,30	> 7,30
20-30	< 2,20	2,20-4,44	4,45-6,64	6,65-8,85	> 8,85
30-40	< 2,50	2,50-4,99	5,00-7,59	7,60-11,0	> 11,0
40-50	< 2,80	2,80-5,59	5,60-8,39	8,40-11,2	> 11,2
50-60	< 3,00	3,00-6,04	6,05-9,09	9,10-12,1	> 12,1
> 60	< 3,20	3,20-6,49	6,50-9,69	9,70-13,0	> 13,0

На все химические, биохимические и биологические процессы, протекающие в почвах, большое влияние оказывает их кислотность, обусловленная органическими и минеральными кислотами, а также обменными ионами водорода и алюминия, находящимися в почвенном растворе [25, 28, 31, 33, 34]. Увеличение кислотности почвы приводит также к их оподзоливанию, выражающемуся в увеличении доли песчаных частиц вследствие разрушения и вымывания глинистых в более глубокие слои. В условиях кислой реакции среды концентрация Al, Mn и других элементов, в частности Cu, Zn, Pb, Cd, <sup>137</sup>Cs и <sup>90</sup>Sr, может возрастать в почвенном растворе до токсичного для растений уровня, особенно на техногенно загрязненных территориях, что приводит к вовлечению их в пищевые цепи со всеми вытекающими отсюда негативными последствиями. Увеличение кислотности вызывает снижение емкости катионного обмена почв и ухудшение некоторых их водно-физических характеристик. При низких значениях pH заметно снижается активность многих микроорганизмов, в результате чего замедляются разложение растительных остатков и освобождение из них азота, фосфора, серы и многих необходимых для растений микроэлементов. При высоких же значениях pH (> 7,5) резко снижается содержание подвижных соединений кальция, магния, фосфора, железа, марганца и цинка.



Природа почвенной кислотности достаточно сложна и до сих пор окончательно не раскрыта, что указывает на необходимость её детального изучения. Одним из естественных источников протонов в почвах является угольная кислота, поступающая с осадками из атмосферы, а также выделяющаяся при дыхании организмов и процессе отмирания растительных и животных остатков. Важнейший же источник органических кислот в почвах – эктомикоризные грибы [15, 17]. На кислотность верхних слоев почвы активно влияют древесные, кустарниковые и травянистые растения за счет своих кроновых и корневых выделений (экзометаболитов), в результате чего величина pH варьирует в биотопах в пространстве и во времени. Определенный вклад в развитие почвенной кислотности принадлежит также процессам гумификации.

К другим естественным источникам кислотности можно отнести многочисленные проходящие в почвах процессы окисления элементов с переменной валентностью (N, S, Fe, Mn и др.), дать количественную оценку которым весьма затруднительно, т.к. значительная часть реакций окисления в годовых и многолетних циклах обратима и они могут сменяться реакциями восстановления. Так, например, в условиях избыточного увлажнения увеличить кислотность почвах может процесс восстановления железа. Существенным источником подкисления почв являются кислотные атмосферные выпадения, связанные с природными и техногенными выбросами оксидов азота и серы, которые, соединяясь с атмосферными осадками, образуют азотную и серную кислоты. В регионах с развитым интенсивным животноводством в атмосферу поступает также значительное количество  $\text{NH}_3$ , образующегося при разложении навоза. На кислотность почв значительное влияние оказывают также характер их увлажнения и температурный режим.

Почвенная кислотность разделяется на *актуальную*, которую оценивают по величине pH водной суспензии почвы, и *потенциальную* (кислотность твердой фазы почвы), для оценки которой используют показатели pH солевой KCl-вытяжки и так называемой гидролитической кислотности [28, 33, 34]. Анализ исходного материала показал, что леса Среднего Поволжья произрастают в очень широком диапазоне кислотности почв, о чем свидетельствует большая вариабельность соответствующих показателей: значения pH водной суспензии изменяются, как это следует из таблицы 5, от 3,81 до 9,48, а pH<sub>KCl</sub> – от 3,10 до 7,88. Все параметры кислотности довольно четко изменяются по профилю (рис. 4), отражая почвообразующую деятельность фитоценозов. Так, значения гидролитической кислотности неуклонно падают, стабилизируясь после 170 см, значения же pH до глубины 150 см в целом возрастают, а затем начинают снижаться. В каждом экотопе, в зависимости от

особенностей структуры фитоценозов, эти изменения происходят по-разному [19] и связаны с изменением ионного состава атмосферных осадков, обусловленного воздействием на них экзометаболитов растений [12, 36], а также с обменными химическими реакциями, происходящими между почвой и корнями растений [2, 23]. Расчеты показали, кроме того, что песчаные почвы, содержащие обычно малое количество гумуса и доступных растениям элементов питания, являются в среднем более кислыми по сравнению с глинистыми, в которых их гораздо больше (табл. 7–9). Для того чтобы извлечь их из почвы, растения выделяют в окружающую среду органические кислоты в количестве, обратно пропорциональном содержанию подвижных, т.е. доступных, элементов. Кислотность почвы, таким образом, является в основном результатом деятельности фитоценозов, что подтверждает в целом выводы других исследователей [23, 24, 39, 40]. Регулирует же кислотность почвы ее обменный комплекс, который постоянно восстанавливает состав и количество катионов на поверхности почвенной матрицы [23].

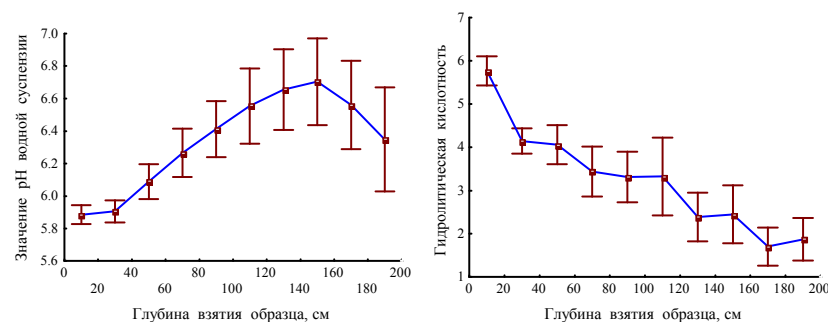


Рис. 4. Изменение показателей кислотности почв по градиенту глубины взятия образцов

Каждый показатель кислотности несет свою дополнительную информацию о состоянии почв и протекающих в них химических процессах, поскольку они не связаны между собой строго функционально. Так, связь между значениями pH водной и солевой вытяжек почв довольно тесная, описываемая следующим нелинейным уравнением:

$$Y = 5,50 \times \{1 - \exp[-9,28 \times 10^{-2} \times (X - 3,75)^{1,779}]\}; R^2 = 0,805, \quad (8)$$

в котором Y – значение pH водной суспензии, X – значение pH KCl-вытяжки. Связь же между гидролитической кислотностью (Y, мг-экв. на 100 г) и значениями pH водной суспензии (X) слабая, но вполне достоверная, аппроксимируемая уравнением:

$$Y = 13,49 \times \exp[-55,15 \times 10^{-2} \times (X - 3,75)]; R^2 = 0,198; p < 0,01. \quad (9)$$

Таблица 7

**Изменение среднего значения pH солевой вытяжки в зависимости от глубины взятия образца почвы и содержания в ней гумуса**

Глубина, см	Среднее значение pH в зависимости от содержания в почве гумуса							
	< 1 %	1-2 %	2-3 %	3-4 %	4-6 %	6-8 %	> 8 %	В среднем
< 20 см*	4,35	4,54	4,63	4,86	5,04	5,21	5,38	<b>4,91</b>
21-40 см	4,50	4,53	4,95	5,14	5,71	5,69	-	<b>4,70</b>
41-60 см	4,50	5,06	5,24	6,00	5,97	-	-	<b>4,74</b>
61-80 см	5,02	4,79	5,60	6,50	-	-	-	<b>4,82</b>
> 80 см	5,14	4,55	5,31	4,69	-	-	-	<b>5,09</b>
<b>В среднем</b>	<b>4,75</b>	<b>4,65</b>	<b>4,83</b>	<b>5,03</b>	<b>5,16</b>	<b>5,27</b>	<b>5,33</b>	<b>4,99</b>

Примечание: \* исключая слой лесной подстилки.

Таблица 8

**Изменение среднего значения pH солевой вытяжки в зависимости от глубины взятия образца почвы и содержания в ней физической глины**

Глубина, см	Среднее значение pH в зависимости от содержания в почве глины							
	< 10 %	10-20 %	20-30 %	30-40 %	40-50 %	50-60 %	> 60 %	В среднем
< 20 см*	4,25	4,98	4,80	4,85	4,89	5,41	5,18	<b>4,91</b>
21-40 см	4,80	4,88	4,41	4,51	4,49	4,69	5,10	<b>4,70</b>
41-60 см	4,89	4,63	4,75	4,67	4,73	4,64	4,90	<b>4,74</b>
61-80 см	5,05	4,80	4,54	3,97	4,79	5,31	5,25	<b>4,82</b>
> 80 см	4,81	4,98	4,83	5,41	5,35	5,38	6,05	<b>5,09</b>
<b>В среднем</b>	<b>4,72</b>	<b>4,93</b>	<b>4,71</b>	<b>4,90</b>	<b>4,90</b>	<b>5,07</b>	<b>5,38</b>	<b>4,99</b>

Примечание: \* исключая слой лесной подстилки.

Таблица 9

**Изменение среднего значения pH солевой вытяжки из почвы в зависимости от содержания в ней гумуса и глины**

Содержание гумуса, %	Среднее значение pH в зависимости от содержания в почве физической глины							
	< 10 %	10-20 %	20-30 %	30-40 %	40-50 %	50-60 %	> 60 %	В среднем
< 1	4,76	4,79	4,53	4,66	4,72	4,55	5,10	<b>4,75</b>
1-3	4,45	4,80	4,52	4,66	4,56	4,97	4,87	<b>4,71</b>
3-5	4,08	5,05	5,36	4,83	4,87	5,33	5,61	<b>5,07</b>
>5	-	5,21	5,23	5,07	5,25	5,45	5,33	<b>5,26</b>
<b>В среднем</b>	<b>4,72</b>	<b>4,93</b>	<b>4,71</b>	<b>4,90</b>	<b>4,90</b>	<b>5,07</b>	<b>5,38</b>	<b>4,99</b>

Характер и теснота этих связей различны для каждого типа почв и генетического горизонта (рис. 5 и 6), что отмечают и другие исследователи [24, 39, 40]. Это связано с особенностями пространственного распределения концентрации алюминия, железа, марганца, серы, азота и

различных органических кислот, которые принимают активное участие в процессе диссоциации протонов, определяя кислотность среды. Определенный вклад вносят также недостатки методики лабораторной оценки показателей и возникающие при этом погрешности. Дело в том, что величины pH водной и солевой вытяжек чаще всего не соответствуют реальному значению pH почвенного раствора из-за большой степени разбавления, что, с одной стороны, приводит к снижению концентрации кислотных компонентов, но с другой – к возрастанию степени диссоциации слабых органических кислот [34].

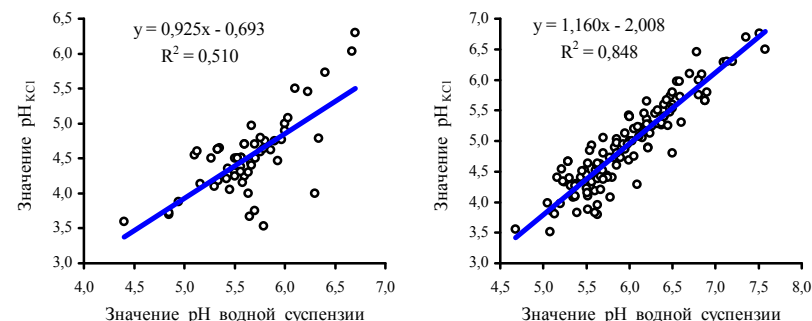


Рис. 5. Характер связи между значениями pH водной и солевой вытяжек, оцененными для гумусово-элювиального горизонта дерново-подзолистых (слева) и бурых лесных почв Марийского Заволжья

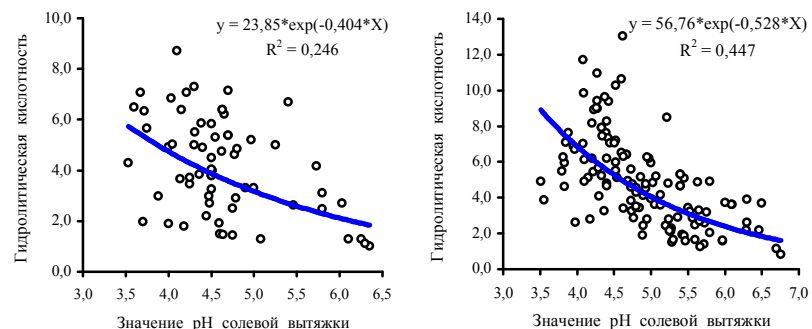


Рис. 6. Характер связи между значениями pH солевой вытяжки и гидролитической кислотности гумусово-элювиального горизонта дерново-подзолистых (слева) и бурых лесных почв Марийского Заволжья

Значения рН в КСI-вытяжке за редким исключением ниже, чем значения рН в водной суспензии, поскольку в раствор КСI переходят не только водорастворимые, но и обменные наиболее сильнокислотные компоненты. Общепринятый метод определения обменной кислотности имеет некоторые ограничения [7]. Так, в почвах, богатых гидроксидами Fe и Al, аллофанами и имоголитом, вытесненные в раствор протоны поглощаются гидроксильными группами, находящимися на поверхности частиц этих минералов, равновесные значения рН в вытяжке повышаются, Al выпадает в осадок в форме гидроксида, и результаты определения обменной кислотности оказываются искаженными. Еще одно ограничение метода возникает при работе с почвами, имеющими сильнокислотную реакцию среды. В этом случае равновесное значение рН в КСI-вытяжке может установиться на уровне < 4, и в таких условиях начинают растворяться многие соединения Al, которые не являются обменными. Кроме того, переход окраски по фенолфталеину при титровании основанием не всегда происходит при рН 8,2 – эта величина может смещаться, обычно в сторону повышения, в зависимости от состава раствора. Экспериментально показано [34], что в разных генетических горизонтах подзолистых почв однократная обработка раствором 1 М КСI извлекает только 60-70 % от общего количества обменных кислотных компонентов. Для получения более надежных результатов авторы рекомендуют определять обменную кислотность, используя потенциометрическое титрование, а обменный Al – колориметрическими или инструментальными методами.

Величина отношения  $pH_{\text{сол}} : pH_{\text{вод}}$  во многом зависит от содержания в почве гумуса, по мере увеличения которого значения этих двух параметров кислотности постепенно приближаются друг к другу, содержание же в почве глинистых частиц существенно влияния не оказывает (рис. 7). Величина гидролитической кислотности в пределах одинаковых значений  $pH_{\text{КСI}}$  увеличивается по мере возрастания содержания в почве гумуса (табл. 10) и глины (табл. 11), однако совместное влияние на нее всех трех переменных объясняет только 48,4 % ее общей дисперсии, что свидетельствует либо о наличии других более мощных факторов, либо о погрешностях методики измерения параметров. На объяснение этого феномена, по нашему мнению, должны быть направлены в дальнейшем усилия исследователей.

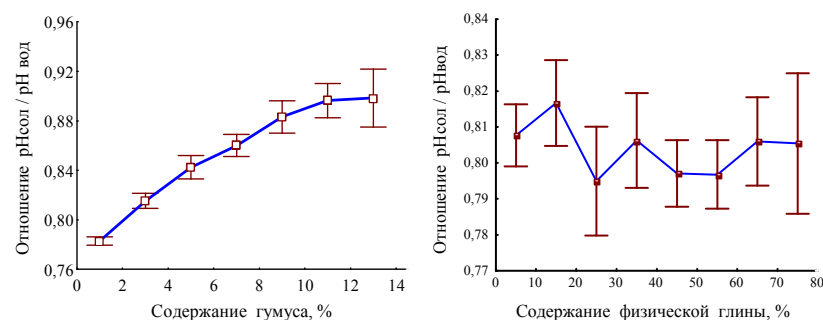


Рис. 7. Влияние содержания в почве гумуса и глины на величину отношения между рН солевой и рН водной вытяжек

Таблица 10

Изменение значений гидролитической кислотности почвы (ГК) в зависимости от содержания в ней гумуса и рН КСI- вытяжки

Содержание гумуса, %	Среднее значение и пределы изменения ГК в зависимости от рН					В среднем
	< 3,5	3,5-4,5	4,5-5,5	5,5-6,5	> 6,5	
< 1	10,5 3,1-27,0	4,32 0,3-15,4	2,25 0,3-25,8	1,21 0,2-2,7	1,40 0,2-11,3	<b>3,44</b> <b>0,2-27,0</b>
1-3	11,4 4,2-21,4	5,84 0,7-23,1	3,90 0,6-9,6	2,19 0,7-5,0	1,22 0,7-2,7	<b>4,83</b> <b>0,6-23,1</b>
3-5	-	7,44 3,6-13,0	5,43 1,9-15,3	2,55 1,2-4,5	1,33 0,7-2,3	<b>5,05</b> <b>0,7-15,3</b>
>5	-	10,6 3,1-24,7	7,70 1,8-24,3	4,39 1,2-12,5	-	<b>6,87</b> <b>0,9-24,7</b>
<b>В среднем</b>	<b>10,7</b> <b>3,1-27,0</b>	<b>5,33</b> <b>0,3-24,7</b>	<b>4,21</b> <b>0,3-25,8</b>	<b>2,69</b> <b>0,2-12,5</b>	<b>1,76</b> <b>0,2-16,3</b>	<b>4,22</b> <b>0,1-38,5</b>

Таблица 11

Изменение значений гидролитической кислотности почвы в зависимости от содержания в ней глины и рН КСI- вытяжки

Содержание глины, %	Среднее значение и пределы изменения ГК в зависимости от рН					В среднем
	< 3,5	3,5-4,5	4,5-5,5	5,5-6,5	> 6,5	
< 10	4,83 2,1-7,7	2,89 0,6-9,2	1,67 0,3-8,5	1,04 0,1-4,5	-	<b>2,15</b> <b>0,1-9,2</b>
10-30	8,57 4,5-13,2	3,91 0,5-12,5	2,78 0,5-24,3	2,01 0,4-5,5	0,73 0,2-2,6	<b>3,19</b> <b>0,2-24,3</b>
30-50	8,18 2,4-17,6	6,17 1,1-24,7	5,03 0,6-18,4	2,99 0,4-11,9	1,89 0,3-16,3	<b>5,22</b> <b>0,3-24,7</b>
50-70	8,56 3,1-14,3	5,69 0,3-23,1	4,50 0,4-25,8	2,67 0,4-6,8	1,27 0,5-5,2	<b>4,51</b> <b>0,3-25,8</b>
>70	19,28 12,7-27,0	6,52 1,8-12,0	5,73 1,0-13,6	2,69 0,6-12,5	1,01 0,6-1,5	<b>6,47</b> <b>0,6-27,0</b>
<b>В среднем</b>	<b>10,7</b> <b>3,1-27,0</b>	<b>5,33</b> <b>0,3-24,7</b>	<b>4,21</b> <b>0,3-25,8</b>	<b>2,69</b> <b>0,2-12,5</b>	<b>1,76</b> <b>0,2-16,3</b>	<b>4,22</b> <b>0,1-38,5</b>

Практически во всех работах по лесному почвоведению приводятся сведения о содержании в почвах подвижных форм азота, калия и фосфора, которое, как традиционно считается, характеризует степень обеспеченности растений элементами минерального питания. Так ли это на самом деле? Анализ исходного материала показал, что значения этих показателей варьируют, как это следует из таблицы 5, достаточно широко, не отражаясь в большинстве случаев существенным образом на производительности и составе древостоев. С чем это связано и в чем причина изменчивости содержания этих элементов питания?

Содержание общего азота, как показал анализ исходного материала, четко снижается по глубине профиля почвы, что полностью обусловлено изменением содержания в ней гумуса (рис. 8). Эту зависимость с очень высокой достоверностью описывает следующее уравнение регрессии, позволяющее оценивать содержание общего азота (Y, %) во всех типах почв по содержанию в них гумуса (X, %):

$$Y = 6,53 \times 10^{-2} X^{0,895}; R^2 = 0,967; p < 0,0001. \quad (10)$$

Все отклонения от данной зависимости, имеющей всеобщий характер и позволяющей без особого труда оценивать содержание азота в почве, что необходимо при изучении биологического круговорота веществ в экосистемах, связаны исключительно с погрешностями оценки параметров, избежать которых при проведении лабораторных анализов бывает практически невозможно.

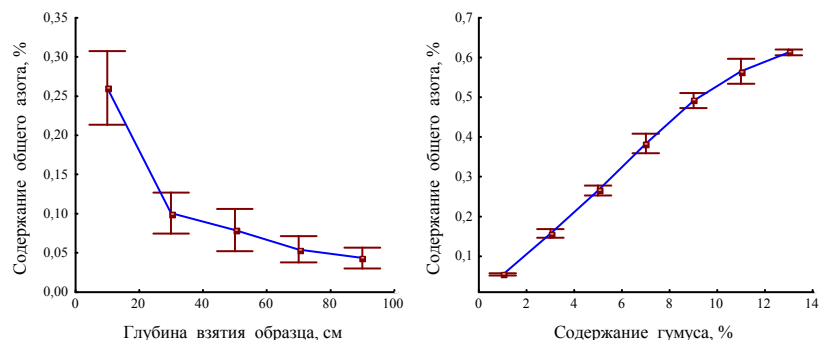


Рис. 8. Изменение содержания в почве общего азота в зависимости от глубины взятия образцов и содержания в почве гумуса

Содержание же в почве подвижных соединений фосфора и калия, варьирующих от 0 до 77,5-95,5 мг/100 г, изменяется по градиенту профиля иначе (рис. 9). Так, содержание  $P_2O_5$  до глубины 90 см в среднем

возрастает, а затем начинает снижаться. Концентрация же в почве  $K_2O$  резко падает на глубине 20-40 см, где располагается основная масса сосуших корней деревьев и кустарников, а потом медленно увеличивается, достигая максимума на глубине 60-80 см. После этой отметки оно неуклонно снижается.

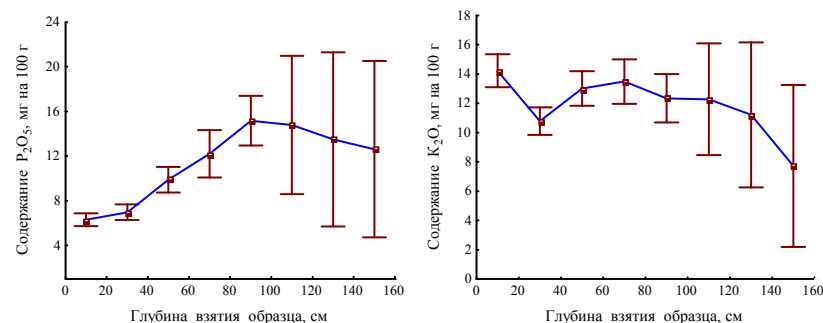


Рис. 9. Изменение содержания в почве подвижных форм фосфора и калия по градиенту глубины взятия образцов

Такой характер изменения значений данных параметров, на наш взгляд, связан с обменными процессами, происходящими между почвой и корневыми системами растений, принимающих в этом самое активное участие, которое заключается в выделении экзометаболитов, способствующих увеличению подвижных форм элементов питания [2, 36]. Между содержанием  $P_2O_5$  и  $K_2O$  в образцах почвы отмечается положительная корреляционная связь, которая хотя и невысока, но, благодаря большому массиву исходных данных, высоко достоверна: значения коэффициента корреляции между этими переменными уменьшаются с глубиной, изменяясь от 0,42 до 0,11. Дополнительное небольшое, но вполне статистически достоверное влияние на концентрацию  $P_2O_5$  оказывает pH почвы (табл. 12), а  $K_2O$  – содержание в ней глины (табл. 13), что необходимо учитывать при оценке степени концентрации этих соединений, используя соответствующие шкалы (табл. 14 и 15).

Концентрация  $P_2O_5$  и  $K_2O$  в почве, как показали расчеты, практически не зависит от содержания в ней гумуса (табл. 16 и 17), который, согласно традиционным взглядам почвоведов, служит их хранилищем и поставщиком. На самом же деле они своим происхождением, несомненно, обязаны минералам. Об этом свидетельствует, в частности, достаточно большое валовое содержание фосфора и калия в почвах региона [21]. Факт же отсутствия корреляционной связи между содержанием

P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и гранулометрическим составом почв (табл. 18) во многом объясняется блокированием фосфора при высокой их кислотности полуторными окислами железа и алюминия, а при слабо кислой и нейтральной – кальцием [33]. Содержание подвижных соединений фосфора и калия в почве лесов Среднего Поволжья варьирует, по нашему глубокому убеждению, в основном под действием биоценологических факторов, изменяющихся в течение года в зависимости от текущих погодных условий, определяющих интенсивность потребления растениями элементов питания и влияющих на их подвижность. На изучение этого процесса, без детального раскрытия которого невозможно в полной мере вскрыть закономерности протекания биологического круговорота веществ в экосистемах, и должны быть направлены основные усилия исследователей. Информационное же значение фактических значений концентрации P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и K<sub>2</sub>O без оценки параметров сезонной и многолетней динамики микроклимата почв очень мало.

Таблица 12

**Изменение содержания в почве подвижного фосфора в зависимости от глубины взятия образца почвы и значения pH KCl- вытяжки**

Глубина, см	Среднее значение P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> в зависимости от значения pH KCl-вытяжки, мг/100 г					В среднем
	< 3,5	3,5-4,5	4,5-5,5	5,5-6,5	> 6,5	
< 20 см*	1,47	3,53	6,50	9,32	17,0	<b>6,20</b>
21-40 см	2,16	4,76	7,58	8,33	16,7	<b>6,22</b>
41-60 см	7,98	7,17	10,3	11,7	27,9	<b>9,33</b>
61-80 см	2,05	10,7	10,5	12,5	40,6	<b>11,6</b>
> 80 см	3,62	11,3	18,4	22,9	11,9	<b>15,2</b>
<b>В среднем</b>	<b>3,35</b>	<b>5,95</b>	<b>8,71</b>	<b>11,2</b>	<b>18,2</b>	<b>8,53</b>

Примечание: \* исключая слой лесной подстилки.

Таблица 13

**Изменение содержания в почве обменного калия в зависимости от глубины взятия образца почвы и содержания в нем физической глины**

Глубина, см	Среднее значение K <sub>2</sub> O в зависимости от содержания в почве физической глины, мг/100 г							В среднем
	< 10 %	10-20 %	20-30 %	30-40 %	40-50 %	50-60 %	> 60 %	
< 20 см*	4,57	9,04	13,0	12,8	13,9	25,3	20,8	<b>14,3</b>
21-40 см	3,35	4,63	5,37	7,62	11,7	15,8	17,6	<b>10,6</b>
41-60 см	2,86	6,10	8,61	10,3	15,6	15,5	17,9	<b>13,2</b>
61-80 см	5,18	10,1	11,2	11,4	14,9	17,3	16,1	<b>13,0</b>
> 80 см	4,28	8,33	14,4	15,1	10,2	11,6	13,6	<b>11,4</b>
<b>В среднем</b>	<b>3,98</b>	<b>7,49</b>	<b>10,6</b>	<b>11,3</b>	<b>13,1</b>	<b>18,0</b>	<b>17,5</b>	<b>12,8</b>

Таблица 14

**Шкала для оценки степени насыщенности почв подвижным фосфором в зависимости от значения pH KCl- вытяжки**

Значение pH <sub>KCl</sub>	Содержание P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> в почве при различной степени насыщенности им, мг/100 г				
	Очень низкая	Низкая	Средняя	Высокая	Очень высокая
< 3,5	< 3,5	3,6-8,0	8,1-12,5	12,6-17,0	> 17,0
3,5-4,5	< 7,5	7,6-14,5	14,6-21,5	21,6-28,5	> 28,5
4,5-5,5	< 12,5	12,6-22,0	22,1-31,5	31,6-41,0	> 41,0
5,5-6,5	< 17,5	17,6-30,0	30,1-42,5	42,6-55,0	> 55,0
> 6,5	< 22,5	22,6-38,0	38,1-50,5	50,6-63,0	> 63,0

Таблица 15

**Шкала для оценки степени насыщенности почв обменным калием в зависимости от содержания физической глины**

Содержание глины, %	Содержание K <sub>2</sub> O в почве при различной степени насыщенности им, мг/100 г				
	Очень низкая	Низкая	Средняя	Высокая	Очень высокая
< 10	< 4	4-8	8-12	12-16	> 16,0
10-30	< 6	6-12	12-18	18-24	> 24,0
30-50	< 8	8-16	16-24	24-32	> 32,0
50-70	< 10	10-20	21-30	31-40	> 40,0
> 70	< 15	15-30	30-45	45-60	> 60,0

Таблица 16

**Изменение содержания в почве подвижного фосфора в зависимости от глубины взятия образца почвы и содержания в нем гумуса**

Глубина, см	Среднее значение P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> в зависимости от содержания в почве гумуса, мг/100 г							Среднее
	< 1 %	1-2 %	2-3 %	3-4 %	4-6 %	6-8 %	> 8 %	
< 20 см*	7,17	6,57	4,47	4,79	5,89	7,97	7,22	<b>6,20</b>
21-40 см	5,89	5,37	6,35	8,14	9,69	8,54	-	<b>6,22</b>
41-60 см	9,16	8,57	9,80	10,9	15,9	-	-	<b>9,33</b>
61-80 см	11,5	12,1	-	-	-	-	-	<b>11,6</b>
> 80 см	15,4	11,7	-	-	-	-	-	<b>15,2</b>
<b>В среднем</b>	<b>9,85</b>	<b>6,88</b>	<b>5,77</b>	<b>5,95</b>	<b>6,91</b>	<b>8,02</b>	<b>7,26</b>	<b>8,53</b>

Примечание: \* исключая слой лесной подстилки.

Таблица 17

**Изменение содержания в почве обменного калия в зависимости от глубины взятия образца почвы и содержания в нем гумуса**

Глубина, см	Среднее значение K <sub>2</sub> O в зависимости от содержания в почве гумуса, мг/100 г							Среднее
	< 1 %	1-2 %	2-3 %	3-4 %	4-6 %	6-8 %	> 8 %	
< 20 см*	6,53	8,44	8,84	14,9	15,2	20,9	21,7	<b>14,3</b>
21-40 см	6,95	10,8	18,0	15,0	19,5	17,6	-	<b>10,6</b>
41-60 см	11,3	18,6	15,2	14,1	18,1	-	-	<b>13,2</b>
61-80 см	12,4	15,9	-	-	-	-	-	<b>13,0</b>
> 80 см	11,7	5,57	-	-	-	-	-	<b>11,4</b>
<b>В среднем</b>	<b>10,0</b>	<b>11,4</b>	<b>12,2</b>	<b>14,8</b>	<b>16,0</b>	<b>20,6</b>	<b>21,5</b>	<b>12,8</b>

Примечание: \* исключая слой лесной подстилки.

Таблица 18

**Изменение содержания в почве подвижного фосфора в зависимости от глубины взятия образца почвы и содержания в нем физической глины**

Глубина, см	Среднее значение P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> в зависимости от содержания в почве физической глины, мг/100 г							Среднее
	< 10 %	10-20 %	20-30 %	30-40 %	40-50 %	50-60 %	> 60 %	
< 20 см*	3,74	6,82	6,92	4,97	5,10	8,24	9,06	<b>6,20</b>
21-40 см	7,01	4,01	7,62	7,80	4,75	6,38	7,79	<b>6,22</b>
41-60 см	7,20	5,61	18,8	19,4	10,8	9,25	8,19	<b>9,33</b>
61-80 см	13,7	9,07	12,6	7,81	11,8	11,5	10,7	<b>11,6</b>
> 80 см	11,3	29,5	31,4	13,8	11,4	12,8	15,0	<b>15,2</b>
<b>В среднем</b>	<b>7,30</b>	<b>8,18</b>	<b>9,69</b>	<b>7,22</b>	<b>6,90</b>	<b>8,67</b>	<b>9,74</b>	<b>8,53</b>

Примечание: \* исключая слой лесной подстилки.

Одним из важнейших показателей почв, во многом определяющим условия обитания в почве корневых систем растений и всех организмов, является плотность их сложения [13, 23, 26], величина которой в лесных биогеоценозах Среднего Поволжья, как показал анализ исходного материала, варьирует от 0,44 до 1,87 г/см<sup>3</sup>, составляя в среднем 1,35 ± 0,01 г/см<sup>3</sup> (см. табл. 5). Распределение показателей в выборке имеет значительную левую асимметрию со смещением в сторону высоких значений (рис. 10). Наиболее часто встречаются в ней значения от 1,4 до 1,6 г/см<sup>3</sup>, соответствующие уровню сильного уплотнения, не вполне благоприятного для произрастания древесных растений. С увеличением глубины почвы величина плотности сложения асимптотически возрастает, стабилизируясь на отметке 100-120 см (рис. 11). Благоприятные для развития корней растений условия складываются, исходя из этого,

только на глубине не более 80 см. Почти сходным образом изменяется с глубиной и плотность твердой фазы почвы, варьирующая в гораздо меньших пределах (2,10-2,80 г/см<sup>3</sup>).

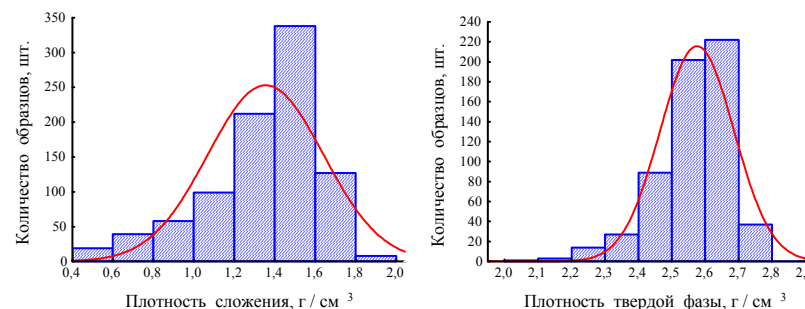


Рис. 10. Характер распределения в выборке значений плотности сложения почвы и ее твердой фазы

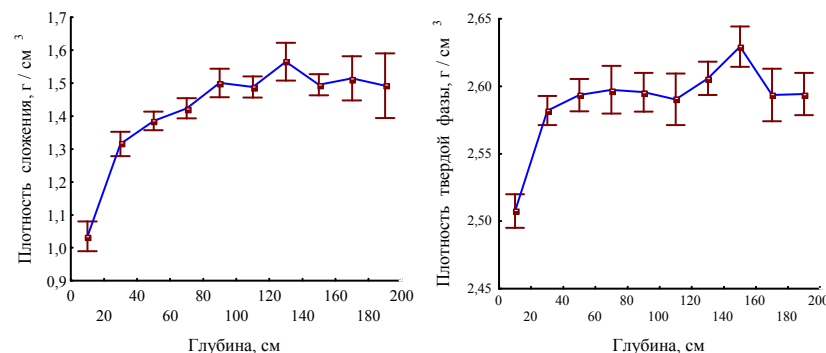


Рис. 11. Изменение значений плотности сложения почвы и ее твердой фазы по градиенту глубины профиля

Основным фактором, детерминирующим вариабельность плотности сложения (ПС) и плотности твердой фазы (ПТФ), является, как показали расчеты, содержание в почве гумуса (X, %), с увеличением которого величина этих показателей закономерно снижается (рис. 12), что с высокой достоверностью аппроксимируют соответствующие уравнения регрессии:

$$ПС = 1,103 \times \exp(-14,67 \times 10^{-2} \times X) + 0,472; R^2 = 0,657; p < 0,001 \quad (11)$$

$$ПТФ = 0,644 \times \exp(-6,07 \times 10^{-2} \times X) + 2,00; R^2 = 0,442; p < 0,01. \quad (12)$$

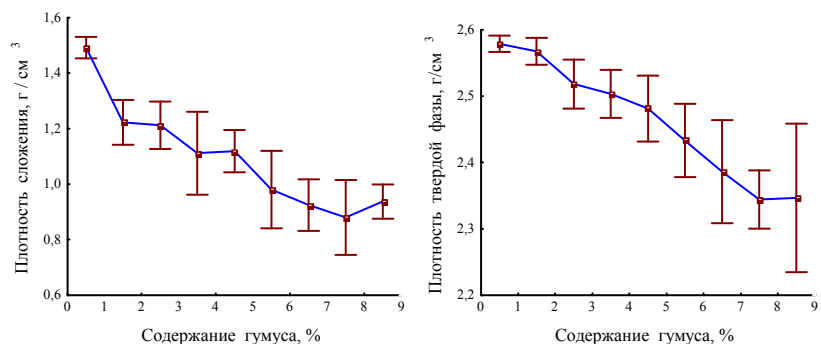


Рис. 12. Влияние содержания гумуса на изменение значений плотности сложения почвы и ее твердой фазы

Наличие данной зависимости показывает, что для оценки реальной степени уплотненности почв, обусловленной различными природными и антропогенными факторами, необходимо обязательно учитывать содержание в них гумуса, используя определенные поправки и соответствующие шкалы (табл. 19). Дополнительное небольшое влияние на величину ПС почвы оказывает также глубина взятия образца (Z, см), что отображает следующее уравнение регрессии:

$$ПС = 1,44 \times \exp(-7,00 \times 10^{-2} \times X + 1,43 \times 10^{-3} \times Z); R^2 = 0,706; p < 0,001. \quad (13)$$

На величину же ПТФ дополнительное влияние оказывает содержание в почве суммы обменных оснований (СОО, мг-экв./100 г), что аппроксимирует уравнение:

$$ПТФ = 2,68 - 2,37 \times 10^{-2} \times X - 2,75 \times 10^{-3} \times Z; R^2 = 0,513; p < 0,01. \quad (14)$$

Таблица 19

**Шкала для оценки степени уплотненности почвы в зависимости от содержания в ней гумуса**

Содержание гумуса, %	Пределы значений показателей для разных их градаций				
	Очень низкая	Низкая	Средняя	Высокая	Очень высокая
Плотность сложения почвы, г/см <sup>3</sup>					
< 1	< 1,10	1,10-1,30	1,31-1,50	1,51-1,70	> 1,70
1-3	< 0,90	0,90-1,20	1,21-1,40	1,41-1,60	> 1,60
3-5	< 0,82	0,82-0,99	1,00-1,17	1,18-1,34	> 1,34
5-7	< 0,70	0,70-0,85	0,86-1,00	1,01-1,15	> 1,15
7-9	< 0,62	0,62-0,75	0,76-0,87	0,88-1,00	> 1,00
> 9	< 0,56	0,56-0,66	0,67-0,75	0,76-0,85	> 0,85

Окончание таблицы 19

Содержание гумуса, %	Пределы значений показателей для разных их градаций				
	Очень низкая	Низкая	Средняя	Высокая	Очень высокая
Плотность твердой фазы почвы, г/см <sup>3</sup>					
< 1	< 2,49	2,49-2,56	2,57-2,63	2,64-2,70	> 2,70
1-3	< 2,39	2,39-2,47	2,48-2,56	2,57-2,64	> 2,64
3-5	< 2,31	2,31-2,40	2,41-2,49	2,50-2,58	< 2,58
5-7	< 2,25	2,25-2,34	2,35-2,43	2,44-2,52	< 2,52
7-9	< 2,21	2,21-2,29	2,30-2,37	2,38-2,45	< 2,45
> 9	< 2,18	2,18-2,25	2,26-2,32	2,33-2,38	< 2,38

ПС и ПТФ почвы определяют такие важные ее характеристики, как пористость и твердость, которые существенным образом влияют на скорость передвижения в ней воды и вынос с растворами различных веществ, а также на протекание окислительно-восстановительных процессов, характер распространения корней растений, условия развития микроорганизмов и почвенной мезофауны [23]. Пористость (Пор) и твердость (Тв) почвы, значения которых варьируют в лесных биогеоценозах Среднего Поволжья соответственно в пределах 27,8-82,6 % и 3,5-30 кг/см<sup>2</sup> (табл. 5, рис. 13), четко изменяются по глубине профиля (рис. 14), что связано в основном с изменением содержания гумуса и физической глины (рис. 14 и 15). Эти связи с высокой достоверностью аппроксимируют следующие уравнения регрессии:

$$Пор = 49,79 \times \exp(3,65 \times 10^{-2} \times X - 3,11 \times 10^{-3} \times Z); R^2 = 0,627 \quad (15)$$

$$Тв = 2,96 \times \exp(-16,76 \times 10^{-2} \times X) \times G^{0,5}; R^2 = 0,615; p < 0,001, \quad (16)$$

в которых X – содержание гумуса, %; Z – глубина, см; G – содержание глины, %.

Пористость и твердость почвы зависят также от количества в ней корней растений и степени заселенности ее беспозвоночными животными, сведения о которых в имеющейся почвоведческой литературе не отображены и не могут в связи с этим быть предметом регрессионного анализа. В первом приближении можно сказать лишь, что их вклад в варьирование значений показателей не может превышать 38 %. Большое влияние на твердость почвы, которая измеряется только в полевых условиях, оказывает ее текущая влажность, варьирующая в довольно больших пределах. При сильном иссушении почва становится, как известно, очень твердой, а при увлажнении же, наоборот, мягкой. В связи с этим данный показатель мало информативен и редко используется при проведении исследований.

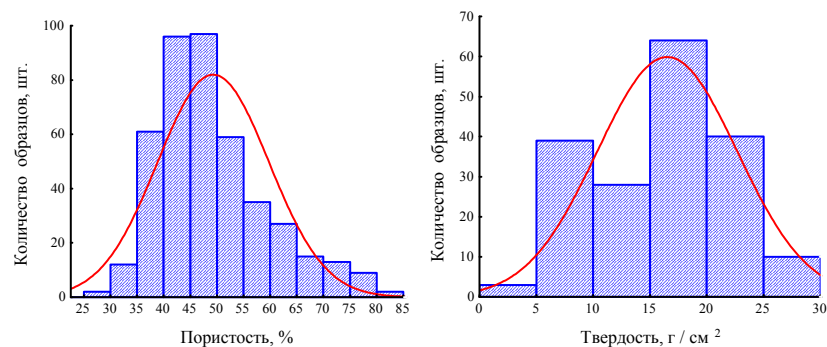


Рис. 13. Закономерности варьирования пористости и твердости почв лесов Среднего Поволжья

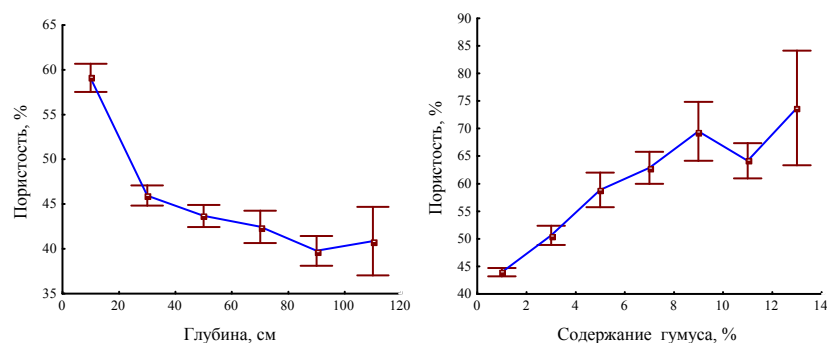


Рис. 14. Изменение пористости почвы по градиенту ее глубины и содержания гумуса

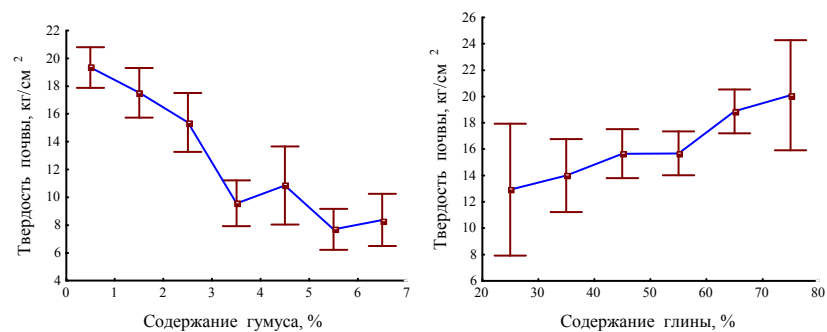


Рис. 15. Влияние содержания в почве гумуса и физической глины на ее твердость

Многие лесорастительные свойства почв, в том числе плотность сложения, пористость и твердость, во многом зависят от их агрегатного состава, степень изученности определяющих факторов которого еще очень мала [8, 33, 38]. Анализ исходного материала показал, что суглинистые почвы лесов Среднего Поволжья имеют в основном крупнокомковатую макроструктуру, в которой преобладают агрегаты размером более 5 мм (табл. 20), однако доля агрегатов каждого размера, особенно мелких, варьирует в очень больших пределах, не подчиняясь при этом закону нормального распределения (рис. 16). Степень структурности почв количественно отображают коэффициенты  $K_d$  и  $K_s$ , представляющие собой следующие соотношения:  $K_d = A / B$ ,  $K_s = C / D$ , в которых  $A$  – доля агрегатов от 1 до 5 мм;  $B$  – доля агрегатов менее 1 и более 5 мм;  $C$  – доля агрегатов от 0,25 до 10 мм;  $D$  – доля агрегатов менее 0,25 и более 10 мм. Значения каждого из этих коэффициентов также очень сильно варьируют в выборке.

Таблица 20  
Статистическая оценка агрегатной структуры почв лесных биогеоценозов

Размер агрегатов	Значения статистических показателей (N = 207)					
	Mx	min	max	размах	Me	As
Полная агрегатная структура						
< 0,25 мм	5,4	0,1	41,6	41,5	20,9	-0,74
0,25-0,5 мм	4,1	0,1	56,1	56,0	28,1	-0,85
0,5-1 мм	3,9	0,2	15,2	15,0	7,7	-0,49
1-2 мм	10,9	0,6	35,3	34,7	18,0	-0,39
2-3 мм	9,1	0,4	25,4	25,0	12,9	-0,29
3-5 мм	17,0	1,3	36,7	35,4	19,0	-0,11
5-10 мм	20,8	1,2	54,6	53,4	27,9	-0,25
> 10 мм	28,9	0,0	95,7	95,7	47,8	-0,40
Укрупненная агрегатная структура						
< 0,5 мм	9,5	0,3	83,1	82,8	41,7	-0,77
< 1 мм	13,4	0,6	86,4	85,8	43,5	-0,69
< 3 мм	33,3	1,8	92,2	90,4	47,0	-0,29
< 5 мм	50,4	3,1	95,0	91,9	49,1	0,03
> 5 мм	49,6	5,0	96,9	91,9	51,0	-0,03
$K_d$	0,77	0,02	4,32	4,30	2,17	-0,65
$K_s$	4,30	0,04	28,4	28,4	14,2	-0,70



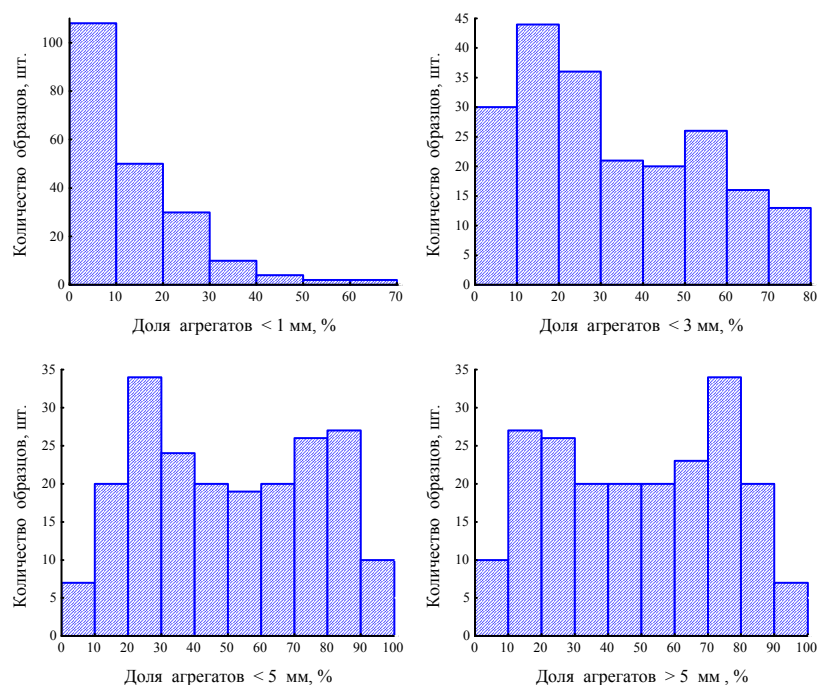


Рис. 16. Характер распределения образцов почвы по доле в них агрегатов разного размера

Несмотря на несовершенство методики определения агрегатного состава почвы и возникающие в связи с этим погрешности, можно все же выявить некоторые закономерности. Расчеты показали довольно четкую трансформацию агрегатного состава почв по глубине профиля (рис. 17), что связано с изменением содержания в них илистых частиц (рис. 18), а также гумуса (рис. 19). Эти связи с высокой достоверностью аппроксимируют следующие уравнения регрессии:

$$Y_1 = 83,77 \times \exp(-11,18 \times 10^{-2} \times X + 7,26 \times 10^{-2} \times Z); R^2 = 0,779 \quad (17)$$

$$Y_2 = 0,557 \times X^{1,587} + 101,2 \times \exp(-11,00 \times 10^{-2} \times Z); R^2 = 0,817 \quad (18)$$

$$Y_3 = 5,34 \times X^{0,943} + 91,6 \times \exp(-6,48 \times 10^{-2} \times Z); R^2 = 0,725 \quad (19)$$

$$Y_4 = 14,4 \times X^{0,648} + 81,7 \times \exp(-4,88 \times 10^{-2} \times Z); R^2 = 0,663 \quad (20)$$

$$Y_5 = 11,43 \times X^{0,559} \times \exp(-15,29 \times 10^{-2} \times Z); R^2 = 0,667; p < 0,001, \quad (21)$$

в которых  $Y_1$  – доля агрегатов менее 0,5 мм, %;  $Y_2$  – доля агрегатов менее 1 мм, %;  $Y_3$  – доля агрегатов менее 3 мм, %;  $Y_4$  – доля агрегатов менее 5 мм, %;  $Y_5$  – доля агрегатов более 5 мм, %;  $X$  – содержание частиц менее 0,001 мм, %;  $Z$  – содержание гумуса, %.

Увеличение в почве гумуса и глины, как это следует из графиков и уравнений, приводит к улучшению ее структурности, а следовательно, и лесорастительных свойств, выражающихся в снижении доли очень мелких и очень крупных агрегатов, возрастании доли агрегатов от 1 до 5 мм и повышении значений коэффициентов  $K_d$  и  $K_s$ . Изменение агрегатного состава почв происходит только в результате совместного действия двух этих параметров: пески при любом содержании гумуса не будут обладать хорошей структурностью, как и глины при его недостатке. Выявленные зависимости показывают, что параметры агрегатной структуры почв не несут дополнительной информации об их лесорастительных качествах, отражая лишь особенности гранулометрического состава и содержания гумуса.

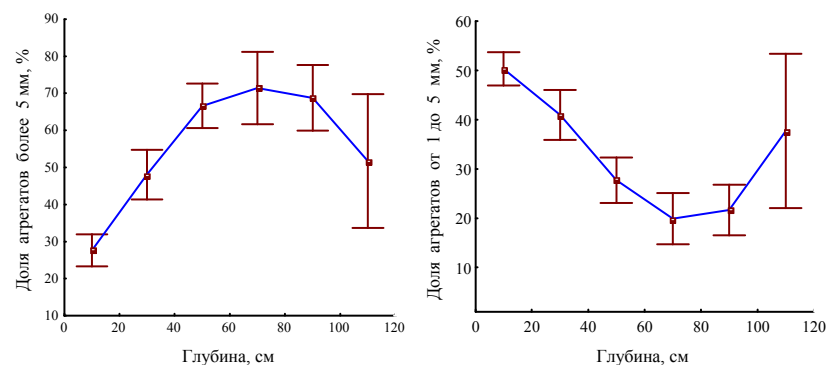


Рис. 17. Характер изменения параметров агрегатного состава почв по глубине профиля

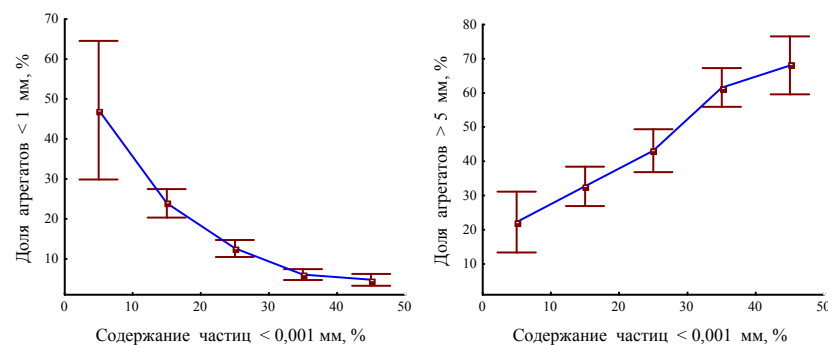


Рис. 18. Влияние содержания в почве илистых частиц на долю в ней агрегатов разного размера

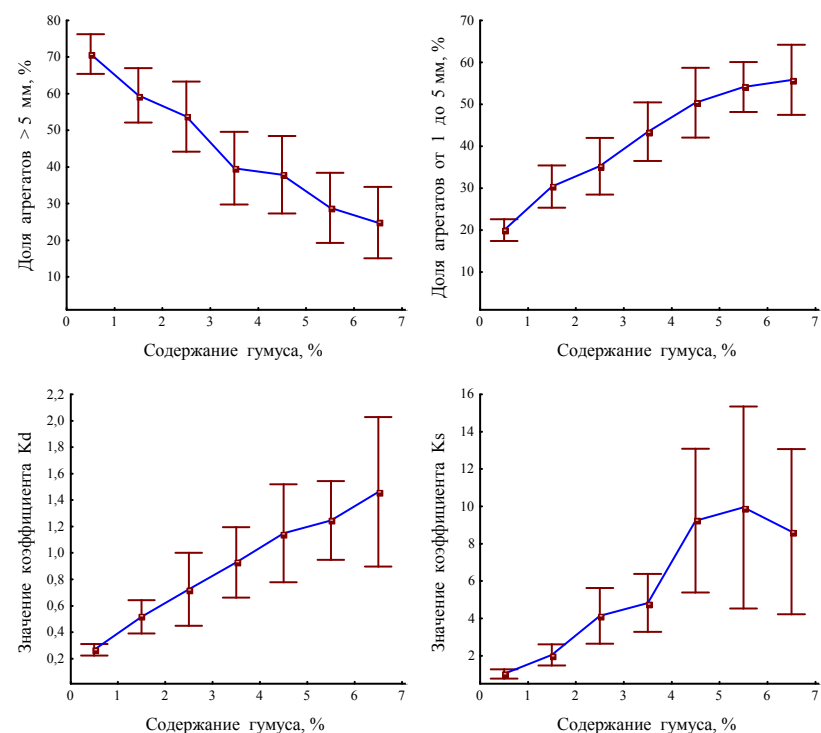


Рис. 19. Влияние содержания в почве гумуса на параметры их агрегатного состава

Не несут дополнительной информации о лесорастительных качествах почв также показатели их водно-физических свойств (гигроскопическая влажность, максимальная гигроскопичность и влажность завядания), варьирующие в лесных биогеоценозах Среднего Поволжья в очень больших пределах (табл. 5, рис. 20), поскольку они детерминируются в основном содержанием глинистых частиц, обменных оснований и гумуса (рис. 21). Эти связи с высокой достоверностью аппроксимируют следующие уравнения регрессии:

$$ГВ = 0,40 \times X^{0,558} \times \exp(8,24 \times 10^{-3} \times Z); R^2 = 0,712; p < 0,001 \quad (22)$$

$$МГВ = 0,217 \times X^{0,604} \times Z^{0,454}; R^2 = 0,848; p < 0,001 \quad (23)$$

$$ВЗ = 0,33 \times X^{0,604} \times Z^{0,454}; R^2 = 0,848; p < 0,001, \quad (24)$$

в которых ГВ – гигроскопическая влажность, %; МГВ – максимальная гигроскопическая влажность, %; ВЗ – влажность завядания, %; X – сумма обменных оснований, мг-экв. на 100 г почвы; Z – содержание глинистых частиц, %.

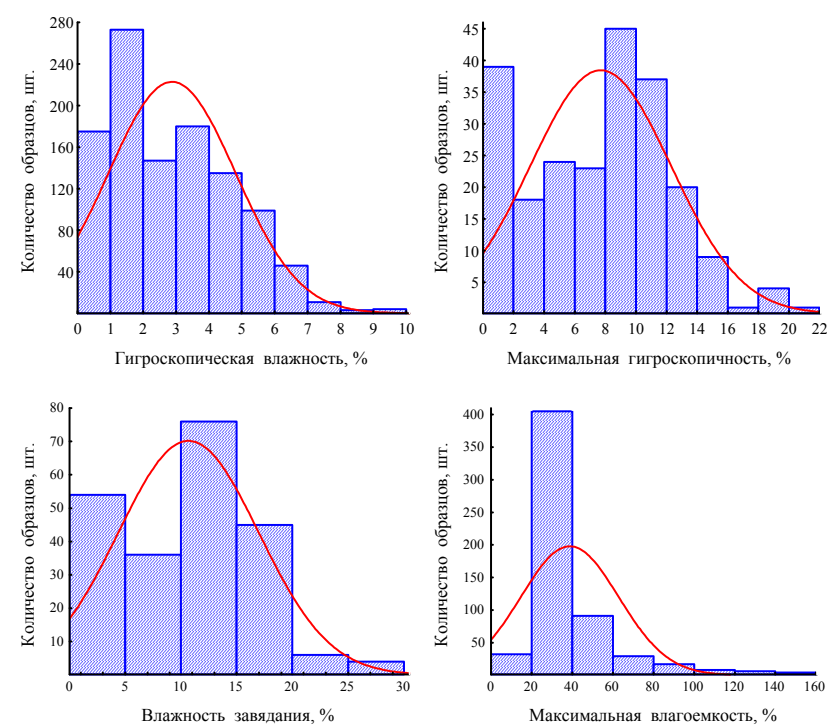


Рис. 20. Характер распределения образцов почвы по значениям параметров их водно-физических свойств

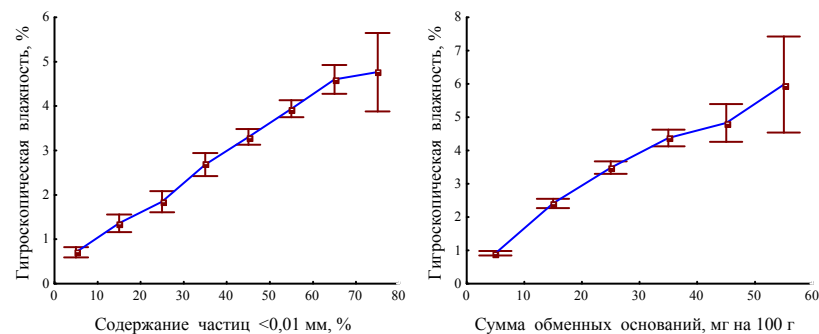


Рис. 21. Влияние содержания в почве глины и обменных оснований на их водно-физические свойства

Максимальная полевая влагоемкость почв (МПВ, %) во многом зависит от содержания в ней органических веществ, оцененного по потерям при прокаливании (X, %), и физической глины (Z, %), что аппроксимирует следующее уравнение регрессии:

$$\text{МПВ} = 3,51 \times X^{1,154} \times \exp(-30,57 \times 10^{-3} \times Z) + 15,6; R^2 = 0,867. \quad (25)$$

Игнорирование этой закономерности при проведении полевых исследований может привести к ошибочным заключениям. Так, к примеру, в очень дождливом 2017 году в большинстве пойменных экотопов заповедника «Большая Кокшага» грунтовые воды вышли на дневную поверхность, однако влажность почвы, которая приближалась к предельно возможной, постепенно убывала с глубиной (табл. 21), что связано с возрастанием доли физической глины и уменьшением содержания органических веществ.

Таблица 21

Статистическая оценка влажности почвы в июле 2017 года в пойменных экотопах заповедника

Слой почвы	Значения статистических показателей полевой влажности почвы, %					
	M ± m	min	max	размах	Me	As
0-10 см	60,7 ± 4,8	47,4	81,0	33,6	64,2	-0,05
10-20 см	34,8 ± 3,5	25,9	49,7	23,8	37,8	-0,08
30-50 см	26,5 ± 2,3	20,7	36,4	15,7	28,6	-0,07
60-80 см	23,3 ± 2,4	17,1	35,5	18,4	26,3	-0,11

Значения МПВ практически полностью детерминируются плотностью сложения почв (ПС, г/см<sup>3</sup>), величина которой, как было показано нами ранее [13], во многом определяется содержанием в ней гумуса и глинистых частиц. Зависимость МПВ от ПС отображает следующее уравнение регрессии:

$$\text{МПВ} = 109,7 \times \exp[-1,645 \times (\text{ПС} - 0,6)]; R^2 = 0,992. \quad (26)$$

Принято считать, что важной характеристикой лесорастительных свойств почв является ее биологическая активность [17], которая оценивается обычно через интенсивность выделения диоксида углерода. Анализ исходного материала показал, что величина этого показателя изменяется в очень больших пределах (см. табл. 5), но довольно четко изменяется по глубине профиля, достигая наивысших значений в слое лесной подстилки мягколиственных древостоев (табл. 22 и 23). Наименьшую же биологическую активность имеет подстилка сосновых лесов. Изменение интенсивности выделения CO<sub>2</sub> из подстилок связано с их кислотностью (табл. 24) и содержанием органического вещества (табл. 25),

являющегося пищей для обитающих в них микроорганизмов. Эту зависимость описывает множественное нелинейное уравнение регрессии:

$$Y = 22,44 \times 10^{-2} \times X^{1,914} \times \exp(-11,67 \times 10^{-3} \times Z); R^2 = 0,528, \quad (26)$$

в котором Y – интенсивность выделения диоксида углерода, мг/кг×час; X – потери массы подстилки при прокаливании, %; Z – гидролитическая кислотность, мг-экв./100 г.

Таблица 22

Статистическая оценка биологической активности почв лесных биогеоценозов Среднего Поволжья

Слой почвы	Значения статистических показателей интенсивности выделения CO <sub>2</sub> из почвы, мг/кг×час					
	N	M ± m	min	max	Me	As
Подстилка	158	682,8 ± 24,4	65,5	1683,8	874,7	-0,22
< 20 см	152	40,6 ± 3,4	0,9	282,2	141,6	-0,71
21-40 см	118	13,8 ± 1,2	0,1	78,5	39,3	-0,65
41-60 см	65	10,4 ± 0,9	0,5	41,6	21,1	-0,51
61-90 см	48	10,4 ± 1,0	0,9	28,6	14,8	-0,29
> 90 см	24	6,8 ± 1,2	1,0	23,7	12,3	-0,45

Таблица 23

Влияние состава древостоев на биологическую активность лесной подстилки

Лесная формация	Статистические показатели интенсивности выделения CO <sub>2</sub> из почвы, мг/кг×час					
	N	M ± m	min	max	Me	As
Лиственная	36	796,7 ± 54,3	128,4	1683,8	906,1	-0,12
Хвойно-лиственная	26	773,3 ± 58,7	222,6	1217,7	720,2	0,07
Пихтовая	33	684,5 ± 44,5	193,6	1180,5	687,1	0,00
Еловая	24	609,5 ± 60,4	119,6	1153,3	636,4	-0,04
Сосновая	24	533,7 ± 61,9	115,0	1216,1	665,6	-0,20

Таблица 24

Влияние гидролитической кислотности лесной подстилки на ее биологическую активность

Гидролитическая кислотность, мг-экв. / 100 г	Статистические показатели интенсивности выделения CO <sub>2</sub> из почвы, мг/кг×час					
	N	Mx	min	max	Me	As
< 20	28	656,3	115,0	1683,8	899,4	-0,27
20-40	86	748,0	65,5	1482,0	773,8	-0,03
40-60	20	620,8	150,4	1098,1	624,2	-0,01
> 60	11	315,5	119,6	667,5	393,6	-0,20

Таблица 25

**Влияние содержания органического вещества в лесной подстилке на ее биологическую активность**

Потери при прокаливании	Статистические показатели интенсивности выделения CO <sub>2</sub> из почвы, мг/кг×час						
	N	Mx	min	max	размах	Me	As
< 40 %	7	300,3	65,5	1096,5	1031,0	581,0	-0,48
41-60 %	7	402,1	119,6	1111,5	991,6	615,6	-0,35
60-80 %	51	590,3	193,6	1126,1	932,5	659,9	-0,11
> 80 %	80	809,2	228,3	1683,8	1455,5	956,1	-0,15

Расчеты показали, что зависимость интенсивности выделения CO<sub>2</sub> от содержания органического вещества и кислотности подстилки в каждой лесной формации сугубо специфична по тесноте связи между параметрами и значениям коэффициентов регрессии (табл. 26), однако вид уравнения остается в целом неизменным. Наиболее тесная связь между параметрами отмечается в ельниках. В хвойно-лиственных формациях и пихтарниках влияние же этих факторов статистически недостоверно, что может быть связано с различием полноты древостоев, хозяйственной деятельности в них, видового состава и обилия подпочевой растительности. Большое влияние на интенсивность выделения CO<sub>2</sub> могли оказать также сроки отбора образцов и текущие погодные условия, определяющие влажность подстилки и обилие в ней микроорганизмов. Без детальной оценки всех этих факторов показатель интенсивности выделения CO<sub>2</sub> из подстилок не несет полезной информации о состоянии лесных экосистем и скорости протекания в них биологического круговорота веществ.

Таблица 26

**Влияние состава древостоев на связь биологической активности подстилок с их параметрами**

Лесная формация	Значения уравнений регрессии $Y = a \times 10^{-2} \times X^b \times \exp(-c \times 10^{-3} \times Z)$				
	N	a	b	c	R <sup>2</sup>
Лиственная	28	4,405	2,305	11,53	0,521
Сосновая	21	5,908	2,171	10,67	0,692
Еловая	23	0,757	2,716	18,49	0,811

Изменение интенсивности выделения CO<sub>2</sub> из почв (Y, мг/кг×час) связано также с их кислотностью и содержанием органического вещества (рис. 22 и 23). В интервале значений pH от 3 до 6,5 эту зависимость описывает следующее уравнение регрессии:

$$Y = 30,45 \times X^{0,771} \times \{1 - \exp[-0,272 \times (Z - 3)]\}; R^2 = 0,569, \quad (27)$$

в котором X – содержание гумуса, %; Z – значение pH KCl-вытяжки. При значениях pH < 4 биологические процессы почвах протекают очень медленно при любом содержании в почвах гумуса, вклад которого в изменение интенсивности выделения CO<sub>2</sub> на глубине более 40 см становится уже статистически незначимым и ее все в большей степени определяет кислотность среды.

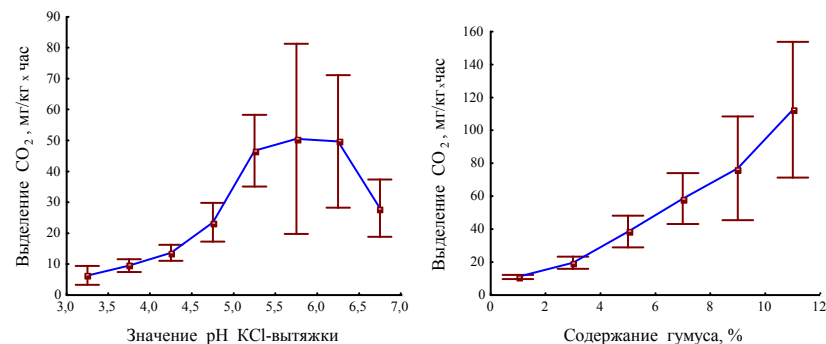


Рис. 22. Влияние кислотности почв и содержания в них гумуса на интенсивность выделения CO<sub>2</sub>

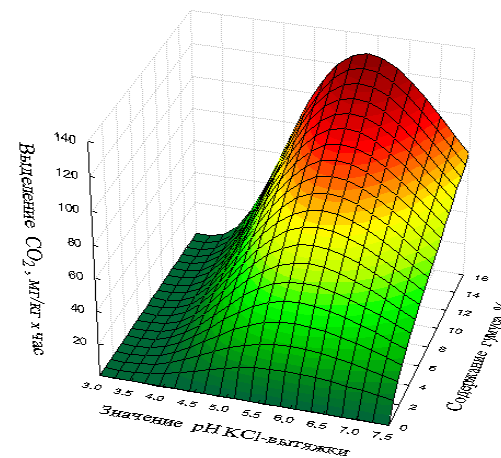


Рис. 23. Зависимость биологической активности почв от их кислотности и содержания гумуса

Установлено, что зависимость биологической активности почв от содержания в них гумуса и значений рН в каждой лесной формации сугубо специфична по тесноте связи и значениям коэффициентов регрессии (табл. 27). Наиболее тесная связь между параметрами отмечается в хвойно-лиственных лесах, а самая слабая – в пихтовых и мягколиственных, что может быть связано с различием полноты древостоев, хозяйственной деятельности в них, а также видового состава и обилия подпологовой растительности.

Таблица 27

**Влияние состава древостоев на связь биологической активности почв с их параметрами**

Лесная формация	Значения уравнений регрессии $Y = a \times X^b \times (Z - 3,2)^c$				
	N	a	b	c	R <sup>2</sup>
Лиственная	60	13,79	0,566	0,305	0,539
Хвойно-лиственная	42	14,03	0,531	0,767	0,788
Сосновая	46	11,40	0,724	0,507	0,645
Еловая	62	10,95	0,626	0,316	0,697
Пихтовая	116	3,56	1,005	1,158	0,532

Расчеты показали также, что на интенсивность выделения CO<sub>2</sub> (Y, мг/кг×час) статистически значимое влияние оказывает плотность сложения почв (ПС, г/см<sup>3</sup>), определяющая через их водный, воздушный и тепловой режим условия развития микроорганизмов. Эту зависимость аппроксимирует следующее уравнение регрессии:

$$Y = 61,5 \times (Z - 3)^{0,678} \times \exp[-1,773 \times (ПС - 0,4)]; R^2 = 0,608. \quad (28)$$

Большое влияние на биологическую активность почв оказывают также сроки отбора образцов и текущие погодные условия. Без детальной оценки всех этих факторов показатель интенсивности выделения CO<sub>2</sub> из почв, так же как из лесных подстилок, не несет полезной информации о скорости биологического круговорота веществ.

### Заключение

Леса Среднего Поволжья, как показал анализ исходного материала, произрастают на почвах, значения всех параметров которых изменяются в очень больших пределах. Для оценки лесорастительных свойств почв как сложных динамических многокомпонентных систем использовать весь существующий набор физических, химических и биологических показателей нецелесообразно, поскольку это приводит к неоправданно высоким затратам труда и усложнению последующего анализа, так как

информативность некоторых из них не вполне ясна и часто является избыточной. Для этой цели вполне достаточно, как было нами установлено, оценивать гранулометрический состав почв, рН КС1-вытяжки, содержание в них гумуса и обменных оснований, поскольку они детерминируют вариабельность остальных параметров. Не совсем оправдано также использование для этой цели существующей методики исследования почв, предусматривающей закладку разрезов и выделение генетических горизонтов. Отбор образцов для лабораторных анализов необходимо, по нашему глубокому убеждению, проводить специальным буром послойно с глубины 0-20, 30-50 и 60-80 см, что не только существенно сократит трудозатраты, но и всю последующую работу по оценке взаимосвязей между свойствами почв и производительностью древостоев, а также биологическому круговороту веществ в лесных экосистемах.

### Библиографический список

1. Атаманюк, А. К. К методике определения плотности почвы / А.К. Атаманюк // Почвоведение. – 1970. – № 4. – С. 120-124.
2. Ахромейко, А. И. Физиологическое обоснование создания устойчивых насаждений / А.И. Ахромейко. – Москва: Лесная промышленность, 1965. – 312 с.
3. Бажин, О. Н. Свойства бурых лесных почв и их влияние на рост культур сосны и ели / О.Н. Бажин // Рациональное лесопользование и защита лесов в Среднем Поволжье. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2003. – С. 145-150.
4. Вадюнина, А. Ф. Методы исследования физических свойств почв / А. Ф. Вадюнина, З. А. Корчагина. – Москва: Агропромиздат, 1986. – 416 с.
5. Винокуров, М. А., Гришин П. В. Лесные почвы Татарии / М. А. Винокуров, П. В. Гришин. – Казань: Изд-во Казанского университета, 1962. – 70 с.
6. Влияние растительности на лабильные характеристики лесных почв зандровых местностей заповедника «Брянский лес» / А.И. Казакова, А.А. Семиколенных, А.В. Горнов, М.В. Горнова, Н.В. Лукина // Вестник Московского университета. Сер. 17. Почвоведение. – 2018. – № 3. – С. 9-15.
7. Воробьева, Л. А. Химический анализ почв / Л.А. Воробьева. – Москва: МГУ, 1998. – 272 с.
8. Газизуллин, А. Х. Почвенно-экологические условия формирования лесов Среднего Поволжья. Т. 1: Почвы лесов Среднего Поволжья, их генезис, систематика и лесорастительные свойства / А.Х Газизуллин. – Казань: Школа, 2005. – 496 с.
9. Гилаев, А. М. Почвы и продуктивность пихтовых древостоев Среднего Поволжья на юго-западном пределе ареала пихты сибирской / А.М. Гилаев. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 1999. – 184 с.
10. Границы и причины вариабельности запасов гумуса в почвах лесов Среднего Поволжья / Ю.П. Демаков, А.В. Исаев, Н.Б. Нуреев, И.И. Митякова //

Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. – 2018. – № 3 (39). – С. 30-49.

11. Гринин, А. С. Математическое моделирование в экологии / А.С. Гринин, Н.А. Орехов, В.Н. Новиков. – Москва: ЮНИТИ-ДАНА, 2003. – 269 с.

12. Демаков, Ю. П. Влияние аэрального поступления веществ на их круговорот в лесных экосистемах / Ю.П. Демаков, А.В. Исаев // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. – 2015. – № 1. – С. 66-86.

13. Демаков, Ю. П. Вариабельность плотности сложения почв в лесных биогеоценозах Среднего Поволжья / Ю.П. Демаков, А.В. Исаев., Н.Б. Нуреев // Научные труды государственного природного заповедника «Большая Кокшага». Вып. 8. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2017. – С. 44-55.

14. Демаков, Ю. П. Почвы лесопарка «Дубовая роща»: строение, свойства, развитие / Ю.П. Демаков, А.В. Исаев, И.И. Митякова // Научные труды государственного природного заповедника «Большая Кокшага». Вып. 8. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2017. – С. 115-168.

15. Добровольская, Т. Г. Структура бактериальных сообществ почв / Т.Г. Добровольская. – Москва: Академкнига, 2002. – 283 с.

16. Дрейпер, Н. Прикладной регрессионный анализ / Н. Дрейпер, Г. Смит. – Москва: Статистика, 1973. – 392 с.

17. Звягинцев, Д. Г. Биология почв / Д.Г. Звягинцев, И.П. Бабьева, Г.М. Зенова. – Москва: Изд-во МГУ, 2005. – 445 с.

18. Иенни, Г. Факторы почвообразования / Г. Иенни. – Москва: Изд-во иностранной литературы, 1948. – 347 с.

19. Изменение параметров луговой аллювиальной почвы под влиянием лесной растительности / Ю.П. Демаков, А.В. Исаев, И.И. Митякова, В.И. Таланцев // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. – 2016. – № 3. – С. 59-76.

20. Исаев, А. В. Формирование почвенного и растительного покрова в поймах речных долин Марийского Полесья (на примере территории заповедника «Большая Кокшага») / А.В. Исаев. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2008. – 240 с.

21. Использование рентгенофлуоресцентного анализа для оценки содержания химических элементов в почве лесных биогеоценозов / Ю.П. Демаков, А.В. Исаев, Б.И. Гареев, Г.А. Баталин // Научные труды государственного природного заповедника «Большая Кокшага». Вып. 8. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2017. – С. 56-75.

22. Карпачевский, Л. О. Лес и лесные почвы / Л.О. Карпачевский. – Москва: Лесная промышленность, 1981. – 264 с.

23. Карпачевский, Л. О. Экологическое почвоведение / Л.О. Карпачевский. – Москва: ГЕОС, 2005. – 336 с.

24. Кислотность органогенных горизонтов арктических почв побережья Баренцева моря / Е.В. Шамрикова, С.В. Денева, О.С. Кубик и др. // Почвоведение. – 2017. – № 11. – С. 1325-1335.

25. Ковда, В. А. Основы учения о почвах. Кн. 1 / В.А. Ковда. – Москва: Наука, 1973. – 448 с.

26. Медведев, В. В. Плотность сложения почв: генетический, экологический и агрономический аспекты / В. В. Медведев, Т. Е. Лындина, Т. Н. Лактионова. – Харьков, 2004. – 244 с.

27. Миронов, Н. А. Зависимость между свойствами почв и составом смешанных насаждений / Н.А. Миронов // Научные доклады высшей школы. Биологические науки. – 1964. – № 1. – С. 199-204.

28. Орлов, Д. С. Химия почв / Д.С. Орлов. – Москва: МГУ, 1992. – 399 с.

29. Орлов, Д. С. Органическое вещество почв Российской Федерации / Д.С. Орлов, О.Н. Бирюкова, Н.И. Суханова. – Москва: Наука, 1996. – 256 с.

30. Пуряев, А. С. Защитные лесные насаждения Республики Татарстан и почвенно-экологические условия их произрастания / А.С. Пуряев, А.Х. Газизуллин. – Казань: КГАУ, 2011. – 176 с.

31. Роде, А. А. Почвоведение / А.А. Роде, В.Н. Смирнов. – Москва: Высшая школа, 1972. – 480 с.

32. Смирнов, В. Н. Почвы Марийской АССР, их генезис, эволюция и пути улучшения / В.Н. Смирнов. – Йошкар-Ола: Маркнигоиздат, 1968. – 532 с.

33. Смирнов, П. М. Агрохимия / П. М. Смирнов, Э.А. Муравин. – Москва: Колос, 1984. – 305 с.

34. Соколова, Т. А. Почвенная кислотность. Кислотно-основная буферность почв. Соединения алюминия в твердой фазе почвы и почвенном растворе / Т.А. Соколова, И.И. Толпешта, С. Я. Трофимов. – Тула: Гриф и К, 2012. – 124 с.

35. Тейт, Р. Органическое вещество почвы / Р. Тейт. – Москва: Мир, 1991. – 400 с.

36. Химическая и биологическая активность водных экстрактов лесных растений / Ю.П. Демаков, А.В. Исаев, В.И. Таланцев, О.В. Малюта // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. – 2015. – № 2. – С. 57-76.

37. Шакиров, К. Ш. Влияние различных лесных насаждений на почвообразовательный процесс / К.Ш. Шакиров. – Казань: Изд-во Казанского университета, 1961. – 64 с.

38. Шакиров, К. Ш. Почвы широколиственных лесов Предволжья / К.Ш. Шакиров, П.А. Арсланов. – Казань: Изд-во Казанского университета, 1982. – 176 с.

39. Шамрикова, Е. В. Кислотность почв таежной и тундровой зон Европейского Северо-Востока России / Е.В. Шамрикова. – Санкт-Петербург.: Наука, 2013. – 157 с.

40. Шамрикова, Е. В. Взаимосвязь между различными формами кислотности автоморфных суглинистых почв тундры и тайги / Е. В. Шамрикова, Т. А. Соколова // Почвоведение. – 2013. – № 5. – С. 556-569.

LIMITS AND REASONS FOR VARIABILITY  
OF MAJOR SOIL CHARACTERISTICS OF FOREST BIOGEOCENOSSES  
IN THE MIDDLE VOLGA REGION

Iu. P. Demakov, A. V. Isaev, N. B. Nureev, I. I. Mitiakova

**Keywords:** forest biogeocenoses; soils; granulometric composition; physical and chemical properties; statistical analysis; interconnections; mathematical models.

The limits of variability of major physical, chemical and biological soil characteristics in the Middle Volga forest biogeocenoses were assessed on the basis of the developed e-database, the determining factors were defined. The authors concluded that it was unviable to use all the existing set of indicators for the estimation of forest growth properties of soil, as it led to extremely high labour costs and complication of further analysis. For this purpose, it is sufficient to determine the granulometric composition of soil, pH KCl- extraction, the content of humus and exchange base in soils. When selecting the samples for the laboratory analysis with a special borer from a depth of 0-20, 30-50, and 60-80 cm, the existing techniques of soil research should also be enhanced. It will significantly reduce labor efforts and further activity in assessing the interconnection between the soil characteristics and forest stand productivity as well as the biocycle of matters in forest ecosystems.

УДК 631.445.122 (470.343)

ФИЗИЧЕСКИЕ И ХИМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ТОРФОВ  
ВЕРХОВЫХ БОЛОТ РЕСПУБЛИКИ МАРИЙ ЭЛ

Ю. П. Демаков, А. В. Исаев

*Приведены результаты анализа variability физических и химических параметров торфов верховых болот Республики Марий Эл. Показано, что особенно велика изменчивость зольности торфов, валового содержания в них марганца, свинца, калия и кальция, подвижных форм железа, кальция и фосфора, а также сульфатов. Менее же всего варьируют плотность торфов и их кислотность. Наиболее высоко валовое содержание в торфах железа, за которым следуют Mg, Ca и K. На порядок меньше содержится в них Mn, Zn, Pb, Cu, Cr, Ni и Sr. Замыкают ранговый ряд Co и Cd. Зольность торфа и содержание в нем многих химических элементов наиболее высоки в верхнем слое и четко убывают по мере увеличения его глубины, хотя характер снижения значений в различных экотопах неодинаков. Сделан вывод о том, что физические параметры и химический состав торфов несут важную информацию о динамике процессов, происходящих на болотах и в окружающей среде.*

**Ключевые слова:** Республика Марий Эл; верховые болота; торф; физические и химические параметры; variability; причинная обусловленность.

Введение

Торф является совокупным результатом деятельности болотных фитоценозов и абиотических факторов среды, представляя собой специфический сложный природный материал, состоящий из разнообразных органических и неорганических веществ [9, 13, 20]. Он обладает высокой поглотительной способностью по отношению ко многим химическим элементам, особенно металлам, которые, в зависимости от условий среды, могут либо мигрировать, либо же сохраняться в нем долгие годы [1, 2, 7, 8, 10, 12, 15, 18]. В силу этого торф является своеобразным хранилищем информации о процессах, происходящих как на самих болотах, так и в окружающей их среде [1, 5, 9, 18, 20, 22]. Изучение физических и химических параметров торфа позволяет не только оценить его потребительские свойства и лесорастительные условия болот, но и вскрыть закономерности развития болот [1, 2, 5, 14, 20], а также проследить за изменением степени загрязнения среды при ведении экологического мониторинга.

**Цель исследования** – оценить пределы и закономерности изменчивости параметров торфов верховых болот Республики Марий Эл и выявить взаимосвязи между ними.

### Материал и методы

Исходным материалом для работы служили архивные сведения о торфяных месторождениях Республики Марий Эл [21] и данные анализа зольного состава торфов нескольких верховых болот, проведенного в химической лаборатории Поволжского государственного технологического университета (химик-аналитик – старший лаборант С.М. Швецов). Образцы торфа высушивали до абсолютно сухого состояния при температуре 110°C, измельчали, взвешивали и сжигали в муфельной печи при температуре 450°C. Содержание элементов в золе определяли по стандартным методикам [16, 17] на атомно-абсорбционном спектрометре AAnalyst 400 в трехкратной повторности. Цифровой материал обрабатывали на ПК с использованием методов математической статистики [3, 6, 11] и соответствующего программного обеспечения.

### Результаты исследования и их обсуждение

Анализ исходных данных показал, что все параметры торфов верховых болот Республики Марий Эл варьируют в очень больших пределах (табл. 1). Особенно велика изменчивость зольности торфа и содержания в нем подвижных форм железа, кальция и фосфора, а также сульфатов. Менее же всего варьируют плотность торфа и его обменная кислотность. Каждому из параметров присущ свой сугубо специфический характер частотного распределения значений (рис. 1), который существенно отличается от нормального (гауссовского), отражая особенности генезиса и развития болот. О специфичности информативности каждого параметра свидетельствует также характер связи их между собой, которая в большинстве случаев очень слаба (табл. 2). Более или менее тесно связано между собой небольшое их число. Так, плотность торфа напрямую связана со степенью его разложения, зависящей от содержания в нем оксида кальция (рис. 2), определяющего его кислотность, а она, в свою очередь, подвижного железа. Чем выше степень разложения торфа, тем выше его плотность, зольность и кислотность, но ниже содержание обменного кальция, а также подвижных соединений фосфора и железа (табл. 3). Кислотность торфа во многом зависит также от деятельности фитоценозов, корневые выделения (экзометаболиты) которых, выполняющие те же функции, что и желудочный сок у животных, способствуют разложению органических соединений и минеральных веществ, переводя их в доступную для растений форму [19]. Чем труднее растениям извлекать из торфа питательные вещества, тем больше они выделяют экзометаболитов и тем кислее становится среда.

Таблица 1

Изменчивость параметров торфов верховых болот Республики Марий Эл

Параметр	Един. измер.	Значения статистических показателей (N = 111)				
		$M_x \pm m_x$	min	max	$S_x$	V, %
Плотность (объемная масса)	кг/м <sup>3</sup>	105,0 ± 2,10	50	158	21,7	20,6
Степень разложения	%	38,9 ± 1,46	5,0	85,0	19,9	51,0
Зольность	%	6,24 ± 0,40	0,70	27,9	5,23	83,8
Кислотность обменная	pH	3,31 ± 0,07	1,90	5,50	0,70	21,2
Содержание CaO	%	0,67 ± 0,07	0,12	1,98	0,51	76,6
Содержание азота	%	1,60 ± 0,08	0,33	2,84	0,64	39,8
Содержание сульфатов	%	0,17 ± 0,03	0,03	0,79	0,15	87,9
Содержание P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%	0,10 ± 0,01	0,02	0,32	0,07	67,6
Содержание F <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	0,34 ± 0,04	0,05	1,76	0,32	94,4

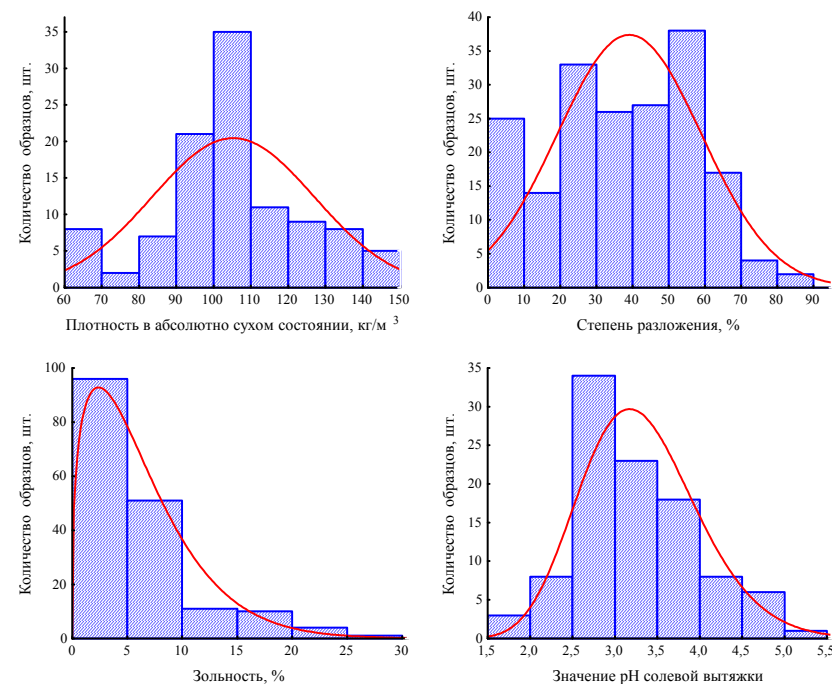


Рис. 1. Характер распределения параметров торфов верховых болот Республики Марий Эл



Таблица 2  
Связь между параметрами торфов верховых болот Республики Марий Эл

Параметр	Значение коэффициента корреляции между параметрами*						
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>
1. Плотность торфа	1,00						
2. Степень разложения	<b>0,67</b>	1,00					
3. Зольность торфа	0,06	0,26	1,00				
4. Значение pH	-0,31	-0,31	-0,12	1,00			
5. Содержание CaO	<b>-0,50</b>	<b>-0,53</b>	-0,17	<b>0,62</b>	1,00		
6. Содержание азота	0,05	0,09	0,27	0,24	-0,01	1,00	
7. Содержание P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-0,40	-0,35	0,27	0,30	0,07	0,31	1,00
8. Содержание F <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-0,34	-0,36	0,04	<b>0,66</b>	<b>0,53</b>	0,12	0,28

Примечание: \* жирным шрифтом выделены значения, достоверные при P = 0,95

Таблица 3  
Зависимость параметров торфа верховых болот от степени их разложения

Степень разложения торфа, %	Среднее значение основных параметров торфа						
	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Зольность, %	pH	Содержание подвижных соединений, %			
				CaO	Азот	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
8-28	77,3	4,38	3,47	1,02	1,57	0,14	0,47
29-49	109,5	4,22	3,25	0,63	1,54	0,09	0,32
50-70	119,9	5,58	3,11	0,42	1,87	0,08	0,28

Одной из причин вариабельности параметров торфов верховых болот может являться их абсолютный возраст, который косвенно отражает мощность торфяного пласта, изменяющаяся в очень больших пределах (табл. 4). Особенно велика вариабельность максимальной мощности торфяного пласта, достигающего иногда 17,8 м (Балкино болото, расположенное в Юринском районе). На основной доле верховых болот мощность торфяного пласта не превышает 2 м (рис. 3), что свидетельствует об их довольно молодом возрасте и прогрессирующем процессе заболачивания территории Марий Эл, начавшемся в основном около 12 тыс. лет назад после освобождения ее от очередного ледника. Образование торфа на небольшом числе болот, имеющих максимальную мощность торфяного пласта более 6 м, могло начаться еще до ледникового периода, однако это предположение требует проверки с помощью радиоуглеродного анализа. Связь между максимальным и средним значениями мощности торфяного пласта не строго функциональная, что связано со сложностями рельефа ложа болот, но все же довольно тесная, описываемая степенным уравнением регрессии:

$$Y = 0,78 \cdot X^{0,557}; R^2 = 0,693,$$

где Y – средняя мощность торфяного пласта на болоте, м; X – максимальная мощность торфяного пласта на этом же болоте, м.

Интегральную плотность распределения (частоту встречаемости) числа болот с различной мощностью торфяного пласта аппроксимирует следующее эмпирическое уравнение:

$$Y = 100 \cdot \{1 - \exp[-2,334 \cdot (X - 0,6)^{0,663}]\}^{3,442}; R^2 = 0,996,$$

в котором Y – интегральная плотность распределения числа болот, %; X – средняя мощность торфяного пласта, м.

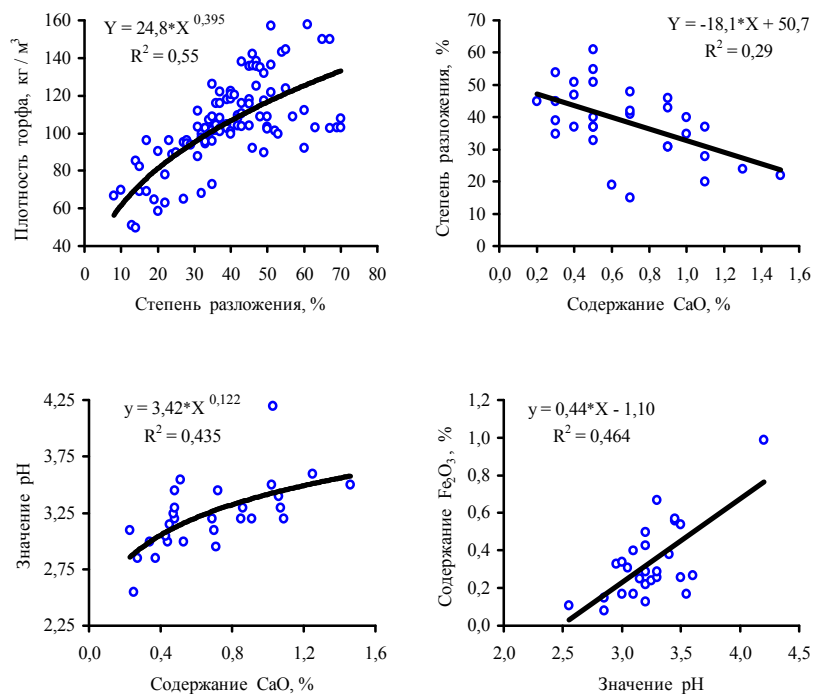


Рис. 2. Характер связи между основными параметрами торфов верховых болот Республики Марий Эл

Таблица 4

**Статистические показатели мощности торфяного пласта на верховых болотах Республики Марий Эл**

Значение параметра	Значения статистических показателей, м				
	$M_x \pm m_x$	min	max	$S_x$	V, %
Среднее	1,59±0,10	0,7	8,72	1,00	62,9
Максимальное	3,69±0,28	1,0	17,8	2,91	78,9

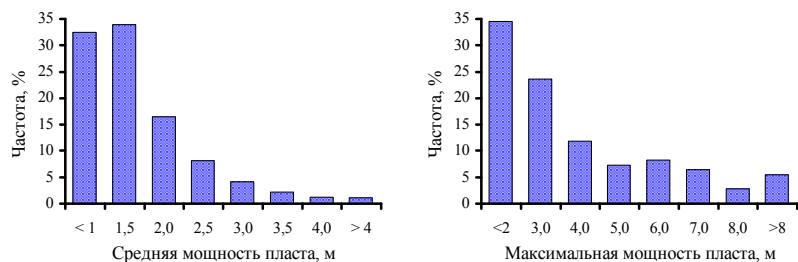


Рис. 3. Частотное распределение мощности торфяного пласта на верховых болотах Республики Марий Эл

По мере увеличения возраста болот и мощности торфяного пласта должно происходить, как можно предположить, возрастание средней плотности торфа и степени его разложения, фактически же наблюдается обратная картина (рис. 4). Причиной этого может являться либо влияние прежних интенсивных заготовок мха, нарушающих процесс образования торфа, либо взятие образцов только в верхнем слое, имеющем одинаковый возраст. Эти предположения также требуют проверки с помощью радиоуглеродной датировки торфа.

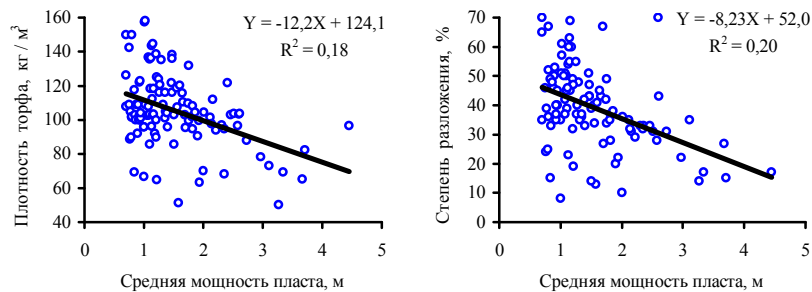


Рис. 4. Влияние мощности торфяного пласта верховых болот на его среднюю плотность и степень разложения

Важную информацию о процессах торфообразования несет химический состав торфов [1, 2, 20]. Химический анализ торфов небольшого ряда верховых болот Марийского Полесья показал, что из 13 оцененных элементов (полного химического состава торфов по техническим причинам установить нам пока не удалось) больше всего в них содержится железа, за которым следуют Mg, Ca и K (табл. 5). На порядок меньше содержится в них Mn, Zn, Pb, Cu, Cr, Ni и Sr. Замыкают ранговый ряд Co и Cd. Содержание золы и всех зольных элементов, как свидетельствуют приведенные данные, довольно изменчиво. Наиболее значительно варьирует содержание в торфах Mn, Pb, K и Ca, а менее же всего изменяется в них содержание Co и Sr. Эти различия связаны с особенностями химизма болотных вод и подстилающих грунтов, а также структуры фитоценозов, во многом определяющих свойства формируемой ими торфяной залежи [1, 2]. Не остается постоянным и соотношение между собой содержания зольных элементов в торфе (табл. 6). Особенно сильно варьирует соотношение между железом и кальцием, кальцием и калием, которое может являться одним из показателей для классификации торфов и болот.

Таблица 5

**Содержание золы и зольных элементов в торфе верховых болот Марийского Полесья**

Элемент	Параметры изменчивости содержания элементов (N = 56)						
	$M_x$	min	max	$S_x$	$m_x$	V, %	p, %
Зола	3,76	1,11	15,11	2,83	0,38	75,5	10,1
Fe	746,5	231,8	2713,2	493,3	65,9	66,1	8,8
Mg	486,9	101,7	890,1	294,9	61,5	60,6	12,6
Ca	360,4	34,9	1503,3	295,5	39,5	82,0	11,0
K	128,7	23,7	725,0	116,6	15,6	90,6	12,1
Mn	5,35	1,27	28,90	5,64	0,75	105,4	14,1
Zn	4,68	1,62	13,43	2,68	0,36	57,3	7,7
Pb	4,06	0,53	30,07	5,38	0,72	132,6	17,7
Cu	2,64	0,76	8,14	1,35	0,18	51,1	6,8
Cr	2,42	0,24	4,09	1,20	0,21	49,4	8,6
Ni	1,36	0,46	3,65	0,66	0,09	48,2	6,4
Sr	1,30	0,50	2,80	0,51	0,09	39,1	6,8
Co	0,39	0,13	0,82	0,16	0,02	40,7	5,4
Cd	0,15	0,03	1,03	0,14	0,02	95,0	12,7

**Примечание:** здесь и далее содержание золы выражено в %, а содержание остальных элементов - в мг/кг абсолютно сухой массы торфа

Таблица 6

**Параметры изменчивости соотношения содержания различных зольных элементов в торфе верховых болот Марийского Полесья**

Соотношение элементов	Параметры изменчивости соотношения между содержанием элементов						
	M <sub>x</sub>	min	max	S <sub>x</sub>	m <sub>x</sub>	V, %	p, %
Fe / Ca	4,23	0,58	32,49	5,44	0,73	128,7	17,2
Fe / K	7,56	0,86	15,99	3,56	0,48	47,2	6,3
Ca / K	4,58	0,11	16,92	4,25	0,57	92,7	12,4
Ca / Mn	78,9	10,0	172,3	40,6	5,43	51,4	6,9
Ca / Zn	95,1	3,43	248,2	69,7	9,31	73,3	9,8

Вариабельность содержания зольных элементов может быть обусловлена действием как абиотических, так и биоценологических факторов, в результате чего даже в пределах одного болотного массива состав торфа часто бывает совершенно разным (табл. 7). Так, зольность торфа наиболее велика в климаксом сосняке сфагновом на болоте «Илюшкино», которое является также лидером по содержанию Mg, Zn, Cu, Ni и Co. По содержанию Fe, Ca, Mn, Cr и Cd лидирует торф постпирогенного соснового молодняка на этом же болоте, а по содержанию Pb – климаксом сосняка на болоте «Изи куп», расположенного в непосредственной близости от пос. Старожильск. Наиболее низко содержание почти всех зольных элементов, кроме Ca, K, Mn и Ni, в торфе соснового молодняка, произрастающего на болоте «Илюшкино». K и Ni меньше всего в климаксом сосняке на болоте «Безымянное», а Mg, Ca и Mn – на болоте «Изи куп». Даже в пределах одного экотопа отмечается значительная вариабельность химического состава торфяного очеса, что указывает на необходимость взятия при исследованиях большого числа образцов. Значительно варьирует между экотопами и соотношение между различными зольными элементами (табл. 8). Степень сходства экотопов по содержанию в верхнем слое торфа всего спектра оцененных зольных элементов, как показали расчеты, в основном довольно слабая (табл. 9). Особенно сильно отличается между собой зольный состав торфа в экотопах № 1 (климаксный сосняк на болоте «Илюшкино») и № 3 (молодняк на вырубке здесь же), № 1 и № 4, № 2 и № 3, № 2 и № 4, № 3 и № 6. Наиболее же схож зольный состав торфа экотопов № 3 и № 4, № 4 и № 5.

Состав торфов изменяется не только между экотопами, но и варьирует по градиенту глубины взятия образцов (табл. 10). Так, зольность торфа, а также концентрация в нем многих элементов наиболее высоки в верхних слоях и четко убывают с глубиной, хотя характер снижения значений в различных экотопах неодинаков.

Таблица 7

**Содержание золы и зольных элементов в слое торфяного очеса 10-30 см на верховых болотах Марийского Полесья**

Элемент	Среднее содержание элементов в торфе экотопов					
	Илюшкино			Безымянное – 45 км		Изи куп, климакс
	климакс	гарь 1972 г.	вырубка	климакс	гарь 1972 г.	
Зола	8,57	6,23	2,69	2,43	2,71	4,38
Fe	1183,1	1785,4	424,2	530,0	599,6	1124,1
Ca	179,2	1034,4	453,5	425,1	436,6	90,7
K	312,2	206,3	83,8	60,0	252,9	160,2
Mn	3,95	18,29	4,55	4,09	7,68	2,94
Zn	10,28	6,77	2,88	3,56	3,35	9,25
Pb	9,23	7,24	2,22	2,84	3,09	13,34
Cu	4,75	3,48	1,23	1,86	2,45	3,02
Cr	-	3,44	0,82	3,00	2,99	-
Ni	2,82	1,93	1,04	0,98	1,06	1,27
Sr	-	1,35	1,07	1,85	1,44	-
Co	0,64	0,45	0,21	0,55	0,61	0,46
Cd	0,22	0,34	0,08	0,18	0,28	0,13

Таблица 8

**Соотношение между содержанием зольных элементов в слое торфяного очеса 10-30 см на верховых болотах Марийского Полесья**

Соотношение элементов	Среднее соотношение между содержанием элементов в торфе экотопов					
	Илюшкино			Безымянное – 45 км		Изи куп, климакс
	климакс	гарь 1972 г.	вырубка	климакс	гарь 1972 г.	
Fe / Ca	6,41	1,75	0,93	1,29	1,39	12,69
Fe / K	0,60	5,35	6,08	7,47	3,73	0,57
Ca / K	3,72	9,32	5,86	9,49	4,81	7,20
Ca / Mn	45,6	65,9	99,8	104,6	58,5	31,2
Ca / Zn	18,4	157,3	158,7	129,2	135,0	9,8

Таблица 9

**Степень сходства между экотопами по содержанию в торфяном очесе зольных элементов, вычисленная на основе матрицы нормированных данных**

Болото	Экотоп	Значения коэффициента Жаккара между экотопами				
		№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
Илюшкино	1. Климакс	1,00				
	2. Гарь 1972 г.	0,57	1,00			
	3. Вырубка	0,34	0,36	1,00		
45 км	4. Климакс	0,44	0,42	0,73	1,00	
	5. Гарь 1972 г.	0,52	0,54	0,59	0,73	1,00
Изи куп	6. Климакс	0,65	0,52	0,41	0,49	0,50

Таблица 10

Изменение содержания элементов в торфе верховых болот по градиенту глубины его залегания

Глубина, см	Среднее содержание золы (%) и зольных элементов (мг/кг)											
	Зола	Fe	Mg	K	Ca	Zn	Pb	Cu	Mn	Ni	Co	Cd
Болото «Илюшкино», климатический сосновый биогеоценоз												
10-20	9,92	1586,9	890,1	398,7	205,1	13,43	12,31	6,25	4,63	3,65	0,816	0,285
20-30	7,21	779,3	806,3	225,7	153,3	7,13	6,15	3,26	3,27	1,98	0,455	0,146
30-40	1,95	969,6	815,8	90,1	368,9	5,63	4,16	3,40	3,75	2,43	0,473	0,210
40-50	3,50	878,0	700,3	120,9	177,4	6,71	1,69	3,80	3,34	1,69	0,395	0,113
50-60	1,67	594,9	671,1	103,4	284,9	3,83	5,46	3,46	2,37	0,96	0,287	0,072
60-70	2,91	452,5	567,7	97,4	97,0	4,62	1,68	2,02	1,97	1,58	0,299	0,105
70-80	2,18	463,9	597,1	74,5	165,9	4,68	1,84	2,95	1,70	2,66	0,278	0,082
80-90	2,22	467,6	765,6	69,5	198,9	3,17	0,89	3,42	1,27	1,14	0,252	0,065
90-100	2,36	461,1	777,6	80,3	174,2	5,20	1,79	3,23	1,29	1,18	0,306	0,040
100-110	2,90	461,0	704,4	66,2	115,8	4,79	1,84	2,37	1,35	1,19	0,271	0,033
110-120	2,37	537,8	694,2	84,8	254,6	5,40	2,74	2,80	1,48	1,86	0,263	0,074
120-130	2,38	549,4	682,8	73,6	197,3	3,99	0,95	2,40	1,80	1,56	0,238	0,033
130-140	3,24	558,7	641,4	62,0	181,5	2,62	0,99	2,28	1,63	0,71	0,280	0,048
140-150	3,70	508,4	645,6	68,4	248,1	3,24	0,53	2,88	1,72	0,46	0,228	0,033
Болото «Изи куп», климатический сосновый биогеоценоз												
10-20	5,65	1495,1	163,9	278,0	46,0	13,41	30,07	4,30	3,63	1,99	0,566	0,195
20-30	5,28	1134,5	165,1	154,5	76,0	8,90	27,39	3,35	2,97	1,48	0,500	0,130
30-40	4,63	1131,7	149,8	132,4	87,4	9,94	8,77	2,53	3,12	1,22	0,440	0,112
40-50	3,23	1106,2	140,2	193,7	108,6	8,91	3,86	3,17	2,73	1,22	0,449	0,136
50-60	3,31	940,2	154,3	167,8	95,7	9,62	3,01	3,45	2,65	1,21	0,418	0,088
60-70	2,66	899,3	130,7	73,9	111,6	3,99	1,29	2,33	2,02	0,86	0,360	0,064
70-80	2,14	769,0	129,0	69,8	84,4	3,53	1,62	5,03	1,88	2,70	0,376	0,072
80-90	1,95	636,1	104,1	172,6	64,1	2,84	1,46	5,54	1,68	2,58	0,350	0,080
90-100	1,90	497,3	101,7	311,2	34,9	5,09	0,99	4,08	1,76	2,01	0,366	0,067

Особенно резко снижается, как следует из приведенных данных, концентрация в торфе свинца: на болоте «Илюшкино» в верхнем горизонте она в 23 раза больше, чем в самом нижнем, а на болоте «Изи куп», примыкающем к п. Старожильск, – даже в 30 раз. Концентрация Ca, K, Cu и Ni в торфе изменяется по градиенту глубины его залегания иначе. Так, на болоте «Илюшкино» повышенная концентрация кальция отмечается на глубине 30-40, 50-60 и 110-120 см, а никеля – на глубине 70-80 и 110-120 см. На болоте «Изи куп» концентрация калия в торфе наиболее высока на глубине 10-20, 40-50 и 90-100 см, кальция – 40-70 см, а никеля – 10-20 и 70-100 см. Изменения содержания элементов с глубиной происходят не плавно и монотонно, а сопровождаются определенными скачками значений в некоторых слоях, что связано, на наш взгляд, с пожарами, погодными аномалиями, изменениями структуры и производительности фитоценозов. Все зольные элементы объединяются в три кластера, отличающихся между собой по характеру динамики содержания в торфе с его глубиной (рис. 5).

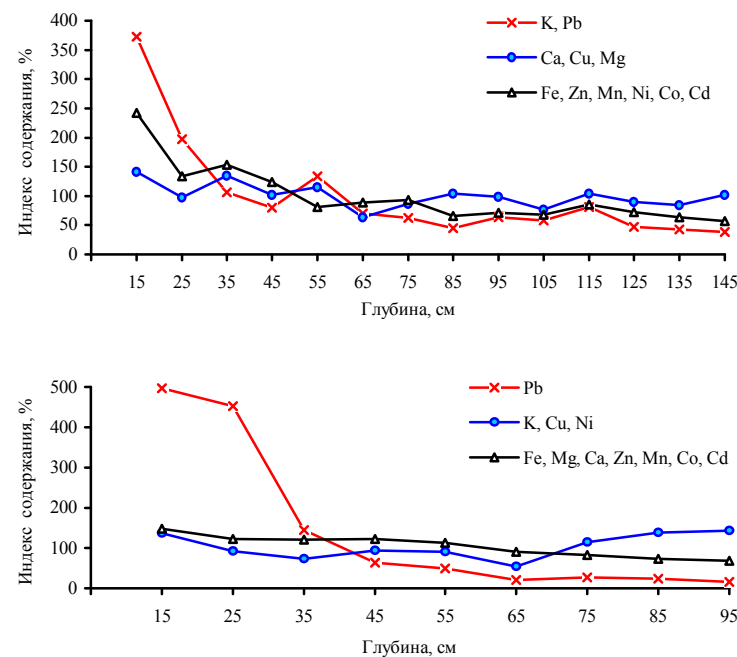


Рис. 5. Характер изменения с глубиной содержания зольных элементов разных кластеров на верховых болотах «Илюшкино» (вверху) и «Изи куп»

Проведенные нами расчеты показали, что математической моделью закономерности изменения содержания зольных элементов по профилю торфяного пласта является широко известная обратная экспоненциальная функция Ципфа-Парето  $Y = (K - m) \times \exp(-a \times X) + m$ , отражающая процессы рассеивания, распада и разложения [4]. Все параметры этой функции, значения которых приведены в табл. 11, имеют применительно к решаемой нами задаче конкретный биофизический смысл:  $K$  – содержание элемента в самом верхнем слое торфа,  $m$  – нижняя асимптота (уровень стабилизации содержания элемента),  $a$  – скорость изменения величины содержания в торфе анализируемого элемента по градиенту глубины его залегания.

Таблица 11

**Уравнения зависимости изменения содержания в торфе зольных элементов по градиенту глубины его залегания на верховых болотах Марий Эл**

Элемент	Уравнение зависимости параметра от глубины залегания торфа (X, м)	R <sup>2</sup>
Болото «Илюшкино», сосняк сфагновый в стадии климакса		
Зола	$Y = 12,13 \cdot \exp[-9,115 \cdot (X - 0,1)] + 2,56$	0,858
Fe	$Y = 1350,0 \cdot \exp[-5,877 \cdot (X - 0,1)] + 500,4$	0,859
Mg	$Y = 305,2 \cdot \exp[-5,800 \cdot (X - 0,1)] + 674,4$	0,540
K	$Y = 504,5 \cdot \exp[-8,827 \cdot (X - 0,1)] + 75,9$	0,967
Ca	Тренд отсутствует	
Zn	$Y = 14,18 \cdot \exp[-9,097 \cdot (X - 0,1)] + 4,25$	0,868
Pb	$Y = 14,88 \cdot \exp[-7,052 \cdot (X - 0,1)] + 1,60$	0,875
Cu	$Y = 7,70 \cdot \exp[-16,73 \cdot (X - 0,1)] + 2,89$	0,754
Mn	$Y = 3,82 \cdot \exp[-2,870 \cdot (X - 0,1)] + 1,32$	0,882
Ni	$Y = 2,82 \cdot \exp[-5,252 \cdot (X - 0,1)] + 1,27$	0,566
Co	$Y = 0,72 \cdot \exp[-6,407 \cdot (X - 0,1)] + 0,27$	0,937
Cd	$Y = 0,269 \cdot \exp[-3,291 \cdot (X - 0,1)] + 0,038$	0,868
Болото «Изи куп», сосняк сфагновый в стадии климакса		
Зола	$Y = 4,00 \cdot \exp[-4,914 \cdot (X - 0,1)^{1,794}] + 1,80$	0,979
Fe	$Y = 1398,0 \cdot \exp[-1,269 \cdot (X - 0,1)] + 125,0$	0,929
Mg	$Y = 149,1 \cdot \exp[-0,740 \cdot (X - 0,1)^{1,875}] + 15,0$	0,905
K	$Y = 267,9 \cdot \exp[-1,782 \cdot (X - 0,1)]$	0,650
Ca	Тренд отсутствует	
Zn	$Y = 13,92 \cdot \exp[-1,599 \cdot (X - 0,1)]$	0,779
Pb	$Y = 42,62 \cdot \exp[-5,209 \cdot (X - 0,1)]$	0,917
Cu	Тренд отсутствует	
Mn	$Y = 3,75 \cdot \exp[-0,980 \cdot (X - 0,1)]$	0,937
Ni	Тренд отсутствует	
Co	$Y = 0,265 \cdot \exp[-3,080 \cdot (X - 0,1)] + 0,336$	0,952
Cd	$Y = 0,150 \cdot \exp[-3,933 \cdot (X - 0,1)] + 0,064$	0,867

**Примечание:** содержание золы выражено в %, а всех зольных элементов – в мг/кг.

Значения всех параметров полученных математических моделей, как свидетельствуют приведенные данные, различаются не только между зольными элементами, но и между болотами для одного и того же элемента. Так, параметр  $a$ , отражающий скорость изменения величины содержания в торфе анализируемого элемента по градиенту глубины его залегания, изменяется от 0,740 у магния на болоте «Изи куп» до 16,73 у меди на болоте «Илюшкино». Коэффициент детерминации  $R^2$  математической модели, отражающий величину объясненной ею дисперсии и степень флуктуации значений анализируемого показателя относительно общего тренда, изменяется в пределах от 0,540 до 0,967. Наибольшее значение этого показателя отмечается на болоте «Илюшкино» у моделей по калию ( $R^2 = 0,967$ ) и кобальту ( $R^2 = 0,937$ ), а на болоте «Изи куп» у моделей по кобальту ( $R^2 = 0,952$ ) и марганцу ( $R^2 = 0,937$ ). Наименьшее же значение коэффициента детерминации, указывающее на значительную флуктуацию показателей, имеют на болоте «Илюшкино» модели по никелю ( $R^2 = 0,566$ ) и магнию ( $R^2 = 0,540$ ), а на болоте «Изи куп» – по цинку ( $R^2 = 0,779$ ) и калию ( $R^2 = 0,650$ ). Убывание концентрации зольных элементов с глубиной связано, на наш взгляд, с постепенным разрушением растительных клеток в торфе, их переходом в более подвижные формы и вымыванием грунтовыми водами. Изменение содержания в торфе кальция по градиенту глубины не имеет четко выраженного тренда на обоих болотах, что объясняется слабым разрушением и малой подвижностью этого элемента в окружающей среде. В торфяном пласте на болоте «Изи куп» практически отсутствует также тренд изменения содержания меди и никеля.

Графики трендов изменения содержания зольных элементов по профилю торфяного пласта разных болот (рис. 6) позволяют наглядно отобразить информацию о ходе процесса и лучше ее проанализировать. Так, к примеру, по зольности торфа и содержанию в нем свинца различия отмечаются только в самом верхнем его слое, по железу, калию и цинку – более всего на глубине 40–60 см, а по магнию – в пределах всего пласта. Еще более информативны графики динамики отклонений содержания элементов в торфе от их трендов (рис. 7), показывающие, что флуктуации значений показателей гораздо сильнее выражены на болоте «Илюшкино». Объяснение этому факту мы видим в различиях скорости продукционного процесса в биогеоценозах, о чем свидетельствует класс бонитета и полноты древостоев (на болоте «Илюшкино» они выше, чем на болоте «Изи куп»), а также мощность торфяного пласта, которая на первом из них выше в четыре раза, чем на втором. Прослойки с пониженным или повышенным содержанием элементов относи-

тельно их тренда (модельного значения) отмечаются в экотопах на различной глубине. Так, к примеру, пониженную зольность торфа на болоте «Илюшкино» имеют слои на глубине 30-40 и 50-60 см, а на «Изи куп» – на 40-50 см. Различия отмечаются и по другим элементам.

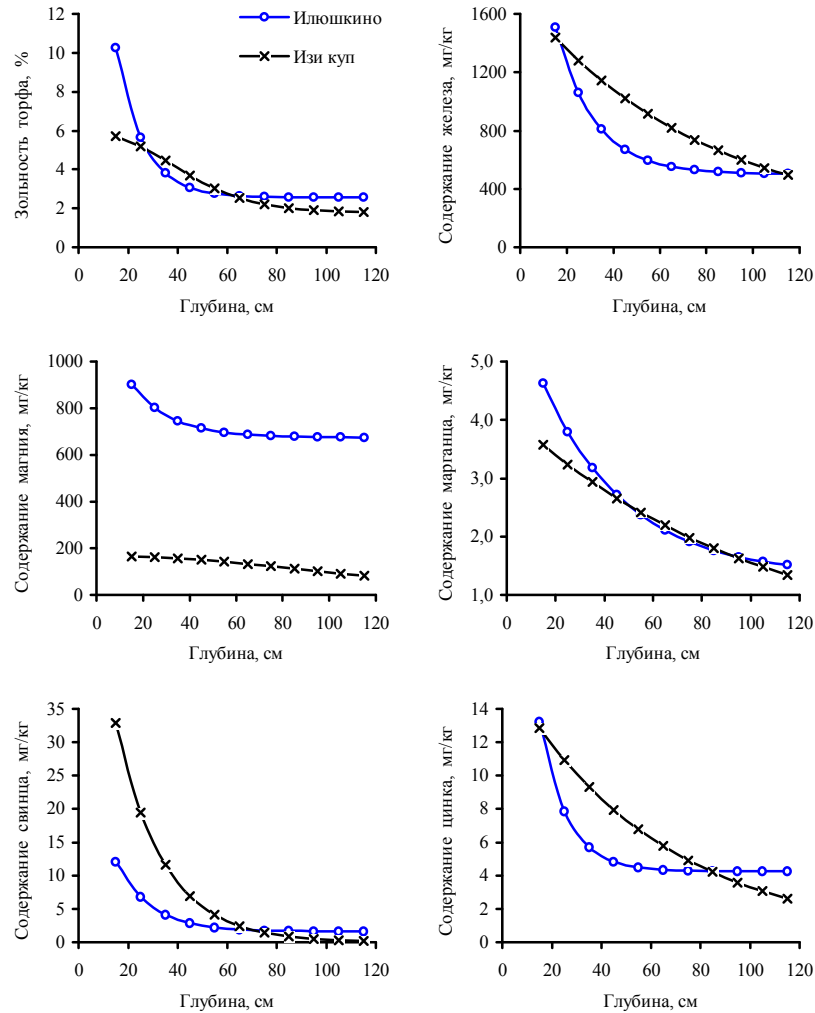


Рис. 6. Тренды изменения содержания золы и зольных элементов в пределах профиля торфяного пласта болот Марийского Полесья

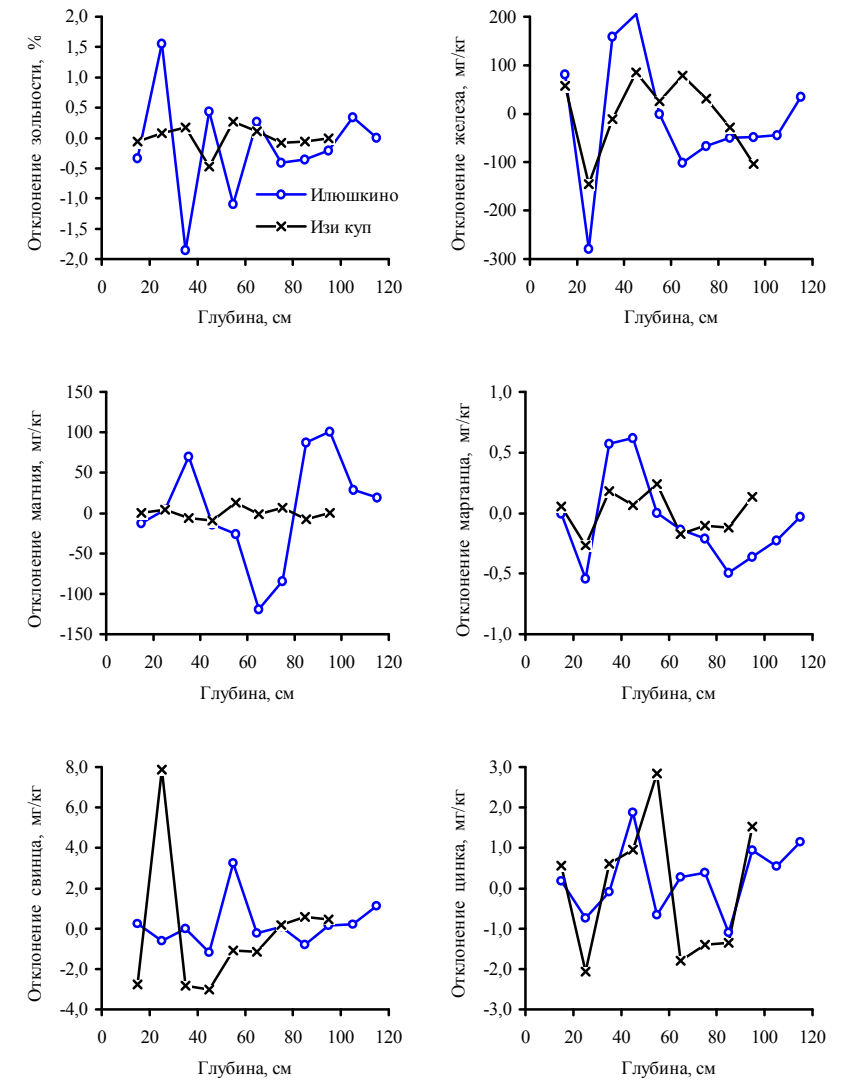


Рис. 7. Отклонения содержания золы и зольных элементов от тренда по профилю глубины торфяного пласта на болотах Марийского Полесья

Параметры и состав торфов, которые являются продуктами деятельности фитоценозов, во многом зависят от их структуры. Исследования показали, что средняя зольность мохового покрова несколько ниже, чем торфа, а содержание элементов в нем иное (табл. 12). Более всего содержится в моховом покрове калия и кальция, концентрация которых, по сравнению с торфом, выше в 18,3 и 5,5 раза соответственно. Железо же занимает в ранговом ряду лишь третье место. Ранговое расположение следующих за ним элементов точно такое же, как в торфе, хотя концентрация некоторых из них более высокая. Особенно велика концентрация в моховом покрове марганца (в 14 раз) и цинка (в 4,1 раза). Причиной вариабельности концентрации зольных элементов в моховом покрове являются биохимические особенности болот, а также таксономическая принадлежность мхов, которых на объектах исследований произрастает несколько видов. Так, к примеру, в кукушкином льне концентрация калия и кальция выше, а железа ниже, чем в сфагновых мхах. Пределы вариабельности содержания всех зольных элементов довольно велики, особенно у марганца и хрома.

Таблица 12

**Химический состав мохового покрова верховых болот Марийского Полесья**

Элемент	Параметры изменчивости содержания элементов* (N = 32)						
	M <sub>x</sub>	min	max	S <sub>x</sub>	m <sub>x</sub>	V, %	p, %
Зола	2,90	1,46	11,40	2,03	0,36	69,8	12,3
K	2360,3	200,6	7636,9	2218,0	392,1	94,0	16,6
Ca	1985,4	167,5	9085,9	1770,0	312,9	89,1	15,8
Fe	616,4	190,1	1828,4	421,8	74,6	68,4	12,1
Mn	75,1	4,7	366,9	106,5	18,8	141,7	25,1
Zn	19,4	5,9	55,3	11,0	1,9	56,6	10,0
Pb	3,53	0,28	11,05	3,24	0,57	91,8	16,2
Cu	3,41	1,44	8,13	1,70	0,30	49,8	8,8
Sr	3,23	0,93	6,02	1,58	0,30	48,8	9,4
Cr	2,76	0,02	16,20	3,33	0,61	120,7	22,0
Ni	1,68	0,30	7,63	1,57	0,28	93,7	16,6
Co	0,59	0,35	1,45	0,27	0,05	45,7	8,1
Cd	0,29	0,08	0,70	0,13	0,02	43,5	7,7

**Примечание:** содержание золы выражено в %, а остальных элементов - в мг/кг абсолютно сухой массы мха.

Средняя зольность надземных органов болотных кустарничков еще ниже, чем мхов, хотя пределы вариабельности показателя здесь также

велики (табл. 13). Кустарнички, по сравнению со мхами, обладают более высокой избирательностью к накоплению зольных элементов. Более всего содержится в них кальция, который является основой оболочки растительных клеток: средняя концентрация данного элемента примерно в 10 раз выше, чем во мхах. Второе место в ранговом ряду концентрации элементов занимает калий, среднее содержание которого в кустарничках примерно такое же, как и во мхах. Третью позицию в ранговом ряду занимает марганец, средняя концентрация которого в кустарничках примерно в 10 раз выше, чем во мхах. На порядок меньше содержится в кустарничках железа, концентрация которого в них 10,6-37,8 раза ниже, чем во мхах и верхнем слое торфа. Меньше содержится в кустарничках также свинца и никеля (в 4,6-5,1 раза). Содержание же цинка, меди и кобальта в кустарничках примерно такое же, как в моховом покрове, а стронция, хрома и кадмия в 1,4-2,5 раза выше.

Таблица 13

**Химический состав кустарничков верховых болот Марийского Полесья**

Элемент	Параметры изменчивости содержания элементов (N = 15)						
	M <sub>x</sub>	min	max	S <sub>x</sub>	m <sub>x</sub>	V, %	p, %
Зола	2,55	1,11	3,69	0,96	0,25	37,8	9,8
Ca	9293,9	1683,3	19893,9	5784,0	1493,4	62,2	16,1
K	2685,6	1581,7	3953,5	727,5	187,8	27,1	7,0
Mn	784,3	333,4	1236,0	232,4	60,0	29,6	7,7
Fe	39,4	16,3	95,3	20,2	5,2	51,3	13,2
Zn	22,4	15,4	33,5	4,9	1,3	21,8	5,6
Sr	6,26	1,43	11,13	3,14	0,81	50,2	13,0
Cr	3,45	0,91	7,76	2,23	0,57	64,5	16,7
Cu	5,04	3,43	8,57	1,56	0,40	31,0	8,0
Pb	0,428	0,061	1,331	0,389	0,100	90,7	23,4
Co	0,381	0,160	0,702	0,154	0,040	40,6	10,5
Cd	0,377	0,161	0,923	0,205	0,053	54,3	14,0
Ni	0,467	0,040	1,386	0,326	0,084	69,8	18,0

Содержание золы и зольных элементов в разных видах растений и их органов неодинаково (табл. 14). Так, зольность листьев в 1,3-2,6 раза выше, чем стеблей. Содержание кальция наиболее велико у брусники, а меньше всего содержится его в стеблях мирта болотного. Калия больше всего содержится в листьях растений (в 1,3-1,6 раза выше, чем в стеблях). Лидером по концентрации этого элемента в стеблях является черника, а аутсайдером – багульник болотный. По содержанию марганца лидирует

брусника, а меньше всего его в стеблях мирта болотного. Железа больше всего в листьях багульника и стеблях брусники, которая лидирует также по содержанию цинка, меди, кадмия и никеля. Свинец содержится больше всего в листьях мирта болотного и брусники. Причиной вариabельности содержания зольных элементов в кустарничках является не только их видовая принадлежность, но характер условий произрастания.

Таблица 14

**Химический состав кустарничков верховых болот Марийского Полесья**

Элемент	Среднее содержание элементов в растениях и их органах							
	Мирт болотный		Багульник		Брусника		Черника	
	листья	стебли	листья	стебли	листья	стебли	листья	стебли
Зола	3,04	1,18	3,00	1,99	3,40	2,62	3,62	
Ca	10876,4	1904,4	8739,6	8519,1	14211,0	12365,9	13394,4	
K	3105,2	1929,6	3161,2	1917,1	3236,1	2411,9	3727,3	
Mn	777,3	584,6	823,8	867,7	940,0	754,9	905,9	
Fe	36,7	36,9	58,3	30,7	31,3	56,7	16,3	
Zn	21,6	20,1	24,6	17,5	21,1	30,8	22,8	
Sr	7,95	1,76	6,45	5,36	8,86	7,22	9,01	
Cr	6,04	1,27	4,22	2,11	6,15	1,78	1,35	
Cu	4,37	4,80	4,21	3,74	5,11	8,52	4,93	
Pb	0,762	0,198	0,286	0,100	0,739	0,428	0,444	
Co	0,459	0,171	0,506	0,273	0,553	0,375	0,412	
Cd	0,420	0,275	0,326	0,173	0,532	0,628	0,250	
Ni	0,330	0,551	0,351	0,363	0,889	0,557	0,040	

Индикатором состава торфов могут являться, в определенной мере, грунтовые воды [1, 2], для которых характерно высокое содержание органических веществ (главным образом фульвокислот), комплексные соединения которых ответственны за миграцию многих зольных элементов [23]. Анализ исходного материала показал, что наиболее распространенным химическим элементом в болотных водах Марийского Полесья, крайне необходимым для питания растений, является калий, концентрация которого изменяется от 0,21 до 118,7 мг/дм<sup>3</sup> (табл. 15), что значительно превышает его содержание в водах Западно-Сибирских болот [1, 2]. Довольно много в грунтовых водах кальция, концентрация которого превышает уровень олиготрофных болот других регионов [23], а также различных соединений азота, магния и железа (концентрация последних выходит за зону оптимума существования растений и оказы-

вает на них негативное воздействие). Не вполне благоприятна для растений существующая концентрация марганца, хлоридов и сульфатов, а концентрация же фосфатов, наоборот, недостаточна для их нормального роста.

Таблица 15

**Химические показатели почвенных вод на верховых болотах Марийского Полесья**

Показатель	Статистика показателей			
	M <sub>x</sub> ± m <sub>x</sub>	min	max	V, %
Значение pH	3,78 ± 0,03	3,35	4,48	6,3
Азот аммонийный, мг/дм <sup>3</sup>	6,5 ± 0,57	0,10	15,70	62,1
Нитраты, мг/дм <sup>3</sup>	17,5 ± 1,49	0,29	37,80	60,3
Нитриты, мг/дм <sup>3</sup>	0,04 ± 0,005	0,01	0,137	61,2
Хлориды, мг/дм <sup>3</sup>	23,7 ± 3,6	1,20	88,6	107,8
Фосфаты, мг/дм <sup>3</sup>	0,20 ± 0,03	0,00	0,83	95,7
Сульфаты, мг/дм <sup>3</sup>	19,0 ± 2,58	0,45	52,0	74,3
Кальций, мг/дм <sup>3</sup>	23,0 ± 1,20	10,1	39,3	36,8
Калий, мг/дм <sup>3</sup>	38,1 ± 4,30	0,21	118,7	79,8
Магний, мг/дм <sup>3</sup>	10,1 ± 1,23	1,22	35,6	86,0
Железо, мг/дм <sup>3</sup>	8,2 ± 0,36	2,81	14,6	31,3
Марганец, мг/дм <sup>3</sup>	0,25 ± 0,03	0,001	0,96	88,1
Сухой остаток, мг/дм <sup>3</sup>	59,9 ± 4,6	21,0	158,0	54,5
Гидрокарбонаты, мг-экв./дм <sup>3</sup>	1,94 ± 0,16	0,75	5,12	59,5
Жесткость, мг-экв./дм <sup>3</sup>	1,98 ± 0,12	1,00	4,50	43,9

Все химические показатели грунтовых вод на верховых болотах, так же как параметры торфа, имеют значительную изменчивость. Наиболее значительно изменяется содержание в болотных водах хлоридов, фосфатов, марганца, магния, калия и сульфатов (V = 74,3...107,8 %). Менее всего изменяется показатель кислотности среды (V = 6,3 %). Коэффициент вариации остальных показателей изменяется в пределах от 30 до 62 %. Наибольший вклад в изменчивость значений показателей вносит в основном фактор времени (табл. 16), что связано с протеканием в почвенном растворе биологических и химических процессов, а также с использованием питательных веществ растительностью. Наиболее значительно изменяется во времени концентрация азота аммонийного, хлоридов, гидрокарбонатов и нитратов. Максимум значений первого показателя отмечается осенью (табл. 17), хлоридов – летом, гидрокарбонатов –



осенью, нитратов – зимой. Меньше всего содержится азота аммонийного и гидрокарбонатов приходится зимой, а хлоридов и нитратов – осенью. Значения pH наиболее высоки весной в период максимального разбавления грунтовых вод снеговыми. В это время понижено содержание сухого остатка, а также железа, калия и фосфатов. Концентрация же сульфатов, кальция и марганца, наоборот, весной максимальна. Летом отмечается максимум концентрации хлоридов, фосфатов и железа, осенью – азота аммонийного, калия, магния, гидрокарбонатов и сухого остатка. Жесткость грунтовых вод в этот период максимальна. Зимой наиболее высока концентрация в воде нитратов и нитритов. Достоверность изменения показателей во времени подтверждают значения критерия Фишера, а различия между биотопами большинства показателей являются недостоверными.

Таблица 16

**Результаты дисперсионного анализа изменчивости химических показателей состояния грунтовых вод на верховых болотах Марийского Полесья**

Показатель	Значения критерия Фишера и ПСВ воздействующих факторов			
	Условия биотопа ( $F_{крит.} = 2,15$ )		Сезон года ( $F_{крит.} = 2,63$ )	
	$F_{факт.}$	ПСВ, %	$F_{факт.}$	ПСВ, %
Кислотность	5,67	25,4	28,57	56,8
Азот аммонийный	3,29	8,5	70,24	81,1
Нитраты	0,89	5,6	24,50	69,0
Нитриты	0,46	6,6	5,63	35,9
Хлориды	1,01	4,2	42,31	79,0
Фосфаты	1,04	11,4	9,21	44,8
Сульфаты	2,71	21,1	13,72	47,6
Кальций	1,32	10,9	15,25	56,0
Калий	1,76	15,7	19,29	57,5
Магний	2,30	17,9	14,75	51,0
Железо	3,71	32,8	8,13	31,9
Марганец	0,28	3,2	10,12	51,3
Сухой остаток	2,81	13,8	30,55	66,6
Гидрокарбонаты	1,35	6,7	33,37	73,5
Жесткость	1,73	8,2	34,43	72,8

**Примечание:** ПСВ – показатель силы влияния фактора, оцениваемый как отношение факториальной дисперсии к общей дисперсии значений показателя

Таблица 17

**Значения химических показателей грунтовых вод на верховых болотах Марийского Полесья в разные сезоны года**

Показатель	Значения показателей в разные сезоны, $M_x \pm m_x$			
	Весна	Лето	Осень	Зима
Значение pH	4,13 ± 0,07	3,66 ± 0,06	3,68 ± 0,03	3,77 ± 0,03
Азот аммонийный, мг/дм <sup>3</sup>	5,68 ± 0,45	6,70 ± 0,59	8,54 ± 0,82	0,48 ± 0,11
Нитраты, мг/дм <sup>3</sup>	15,69 ± 1,87	2,17 ± 0,32	20,73 ± 1,61	28,31 ± 2,10
Нитриты, мг/дм <sup>3</sup>	0,03 ± 0,006	0,05 ± 0,005	0,02 ± 0,003	0,06 ± 0,011
Хлориды, мг/дм <sup>3</sup>	18,61 ± 2,12	67,7 ± 7,71	9,86 ± 1,83	12,22 ± 0,97
Фосфаты, мг/дм <sup>3</sup>	0,08 ± 0,012	0,41 ± 0,08	0,11 ± 0,02	0,20 ± 0,06
Сульфаты, мг/дм <sup>3</sup>	31,8 ± 4,92	24,7 ± 3,65	8,80 ± 1,88	10,8 ± 2,14
Кальций, мг/дм <sup>3</sup>	25,0 ± 2,29	17,3 ± 1,95	24,7 ± 2,25	23,6 ± 2,00
Калий, мг/дм <sup>3</sup>	7,22 ± 2,22	47,5 ± 6,42	68,9 ± 10,74	28,9 ± 3,05
Магний, мг/дм <sup>3</sup>	6,78 ± 1,58	9,88 ± 2,61	15,34 ± 2,14	3,29 ± 0,44
Железо, мг/дм <sup>3</sup>	6,17 ± 0,79	10,50 ± 0,55	8,51 ± 0,51	7,53 ± 0,68
Марганец, мг/дм <sup>3</sup>	0,50 ± 0,08	0,25 ± 0,03	0,16 ± 0,05	0,20 ± 0,02
Сухой остаток, мг/дм <sup>3</sup>	36,9 ± 3,66	38,5 ± 2,46	86,9 ± 7,85	50,4 ± 4,30
Гидрокарбонаты, мг-экв./дм <sup>3</sup>	2,03 ± 0,06	2,00 ± 0,10	2,76 ± 0,32	1,96 ± 0,12
Жесткость, мг-экв./дм <sup>3</sup>	1,81 ± 0,11	1,67 ± 0,17	2,49 ± 0,25	1,45 ± 0,10

**Заключение**

Проведенные исследования позволяют сделать ряд выводов, имеющих пока предварительный характер.

1. Все физические и химические параметры торфов верховых болот Республики Марий Эл варьируют в очень больших пределах. Особенно велика изменчивость зольности торфов, валового содержания в них марганца, свинца, калия и кальция, подвижных форм железа, кальция и фосфора, а также сульфатов. Менее же всего варьируют плотность торфов и их кислотность.

2. Плотность торфов напрямую связана со степенью их разложения, зависящей от содержания в них оксида кальция, определяющего их кислотность, а она, в свою очередь, подвижных форм железа. Чем выше степень разложения торфа, тем выше их плотность, зольность и кислотность, но ниже содержание обменного кальция, а также подвижных соединений фосфора и железа.

3. Наиболее высоко валовое содержание в торфах верховых болот Республики Марий Эл из 13 оцененных химических элементов железа,

за которым следуют Mg, Ca и K. На порядок меньше содержится в них Mn, Zn, Pb, Cu, Cr, Ni и Sr. Замыкают ранговый ряд Co и Cd.

4. Зольность торфа и содержание в нем многих химических элементов наиболее высоки в верхнем слое и четко убывают с глубиной, хотя характер снижения значений в различных экотопах неодинаков.

5. Изменения содержания химических элементов в торфе по мере увеличения его глубины происходят не плавно и монотонно, а сопровождаются определенными скачками значений в некоторых слоях, что связано с комплексом аномальных природных факторов и динамикой фитоценозов. Анализ этих изменений позволяет сделать обоснованные заключения о генезисе и закономерностях развития болот.

6. Данные о химическом составе торфа, особенно по содержанию в нем свинца, марганца, калия и кальция, целесообразно использовать в системе регионального экологического мониторинга, так как они несут важную информацию о процессах, происходящих как на самих болотах, так и в окружающей их среде. Для химической классификации торфов целесообразно использовать соотношение между валовым содержанием в них железа и кальция, железа и марганца, а также кальция и калия.

#### **Библиографический список**

1. Бахнов, В. К. Биогеохимические аспекты болотообразовательного процесса / В.К. Бахнов. – Новосибирск: Наука, 1986. – 193 с.
2. Бахнов, В. К. Биогеохимия болотного почвообразования (почвенно-биосферные аспекты): автореф. дис. ... д-ра биол. наук / В.К. Бахнов. – Новосибирск, 2006. – 36 с.
3. Гринин, А. С. Математическое моделирование в экологии / А.С. Гринин, Н.А. Орехов, В. Н. Новиков. – Москва: ЮНИТИ-ДАНА, 2003. – 269 с.
4. Демаков, Ю. П. Диагностика устойчивости лесных экосистем (методологические и методические аспекты) / Ю.П. Демаков. – Йошкар-Ола: Периодика Марий Эл, 2000. – 415 с.
5. Демаков, Ю. П. Сосняки сфагновые Марийского Полесья: структура, рост и продуктивность / Ю.П. Демаков, М.Г. Сафин, С.М. Швецов. – Йошкар-Ола: Марийский государственный технический университет, 2012. – 276 с.
6. Дрейпер, Н. Прикладной регрессионный анализ / Н. Дрейпер, Г. Смит. – Москва: Статистика, 1973. – 392 с.
7. Дроздова, Т. В. Роль гуминовых кислот в геохимии почв / Т.В. Дроздова // Почвоведение. – 1963. – № 8. – С. 40-47.
8. Дудинец, Ф. Н. К вопросу о поглощении фосфатов кислыми и карбонатными торфяными почвами / Ф.Н. Дудинец // Мелиорация и водное хоз-во. – 1973 – Т. 24. – С. 65-70.

9. Ефимов, В. Н. Торфяные почвы / В.Н. Ефимов. – Москва: Россельхозиздат, 1980. – 120 с.
10. Конунникова, Н. Ф. Исследование сорбции марганца, кобальта и меди почвами Дальнего Востока: автореф. дис. ... канд. биол. наук / Н.Ф. Конунникова. – Владивосток, 1971. – 19 с.
11. Лакин, Г. Ф. Биометрия / Г.Ф. Лакин. – Москва: Высшая школа, 1980. – 293 с.
12. Лапа, В. В. Особенности физико-химического режима торфяно-болотных почв / В.В. Лапа // Изв. АН СССР. Сер. с.-х. наук. – 1976. – № 3. – С. 36-38.
13. Лиштван, И. И. Основные свойства торфа и методы их определения / И.И. Лиштван. – Минск: Наука и техника, 1975. – 320 с.
14. Лиштван, И. И. Физические свойства торфа и торфяных залежей / И.И. Лиштван, Е.Т. Базин, В.И. Косов. – Минск: Наука и техника, 1985. – 238 с.
15. Манская, С. М. Распределение меди в торфяных почвах Белорусской ССР / С.М. Манская, Т.В. Дроздова, М.П. Емельянова // Геохимия. – 1960. – № 6. – С. 429-450.
16. Методика выполнения измерений валового содержания меди, кадмия, цинка, свинца, никеля, марганца, кобальта, хрома методом атомно-абсорбционной спектроскопии. – Москва: ФГУ ФЦАО, 2007. – 20 с.
17. Методы биогеохимического исследования растений / Под ред. А.И. Ермакова. – Ленинград: Агропромиздат, 1987. – 450 с.
18. Московченко, Д. В. Биогеохимические особенности верховых болот Западной Сибири / Д.В. Московченко // География и природные ресурсы. – 2006. – № 1. – С. 63-70.
19. Прокушкин, С. Г. Влияние экзаметаболитов корней сосны обыкновенной на подвижность ионов в почве / С.Г. Прокушкин, Л.Н. Каверзина // Лесоведение. – 1986. – № 6. – С. 62-68.
20. Раковский, В. Е. Химия и генезис торфа / В. Е. Раковский, Л.В. Пигулевская. – Москва: Недра, 1978. – 231 с.
21. Составление и издание кадастров торфяных и сапропелевых месторождений Республики Марий Эл. Кн. 2. Торфяные месторождения Республики Марий Эл: научный отчет / В.Ю. Обрывков, В.С. Шарاپов, Г.А. Барбашова, Г.Д. Обрывкова. – Нижний Новгород, 2000. – 260 с.
22. Тюремнов, С. Н. Торфяные месторождения / С.Н. Тюремнов. – Москва: Наука, 1976. – 487 с.
23. Черняев, А. М. Гидрохимия болот (Урал и Приуралье) / А.М. Черняев, Л.Е. Черняева, М.Н. Еремеева. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1989. – 430 с.

## PHYSICAL AND CHEMICAL PARAMETERS OF PEATS OF HIGH MOORS IN MARI EL REPUBLIC

Iu. P. Demakov, A. V. Isaev

**Keywords:** Mari El Republic; high moor; peat; physical and chemical parameters; variability; causation.

The results of the analysis of variability of physical and chemical parameters of high moor peats in Mari El Republic are given. It was shown that the variability of ash content in peat, total content in them of manganese (Mn), plumbum (Pb), potassium (K) and calcium (Ca), active forms of ferrum (Fe), calcium (Ca) and phosphorus (P), and sulphates was particularly high. Peat density and its acidity vary least of all. Ferrum (Fe) takes the first place on the content of chemical elements in peat. Mg, Ca, and K take the second place. There is much less Mn, Zn, Pb, Cu, Cr, Ni, and Sr. Co and Cd are the least presented chemical elements in peat. Ash content in peat and the content of chemical elements in it are rather high in the upper layer, their concentration decreases with depth, but the temper of decrease varies in different ecotopes. Thus, it was concluded that physical parameters and chemical composition of peats contained an important information on the processes taking place in moors and the environment.

УДК 631.436+631.432 (470.343)

## СЕЗОННАЯ И МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА МИКРОКЛИМАТА ПОЧВ В РАЗЛИЧНЫХ ЭКОТОПАХ РЕСПУБЛИКИ МАРИЙ ЭЛ

Ю. П. Демаков, А. В. Исаев

*Приведены результаты исследований микроклимата почв в различных экотопов заповедника «Большая Кокшага» и Республики Марий Эл, на основе которых определены пределы и закономерности сезонной и многолетней динамики их температуры и влажности по градиенту глубины. Установлено, что средняя годовая температура почвы выше средней годовой температуры воздуха на 4,2-4,5°C, составляя 6,8-7,1°C и практически не изменяясь с глубиной. На глубине всего 20 см она в течение девяти месяцев (январь-март и июль-декабрь) выше средней месячной температуры воздуха. Корреляционная связь между многолетними рядами значений средней месячной температуры воздуха и почвы в зимний период довольно слабая, что связано с вариацией толщины снежного покрова в разные годы, а с апреля по октябрь – очень тесная. Очень тесна также связь между значениями средней годовой температурой почвы на глубине 20 см и приземного слоя атмосферы, оцененная по материалам различных метеостанций России. Значения средней температуры почвы в летне-осенний период и годового максимума имеют четкую тенденцию к увеличению, связанную с глобальным потеплением климата. Показано, что микроклимат почв в определенной мере зависит от их гранулометрического состава, характера и толщины напочвенного покрова, полноты и состава древостоя. Условия для развития почвенных микроорганизмов во всех лесных экотопах далеки от оптимума, особенно на песках, где они всегда испытывают острый недостаток влаги. Весной и осенью их развитие сдерживает также недостаток температуры, что особенно сильно ощущается в сомкнутых липняках, произрастающих на глинистых почвах. Сделан вывод о необходимости организации регулярных наблюдений за температурой и влажностью почв в заповедниках, которые помогут выявить существующие тенденции изменения климата и реакции на них лесных экосистем.*

**Ключевые слова:** экотопы; почва; температура; влажность; запасы влаги; пространственная вариабельность; сезонная и многолетняя динамика.

### Введение

Почва находится под мощным влиянием климатических факторов, обуславливающих её текущее состояние и дальнейшее развитие. Этот процесс имеет циклический характер и проявляется в суточной, сезонной и многолетней динамике температуры и влажности почвы, что отражается на состоянии и продуктивности фитоценозов, а также углеродного цикла. Особенно резко это проявляется в экстремальные периоды. Существенное влияние на микроклимат почв оказывает лесной

полог, так как он ограничивает поступление солнечной энергии и атмосферных осадков, дольше сохраняет снеговой покров в лесу, изменяет излучение подстилающей поверхности и нивелирует температурный режим приземного слоя воздуха.

Постановка вопроса о микроклимате почвы, основными элементами которого являются температура и влажность, принадлежит отечественным ученым П.А. Костычеву, В.В. Докучаеву, А.А. Измаильскому, С.С. Неуструеву, А.И. Воейкову, К.П. Горшенину, С.П. Кравкову, М.М. Филатову, П.И. Колоскову [36]. Они отмечали, что микроклимат почвы, хотя и зависит от климата атмосферы, но не тождественен ему, имея многие специфические черты, которые должны являться предметом пристального внимания исследователей. К настоящему времени накоплен огромный материал и выявлены основные закономерности его изменения в пространстве и времени [1–10, 12–16, 18–29, 31–39]. Так, к примеру, установлено, что суточные и сезонные колебания температуры почв зависят от их гранулометрического состава и влажности, а также физико-географических условий местности, климата и характера покрывающей растительности. Сухие и хорошо дренируемые почвы весной и летом являются теплыми, а тяжелые и переувлажненные – холодными. В весенний период глинистые почвы холоднее, а песчаные теплее; осенью же глинистые почвы, наоборот, теплее песчаных.

Период колебаний температуры почвы в течение суток и года, как показал великий французский математик Жан Батист Фурье (1768-1830) в работе «Аналитическая теория тепла» (1822), не изменяется с ростом ее глубины, а их амплитуда уменьшается в геометрической прогрессии, постепенно затухая [36]. Глубина постоянной суточной и годовой температуры соотносятся между собой как корни квадратные из периодов колебаний (глубина затухания годовых колебаний, согласно этому положению, в 19 раз превышает глубину затухания суточных колебаний). Время наступления максимумов и минимумов температуры запаздывает пропорционально глубине почвы. Годовой ход температуры почвы в умеренных широтах характеризуется обычно одним максимумом в июле или августе и одним минимумом в январе или феврале. Амплитуда годового хода температуры поверхности оголенной почвы не зависит от географической широты и составляет около 30°C. В северных широтах глубина проникновения годового хода температуры почвы составляет примерно 25 м, в средних – 15-20 м, а в южных – около 10 м. Ниже этой глубины лежит слой постоянной годовой температуры, где колебания

температуры не наблюдаются. Изменение температуры почвы с глубиной в отдельные периоды года различно. Так, осенью на некоторой глубине почвы наблюдается наиболее теплый слой, от которого температура убывает как вглубь почвы, так и к ее поверхности. Весной же, наоборот, между более теплыми слоями сверху и снизу находится наиболее холодный слой.

Систематические наблюдения за температурным режимом почвы проводятся в нашей стране сетью станций Гидрометеослужбы уже давно, однако огромные массивы накопленных данных по многолетней его динамике остаются пока практически не обработанными и слабо вовлеченными в научный оборот, хотя они могут дать полезную информацию об особенностях динамики состояния биогеоценозов [3, 35], являясь важным дополнением к временным рядам метеорологических данных.

**Цель работы** заключалась в выявлении закономерностей сезонной и многолетней динамики температурно-гидрологического режима почв в различных экотопах заповедника «Большая Кокшага» и Республики Марий Эл в целом, а также в совершенствовании методики проведения измерений этих параметров.

#### Объекты и методика исследования

Для анализа использован массив суточных данных о температуре почвы на глубине до 320 см по ГМС Йошкар-Ола за период с 1963 по 2013 годы, находящийся в свободном доступе в сети Интернет (<http://meteo.ru>), а также материалы собственных наблюдений на девяти постоянных и 28 временных пробных площадях, заложенных в различных экотопах заповедника «Большая Кокшага», Ботанического сада-института ПГТУ и лесопарков г. Йошкар-Олы. Замеры температуры почвы выполняли в 3-5-кратной повторности на глубине 5, 10, 20, 40, 60 и 80 см электронным термометром «Мини-замер» с погрешностью  $\pm 0,1^\circ\text{C}$ , а оценку ее влажности проводили весовым методом с отбором проб в различных слоях. В общей сложности проведено 1719 замеров температуры почвы, на каждый из которых требовалось не менее 2-3 минут времени. Для оценки же влажности почв использовано 418 сводных образцов, взятых специальным буром в каждом экотопе в пределах того или иного слоя в 3-5-кратной повторности. Полученные цифровые данные обработаны с использованием стандартных методов математической статистики [11, 17] и прикладных программ Excel и Statistika.

**Результаты исследований и их обсуждение**

Анализ полученных данных показал, что средняя годовая температура почвы на ГМС Йошкар-Ола практически не изменяется с глубиной и составляет 6,8-7,1°C, что выше средней годовой температуры воздуха на 4,2-4,5°C (табл. 1). Годовой же минимум температуры почвы на глубине 20 см выше, чем воздуха, на 42°C, а максимум и амплитуда (размах), наоборот, ниже на 12,6 и 53,6°C соответственно. Почва, таким образом, характеризуется более сглаженным, по сравнению с приземным слоем атмосферы, температурным режимом, хотя колебания между годовым максимумом и минимумом прослеживаются вплоть до глубины 320 см. Минимальная и максимальная температура, а также размах между их значениями (А, °С) изменяются по градиенту глубины (h, см) строго закономерно, что с высокой точностью аппроксимируют следующие уравнения регрессии:

$$t_{\min} = 10,3 \times [1 - \exp(-14,73 \times 10^{-3} \times h)] - 8,64; R^2 = 0,984;$$

$$t_{\max} = 17,9 \times \exp(-9,18 \times 10^{-3} \times h) + 11,3; R^2 = 0,995;$$

$$A = 27,8 \times \exp(-11,14 \times 10^{-3} \times h) + 10,0; R^2 = 0,997.$$

Таблица 1

**Средняя, минимальная и максимальная годовая температура почвы на разных глубинах по данным ГМС Йошкар-Ола**

Температура	Значение температуры на разной глубине, °С							
	20 см	40 см	60 см	80 см	120 см	160 см	240 см	320 см
Средняя годовая	6,9	7,1	7,0	6,9	6,9	6,9	6,8	6,8
Минимальная	-6,0	-3,9	-2,8	-1,6	-0,2	0,9	2,0	1,0
Максимальная	26,4	23,2	21,7	20,1	17,5	14,9	13,6	12,1
Амплитуда	32,4	27,1	24,4	21,7	17,7	14,0	11,6	11,1

Годовой ход температуры почвы на каждой отметке глубины имеет свои особенности (табл. 2, рис. 1), отражаемые соответствующими уравнениями регрессии (табл. 3). Сезонный минимум на глубине 20 см отмечается чаще всего в конце третьей декады декабря или в середине первой декады января, сдвигаясь на 5-7 дней на каждые 10 см глубины (на глубине 320 см он отмечается уже в конце апреля). Температурный максимум на глубине 20 см наступает в основном в середине июля, а на глубине 320 см – в конце августа или даже сентября.

Таблица 2

**Средняя многолетняя температура почвы в последний день месяца на ГМС Йошкар-Ола**

Месяц	Температура почвы на разной глубине, °С							
	20 см	40 см	60 см	80 см	120 см	160 см	240 см	320 см
I	-1,3	-0,6	0,1	0,7	1,8	2,9	4,2	5,3
II	-1,0	-0,5	0,0	0,5	1,4	2,3	3,6	4,5
III	-0,2	0,0	0,3	0,5	1,2	2,0	3,1	3,9
IV	7,2	6,1	4,9	3,9	3,0	2,7	3,1	3,5
V	14,1	13,1	11,5	10,2	8,4	6,8	5,4	4,7
VI	19,1	17,9	16,1	14,4	12,1	10,2	8,0	6,8
VII	19,6	19,0	17,5	16,3	14,5	12,7	10,4	8,9
VIII	15,4	15,4	15,2	14,7	14,0	13,0	11,5	10,2
IX	9,1	10,0	10,5	10,9	11,3	11,4	11,1	10,4
X	2,9	4,2	5,1	6,0	7,4	8,4	9,2	9,4
XI	-0,6	0,7	1,8	2,8	4,3	5,6	7,0	7,9
XII	-1,5	-0,6	0,3	1,3	2,6	3,8	5,3	6,4

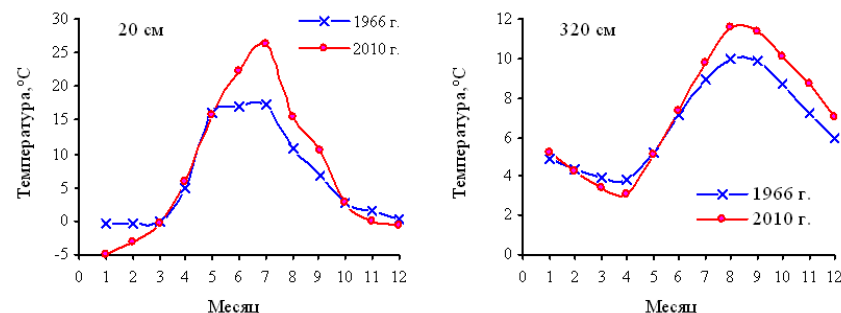


Рис. 1. Годовой ход температуры почвы на глубине 20 и 320 см в разные годы

Таблица 3

**Параметры функции годового хода средней многолетней температуры почвы**

Параметр	Значение параметров функции $Y=A \times [\sin(2\pi \times t/11,5 + \varphi) + 1]^b + c$ для разных глубин почвы							
	20 см	40 см	60 см	80 см	120 см	160 см	240 см	320 см
A	6,92	6,47	5,84	5,26	4,61	4,08	3,27	2,74
φ	-2,068	-2,145	-2,236	-2,338	-2,510	-2,701	-2,975	-3,235
b	1,653	1,631	1,611	1,596	1,524	1,435	1,36	1,288
c	-1,61	-0,81	-0,11	0,55	1,47	2,22	3,20	3,81
R <sup>2</sup>	0,996	0,996	0,995	0,993	0,990	0,988	0,988	0,985

Расчеты показали, что почва обладает более высокой способностью к поглощению солнечной энергии, чем атмосфера, и ее температура на глубине всего 20 см в течение девяти месяцев года (январь-март и июль-декабрь) выше средней месячной температуры воздуха (рис. 2а). На глубине же 320 см с апреля по сентябрь она уже, наоборот, ниже. Связь между многолетними рядами значений средней месячной температуры воздуха и почвы в зимний период довольно слабая, что связано с вариацией толщины снежного покрова, а с апреля по октябрь, наоборот, очень тесная (табл. 4). Очень тесная также связь между средней годовой температурой почвы на глубине 20 см и воздуха, оцененная по материалам наблюдений на различных метеостанциях России (рис. 2б).

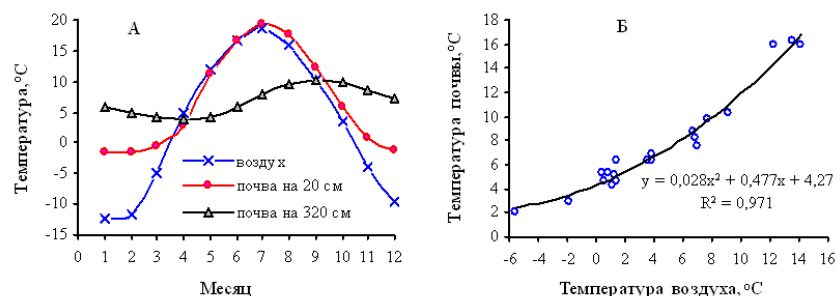


Рис. 2. Соотношение между средней месячной температурой воздуха и почвы на ГМС Йошкар-Ола (А) и средней годовой в различных регионах России (Б)

Таблица 4

**Параметры линейной связи между рядами средней температуры воздуха и почвы на глубине 20 см по материалам многолетних измерений на ГМС Йошкар-Ола**

Параметр функции	Значения параметров функции $Y = aX + b$ для разных месяцев года*											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
a	0,11	0,12	0,13	0,55	0,71	0,86	0,85	0,75	0,75	0,66	0,31	0,16
b	-0,04	0,10	0,00	0,21	2,68	2,41	3,58	5,42	4,42	3,40	2,06	0,28
R <sup>2</sup>	0,19	0,21	0,34	<b>0,73</b>	<b>0,76</b>	<b>0,77</b>	<b>0,74</b>	<b>0,60</b>	<b>0,80</b>	<b>0,83</b>	0,58	0,22

**Примечание:** \* Y – средняя годовая температура почвы, °С; X – средняя годовая температура воздуха, °С.

Температура разных слоев почвы, как показал анализ полученных данных, изменялась на объектах исследования в течение вегетационного периода в довольно больших пределах, определяемых как погодными условиями того или иного года, так и особенностями экотопов. Так, к примеру, в середине мая температура почвы на глубине 5 см варьирова-

ла от 5,2 до 15,9°С, на глубине 10 см – от 5,1 до 13,8°С, а на глубине 20 см – от 4,2 до 10,0°С (табл. 5). С увеличением глубины измеряемого слоя почвы предел изменений температуры постепенно уменьшался. В течение вегетационного периода размах значений рассматриваемого показателя в самых верхних слоях почвы составил 24,7-26,8°С, а в нижних – 14,9-15,9°С. В годы с прохладной и дождливой погодой вегетационного периода максимум температуры всех слоев почвы отмечался обычно в конце июля – начале августа, а с жаркой и засушливой погодой – во второй половине августа (рис. 3). Наиболее активное накопление суточных активных температур почвы выше 5°С происходило обычно в августе, а наименьшее – в мае, когда в отдельные годы их сумма приближалась к нулевой отметке (рис. 4), при которой роста корней древесных растений не происходит. С увеличением глубины суммарное накопление тепла в почве, как свидетельствуют приведенные данные, постепенно уменьшалось.

Таблица 5

**Пределы изменения температуры почвы на объектах исследования в 2010-2018 годах**

Дата	Температура почвы в изученных экотопах на разной глубине, °С (min-max)					
	5 см	10 см	20 см	40 см	60 см	80 см
15.05	5,2-15,9	5,1-13,8	4,2-10,0	3,0-8,9	2,6-8,5	3,1-8,0
15.06	10,9-15,5	10,2-13,3	9,4-11,9	9,0-10,6	8,8-9,8	8,6-9,1
15.07	11,0-32,0	10,5-29,8	9,5-23,0	9,5-20,0	8,7-18,5	8,3-18,0
15.08	16,7-30,5	15,8-26,5	15,1-17,0	14,1-15,8	13,1-15,1	12,4-14,2
15.09	9,9-16,0	10,1-15,0	9,9-13,4	9,5-13,6	9,4-13,5	9,3-13,1
В целом за сезон	5,2-32,0	5,1-29,8	4,2-23,0	3,0-20,0	2,6-18,5	3,1-18,0
Размах	26,8	24,7	18,8	17,0	15,9	14,9

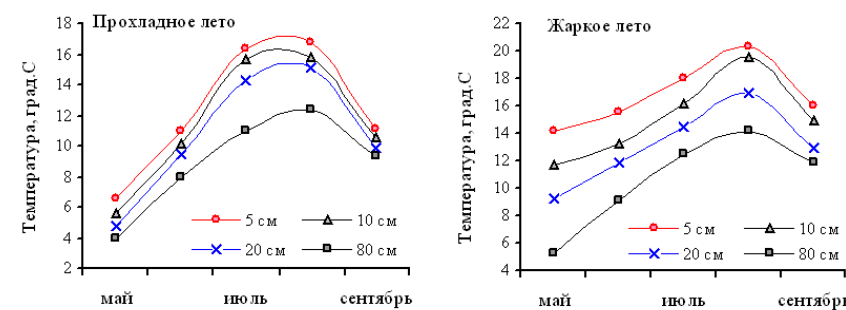


Рис. 3. Варианты сезонной динамики температуры разных слоев почвы в экотопах Республики Марий Эл

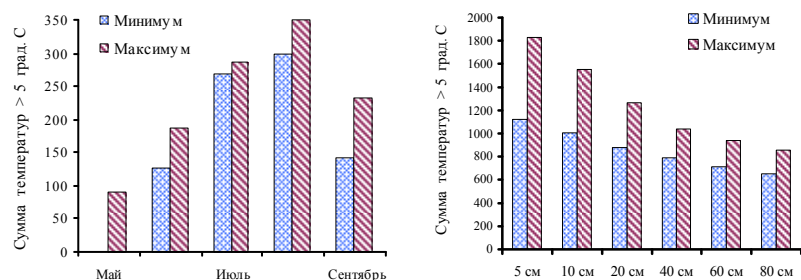


Рис. 4. Возможные варианты сезонной динамики суммы суточных активных температур почвы на глубине 20-40 см (слева) и суммы тепла, полученного за вегетационный период разными слоями почвы в лесах Республики Марий Эл

Характер изменения температуры почвы по градиенту её глубины в пределах одного и того же экотопа во многом зависит от погодных условий конкретного года (рис. 5), а в пределах одного года – от особенностей экотопов (рис. 6), влияние которых сглаживалось в середине лета (рис. 7). Так, к примеру, 11 мая 2010 года в сосняке лишайниково-мшистом температура почвы на глубине 5 см составляла в среднем 15,5°C, а в пойменном экотопе на 5,8°C ниже (табл. 6). На глубине 10 см разница составляла уже 3,2°C, а на глубине от 20 до 60 см – всего 0,2-0,4°C. На глубине 80 см она увеличилась до 1,6°C. На верховых болотах в августе этого очень жаркого и засушливого года температура почвы на глубине 5 и 10 см была на 1,3-1,5°C ниже в древостое с более высокой полнотой. На глубине 20 см разница температуры составляла всего 0,5°C, а на глубине от 40 до 80 см – 0,1-0,2°C. В пойменных экотопах лесопарка «Дубовая роща» температура верхних слоев почвы в июне 2014 года была наиболее высокой на лугу, прогреваемом лучами солнца почти весь день, а самой низкой – под пологом сомкнутого дубово-липового древостоя (табл. 7). Влияние степени сомкнутости древесного полога на температуру почвы четко прослеживается в 40-летних культурах сосны разной исходной густоты вплоть до глубины 80 см даже в начале осени (табл. 8).

Исследования показали, что в сосняках лишайниковых и лишайниково-мшистых очень большое влияние на температуру почвы оказывает напочвенный покров, который в этих экотопах развит очень сильно. Для определения его термоизоляционных свойств был поставлен специальный эксперимент, заключающийся в удалении лесной подстилки на пяти площадках размером 3×3 м в каждом из двух экотопов. Параллельно проводили замер температуры почвы в пяти точках с ненарушенным напочвенным покровом. Было установлено, что напочвенный покров в

летний период препятствует прогреву почвы, приводя к снижению её температуры вплоть до глубины 80 см (рис. 8, табл. 9). На глубине 5 см разница температур на площадках с удаленным и ненарушенным напочвенным покровом может достигать в июне-июле в отдельные годы 5°C, а на глубине 20 см – 3,2°C.

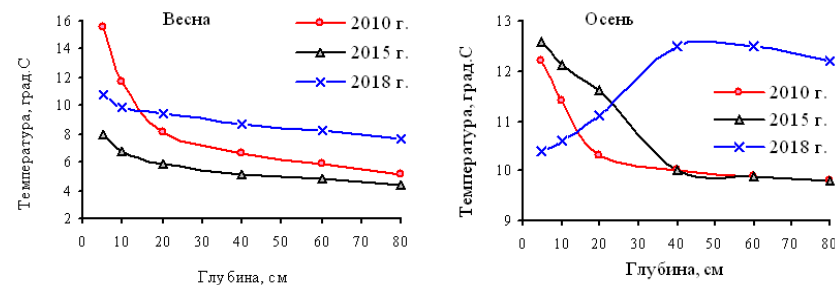


Рис. 5. Изменение температуры почвы по градиенту профиля в сосняке лишайниково-мшистом весной и осенью разных по погодным условиям вегетационных периодов

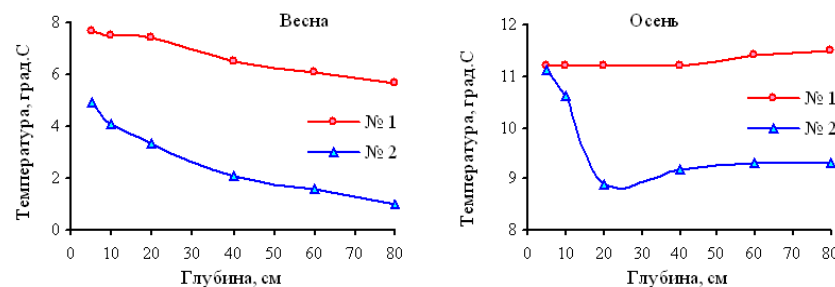


Рис. 6. Изменение температуры почвы по градиенту профиля весной и осенью 2016 года в разных экотопах: № 1 – сосняк лишайниковый, № 2 – липняк нагорный снытьевый

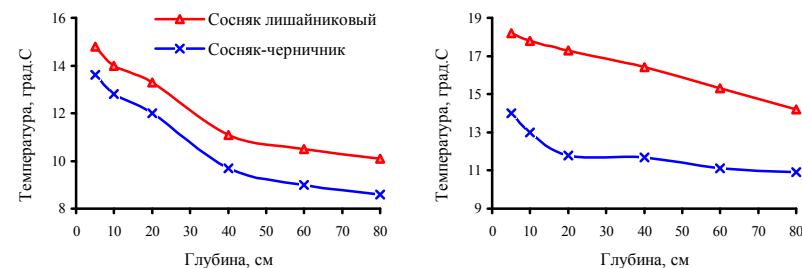


Рис. 7. Изменение температуры почвы по градиенту глубины в различных экотопах заповедника в июле 2017 (слева) и 2018 годов

Таблица 6

**Значения показателей температуры почвы на объектах исследования в 2010 году**

Дата	Экотоп*	Температура почвы на разной глубине, °С					
		5 см	10 см	20 см	40 см	60 см	80 см
12.05	1	15,5	11,7	8,1	6,6	5,8	5,2
12.05	2	9,7	8,5	7,7	6,2	5,0	3,6
11.08	3	25,0	21,8	16,1	13,3	11,5	10,0
11.08	4	23,7	20,3	15,6	13,1	11,3	9,9

**Примечание:** \* 1 – 80-летний сосняк лишайниково-мшистый, 2 – 120-летний дубняк с липой и елью пойменный, 3 – низкополотный климаксовый сосняк сфагновый на верховом болоте, 4 – 180-летний высокополотный сосняк сфагновый на верховом болоте.

Таблица 7

**Температура почвы в экотопах лесопарка «Дубовая роща» 05.06.2014**

Глубина, см	Средняя температура почвы в разных экотопах*, °С				
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
10	16,8	15,1	14,0	14,1	14,0
20	13,7	13,4	12,8	12,8	12,1
Разность	3,1	1,7	1,2	1,3	1,9

**Примечание:** \* № 1 – поляна, № 2 – 55-летние сомкнутые культуры лиственницы, № 3 – 63-летние сомкнутые культуры тополя, № 4 – 65-летний осинник, № 5 – сомкнутый спелый дубово-липовый древостой.

Таблица 8

**Температура почвы 05.09.2016 в культурах сосны разной исходной густоты**

Исходная густота, экз./га	Температура почвы на разной глубине, °С					
	5 см	10 см	20 см	40 см	60 см	80 см
500	15,3 ± 0,13	14,6 ± 0,13	13,9 ± 0,07	12,1 ± 0,06	11,9 ± 0,09	11,9 ± 0,07
1 тыс.	15,6 ± 0,09	14,7 ± 0,07	13,8 ± 0,03	11,8 ± 0,10	11,7 ± 0,12	11,4 ± 0,10
3 тыс.	14,9 ± 0,18	14,3 ± 0,16	13,6 ± 0,09	11,4 ± 0,11	11,4 ± 0,15	11,1 ± 0,07
5 тыс.	15,1 ± 0,09	14,5 ± 0,13	13,6 ± 0,09	11,5 ± 0,06	11,5 ± 0,03	11,3 ± 0,05
10 тыс.	14,1 ± 0,17	13,3 ± 0,14	13,0 ± 0,09	11,4 ± 0,14	11,0 ± 0,10	10,9 ± 0,16

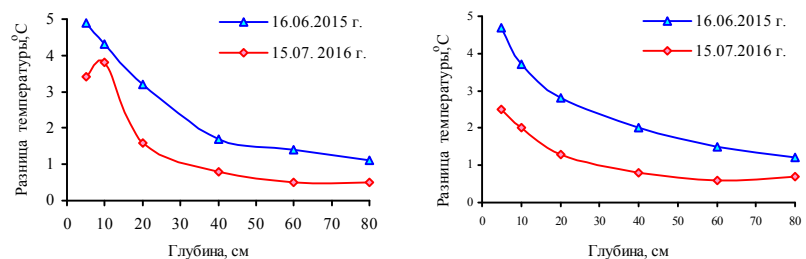


Рис. 8. Изменение разницы температуры почвы по градиенту её глубины между площадками с удаленным и ненарушенным напочвенным покровом в сосняке лишайниковом (слева) и лишайниково-мшистом по данным замеров, проведенных в разное время

Таблица 9

**Влияние удаления напочвенного покрова в 80-летнем сосняке лишайниковом на температуру разных слоев почвы**

Дата	Вариант опыта*	Температура почвы на разной глубине, °С					
		5 см	10 см	20 см	40 см	60 см	80 см
16.06.2015	1	16,6	15,5	14,2	11,6	10,4	9,4
	2	21,5	19,8	17,4	13,4	11,8	10,4
23.09.2015	1	13,3	12,6	12,0	10,8	-	-
	2	15,3	14,1	12,7	10,9	-	-
12.05.2016	1	7,7	7,5	7,4	6,5	6,1	5,7
	2	8,6	7,9	7,6	6,9	7,1	6,7
15.07.2016	1	19,5	18,0	14,7	13,6	12,6	11,9
	2	22,9	21,8	16,3	14,5	13,1	12,4
14.09.2016	1	11,2	11,2	11,2	11,2	11,4	11,5
	2	11,0	10,8	10,7	10,9	10,9	11,1

**Примечание:** \* 1 – площадки с напочвенным покровом, 2 – площадки с удаленным покровом.

Температура почвы на всей ее глубине, как показали исследования [12], значительно изменяется в пространстве экотопов, что связано с неоднородностью структуры и мощности напочвенного покрова [1, 5, 14, 24]. Это приводит к образованию довольно четко выраженных тепловых парцелл (рис. 9), границы которых для разных слоев почвы не совпадают между собой (рис. 10, табл. 10) и не связаны напрямую с густотой древостоя.

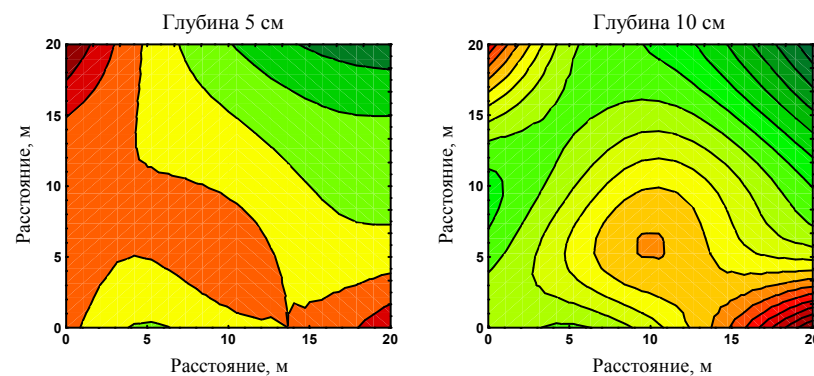


Рис. 9. Характер пространственного изменения температуры почвы в сосняке лишайниково-мшистом в мае 2010 года (рост температуры идет от зеленого цвета к красному)



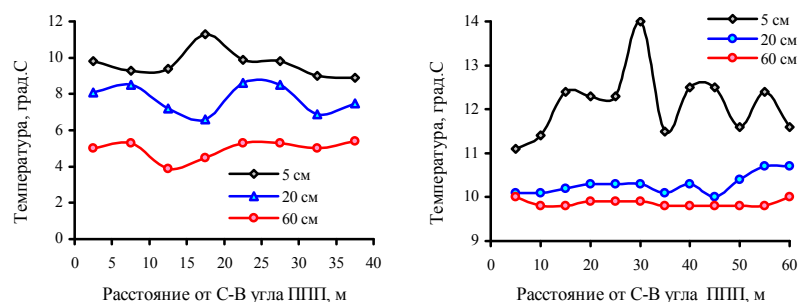


Рис. 10. Изменение температуры почвы на разной глубине в пределах профилей, заложённых в пойменном липняке с дубом крапивным 12.05.2010 (слева) и сосняке лишайниково-мшистом 11.09.2010

Таблица 10

Матрица парных коэффициентов корреляции между значениями температуры разных слоев почвы в суходольном и пойменном экотопах заповедника

Глубина, см	Значения коэффициентов корреляции между температурой на разной глубине				
	5 см	10 см	20 см	40 см	60 см
Сосняк лишайниково-мшистый. Измерения проведены 11.05.2010					
5	1,00				
10	0,76	1,00			
20	-0,12	0,06	1,00		
40	-0,30	-0,21	0,76	1,00	
60	-0,24	-0,11	0,73	0,95	1,00
80	-0,33	-0,17	0,59	0,85	0,91
Сосняк лишайниково-мшистый. Измерения проведены 11.09.2010					
5	1,00				
10	0,86	1,00			
20	0,14	0,43	1,00		
40	-0,01	0,06	0,40	1,00	
60	0,07	0,17	0,27	0,81	1,00
80	0,06	0,04	-0,04	0,74	0,87
Липняк с дубом пойменный крапивный. Измерения проведены 11.05.2010					
5	1,00				
10	0,18	1,00			
20	-0,22	0,88	1,00		
40	-0,21	0,81	0,93	1,00	
60	-0,30	0,29	0,62	0,71	1,00
80	-0,15	0,57	0,76	0,89	0,88

Анализ рядов многолетних данных показал, что средняя температура почвы в летне-осенний период и годовой максимум значений довольно четко возрастают по годам (рис. 11 и 12). Это достоверно подтверждает факт глобального потепления климата, и полностью согласуется с данными исследователей по другим регионам России [3, 35]. Годовой же минимум температуры и глубина промерзания почвы тренда практически не имеют, флуктуируя вокруг некоторого среднего уровня (рис. 13 и 14). Не остается постоянной во времени также продолжительность периодов с различной температурой почвы и суммой накопленного тепла (табл. 11), величина которых медленно, но неуклонно увеличивается от года к году (рис. 15), что приводит летом к возрастанию разности между температурой почвы и воздуха (рис. 16).

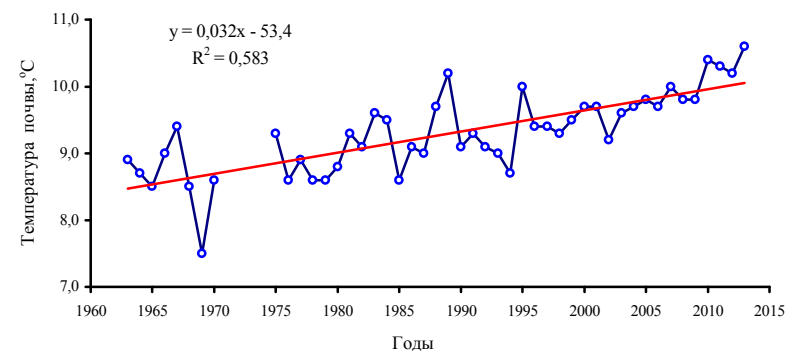


Рис. 11. Многолетняя динамика средней температуры почвы в летне-осенний период на глубине 240-320 см

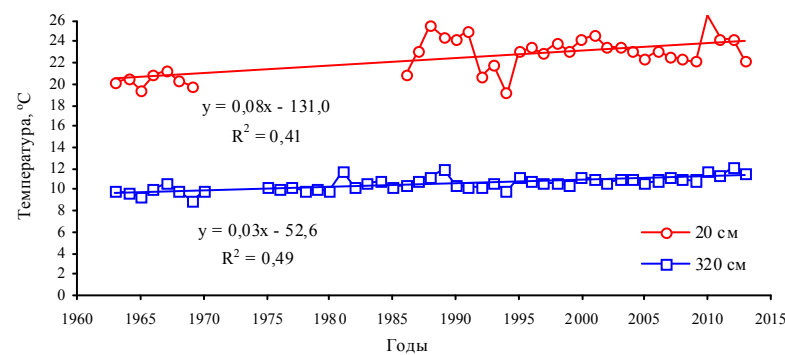


Рис. 12. Динамика максимальной температуры почвы на глубине 20 и 320 см

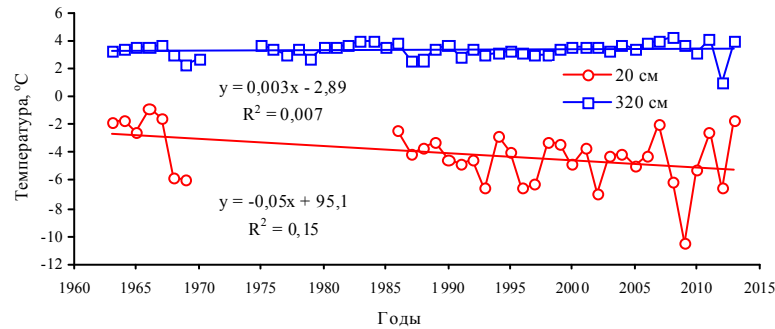


Рис. 13. Динамика минимальной температуры почвы на глубине 20 и 320 см

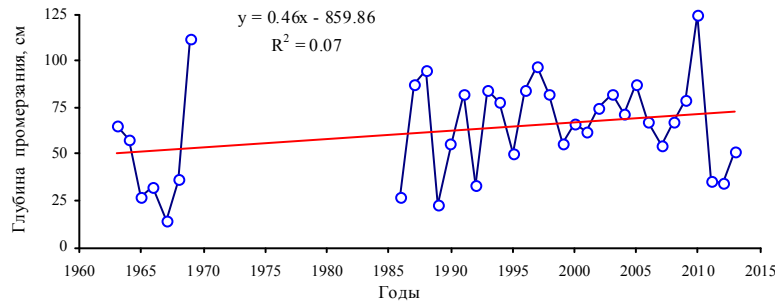


Рис. 14. Динамика глубины промерзания почвы

Таблица 11

Изменение параметров температурного режима почв на ГМС Йошкар-Ола

Пороги температуры	Значения показателей на разной глубине измерения параметров							
	Глубина 20 см				Глубина 60 см			
	$M_x$	min	max	Размах	$M_x$	min	max	Размах
Продолжительность периода с различной температурой, дней								
>5°C	180	156	216	60	187	166	214	48
>10°C	139	118	173	55	135	117	156	39
>15°C	87	56	113	57	69	14	104	90
Сумма температур выше определенного значения, °C								
>5°C	2563	2110	2966	856	2377	1910	2763	853
>10°C	2254	1760	2828	1068	2004	1581	2401	820
>15°C	1607	916	2167	1251	1165	220	1771	1552

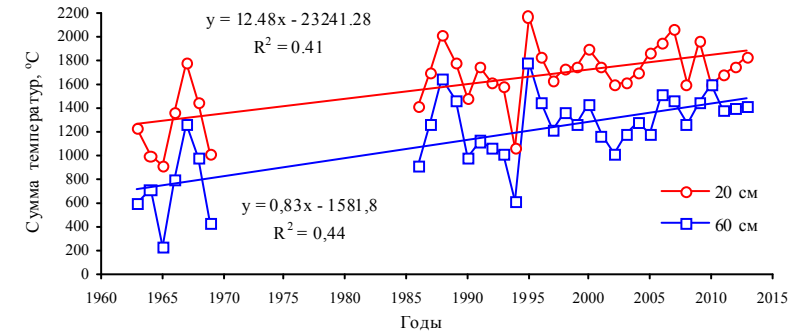


Рис. 15. Динамика суммы температур выше 15°C

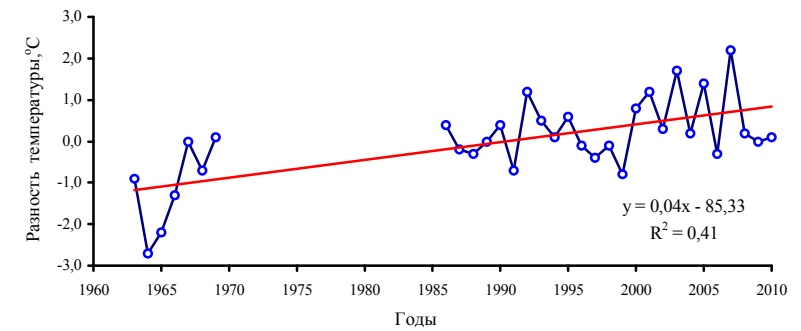


Рис. 16. Динамика разности между средними июньскими температурами воздуха и почвы

Влажность почвы на объектах исследования изменялась в не меньшей степени, чем ее температура. В песчаных почвах пределы варьирования ее значений снижались по градиенту глубины с 7,46 до 4,28 % (табл. 12). В глинистых же почвах наиболее высокая изменчивость отмечалась в слое 30-50 см, где расположена основная масса сосущих корней деревьев. Изменение этого показателя по градиенту профиля почвы в каждом экотопе происходило по-разному, что связано с характером поглощения атмосферных осадков надземной частью фитоценозов и дальнейшей инфильтрации, а также деятельности корней растений и капиллярного подъема грунтовых вод. Во всех лесных экотопах наибольшую влажность в течение всего вегетационного периода имел самый верхний слой почв (рис. 17), что свидетельствует об атмосферном пополнении запасов воды и промывном типе их водного режима. В луговых экотопах все происходило иначе: весной и летом наиболее высоко-

кая влажность отмечалась в нижнем слое почвы, а минимальная – в среднем (рис. 18). Осенью картина становилась диаметрально противоположной. Определенное влияние на сезонную динамику влажности почвы оказывали погодные условия каждого конкретного года, не меняющие в целом общей закономерности (рис. 19 и 20).

Таблица 12

Пределы изменения влажности почвы на объектах исследования в 2015-2018 годах

Дата	Влажность разных слоев почвы на объектах исследования, % (min-max)					
	Песчаные почвы			Глинистые почвы		
	0-20 см	30-50 см	60-80 см	0-20 см	30-50 см	60-80 см
15.05	3,37-7,12	3,07-4,52	2,57-4,67	17,2-43,4	14,8-47,1	17,0-37,2
15.07	2,45-9,29	2,14-5,39	1,99-4,68	28,7-37,1	15,3-22,7	14,4-21,9
15.09	1,83-7,74	1,13-6,07	1,08-5,36	14,3-28,1	10,3-19,6	11,3-20,4
В целом за сезон	1,83-9,29	1,13-6,07	1,08-5,36	14,3-43,4	10,3-47,1	11,3-37,2
Размах	7,46	4,94	4,28	29,1	36,8	25,9

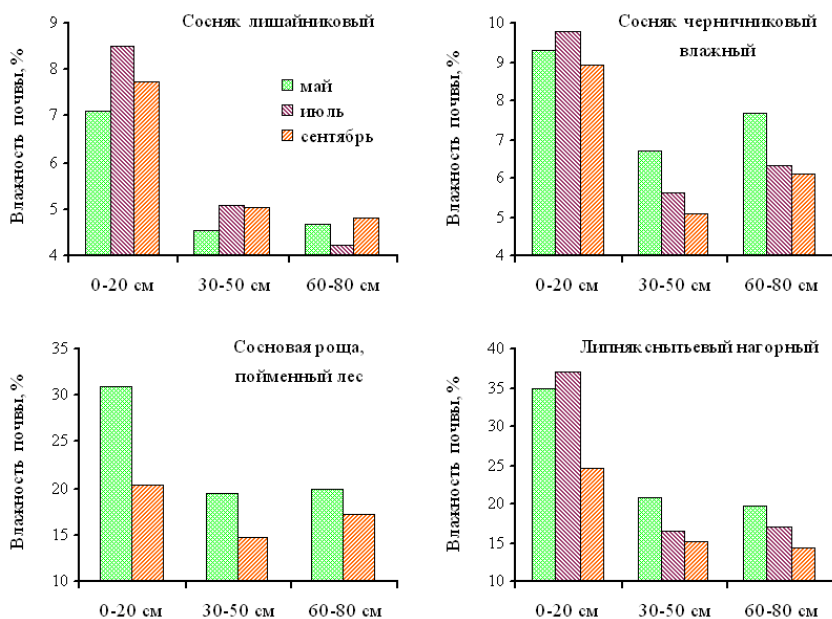


Рис. 17. Сезонная динамика влажности почвы в лесных экотопах в 2017 году

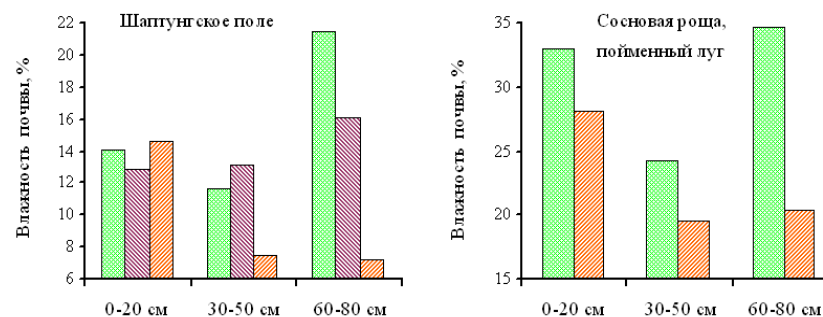


Рис. 18. Сезонная динамика влажности почвы в луговых экотопах в 2017 году

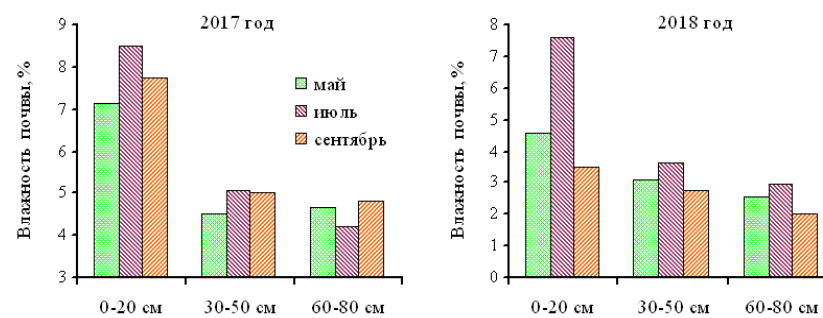


Рис. 19. Сезонная динамика влажности почвы в сосняке лишайниковом в разные годы

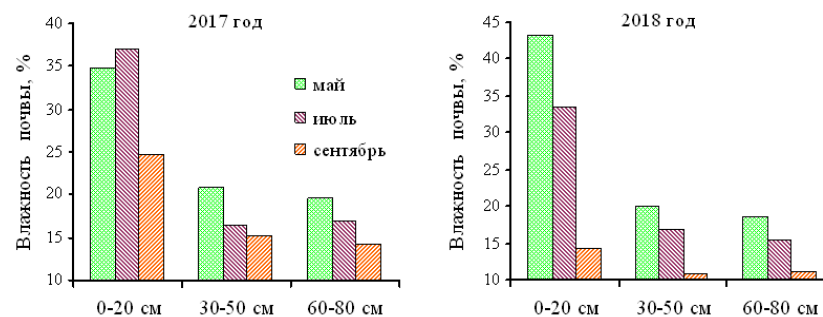


Рис. 20. Сезонная динамика влажности почвы в липняке снытьевом в разные годы

В пойменных экотопах заповедника влажность почвы в июле 2017 года варьировала в очень больших пределах (табл. 13). Меньше всего ее значения изменялись в самом верхнем слое почвы. Наиболее влажным был самый верхний слой, что было связано в основном с выпадением большого количества осадков. С глубиной влажность почвы постепенно снижалась, хотя на большинстве пробных площадей грунтовые воды подступали вплотную к поверхности почвы. Особенно сырой почва была на таволговом лугу, а наименее влажной – в дубняке хвощево-крапивном (табл. 14).

Таблица 13

Параметры влажности почвы в июле 2017 года в пойменных экотопах заповедника

Слой	Значения параметров на разной глубине (N = 7)					
	M ± m	min	max	S <sub>x</sub>	V, %	p, %
0-10 см	60,7 ± 4,8	47,4	81,0	12,6	20,8	7,9
10-20 см	34,8 ± 3,5	25,9	49,7	9,2	26,5	10,0
30-50 см	26,5 ± 2,3	20,7	36,4	6,1	23,1	8,7
60-80 см	23,3 ± 2,4	17,1	35,5	6,4	27,6	10,4

Таблица 14

Влажность аллювиально-дерновых почв в пойменных экотопах заповедника в середине июля 2017 года

Экотоп	Влажность разных слоев почвы, %			
	0-10 см	10-20 см	30-50 см	60-80 см
ВПШ-2, дубняк липово-ежевичный	48,3	31,1	26,5	23,9
ВПШ-4, дубняк липово-будровый	57,1	32,1	21,3	19,4
ВПШ-5, дубняк таволгово-ежевичный	66,4	25,9	23,1	17,1
ВПШ-29, дубняк липово-будровый	47,4	28,0	20,7	21,2
ВПШ-32, дубняк липово-хвощевый	64,0	42,3	30,7	22,8
ВПШ-33, луг таволговый	81,0	49,7	36,4	35,5
ВПШ-35, дубняк таволгово-крапивный	93,6	46,4	27,7	19,5
ВПШ-37, дубняк хвощево-крапивный	59,5	22,0	17,2	14,9

Величина влажности почвы в данных экотопах приближалась в 2017 году к предельно возможной и зависела в основном от содержания в ней не только физической глины, но и органических веществ, что аппроксимирует следующее уравнение регрессии:

$W = 3,51 \times X^{1,154} \times \exp(-30,57 \times 10^{-3} \times Z) + 15,6$ ;  $R^2 = 0,867$ ;  $p < 0,001$ , в котором  $W$  – содержание влаги в почве, %;  $X$  – потери при прокаливании почвы, %;  $Z$  – содержание в почве частиц менее 0,01 мм, %;

$R^2$  – коэффициент детерминации уравнения;  $p$  – уровень достоверности уравнения.

Графическое изображение данной зависимости, представленное на рис. 21, показывает, что влагоемкость почвы возрастает по мере увеличения содержания в ней органических веществ и снижения доли физической глины, уменьшающей степень ее пористости. Этим и объясняется имеющийся парадокс снижения с глубиной значений влажности почвы на объектах исследования.

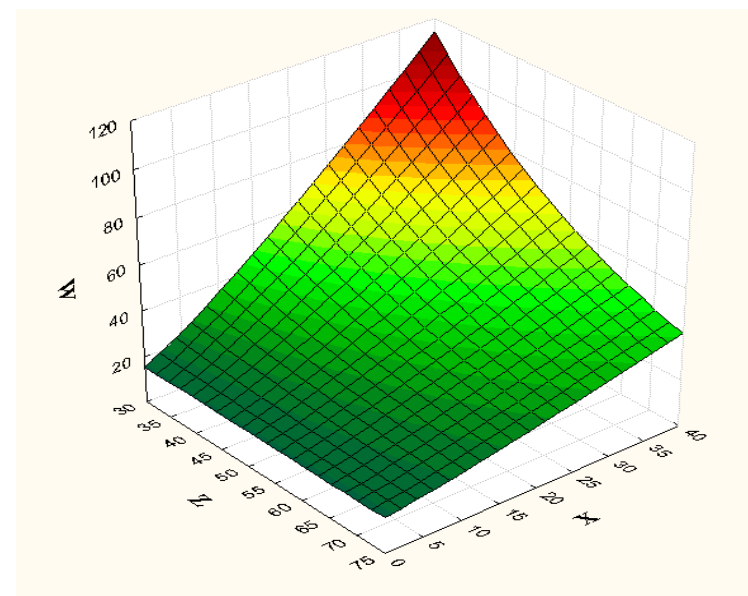


Рис. 21. Зависимость влажности почвы (W, %) в пойменных экотопах от потерь при ее прокаливании (X, %) и содержания физической глины (Z, %)

В ходе проведения работ было установлено, что наиболее высокую влажность имеют пойменные луговые, а особенно торфяные почвы, содержащие большое количество органического вещества. Изменения ее значений, превышающих в ряде случаев 300 %, происходили по градиенту глубины в каждом экотопе по-разному (табл. 15), хотя грунтовые воды в них практически подступали к поверхности почвы, что указывает на особенности сложения почв и их генезиса, свидетельствуя о важности оценки этого показателя при проведении почвенно-экологических исследований.

Таблица 15

**Влажность луговых и торфяных почв в пойменных экотопах заповедника по данным измерений, проведенных в середине июля 2018 года**

Экотоп	Влажность разных слоев почвы, %			
	0-10 см	10-20 см	30-50 см	60-80 см
ВПП-34, черноольшаник	141,0	72,0	78,0	235,2
ВПП-38, черноольшаник	150,9	94,4	76,1	145,9
Луг в устье ручья Ларь	108,3	127,3	146,0	197,9
Луг в пойме ручья Шасталинь Энер	257,7	96,6	93,3	135,1
Луг в пойме ручья Ин Энер	89,3	39,9	28,2	35,6
Кв. 76, выд. 7, черноольшаник	118,4	74,7	62,9	66,2
Черноольшаник, правый берег р. Б. Кокшага	362,8	244,1	217,9	226,5
Черноольшаник, левый берег р. Б. Кокшага	145,4	52,7	33,7	33,3

Большое влияние на влажность почвы оказывал также полог леса, определяющий, с одной стороны, степень поглощения атмосферных осадков, а с другой – величину их транспирации. Так, с мая по сентябрь 2018 года в лесопарке «Сосновая роща» влажность верхнего слоя почвы на лугу уменьшилась на 25,1 %, а под пологом леса – на 27,4 %, что связано с перехватом осадков кронами деревьев. Снижение же значений показателя в нижних слоях почвы на лугу было более значительным, чем в лесу: в слое 30-50 см – 32,8 против 28,0 %, а в слое 60-80 см – 23,2 против 20,3 %. В лесопарке «Дубовая роща» наиболее высокую влажность имел верхний слой почвы на злаково-разнотравном лугу, а минимальную – культурах лиственницы сибирской (рис. 22). В боровых же условиях наиболее высокая влажность отмечалась в культурах березы (рис. 23), полог которых задерживал и испарял влаги гораздо меньше, чем полог культур сосны.

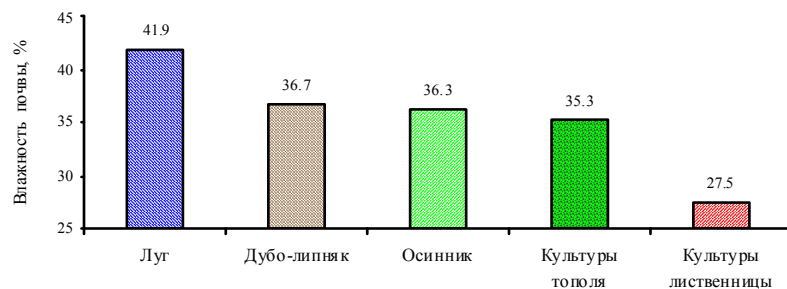


Рис. 22. Влажность верхнего 20-см слоя почвы в июле 2017 года в краткойпойменных экотопах лесопарка «Дубовая роща»

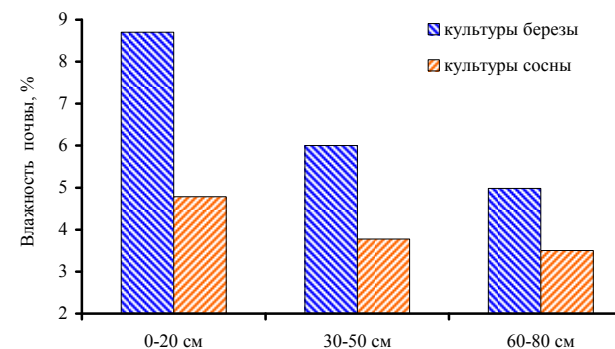


Рис. 23. Влажность почвы в середине июля дождливого 2017 года в 42-летних лесных культурах Старожильского лесничества, созданных в сухом бору на песчаной почве

Влияние степени сомкнутости древесного полога на влажность почвы довольно четко прослеживается, как было нами установлено, даже в начале осени на опытном объекте в 40-летних культурах сосны разной исходной густоты, созданных в сухом бору Силикатного лесничества. Наиболее высокая влажность верхнего слоя почвы отмечалась в культурах с исходной густотой 0,5 тыс. экз./га, а самая низкая – с густотой 5 тыс. экз./га (табл. 16). На глубине 30-50 см почва наиболее влажной была в культурах с густотой 3 тыс. экз./га, а наиболее сухой – с густотой 5 тыс. экз./га. Влажность же слоя почвы 60-80 см наиболее высокой была в культурах с густотой 10 тыс. экз./га, а самой низкой – с густотой 3 тыс. экз./га.

Таблица 16

**Влажность почвы 05.09.2016 в культурах сосны разной исходной густоты**

Слой почвы	Влажность почвы в культурах разной густоты, %				
	500 экз./га	1 тыс. экз./га	3 тыс. экз./га	5 тыс. экз./га	10 тыс. экз./га
0-20 см	5,11	3,83	3,67	2,01	2,79
30-50 см	1,32	1,39	1,70	1,13	1,35
60-80 см	1,39	1,21	1,08	1,20	1,54

Исследования, проведенные в мае 2018 г. в различных экотопах на приовражно-балочных землях, показали, что влажность верхнего слоя дерново-подзолистой суглинистой почвы наиболее высокой была в смешанных сосново-елово-березовых лесных культурах под кронами

деревьев березы, а самой низкой – на пашне (табл. 17). Влажность же среднего слоя почвы наиболее высока была в культурах сосны и под пологом деревьев березы, а наиболее низка – под деревьями ели, крона которых задерживала и испаряла влаги гораздо больше, чем у других пород. Влажность нижнего слоя почвы зависела в основном от рельефа местности и стока грунтовых вод: наибольшая ее величина отмечалась на пашне и в чистых культурах сосны.

Таблица 17

**Влажность суглинистой почвы на приовражно-балочных землях в мае 2018 года**

Слой почвы	Влажность почвы в различных экотопах, %				
	Пашня	Луг	Чистый сосняк	Смешанные сосново-елово-березовые насаждения	
				Под кронами ели	Под кронами березы
0-20 см	16,2	22,8	23,4	20,9	23,6
30-50 см	14,9	14,9	16,2	14,4	16,2
60-80 см	16,7	14,6	16,9	15,2	16,1

Исследования, проведенные в первой декаде сентября засушливого 2002 года, показали, что влажность аллювиальных слабоподзолистых среднесуглинистых почв, подстилаемых карбонатным глинистым аллювием, в каждом из шести краткойпойменных экотопов лесопарка «Дубовая роща» изменялась в пределах вертикального профиля по-разному (табл. 18, рис. 24). Наиболее сухим являлся в это время верхний слой почвы на лугах (экотопы 1 и 2), особенно в местах с высокой рекреационной нагрузкой (экотоп 1). Ближе всего к лугам по характеру вертикального распределения влажности почв примыкали культуры тополя (экотоп 3) и лиственницы (экотоп 4), созданные на лесных полянах. В первом из них почва была наиболее иссушена на глубине 20-30 см, а во втором – 40-50 см. Влажность почвы в этих слоях оказалась даже более низкой, чем на лугах. Наиболее высокая влажность почвы была под пологом смешанных дубово-пихтово-липовых и осиновых древостоев естественного происхождения (экотопы 5 и 6), которые обладали наибольшей способностью к сохранению запасов влаги. Создание же на пойменных лугах культур лиственницы, а особенно тополя, не привело к существенному изменению здесь запасов влаги в почве. Различия между экотопами по влажности в них почвы довольно велики и составляли в самом верхнем слое 16,2 %, на глубине от 5 до 40 см – 8,2-9,4 %, от 40 до 60 см – 10,0-10,2 %, от 60 до 80 см – 5,0-10,2 %, а на глубине от 80 до 100 см – 8,7-11,9 %

Таблица 18

**Изменение влажности почвы по градиенту глубины в различных экотопах лесопарка «Дубовая роща» по данным измерений, проведенных 8.09.2002**

Глубина слоя, см	Значение влажности почвы в различных экотопах, %					
	Луг 1	Луг 2	Тополь	Лиственница	Дубо-липняк	Осинник
0-5	17,7	19,7	19,0	21,8	25,1	34,4
5-10	17,4	19,6	18,3	22,5	24,9	33,0
10-20	16,5	19,9	17,4	21,0	25,8	24,9
20-30	17,1	23,2	14,2	18,6	23,6	22,8
30-40	13,9	15,3	21,1	13,2	18,6	21,4
40-50	17,2	14,4	21,5	11,5	17,9	21,4
50-60	20,7	20,4	20,8	14,8	25,0	18,3
60-70	23,1	21,2	20,0	18,2	25,9	18,1
70-80	23,3	23,7	19,3	19,5	22,1	18,7
80-90	23,8	30,2	19,1	19,2	20,6	18,3
90-100	24,2	23,6	20,8	21,7	19,7	15,5

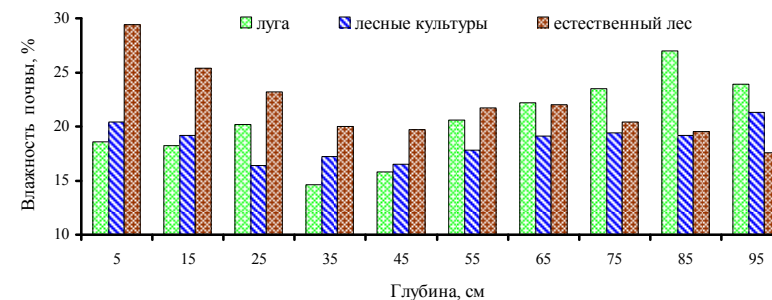


Рис. 24. Характер изменения влажности почвы по градиенту их глубины в различных экотопах лесопарка «Дубовая роща» в первой декаде сентября 2002 года

При анализе многолетней динамики водного режима почв целесообразно использовать не показатели их влажности, которые, как показано выше, зависят от содержания органических веществ и глинистых частиц, а запасы влаги, выраженные в миллиметрах водного столба или же в тоннах на 1 га, что позволяет сопоставить их с количеством выпавших осадков. На основе проведенных расчетов было установлено, что запасы воды в почве основных лесов заповедника изменялся по датам учета влагообразно, что связано с сезонными его колебаниями. Малые запасы влаги в сосняках лишайниково-мшистых отмечались в июне 2015, в июле 2016 и в сентябре 2018 годов, а наиболее высокие – в июле и сентябре 2017 года (рис. 25). С июля 2016 года до июля 2017 запасы влаги в

почве неуклонно увеличивались, что связано с выпадением большого количества осадков. Весной 2018 года они значительно снизились по сравнению с осенью предыдущего года, когда отмечалось обратное явление. Летом 2018 года запасы влаги в почве за счет обильных осадков вновь увеличились, а к осени резко упали до рекордно низких отметок. Изменение влагозапасов в почве сосняков на объектах мониторинга происходило очень синхронно ( $r = 0,92$ ). Менее сходной была динамика их в разных слоях почвы ( $r = 0,52 \dots 0,87$ ).

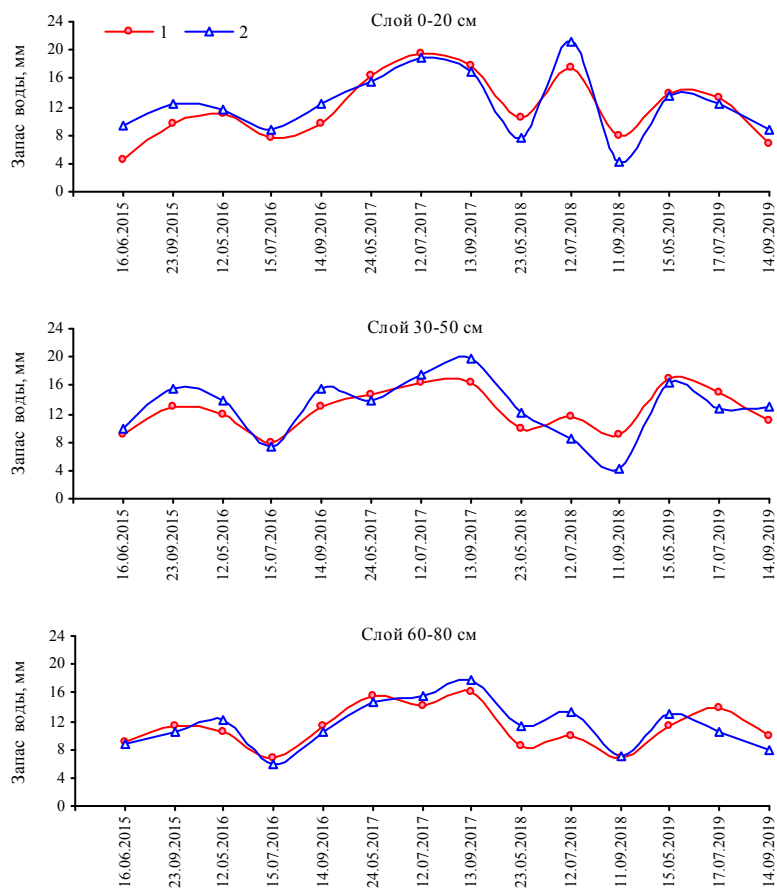


Рис. 25. Динамика запасов влаги в почве сосняков на постоянных пробных площадях: 1 – сосняк лишайниковый, 2 – сосняк лишайниково-мшистый

Запас воды в глинистой почве нагорного липняка снытьевого изменялся по датам учета также волнообразно (рис. 26). Запасы воды в почве весной, как правило, увеличивались за счет снеготаяния, а к осени снижались. Изменение влагозапасов в разных слоях почвы происходило более синхронно, чем в сосняках ( $r = 0,82 \dots 0,98$ ). Наиболее высокая отметка была зафиксирована в мае 2018 года, а минимальная – в сентябре этого же года. Многолетние колебания запасов влаги в метровом слое глинистой почвы в липняке снытьевом были более резко выраженными, чем в сосняке лишайниково-мшистом (рис. 27), и, несмотря на общий ход погодных условий, слабо связанными с ними ( $r = 0,30$ ).

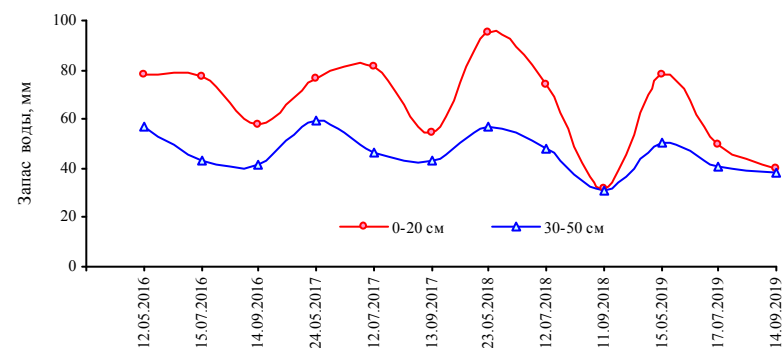


Рис. 26. Динамика запасов влаги в почве липняка снытьевого на постоянной пробной площади в Ботаническом саду-институте ПГТУ



Рис. 27. Динамика запасов влаги в метровом слое почвы на объектах мониторинга

Исследования показали, что песчаные почвы, где произрастают в основном сосняки, обладают очень малой влагоемкостью и способны удержать только лишь небольшую часть атмосферных осадков. Основная же их масса беспрепятственно проходит сквозь почву вплоть до уровня грунтовых вод, поступая постепенно в реки. Некоторая их часть поглощается кронами деревьев и их корнями, о чем свидетельствует отмеченный выше факт снижения влажности почвы с увеличением ее глубины. Влагоемкость же суглинистых и глинистых почв в 3,5-5,0 раза выше, однако и они не способны полностью удерживать выпавшие осадки, часть которых переходит в подземный или поверхностный сток.

Во всех экотопах Республики Марий Эл расход воды в летний период преобладает над приходом ее с атмосферными осадками, что приводит к снижению почвенных влагозапасов к осени и последующему их пополнению весной за счет снеготаяния (рис. 28). На глинистой почве в липняке снытьевом в метровом ее слое запас влаги с середины мая по середину сентября снижался в среднем на 120 мм, а на пахотных легкосуглинистых землях, по многолетним данным [2], – на 50 мм. В сосняках же, произрастающих на рыхлых песках, влагозапасы зависят в основном от атмосферных осадков и изменяются между периодами учета в течение летнего сезона максимум всего на 37 мм, составляя в среднем 3-4 мм. Пополнение их весной за счет снеготаяния может достигать 20 мм, как это отмечалось в 2017 году. Чаше же всего запасы воды весной оказываются ниже, чем в сентябре предшествующего года, что отмечалось в 2016 и 2018 годах. Из всего изложенного следует, что микроклимат почв в каждом экотопе сугубо специфичен: в сухих и свежих борах температура всегда выше, чем в свежих сураменях и раменях, однако запасы влаги в них крайне малы (рис. 29 и 30).

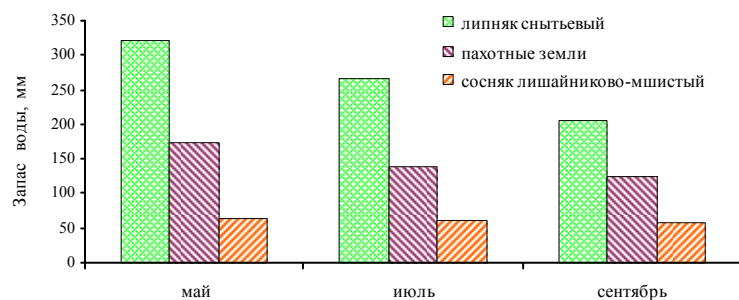


Рис. 28. Сезонная среднегодовая динамика запасов воды в почвах различных экотопов Республики Марий Эл

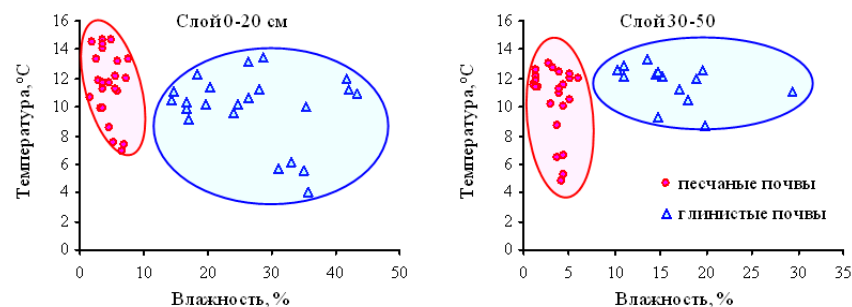


Рис. 29. Область рассеивания значений температуры и влажности почв разного гранулометрического состава в весенне-осенний период

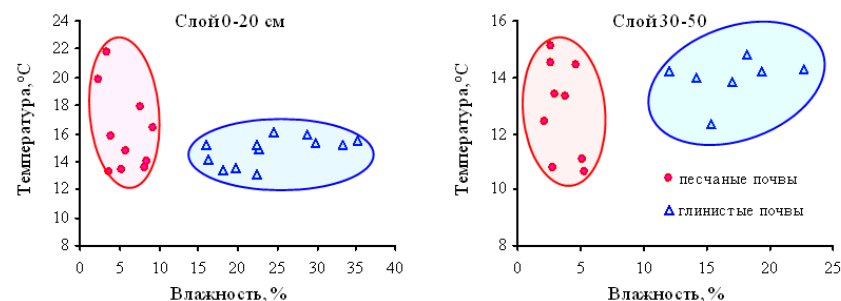


Рис. 30. Область рассеивания значений температуры и влажности почв разного гранулометрического состава в летний период

Изменение температуры и влажности почвы существенным образом отражается, как известно [18, 19, 22, 31, 36], на развитии растений и почвенной микробиоты, которая, разлагая органическое вещество, выделяет в атмосферу углекислый газ и метан, увеличивая парниковый эффект. Наилучшие условия для развития корней сосны складываются, по данным А.А. Коротаева [22], при температуре почвы +16...18°C и влажности 50-60 % от предельно возможной. Для аммонифицирующих и нитрифицирующих бактерий оптимальна, по данным исследователей [18, 19, 30], температура почвы +25°C и влажность 20-25 %, а для актиномицетов и целлюлозоразрушителей – соответственно +15°C и 15-20 % (рис. 31). Повышение или же снижение этих параметров относительно оптимума отрицательно отражается на развитии растений и микроорганизмов.



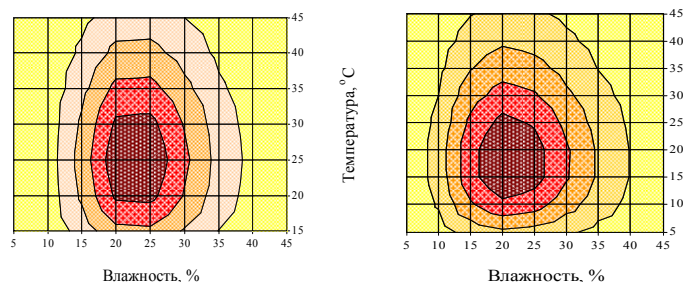


Рис. 31. Зоны успешности развития почвенной микробиоты в зависимости от параметров микроклимата почв: слева – аммонифицирующие и нитрифицирующие бактерии, справа – актиномицеты и целлюлозоразлагающие бактерии. Темная раскраска соответствует зоне оптимума, а наиболее светлая – зонам пессимума

Условия для развития почвенных микроорганизмов в лесных экотопах, как следует из приведенных данных, далеки от оптимума, особенно на песках, где они всегда испытывают острый недостаток влаги. Весной и осенью оно сдерживается также недостатком температуры, что особенно сильно ощущается в сомкнутых липняках, произрастающих на глинистых почвах, где дополнительное отрицательное влияние на микроорганизмы оказывает иногда избыток влаги. В летний период температура почвы в этих экотопах тоже ограничивает развитие микробиоты, наиболее благоприятные условия для которой складываются лишь в верхнем слое почвы глубиной до 40-50 см.

Проведенные нами исследования позволили, таким образом, определить в первом приближении пределы и закономерности изменчивости параметров микроклимата почв в различных экотопах Республики Марий Эл. Они показали также важность их оценки и необходимость ведения мониторинга, которые позволят глубже понять механизм и направленность биогеоценотических процессов в связи с динамикой условий внешней среды.

### Заключение

По результатам исследований можно сделать следующие выводы:

1. Почва, по сравнению с приземным слоем атмосферы, характеризуется более сглаженным температурным режимом, и ее средняя годовая температура, которая практически не изменяется с глубиной, выше средней годовой температуры воздуха на 4,2-4,5°C. На глубине всего 20 см температура почвы в течение девяти месяцев (январь-март и

июль-декабрь) выше средней месячной температуры воздуха, а на глубине 320 см с апреля по сентябрь она, наоборот, ниже.

2. Связь между многолетними рядами значений средней месячной температуры воздуха и почвы в зимний период довольно слабая, что связано с вариацией толщины снежного покрова в разные годы, а с апреля по октябрь – очень тесная. Очень тесная также связь между средней годовой температурой почвы на глубине 20 см и приземного слоя атмосферы, оцененная по материалам наблюдений различных метеостанций России.

3. Годовой ход температуры почвы на каждой отметке глубины имеет свои особенности, отражаемые соответствующими уравнениями регрессии. Сезонный минимум на глубине 20 см отмечается чаще всего в конце третьей декады декабря или в середине первой декады января, сдвигаясь на 5-7 дней на каждые 10 см глубины (на глубине 320 см он отмечается уже в конце апреля). Температурный максимум на глубине 20 см наступает в основном в середине июля, а на глубине 320 см – в конце августа или даже сентября. С увеличением глубины измеряемого слоя почвы размах сезонных изменений температуры постепенно уменьшается.

4. Термический режим почвы зависит от их гранулометрического состава и влажности, а также характера растительного покрова и хозяйственного использования земель (на селитебных территориях и сельскохозяйственных угодьях температура почвы выше, чем в лесу).

5. Значения средней температуры почвы в летне-осенний период и годового максимума имеют четкую тенденцию к увеличению, связанную с глобальным потеплением климата, что подтверждает данные исследователей по другим регионам России. Не остается также постоянной во времени продолжительность периодов с различной температурой почвы и суммой накопленного тепла, величина которых медленно, но неуклонно возрастает от года к году, что приводит летом к возрастанию разности между температурой почвы и воздуха. Годовой же минимум температуры и глубина промерзания почвы тренда практически не имеют, флуктуируя вокруг некоторого среднего уровня.

6. Характер изменения температуры почвы по градиенту её глубины в пределах одного и того же экотопа во многом зависит от погодных условий конкретного года, а в пределах одного года – от особенностей экотопов, влияние которых сглаживается обычно в середине лета. Большое влияние на температуру почвы в сосняках лишайниковых и лишайниково-мшистых оказывает напочвенный покров, который развит здесь очень сильно. Температура почвы в связи с неоднородностью ее структуры и мощности напочвенного покрова значительно изменяется в

пространстве экотопов на всей ее глубине, что приводит к образованию довольно четко выраженных тепловых парцелл, границы которых для разных слоев почвы не совпадают между собой (рис. 10, табл. 10) и не связаны напрямую с густотой древостоя.

7. Влажность почвы в экотопах изменяется в не меньшей степени, чем ее температура. В песчаных почвах пределы варьирования ее значений снижаются по градиенту глубины с 7,46 до 4,28 %, а в глинистых же почвах наиболее высокая изменчивость влажности отмечается в слое 30-50 см, где расположена основная масса сосущих корней деревьев. Изменение этого показателя по градиенту профиля почвы в каждом экотопе происходит по-разному, что связано с характером поглощения атмосферных осадков надземной частью фитоценозов и дальнейшей их инфильтрацией, а также деятельностью корней растений.

8. Наибольшую влажность в течение всего вегетационного периода во всех лесных экотопах имеет самый верхний слой почвы, что свидетельствует об атмосферном пополнении в них запасов влаги и промывном типе их водного режима. В луговых же экотопах весной и летом наиболее высокую влажность имеет слой почвы на глубине 60-80 см, а минимальную – на глубине 30-50 см. Осенью картина становится диаметрально противоположной. Определенное влияние на сезонную динамику влажности почвы оказывают погодные условия каждого конкретного года, не меняющие в целом ее общей закономерности.

9. Многолетние колебания запасов влаги в метровом слое глинистой почвы в липняке снытьевом были более резко выраженными, чем в сосняке лишайниково-мшистом (рис. 27), и, несмотря на общий ход погодных условий, слабо связанными с ними ( $r = 0,30$ ).

10. Песчаные почвы, где произрастают в основном сосняки, обладают очень малой влагоемкостью и способны удержать лишь небольшую часть атмосферных осадков. Некоторая их часть поглощается кронами деревьев и их корнями, о чем свидетельствует снижение влажности почвы с увеличением ее глубины. Влагоемкость же суглинистых и глинистых почв в 3,5-5,0 раза выше, однако и они не способны полностью удерживать выпавшие осадки, часть которых переходит в подземный или поверхностный сток.

11. Во всех экотопах Республики Марий Эл расход воды в летний период преобладает над приходом ее с атмосферными осадками, что приводит к снижению почвенных влагозапасов к осени и последующему их пополнению весной за счет снеготаяния. На глинистой почве в липняке снытьевом в метровом ее слое запас влаги с середины мая по середину сентября снижался в среднем на 120 мм, на пахотных легкосуглинистых землях – на 50 мм, на рыхлых песках – всего на 3-4 мм.

Пополнение их за счет снеготаяния может достигать в сосняках лишайниковых 20 мм, но чаще же всего запасы воды весной оказываются ниже, чем в сентябре предшествующего года.

12. Микроклимат почв в каждом экотопе сугубо специфичен: в сухих и свежих борах температура всегда выше, чем в свежих сураменях и раменах, однако запасы влаги в них крайне малы.

13. Условия для развития почвенных микроорганизмов во всех лесных экотопах далеки от оптимума, особенно на песках, где они всегда испытывают острый недостаток влаги. Весной и осенью их развитие сдерживает также недостаток температуры, что особенно сильно ощущается в сомкнутых липняках, произрастающих на глинистых почвах, где дополнительное отрицательное влияние на микроорганизмы оказывает иногда избыток влаги. В летний период температура почвы в сомкнутых лиственных лесах тоже ограничивает развитие микробиоты, наиболее благоприятные условия для которой складываются лишь в верхнем слое почвы глубиной до 40-50 см.

14. Для глубокого понимания роли микроклимата почв в функционировании лесных биогеоценозов необходимо во всех заповедниках организовать регулярные наблюдения за изменением его параметров, которые помогут выявить существующие тенденции их изменения и оценить реакцию на них биоты.

#### **Библиографический список**

1. Архангельская, Т. А. Температурный режим комплексного почвенного покрова / Т.А. Архангельская. – Москва: ГЕОС, 2012. – 282 с.
2. Агроклиматические ресурсы Марийской АССР. – Ленинград: Гидрометеоиздат, 1972. – 108 с.
3. Балыбина, А. С. Дендроиндикация температуры почвы в котловинах байкальского типа / А.С. Балыбина, И.Е. Трофимова // География и природные ресурсы. – 2013. – № 2. – С. 58-65.
4. Битюков, Н. А. Температурный режим бурых лесных почв под букняками / Н.А. Битюков // Известия Сочинского государственного университета. – 2012. – № 3 (21). – С. 219-223.
5. Структурно-функциональная организация подстилок в борах Марийского Заволяжья / Л.Г. Богатырев, Ю.П. Демаков, А.В. Исаев, Р.Н. Шарифутдинов и др. // Вестник Московского государственного университета. Серия: Почвоведение. – 2019. – № 1. – С. 3-9.
6. Вадюнина, А. Ф. Методы исследования физических свойств почв / А.Ф. Вадюнина, З.А. Корчагина. – Москва: Агропромиздат, 1986. – 415 с.
7. Вальтер, Г. Растительность Земного шара. Эколого-физиологическая характеристика. Т. 2: Леса умеренной зоны / Г. Вальтер. – Москва: Прогресс, 1974. – 423 с.

8. Взнуздаев, Н. А. Температурный режим серых лесных почв предгорий Северо-Западного Кавказа / Н.А. Взнуздаев // Почвоведение. – 1967. – № 4. – С. 60-65.
9. Воронин, А. Д. Основы физики почв / А.Д. Воронин. – Москва: Изд-во МГУ, 1986. – 244 с.
10. Галенко, Э. П. Формирование теплового режима почв хвойных экосистем бореальной зоны в зависимости от лесобразующей породы и типа леса / Э.П. Галенко // Известия Коми научного центра УрО РАН. – 2013. – Вып. 1 (13). – С. 32-37.
11. Гринин, А. С. Математическое моделирование в экологии / А.С. Гринин, Н.А. Орехов, В.Н. Новиков. – Москва: ЮНИТИ-ДАНА, 2003. – 269 с.
12. Демаков, Ю. П. Пространственное изменение температуры почвы в суходольных и пойменных биогеоценозах / Ю.П. Демаков, А.В. Исаев // Научные труды государственного природного заповедника «Большая Кокшага». Вып. 6. – Йошкар-Ола: МарГУ, 2013. – С. 39-47.
13. Характер изменения параметров микроклимата почв в лесных биогеоценозах Республики Марий Эл / Ю.П. Демаков, А.В. Исаев, С.Н. Бродников, В.Г. Краснов // Лесные экосистемы в условиях изменения климата: биологическая продуктивность и дистанционный мониторинг: материалы междунард. конф. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2016. – С. 34-43.
14. Демаков, Ю. П. Роль лесной подстилки в борах Марийского Заволжья и вариабельность ее параметров / Ю.П. Демаков, А.В. Исаев, Р.Н. Шарафутдинов // Научные труды государственного природного заповедника «Большая Кокшага». Вып. 8. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2017. – С. 15-43.
15. Демаков, Ю. П. Изменение температуры почвы на территории Республики Марий Эл за последние полвека // Ю.П. Демаков, А.В. Исаев, Г.А. Богданов // Лесные экосистемы в условиях изменения климата: биологическая продуктивность и дистанционный мониторинг. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2018. – С. 64-74.
16. Десяткин, Р. В. Температурный режим мерзлотно-таежных почв Центральной Якутии / Р.В. Десяткин, А.Р. Десяткин, П.П. Федоров // Криосфера Земли. – 2012. – Т. XVI, № 2. – С. 70-78.
17. Дрейпер, Н. Прикладной регрессионный анализ / Н. Дрейпер, Г. Смит. – Москва: Статистика, 1973. – 392 с.
18. Звягинцев, Д. Г. Почва и микроорганизмы / Д.Г. Звягинцев. – Москва: Наука, 1986. – 256 с.
19. Звягинцев, Д. Г. Биология почв / Д.Г. Звягинцев, И.П. Бабьева, Г. М. Зенова. – Москва: МГУ, 2005. – 445 с.
20. Клинцов, А. П. Температурный режим почвы каменно-березовых лесов Центрального Сахалина / А.П. Клинцов // Лесоведение. – 1988. – № 6. – С. 11-17.
21. Кононенко, А. В. Гидротермический режим таежных и притундровых почв европейского Северо-Востока / А.В. Кононенко. – Ленинград: Наука, 1986. – 144 с.
22. Кортаев, А. А. Влияние температуры и влажности почвы на рост корней в культурах хвойных пород / А.А. Кортаев // Лесоведение. – 1987. – № 2. – С. 50-58.

23. Корсунов, В. М. Пространственная организация почвенного покрова / В.М. Корсунов, Е.Н. Красеха. – Новосибирск: Наука, 1990. – 199 с.
24. Кремер, А. М. Неоднородности почвенного покрова как самоорганизующейся системы / А.М. Кремер // Закономерности пространственного варьирования свойств почв и информационно-статистические методы их изучения. – Москва: Наука, 1970. – С. 68-80.
25. Кулькова, Л. В. Сезонная динамика температуры почв лесных и открытых биотопов заповедника «Басеги» / Л.В. Кулькова, Н.Г. Шавалиева // Вестник Пермского университета. – 2011. – Вып. 3-4. – С. 45-49.
26. Литвак, П. В. Многолетние наблюдения за температурой почвы в сосновых насаждениях Полесья УССР / П.В. Литвак // Лесоведение. – 1970. – № 6. – С. 63-69.
27. Макарычев С. В. Сезонная динамика запасов тепла в дерново-подзолистых почвах ленточных боров / С.В. Макарычев, В.И. Пастухов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2013. – № 4 (102). – С. 24-27.
28. Макарычев, С. В. Формирование гидротермического режима почвы под древесными породами в условиях дендрария / С.В. Макарычев, Л.В. Лебедева // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2016. – 5 (139). – С. 44-49.
29. Молчанов, А. А. Лес и климат / А.А. Молчанов. – Москва: АН СССР, 1961. – 247 с.
30. Новоселов, С. И. Эффективность использования биологического азота в земледелии Нечерноземья / С.И. Новоселов, Е.С. Новоселова, А.А. Завалин. – Йошкар-Ола: МарГУ, 2012. – 149 с.
31. Орлов, А. Я. Температура почвы и производительность почвы / А.Я. Орлов // Доклады АН СССР. – 1953. – Т. 12, № 4. – С. 957-960.
32. Программа и методика биогеоценологических исследований / под ред. В.Н. Сукачева и Н.В. Дылиса. – Москва: Наука, 1966. – 335 с.
33. Роде, А. А. Почвоведение / А.А. Роде, В.Н. Смирнов. – Москва: Высшая школа. 1972. – 480 с.
34. Татаринцев, Л. М. Природная динамика физических и теплофизических свойств почв / Л.М. Татаринцев // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2015. – № 3 (19). – С. 36-41.
35. Худяков, О. И. Лесорастительные свойства почв лесотундры в связи с потеплением климата / О.И. Худяков, О.В. Решоткин // Современные проблемы притундровых лесов. – Архангельск: САФУ, 2012. – С. 115-122.
36. Шульгин, А. М. Климат почвы и его регулирование / А.М. Шульгин. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1967. – 341 с.
37. Soil characteristics mediate the distribution and response of boreal trees to climatic variability / S. Gewehr, I. Drobyshev, F. Berninger, Y. Bergeron // Canadian Journal of Forest Research. – 2014. – Vol. 44 (5). – P. 487-498.
38. Response of northeastern North American forests to climate change: Will soil conditions constrain tree species migration? / B. Lafleur, D. Paré, A.D. Munson, Y. Bergeron // Environmental Reviews. – 2010. –Vol. 1. – P. 279-289.

39. Mellander, P.E. Climate change impact on snow and soil temperature in boreal Scots pine stands / P.E. Mellander, M.O. Löfvenius, H. Laudon // Climatic Change. – 2007. – Vol. 85, Iss. 1–2. – P. 179–193.

#### SEASONAL AND MULTI-YEAR DYNAMICS OF SOIL MICROCLIMATE IN VARIOUS ECOTOPES OF MARI EL REPUBLIC

Iu. P. Demakov, A. V. Isaev

**Keywords:** ecotopes; soil; temperature; humidity; deposit of moisture; spacial variability; seasonal and multi-year dynamics.

The research results of soil microclimate in various ecotopes of Bolshaya Kokshaga nature reserve and Mari El Republic are given. The limits and regularities of seasonal and multi-year dynamics of temperature and humidity upon the gradient of their depth are determined based on the obtained results. It was found that the average yearly temperature of soil was 4.2–4.5°C higher than the average yearly temperature of the air and ranged from 6.8 to 7.1°C. Besides, it slightly changed with the depth. At a 20 cm depth, it is higher than the mean monthly air temperature during nine months (January– March, July–December). The correlation relationship between multi-year series of values of mean monthly air and soil temperature in winter is rather weak, it is explained with different snow depth over the years. From April to October, it is very strong. According to the data of Russian meteorological stations, the connection between the mean annual soil temperature at a depth of 20 cm and the temperature of surface air is also a strong one. Mean soil temperature in summer-autumn period and annual maximum of temperature have a clear tendency to increase which is due to the global warming. It is shown that the soil microclimate depends, in some degree, on its granulometric composition, nature and width of soil cover, forest density and stand composition. The conditions for soil microorganisms' growth in all the forest ecotopes are far from ideal. It particularly concerns the sands where soil microorganisms always suffer from an acute shortage of moisture. In spring and autumn, lack of temperature restrains their development, which is particularly strong in the closed linden groves, growing on the clay soils. The authors conclude it is necessary to arrange the routine observations over the temperature and humidity of soil in nature reserves that will help to reveal the existing trends of climate change and responses of forest ecosystems.

УДК 630\*561.21:674.032.16

#### ЗАКОНОМЕРНОСТИ РОСТА ДЕРЕВЬЕВ РАЗНЫХ ПОКОЛЕНИЙ В СОСНЯКАХ ЗАПОВЕДНИКА «БОЛЬШАЯ КОКШАГА»

Ю. П. Демаков, Д. В. Тишин, П. Ю. Искандиров

*Приведены данные по динамике радиального прироста деревьев разных поколений в сосняках заповедника «Большая Кокшага». Установлено, что средняя ширина годичного кольца деревьев на объектах исследования довольно тесно связана с их возрастом, убывая в целом по мере его увеличения. Связь между диаметром и возрастом деревьев во всех экотопах различна, что является свидетельством не только разной скорости их роста, но также сложившихся условий среды. Показано, что появление новых поколений деревьев и разрушение старых связано в основном с лесными пожарами, повреждавшими большие массивы лесов на современной территории заповедника в 1780, 1825, 1850, 1910, 1921 и 1932 годах. Отмечено сильное и продолжительное снижение годичного прироста деревьев после крупного извержения вулкана Тамбора, произошедшего в 1815 году в Индонезии, а также влияние на характер его динамики изменения скорости вращения Земли и солнечной активности, вызывающие перестройку биогеоценозов в тот или иной период времени. Сделан вывод о том, что динамика радиального прироста деревьев одного и того же поколения в разных экотопах далеко не сходна между собой, что является убедительным доказательством зависимости ее в основном от биоценологических, а не внешних факторов, воздействие которых всегда опосредовано.*

**Ключевые слова:** сосна обыкновенная; ценопопуляции; поколения; годичный радиальный прирост; динамика; закономерности; факторы.

В науке должно искать идеи. Нет идей, нет и науки!  
Знание фактов только потому и драгоценно, что  
в фактах скрываются идеи.  
В. Г. Белинский

Если в голове нет идей, то не увидишь и фактов.  
И. П. Павлов

#### Введение

Одной из актуальных задач биогеоценологии является оценка реакции древостоев на природные и антропогенные воздействия. Для решения данной задачи чаще всего используют методы дендрохронологии, основанные на анализе рядов годичного радиального прироста деревьев, позволяющего точно датировать время наступления благоприятных и

неблагоприятных периодов в их жизни. Этой проблематике посвящено множество публикаций [1-3, 7, 29, 34-36, 40, 41, 45, 46, 55, 57, 58], однако некоторые вопросы являются дискуссионными или слабо освещенными, что связано как с разнообразием самих лесных биогеоценозов, так и характером экологических воздействий на них, а также подходов исследователей к решению поставленных задач. Дело в том, что информация, содержащаяся в годичных кольцах, представляет собой смесь сведений о динамике состояния деревьев, их биотического окружения и внешней среды [14-18, 20-23].

**Цель исследования** заключалась в выявлении закономерностей роста деревьев разных поколений в сосняках заповедника, в том числе оценке характера изменений величины их радиального прироста под влиянием комплекса климатических и биоценологических факторов.

#### Объекты и методика исследования

Исследования проведены на трех пробных площадях, заложенных в разновозрастных древостоях сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*), произрастающих в различных экотопах заповедника «Большая Кокшага».

**Экотоп № 1** представлен постоянной пробной площадью 90-3-05, заложенной в 2005 году в выделе 27 кв. 90 заповедника. Тип леса – сосняк лишайниково-мшистый, ТЛУ – А<sub>2</sub> (свежий бор), рельеф слабоволнистый, почва песчаная дерново-слабоподзолистая, слабо гумусированная. Древостой естественного происхождения, возникший на гари 1930 года, сосново-березовый (92С8Б), состоящий из трех возрастных поколений (рис. 1). Средний диаметр деревьев составляет 20,2 см, средняя высота – 20,4 м, относительная полнота – 0,86, запас – 339 м<sup>3</sup>/га. Подлесок очень редкий из рябины, можжевельника, раkitника русского, подрост практически отсутствует. Основу живого напочвенного покрова составляют лишайники (кладонии лесная и оленья) и зеленые мхи (плеврозий Шребера и дикранум волнистый), покрывающие до 90 % поверхности почвы. Травяной покров крайне редкий (покрытие менее 5 %), состоящий из марьянника лугового, ястребинки зонтичной, толокнянки, брусники, ландыша и плауна сплюснутого.

**Экотоп № 2** представлен постоянной пробной площадью, заложенной в 2014 году лесоустроительной партией в выделе 17 кв. 75 заповедника рядом с бывшим песчаных карьером неподалеку от дер. Шаптунга. Тип леса – сосняк черничниково-зеленомошный, ТЛУ – А<sub>3</sub> (влажный

бор), рельеф слабоволнистый, почва песчаная дерново-слабоподзолистая, слабо гумусированная. Древостой естественного происхождения чисто сосновый с густым вторым ярусом из ели, состоящий из трех возрастных поколений. Средний диаметр деревьев – 24,8 см, средняя высота – 25,7 м, относительная полнота – 0,98, запас – 367 м<sup>3</sup>/га. Подлесок и подрост практически отсутствуют. Основу живого напочвенного покрова составляют черника и зеленые мхи (плеврозий Шребера и дикранум волнистый).



Рис. 1. Общий вид древостоя в лишайниково-мшистом и черничниковом типах леса

**Экотоп № 3** находится на экологической тропе рядом с кордоном Шимаево в выделе 37 кв. 64 заповедника. Тип леса – сосняк припойменный дубово-липовый с елью, ТЛУ – В<sub>3</sub> (влажная суборь), рельеф ровный. Древостой естественного происхождения, состоящий из нескольких возрастных поколений деревьев, средний диаметр которых составляет 32 см, а средняя высота – 26 м. Подлесок из липы, рябины и бересклета бородавчатого, подрост редкий из ели, пихты и дуба. Основу живого напочвенного покрова составляют орляк, черника, ландыш, майник, копытень, зеленые мхи.

Для анализа использованы керны древесины, взятые буравом Пресслера на высоте 1,3 м от поверхности почвы у 44 деревьев (рис. 2), не имеющих каких-либо внешних повреждений ствола и плодовых тел грибов. Возраст деревьев изменялся от 65 до 235 лет, а их диаметр – от 19 до 64 см (табл. 1).



Рис. 2. Взятие кернов в лесу и их измерение в лаборатории

Измерение ширины годовичных колец проведено в лаборатории дендрохронологии Казанского федерального университета на полуавтоматической установке LINTAB-6 с точностью 0,01 мм (в общей сложности измерено 5307 годовичных колец). Контроль качества измерений, а также поиск выпадающих и ложных колец проводили с помощью программы COFESHA [61, 62]. Для обработки цифрового материала использовали стандартные методы математической статистики [11, 26, 50] и дендрохронологии [3, 7, 53, 54, 69]. Для очищения исходных рядов от неизбежно присутствующих в них «шумов» и более четкого выделения сигнала проводили сглаживание по скользящим пятилетиям с использованием чисел Фибоначчи [52].

Таблица 1

**Общая характеристика модельных деревьев сосны разных поколений в экотопах**

Экотоп	Поколение	Параметры модельных деревьев		
		Годы появления	Возраст, лет	Диаметр, см
1. Красная горка	1	1783	223	42
	2	1851-1871	135-155	30-42
	3	1935-1940	65-70	19-24
2. Шаптунга	1	1784-1814	205-235	36-64
	2	1827-1860	160-195	32-46
	3	1938-1953	65-80	26-42
3. Шимаево	1	1826-1842	180-195	46-52
	2	1911-1922	100-110	40-58
	3	1945-1952	65-75	40-58

**Результаты исследований и их интерпретация**

Одним из важнейших показателей, характеризующих рост деревьев, является ширина годовичного кольца, отражающая величину их текущего годовичного радиального прироста. Анализ исходного материала показал, что значения ширины годовичного кольца варьируют в очень больших пределах (рис. 3-5), однако, несмотря на это, разные поколения ценопопуляций сосны существенно отличаются друг от друга. Наиболее высокая средняя величина годовичного прироста отмечается у деревьев третьего поколения, особенно на экологической тропе у кордона Шимаево, а самая низкая – у деревьев первого поколения (табл. 2).

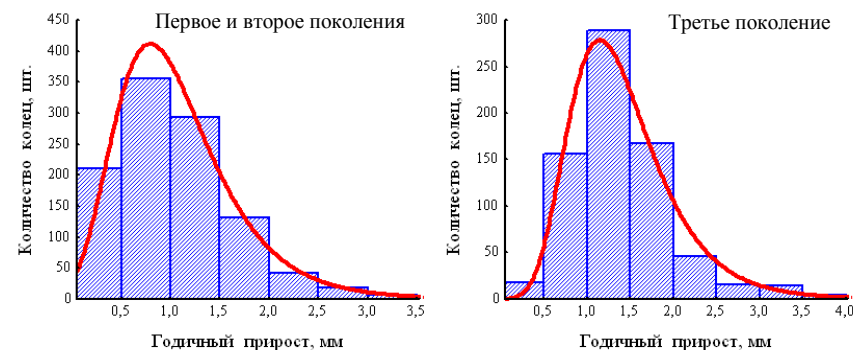


Рис. 3. Характер распределения количества годовичных колец деревьев по их ширине в экотопе № 1

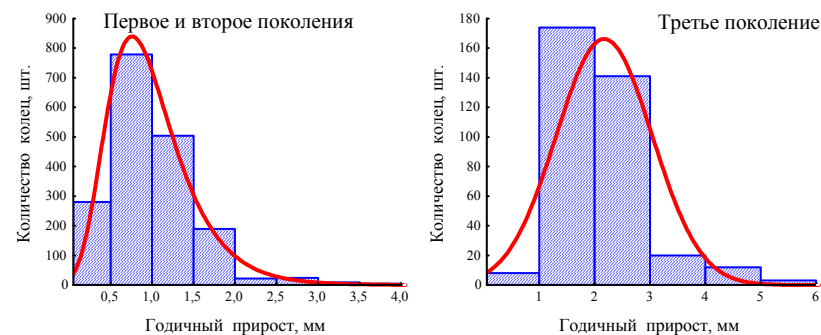


Рис. 4. Характер распределения количества годовичных колец деревьев по их ширине в экотопе № 2

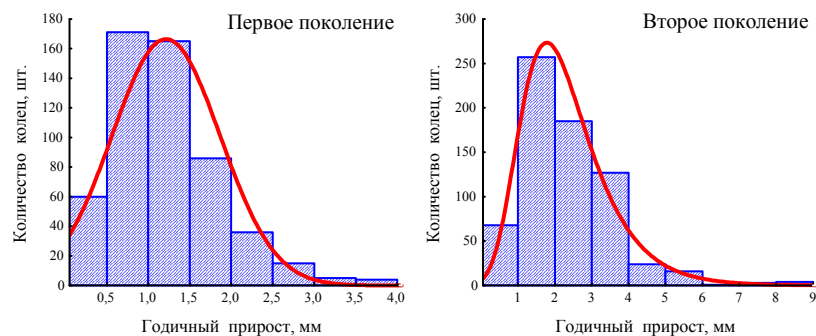


Рис. 5. Характер распределения количества годичных колец деревьев по их ширине в экотопе № 3

Таблица 2

**Закономерности изменения ширины годичных колец деревьев сосны в разных экотопах**

Экотоп	Поколение	Количество, шт.		Статистика ширины годичных колец, мм			
		деревьев	колец	$M \pm m$	min	max	$S_x$
1. Красная горка	1	1	218	$0,86 \pm 0,06$	0,10	5,05	0,89
	2	6	845	$1,12 \pm 0,02$	0,15	4,05	0,55
	3	11	712	$1,40 \pm 0,02$	0,20	4,25	0,59
2. Шаптунга	1	6	1302	$0,99 \pm 0,02$	0,08	3,84	0,55
	2	3	511	$0,99 \pm 0,02$	0,11	2,94	0,46
	3	5	360	$2,16 \pm 0,05$	0,74	8,11	0,86
3. Шимаево	1	3	542	$1,21 \pm 0,03$	0,11	3,94	0,65
	2	7	686	$2,32 \pm 0,05$	0,23	10,4	1,28
	3	2	131	$3,48 \pm 0,12$	0,83	7,32	1,43

Расчеты показали, что средняя ширина годичного кольца деревьев ( $Y$ , мм) довольно тесно связана с их возрастом ( $X$ , лет), убывая в целом по мере его увеличения (рис. 6). Для математического отображения этой зависимости наилучшим образом подходит уравнение Ципфа-Парето-Мандельброта  $Y = K \times \exp[-a \times (X - b)]$ , описывающее процессы рассеивания, распада и старения, происходящие в неживой и живой природе, а также в человеческом обществе [12, 13]. Все параметры этого уравнения, обладающего статусом закона, имеют конкретный биофизический смысл:  $K$  – исходное состояние системы в возрасте  $b$ ;  $a$  – константа, характеризующая интенсивность протекания процесса. Параметры  $K$  и  $a$

полностью определяют все свойства кривой, описываемой данной моделью, определяя положение всех характерных точек. Наличие этой зависимости в общем-то неудивительно, поскольку факт снижения прироста деревьев по мере их старения уже давно известен исследователям. Удивительно здесь то, что в каждом экотопе значения параметров уравнений сугубо специфичны, отражая особенности роста деревьев и, следовательно, условий среды их обитания:

в экотопе № 1  $Y = 1,49 \times \exp[-2,98 \times (X - 50)]$ ;  $R^2 = 0,670$ ;

в экотопе № 2  $Y = 2,46 \times \exp[-5,77 \times (X - 50)]$ ;  $R^2 = 0,810$ ;

в экотопе № 3  $Y = 3,98 \times \exp[-9,44 \times (X - 50)]$ ;  $R^2 = 0,791$ .

Величина параметров  $K$  и  $a$ , как видно из представленных данных, наиболее велика в экотопе № 3, а в экотопе № 1 она наименьшая. Ценопопуляции деревьев сосны, произрастающие в разных экотопах, различаются между собой не только по величине этих параметров, но и по степени однородности снижения годичного прироста всеми слагающими их особями, о чем свидетельствует значение коэффициента детерминации  $R^2$  уравнений. Наиболее однородна в этом отношении ценопопуляция в экотопе № 2, а наиболее же гетерогенна в экотопе № 1, где каждое дерево имеет свою среднюю скорость роста.

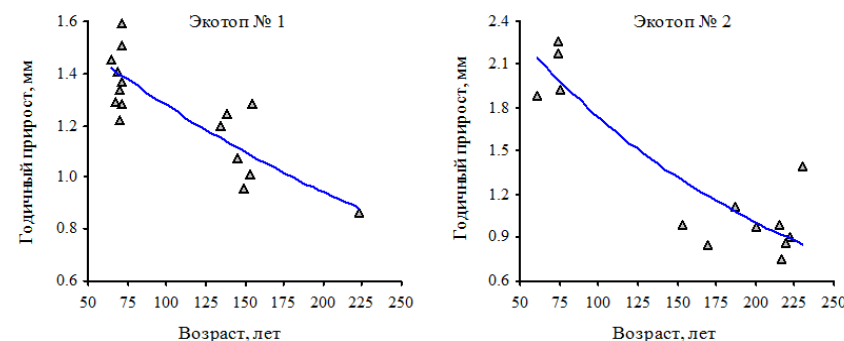


Рис. 6. Характер зависимости средней ширины годичного кольца деревьев в разных экотопах от их возраста

Средняя ширина годичного кольца и ее вариабельность характеризуют условия роста деревьев в экотопах лишь для всего временного ряда, но не отражают характера изменений, происходящих в различные периоды их жизни, а также причин разновозрастности древостоев. Большую информацию о процессах, происходивших в биогеоценозах,

несут деревья-долгожители, прошедшие через горнило всех природных аномалий и антропогенных воздействий. Самым старым в экотопе № 1 является дерево, которое появилось, вероятнее всего, на гари в 1784 году, о чем свидетельствует большая величина его годовичного прироста в первые 20 лет жизни (рис. 7). Интересно отметить, что причиной необычайно жаркого лета и засухи на территории Европы явилось извержение в июне 1783 года вулкана Лаки (Исландия, VEI = 4), продолжавшееся восемь месяцев. В результате выброса в атмосферу около 122 млн тонн двуоксида серы возник сухой «туман», покрывший собой территорию с севера на юг от Норвегии до Сирии, а с запада на восток – от Англии до Алтая [60, 66, 76], что привело, как установлено исследователями [5, 9, 74], к снижению температуры воздуха в последующий период.

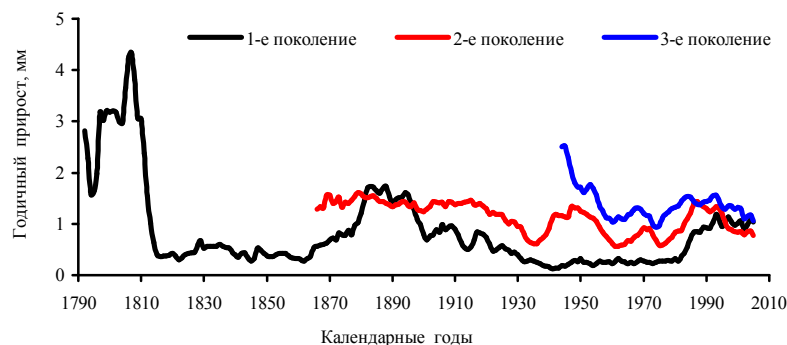


Рис. 7. Динамика радиального прироста деревьев разных поколений в экотопе № 1, сглаженная по предшествующим пятилетиям с использованием обратного ряда чисел Фибоначчи

В 1816 году последовал резкий спад величины прироста деревьев и длительный период его депрессии, продолжавшийся в течение 50 лет и во многом связанный, как можно предположить, с извержением вулкана Тамбора (Индонезия, 1815), мощность которого составила 7 баллов по шкале Ньюхолла (8-балльное извержение приведет, по мнению ученых, к уничтожению жизни на большей части территории нашей планеты). Оно было в восемь раз сильнее извержения вулкана Везувий и в четыре раза мощнее извержения вулкана Кракатау. Извержение подняло в воздух 160 км<sup>3</sup> пепла и миллионы тонн серосодержащих газов, достигших стратосферы. По всему миру наблюдалась дымка оранжевого оттенка и

кроваво-красные закаты, во многих странах Европы выпал коричневый и даже красноватый снег. При извержении высвободилось огромное количество энергии (800 мегатонн в тротиловом эквиваленте, что сопоставимо со взрывом 50 тысяч атомных бомб, подобных сброшенной на Хиросиму), что вызвало глобальное изменение климата, которое ощущалось в течение 30 лет после события: среднегодовая температура понизилась от 1 до 5 °С; сократился посевной период; летом 1816 года в Швейцарских Альпах почти каждую неделю выпадал снег; в Европе и Северной Америке отмечалось четыре волны заморозков, полностью погубивших урожай; поголовье домашнего скота сократилось; цены на продукты питания резко возросли, что привело к массовому голоду населения, унесшему, наряду с эпидемиями, 200 тысяч жизней [47, 67, 68, 70, 71, 75]. Голод в Европе привел к массовой эмиграции населения в Америку.

Извержение вулкана Тамбора, вызвавшее природные и социальные катаклизмы, привело к изменению некоторых ландшафтов, что нашло отображение на полотнах художников. Обратимся, к примеру, к полотну художника-пейзажиста Ивана Ивановича Шишкина, который выполнял свои работы **только с натуры** (исключением является картина «Утро в сосновом лесу», на которой медведица с медвежатами дописаны позднее другим художником для усиления колорита), «Рожь», написанному им в 1878 году. На нем изображена небольшая группа могучих сосен, растущих посреди ржаного поля (рис. 8). Не будем оценивать художественно-эстетические ассоциации, возникающие при обозревании этого полотна, так как у каждого человека они свои в зависимости от его мировосприятия, вкусов, наклонностей, уровня образования и профессии. Рассмотрим данное произведение с позиции натуралиста. Главный вопрос, который возникает при взгляде на картину, – каково происхождение данного ландшафта? Для ответа на этот вопрос необходимо совершить некоторый экскурс в историю.

До начала XVII века на Руси, особенно в средней полосе европейской части, при производстве зерна использовалась преимущественно подсеčno-огневая система земледелия, при которой сельскохозяйственные угодья люди создавали на месте вырубок леса, дополнительно проводя выжигание порубочных остатков и растительности. Через несколько лет поля забрасывали, так как урожай зерновых на них снижался до экономически нерентабельного уровня. Вновь возвращались на них через неопределенно долгое время, вырубая и выжигая леса на смежных



землях. В XVII-XVIII веках подсечно-огневая система земледелия была заменена на лесной перелог, суть которого состояла в строгом циклическом чередовании угодий по схеме «поле – лес – поле». Только с середины XVIII века сельское хозяйство полностью перешло на трехпольную систему земледелия, при которой уже практически полностью перестала происходить смена лесов полями и лугами.



Рис. 8. Картина И.И. Шишкина «Рождь»

В результате использования какой системы земледелия возник ландшафт, изображенный на этой картине? Подсечно-огневой? Нет, это полностью исключено! Подтверждением данному заключению является мощное развитие крон у сосен, которые опущены буквально до самой земли. У сосен, выросших в лесу, крона обычно занимает 35-40 % общей протяженности ствола дерева. Дополнительного же появления ветвей из ствола у сосен никогда не происходит. Внешний вид деревьев свидетельствует о том, что они возникли и давно произрастают на открытом пространстве. Может быть деревья возникли на сельскохозяйственных полях при использовании лесного перелога? Маловероятно, поскольку при обработке земли всходы и молодые сосенки были бы неизбежно уничтожены.

Как же появились эти деревья на пашне? Какие для этого были причины? Дать однозначный ответ на данные вопросы нельзя, однако можно высказать по этому поводу кое-какие соображения. Вероятнее всего, сосны появились на старопашотных, но надолго заброшенных крестьянами полях (зарастание заброшенных полей лесом, обусловленное из-

менением социально-экономической обстановки, широко распространено в России и в настоящее время). Причиной образования залежных земель явились какие-то мощные факторы, приведшие к значительному снижению численности сельского населения в данной местности в результате войны, эпидемии или природного стихийного бедствия. Это событие произошло, судя по возрасту деревьев, составляющему 150-180 лет, на рубеже 17-18 веков, что по времени практически совпадает с извержением вулкана Тамбора.

Снижение радиального прироста деревьев в этот период, отмеченное исследователями во многих районах мира [4, 6, 27, 33, 44, 55, 56, 59, 64, 72, 73], связано не только с извержением вулкана Тамбора, но и с другими природными явлениями. Оно, в частности, совпало с минимумом солнечной активности Дальтона, который начался на несколько лет раньше и продолжался до 1835 года (рис. 9). Депрессия же прироста деревьев в экотопе продолжалась дольше – вплоть до 1865 года. В других же регионах мира даты начала и окончания депрессии роста деревьев были иными. Так, к примеру, на Кольском полуострове понижение прироста деревьев началось, по данным исследователей [27], в 1808 и продолжалось до 1822 года. Следует отметить, что в этот период произошли извержения вулканов Галунгунг (Индонезия, 1822, VEI = 5), Бабуян Кларо (Филиппины, 1831, VEI = 4) и Косигуна (Никарагуа, 1835, VEI = 5).

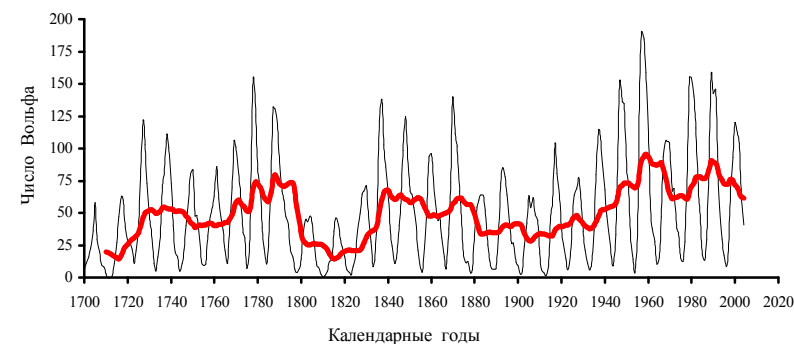


Рис. 9. Многолетняя динамика солнечной активности

После 1865 года в экотопе № 1 начался период бурного роста деревьев первого поколения, завершившийся в 1895 году. В этот период произошли мощные извержения вулканов Аскья (Исландия, 1875,

VEI = 5), Кракатау (Индонезия, 1883, VEI = 5), Окаитина (Новая Зеландия, 1886, VEI = 4) и Колима (Мексика, 1890, VEI = 4); солнечная же активность была повышенной. Далее последовал спад прироста, завершившийся в 1938 году глубокой депрессией, продолжавшейся вплоть до 1980 года. Понижение прироста совпало с фазой низкой солнечной активности, а также извержениями вулканов Санта Мария (Гватемала, 1902), Ксудач (Камчатка, 1907), Катмай (Аляска, 1912), Колима (Мексика, 1913), Азул (Чили, 1932) и Агунг (Индонезия, 1963). Деревья во время извержения первых четырех из них дополнительно снизили прирост, а на извержение двух последних практически не отреагировали. Очередной цикл увеличения прироста деревьев начался после 1980 года и совпал по времени с извержениями вулканов Святой Елены (США, штат Вашингтон, 1980, VEI = 5), Эль Чичон (Мексика, 1982, VEI = 5) и Пинатубо (Филиппины, 1991, VEI = 6). Связь величины прироста деревьев с извержениями вулканов и солнечной активностью является, таким образом, далеко не однозначной, что входит в противоречие с данными многих исследователей [4, 6, 27, 44, 55, 56, 59, 64, 72, 73], не учитывающих влияния мощных биоценологических факторов, которые в ряде случаев перекрывают воздействие всех внешних возмущений [12, 13, 15, 20].

Следует также иметь в виду, что реакция климатической и экологической систем на вулканические извержения во многом зависит не только от количества, химического состава и высоты атмосферных выбросов, но также от времени извержения относительно сезона года, места расположения вулкана на Земном шаре и особенностей атмосферной циркуляции в этот период. В результате этого погода в разных регионах может изменяться диаметрально противоположным образом: происходит либо похолодание, либо потепление и засуха. Наиболее значительно понижается температура в тех случаях, когда вулканические извержения происходят в периоды минимумов солнечной активности [63, 65]. Динамика вулканической деятельности, сейсмичности и климата Земли в свою очередь находятся, как установлено исследователями [10, 24, 25, 28, 31, 32, 37, 42, 43, 48, 49, 51], в прямой зависимости от скорости вращения планеты (рис. 10), а также действия внешних космических факторов [8, 30]. Так, стадии максимального торможения скорости вращения Земли практически совпадают по времени с максимумами солнечной активности, а наибольшее увеличение общей сейсмичности планеты наблюдается при смене ускорения скорости ее вращения.

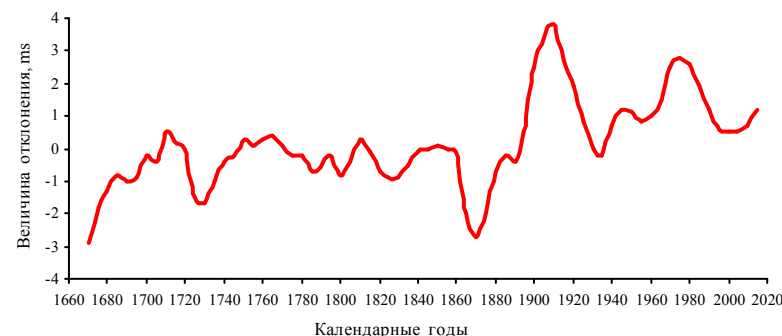


Рис. 10. Динамика сглаженных среднегодовых значений отклонения длительности суток от эталонных (по данным А.В. Дзюбы и Г.Н. Панина, 2007)

Второе поколение деревьев в экотопе № 1 начало появляться в 1850 году вскоре после извержения вулкана Косигуна (Никарагуа, 1835, VEI = 5). Его появление связано, по всей вероятности, с лесным пожаром, о чем косвенно свидетельствуют, в частности, следующие факты: 1) недостаточно большой возраст и размеры деревьев первого поколения, при которых население вряд ли могло проводить их рубку; 2) высокий прирост в 1880-1900 годах оставшихся деревьев-семянников, что связано с улучшением среды их обитания на гари (высокая освещенность и низкая внутривидовая конкуренция).

Заселение пожарища новым поколением деревьев продолжалось в течение 20 лет и густота молодняков была невысокой, о чем свидетельствует очень длительный (более 70 лет) период спада их прироста, продолжавшийся до 1932 года, когда в насаждении вновь прошел пожар и возникло третье поколение леса. В это время, как уже отмечалось, произошло извержение вулкана Азул (Чили, 1932). Прирост деревьев второго поколения после этого события начал возрастать, как это было у деревьев первого поколения. В последующем у деревьев второго и третьего поколений отмечались две волны спада прироста: первая – в 1957-1959 годах, сопряженная с извержением вулкана Агунг (Индонезия, 1963), а вторая – в 1972-1973, обусловленная сильнейшей засухой, которая практически не отразилась на состоянии деревьев первого поколения. С 1975 года у деревьев всех поколений отмечалось увеличение годичного прироста, сопряженное с мощными извержениями вулканов Святой Елены (1980, VEI = 5), Эль Чичон (1982, VEI = 5) и Пинатубо (1991, VEI = 6).

Характер динамики прироста деревьев разных поколений в экотопе № 2 был иным. Самые старые деревья появились здесь примерно в то же время, что и в экотопе № 1, что связано, вероятнее всего, с лесным пожаром. Заселение гари происходило медленно, о чем свидетельствует разновозрастность деревьев этого поколения, у которых до 1845-1850 годов происходило снижение годичного прироста (рис. 11), связанное с нарастанием полноты древостоя и усилением конкурентной борьбы за ресурсы. В этот период произошли мощные извержения вулканов Аскья (Исландия, 1875), Кракатау (Индонезия, 1883), Окатаина (1886) и Колима (1890), а солнечная активность, как было отмечено выше, была повышенной. В экотопе в это время вновь произошел, очевидно, низовой лесной пожар, приведший к гибели части деревьев и возникновению следующего их поколения. У деревьев же предыдущего поколения отмечалось возрастание годичного прироста, динамика которого во все последующие годы была практически сходной со вторым поколением.

В 1932 году произошло извержение вулкана Азул (Чили), а в 1938 году в экотопе была проведена, как мы полагаем, выборочная рубка деревьев, которые достигли в это время возраста 120-140 лет и диаметра 32-48 см. Это мероприятие привело к появлению третьего поколения леса, величина годичного прироста у которого была значительно выше, чем у двух предыдущих, также увеличивших его в 1939-1943 годах. В течение всего дальнейшего времени происходило в целом снижение прироста деревьев всех поколений, сопровождаемое некоторыми флуктуациями его величины, связанными, очевидно, с колебаниями условий внешней среды и биоценологических факторов.

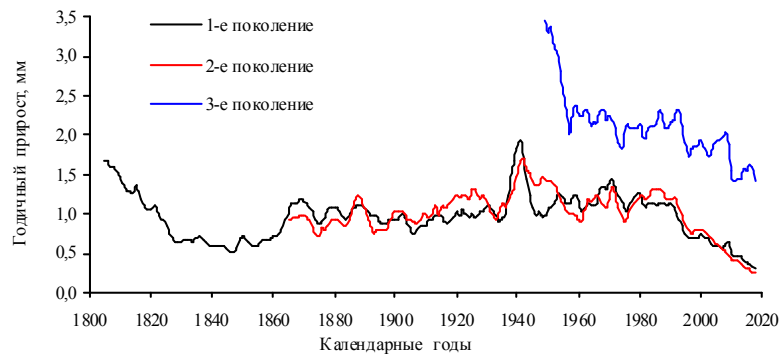


Рис. 11. Динамика радиального прироста деревьев разных поколений в экотопе № 2

Динамика прироста деревьев разных поколений в экотопе № 3 также имеет свою специфику (рис. 12). Самые старые деревья появились здесь примерно в 1825-1828 годах, то есть в то же самое время, что и деревья второго поколения в экотопе № 2, что связано, вероятнее всего, также с лесным пожаром и сопряжено с извержениями в Индонезии вулканов Тамбора (1815) и Галунгунг (1822). Заселение гари происходило постепенно, о чем свидетельствует разновозрастность деревьев этого поколения. Величина годичного прироста у них, в отличие от предыдущих экотопов, в первые 30 лет оставалась на относительно стабильном уровне, что может быть связано с конкурентным давлением со стороны лиственных пород, условия для появления и роста которых здесь довольно благоприятны. В 1870-1885 годах годичный прирост деревьев резко увеличился, а затем пошел на снижение. Подобная волна увеличения прироста деревьев первого поколения отмечена в экотопе № 1 и сопряжена с мощными извержениями вулканов Аскья (1875), Кракатау (1883), Окатаина (1886) и Колима (1890), а также с повышенной солнечной активностью.

Появление второго поколения деревьев в экотопе № 2 совпало с очередным гребнем волны прироста деревьев первого поколения, который отмечался в 1911-1922 годах, когда на территории Марийского Заволжья происходили массовые лесные пожары. Один из этих пожаров дошел, очевидно, своим краем до данного участка леса, примыкающего к пойме реки Большая Кокшага, и затух, вызвав отмирание определенной части древостоя. Во все последующие годы динамика годичного прироста у деревьев первого и второго поколений была практически сходной, проявляя четкую тенденцию к его снижению.

Третье поколение деревьев появилось в 1945-1952 годах и было связано, по нашему мнению, с выборочной рубкой леса. Величина их годичного прироста до 1970 года в целом увеличивалась, а в 1973 году в результате сильнейшей засухи резко снизилась. Деревья второго, а особенно первого поколений отреагировали на это гораздо слабее и с опозданием на 2-3 года. Затем отмечался небольшой период возрастания прироста, завершившийся в 1979-1981 годах в результате аномальных по количеству выпавших осадков и холодных вегетационных периодов 1978 и 1980 годов. В течение всего дальнейшего времени происходило снижение прироста деревьев всех поколений, сопровождаемое небольшими его флуктуациями.

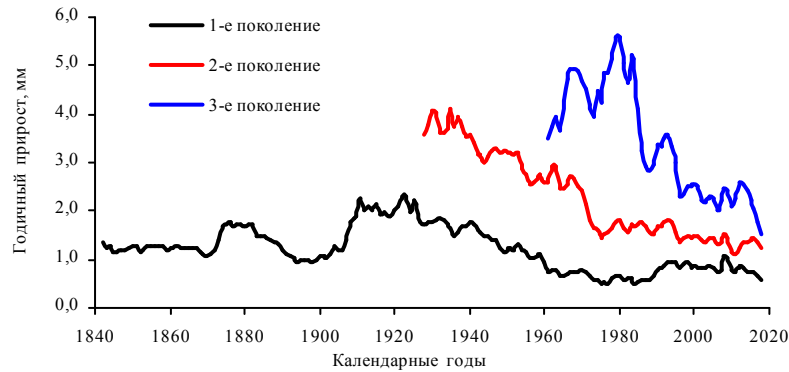


Рис. 12. Динамика радиального прироста деревьев разных поколений в экотопе № 3

Исследования показали, что динамика радиального прироста у деревьев одного и того же поколения в разных экотопах далеко не сходна между собой (рис. 13-15), что является убедительным доказательством преобладающего влияния на нее биоценологических факторов, а не локальных вариаций климата (рис. 16), солнечной активности или извержений вулканов, воздействие которых опосредовано и не всегда однозначно. Не учитывать же эти факторы при дендрохронологическом анализе нельзя, поскольку они часто помогают лучше объяснить изменения, происходящие в биогеоценозах в тот или иной период времени.

Анализ полученных данных показал четкое различие всех поколений деревьев между собой по величине годичного прироста в пределах того или иного возрастного периода (табл. 3), что связано с особенностями сложившейся среды их обитания. Причем в каждом экотопе это происходило по-своему. Так, в экотопе № 1 условия для развития второго поколения деревьев в первые 20 лет их жизни сложились менее благоприятные, чем у третьего и особенно первого. В последующие же периоды их жизни ситуация неоднократно менялась. В экотопе № 2 самый низкий годичный прирост в возрасте до 60 лет отмечался у деревьев второго поколения, а самый высокий – у деревьев третьего поколения. В экотопе № 3 самый высокий годичный прирост в возрасте до 60 лет также отмечался у деревьев третьего поколения, а самый низкий – у деревьев первого поколения. В возрасте же от 61 до 100 лет деревья второго поколения уступали по средней величине прироста деревьям первого поколения.

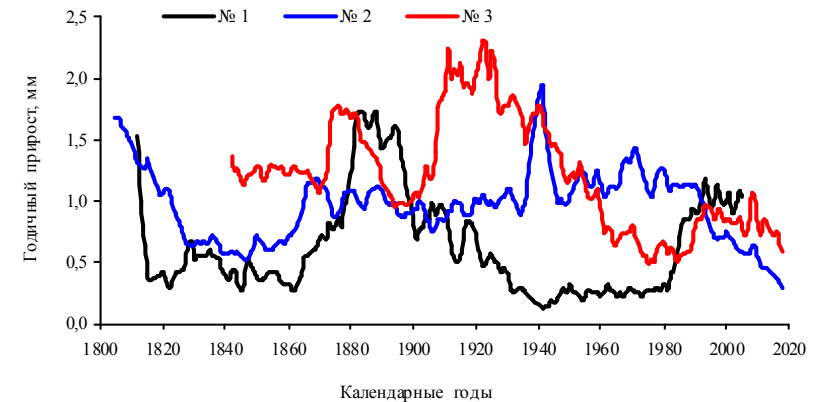


Рис. 13. Динамика радиального прироста деревьев сосны первого поколения в различных экотопах заповедника

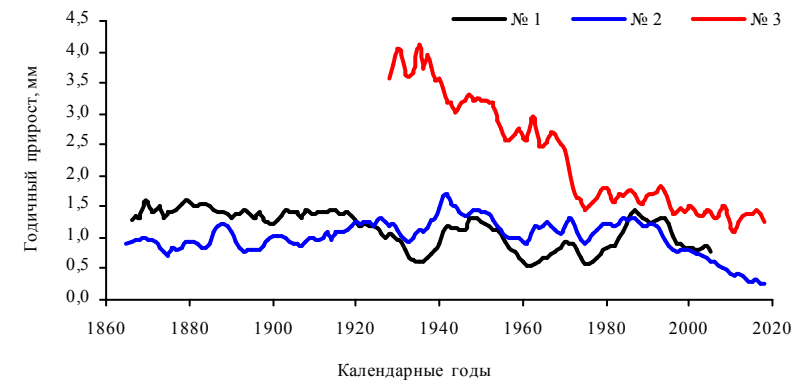


Рис. 14. Динамика радиального прироста деревьев сосны второго поколения в различных экотопах заповедника

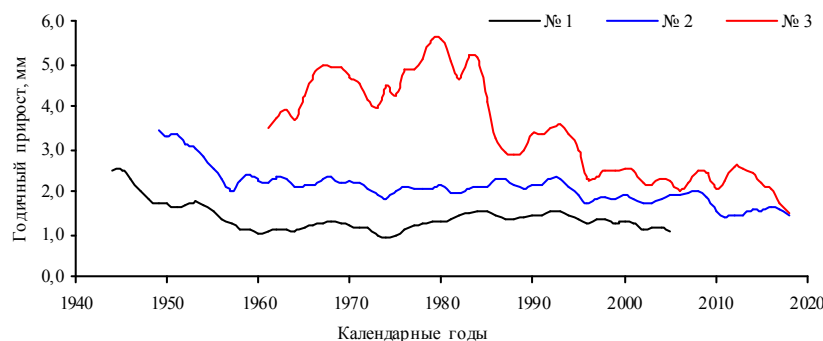


Рис. 15. Динамика радиального прироста деревьев сосны третьего поколения в различных экотопах заповедника

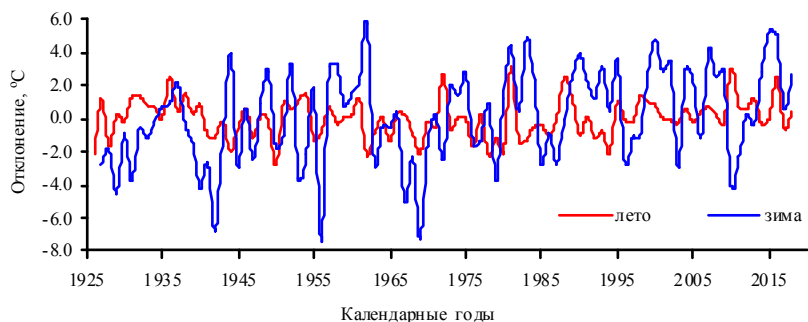


Рис. 16. Динамика отклонения температуры воздуха в летние и зимние месяцы от климатической нормы по данным ГМС Йошкар-Ола

**Закономерности возрастных изменений годичного прироста деревьев разных поколений**

Экотоп	Поколение	Средняя ширина годичного кольца в разном возрасте, мм				
		до 20 лет	21-40 лет	41-60 лет	61-80 лет	81-100 лет
Красная горка	1	2,96 ± 0,26	0,80 ± 0,20	0,50 ± 0,04	0,40 ± 0,03	1,17 ± 0,11
	2	1,45 ± 0,13	1,38 ± 0,11	1,23 ± 0,13	1,05 ± 0,13	0,90 ± 0,09
	3	1,70 ± 0,17	1,17 ± 0,09	1,41 ± 0,09	1,13 ± 0,09	-
Шаптунга	1	1,39 ± 0,20	0,81 ± 0,15	0,72 ± 0,11	1,02 ± 0,10	0,99 ± 0,07
	2	0,80 ± 0,05	0,83 ± 0,07	0,83 ± 0,09	1,34 ± 0,11	1,34 ± 0,10
	3	2,71 ± 0,29	2,12 ± 0,10	1,94 ± 0,11	1,69 ± 0,11	-

Окончание таблицы 3

Экотоп	Поколение	Средняя ширина годичного кольца в разном возрасте, мм				
		до 20 лет	21-40 лет	41-60 лет	61-80 лет	81-100 лет
Шимаево	1	1,32 ± 0,09	1,17 ± 0,09	1,24 ± 0,15	1,92 ± 0,18	1,70 ± 0,16
	2	3,51 ± 0,35	3,02 ± 0,20	2,05 ± 0,17	1,64 ± 0,12	1,30 ± 0,16
	3	4,26 ± 0,24	4,07 ± 0,34	2,48 ± 0,18	2,22 ± 0,21	-

Интегральным показателем успешности роста деревьев является их диаметр. Анализ полученных данных показал, что связь между диаметром и возрастом деревьев во всех экотопах различна (рис. 17), что является свидетельством не только разной скорости их роста, но также и сложившихся условий среды. Изменения диаметра каждого дерева с возрастом ( $t$ , лет) наилучшим образом отображает степенное уравнение  $D = a \times t^b$ , параметры которого имеют конкретный биофизический смысл:  $a$  – начальный импульс (скорость) роста;  $b$  – изменение начальной скорости со временем (ускорение движения). Расчеты показали большую изменчивость величины параметров уравнения (табл. 4), что обусловлено индивидуальными особенностями деревьев, которые отчасти предопределены генетически [38, 39].

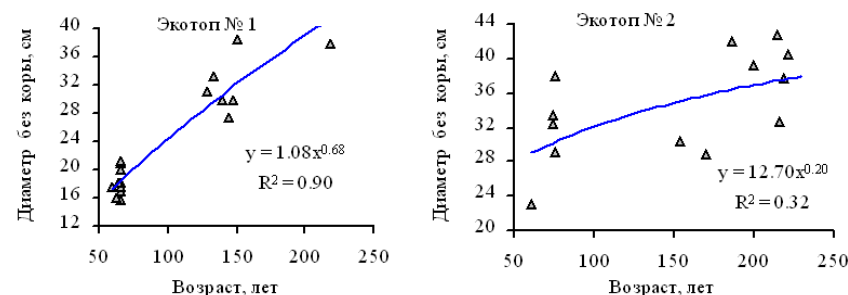


Рис. 17. Характер связи между диаметром деревьев и их возрастом

**Закономерности изменения коэффициентов уравнения динамики диаметра деревьев сосны в экотопах заповедника**

Таблица 4

Экотоп	Поколение	Значения коэффициентов уравнения $D = a \times t^b$					
		$a$		$b$		$R^2$	
		min	max	min	max	min	max
Красная горка	1	-	1,802	-	0,560	-	0,976
	2	0,089	0,892	0,726	1,158	0,982	0,997
	3	0,262	1,047	0,656	0,991	0,972	0,999

Окончание таблицы 4

Экотоп	Поколение	Значения коэффициентов уравнения $D = a \times t^b$					
		a		b		R <sup>2</sup>	
		min	max	min	max	min	max
Шаптунга	1	0,009	1,737	0,666	1,538	0,975	0,998
	2	0,033	0,183	1,055	1,336	0,992	0,994
	3	0,348	2,456	0,636	1,030	0,997	0,999
Шимаево	1	0,276	0,600	0,837	0,962	0,972	0,989
	2	0,608	5,050	0,526	0,987	0,964	0,993
	3	1,402	1,493	0,808	0,862	0,986	0,989

Область возможных возрастных изменений диаметра деревьев хотя и довольно обширна (рис. 18), но четко ограничена некоторыми пределами, которые во многом обусловлены наличием тесной связи между параметрами *a* и *b* степенного уравнения:

$$b = 3,30 \times \exp(-1,450 \times a^{0,136}); R^2 = 0,910; p < 0,001.$$

Из данного уравнения следует, что чем выше начальная скорость роста дерева, тем больше она снижается с возрастом. Неоднородность деревьев по этому признаку, присущая каждой ценопопуляции и необходимая для регуляции внутривидовых конкурентных отношений, приводит к их четкой дифференциации и постепенному снижению влияния исходного размера дерева на его диаметр в последующие годы, которое в каждом экотопе проявляется по своему (рис. 19 и 20).

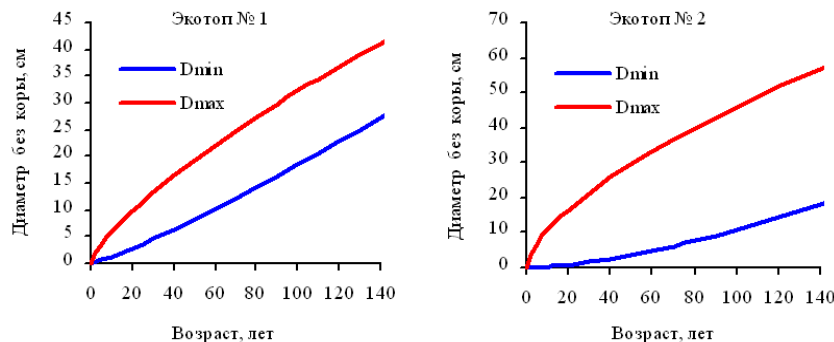


Рис. 18. Область возможных возрастных изменений диаметра деревьев в экотопах

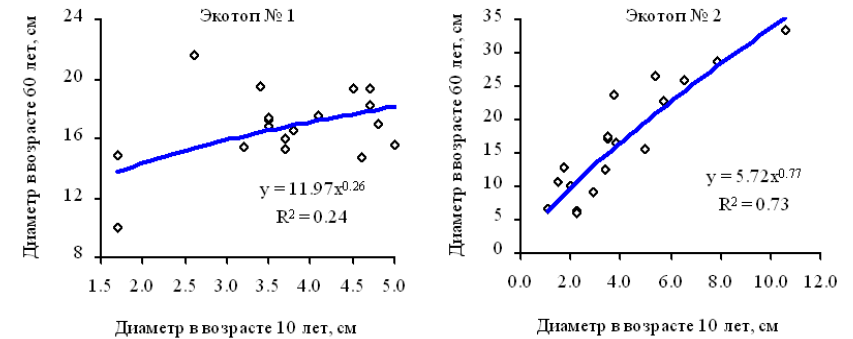


Рис. 19. Характер связи между диаметром деревьев в разном возрасте

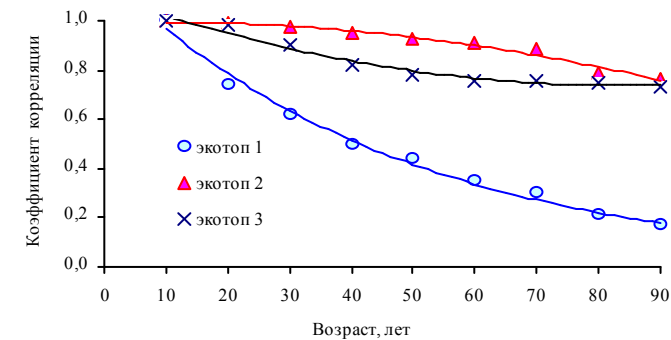


Рис. 20. Изменение значений коэффициента корреляции между диаметром деревьев в возрасте 10 лет и последующие годы

Проведенное исследование позволяет сделать следующие **выводы**:

1. Ширина годичных колец деревьев сосны изменяется в экотопах в очень больших пределах (от 0,1 до 10,4 мм), что свидетельствует о большой отзывчивости их к внешним возмущениям и биоценотическим факторам.
2. Деревья разных поколений в ценопопуляциях сосны существенно отличаются друг от друга по средней величине радиального годичного прироста. Наиболее высока она у деревьев третьего поколения, особенно на экологической тропе у кордона Шимаево.
3. Средняя ширина годичного кольца деревьев на объектах исследования довольно тесно связана с их возрастом, убывая в целом по мере его увеличения. Связь между диаметром и возрастом деревьев во всех

экотопах различна, что является свидетельством не только разной скорости их роста, но также сложившихся условий среды.

4. Характер динамики прироста деревьев разных поколений в каждом экотопе имеет свои особенности, связанные с воздействием дестабилизирующих факторов и спецификой структуры ценопопуляций, что затрудняет решение задачи по выявлению закономерностей их роста и созданию обобщающих математических моделей.

5. Исследование разновозрастных ценопопуляций позволяет четко выявить время и характер воздействия дестабилизирующих факторов, основным из которых явились пожары, повреждавшие большие массивы лесов на современной территории заповедника в 1780, 1825, 1850, 1910, 1921 и 1932 годах.

6. При дендрохронологическом анализе необходимо учитывать влияние крупных извержений вулканов, характер изменения скорости вращения Земли и динамику солнечной активности, позволяющие лучше понять и объяснить изменения, происходящие в биогеоценозах в тот или иной период времени.

7. Деревья сосны на объектах исследования сохраняют свои потенциальные способности к росту до возраста 250 лет и более.

#### Библиографический список

1. Андреев, С. Г. Радиальный прирост деревьев как индикатор длительных изменений гидрологического режима в бассейнах озера Байкал / С.Г. Андреев, Е.А. Ваганов, М.М. Наурзбаев, А.К. Тулохонов // География и природные ресурсы. – 2001. – № 4. – С. 43-49.
2. Бенькова, А. В. Ширина годичного кольца как показатель гетерогенности естественных и искусственных лесных насаждений / А.В. Бенькова, В. В. Тарасова // Структурно-функциональная организация и динамика лесов. – Красноярск: ИЛиД СО РАН, 2004. – С. 404-406.
3. Битвинкас, Т. Т. Дендроклиматические исследования / Т.Т. Битвинкас. – Ленинград: Гидрометеоздат, 1974. – 172 с.
4. Борзенкова, И. И. Вариации климата внетропической зоны северного полушария за последние 1000 лет: анализ данных и возможности причин / И.И. Борзенкова, Е.Л. Жильцова, В.А. Лобанов // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. Т. 24. – Москва: Институт глобального климата и экологии, 2011. С. 131-152.
5. Борисенков, Е. П. Летопись необычайных явлений природы за 2,5 тысячелетия / Е.П. Борисенков, В.М. Пасецкий. – Санкт-Петербург: Гидрометеоздат, 2002. – 535 с.
6. Ваганов, Е. А. Дендроклиматические и дендрэкологические исследования в Северной Евразии / Е.А. Ваганов, С.Г. Шиятов // Лесоведение. – 2005. – № 4. – С. 18–27.

7. Ваганов, Е. А. Дендроклиматические исследования в Урало-Сибирской Субарктике / Е.А. Ваганов, С.Г. Шиятов, В.С. Мазепа. – Новосибирск: Наука, 1996. – 246 с.

8. Владимирский, Б. М. Космическая погода и наша жизнь / Б. М. Владимирский, Н. А. Темуриянц В. С. , Мартынюк. – Фрязино: Век 2, 2004. – 224 с.

9. Вулканы, стратосферный аэрозоль и климат Земли / М.Л. Асатуров, М.И. Будыко, К.Я. Винников, П.Я. Гройсман и др. – Ленинград: Гидрометеоздат, 1986. – 256 с.

10. Горшков, В. Л. Исследование межгодовых вариаций скорости вращения Земли / В.Л. Горшков // Астрономический вестник. – 2010. – Т. 44, № 6. – С. 519–529.

11. Гринин, А. С. Математическое моделирование в экологии / А.С. Гринин, Н.А. Орехов, В.Н. Новиков. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003. – 269 с.

12. Демаков, Ю. П. Диагностика устойчивости лесных экосистем (методические и методологические аспекты) / Ю.П. Демаков. – Йошкар-Ола: Периодика Марий Эл, 2000. – 416 с.

13. Демаков, Ю. П. Унификация подходов к математическому описанию биологических процессов и объектов / Ю.П. Демаков // Лесные стационарные исследования: методы, результаты, перспективы: материалы совещания, Москва, 18-20 сентября 2001 года. – Тула: Гриф и К°, 2001. С. 131-134.

14. Демаков, Ю. П. Возможности дендрохронологии в индикации и прогнозе течения природных и антропогенно обусловленных процессов / Ю.П. Демаков // Математические и физические методы в экологии и мониторинге природной среды. – Москва: МГУЛ, 2001. С. 257-263.

15. Демаков, Ю. П. Динамика радиального прироста деревьев в сосняках лишайниково-мшистых заповедника «Большая Кокшага» / Ю.П. Демаков // Научные труды государственного природного заповедника «Большая Кокшага». Вып. 6. – Йошкар-Ола: МарГУ, 2013. – С. 143-162.

16. Демаков, Ю. П. Закономерности радиального прироста деревьев в приозерных биотопах национального парка «Марий Чодра» / Ю.П. Демаков, Н.В. Андреев // Эко-потенциал. – 2014. – № 3 (7). – С. 48-58.

17. Демаков, Ю. П. Закономерности роста деревьев ели в пойме рек Большой и Малой Кокшаги / Ю. П. Демаков, А. В. Исаев // Научные труды государственного природного заповедника «Большая Кокшага». Вып. 4. – Йошкар-Ола: МарГУ, 2009. – С. 68-123.

18. Демаков, Ю. П. Закономерности динамики радиального прироста деревьев дуба в пойменных лесах заповедника / Ю. П. Демаков, А. В. Исаев // Научные труды государственного природного заповедника «Большая Кокшага». Вып. 7. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2015. – С. 139-156.

19. Демаков, Ю. П. Закономерности роста деревьев пихты сибирской в пойменных экотопах заповедника / Ю. П. Демаков, А. В. Исаев // Научные труды государственного природного заповедника «Большая Кокшага». Вып. 7. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2015. – С. 157-183.

20. Демаков, Ю. П. Закономерности динамики прироста деревьев сосны в различных типах леса заповедника / Ю.П. Демаков, А.В. Исаев, М.Г. Сафин // Научные труды государственного природного заповедника «Большая Кокшага». Вып. 7. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2015. – С. 68-123.

21. Демаков, Ю. П. Влияние пылевых выбросов завода силикатного кирпича на годичный прирост деревьев сосны / Ю.П. Демаков, М.И. Майшанова // Экопотенциал. – 2015. – № 2 (10). – С. 25-32.
22. Демаков, Ю. П. Особенности радиального прироста деревьев в климаксовых сосняках сфагновых Марийского Полесья / Ю.П. Демаков, М.Г. Сафин, Д.В. Тишин // Дендрэкология и лесоведение: материалы Всерос. конф. – Красноярск: ИЛиД СО РАН, 2007. – С. 40-42.
23. Демаков, Ю. П. Возрастная структура и особенности динамики радиального прироста приозерных сосняков сфагновых заповедника «Большая Кокшага» / Ю.П. Демаков, А.В. Полевщиков. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 1997. – 31 с. (Деп. в ВИНТИ 28.02.97, № 635-В97).
24. Дзюба, А. В. Механизм формирования климатических тенденций в прошедшем и текущем столетиях / А.В. Дзюба, Г.Н. Панин // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. Т. XXI. – Санкт-Петербург: Гидрометеоздат, 2007. С. 92-121.
25. Доманский, А. В. Кинематика и сейсмичность Земли / А.В. Доманский, Б.В. Левин. – Владивосток: Дальнаука, 2017. – 75 с.
26. Дрейпер, Н. Прикладной регрессионный анализ / Н. Дрейпер, Г. Смит. – Москва: Статистика, 1973. – 392 с.
27. Касаткина, Е. А. Последствия мощных вулканических извержений по дендрохронологическим данным / Е.А. Касаткина, О.И. Шумилов, М. Тимонен, А. Г. Канатъев // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. – 2013. – Т. 49, № 4. – С. 469-476.
28. Кисилев, В. В. Неравномерность суточного вращения Земли / В.В. Кисилев. – Новосибирск: Наука, 1980. – 158 с.
29. Комин, Г. Е. Применение дендрохронологических методов в экологическом мониторинге лесов / Г.Е. Комин // Лесоведение. – 1990. – № 2. – С. 3-11.
30. Конохов, Н. И. Космические энергии и человечество: графики для размышлений Н.И. Конохов. – Москва: Бирюч, Научный центр «Бэмком», 2017. – 508 с.
31. Левин, Б. В. Динамика сейсмической активности Земли за 120 лет / Б.В. Левин, Е. В. Сасорова // Доклады Академии наук. – 2015. – Т. 461, № 1. – С. 82-87.
32. Левин, Б. В. О влиянии скорости вращения Земли на глобальную сейсмичность (по материалам наблюдений с 1720 по 2016 г.) / Б.В. Левин, Е. В. Сасорова // Геосистемы переходных зон. – 2017. – № 3 (3). – С. 3-20.
33. Логинов, В. Ф. Вулканические извержения и климат / В.Ф. Логинов. – Ленинград: Гидрометеоздат, 1984. – 64 с.
34. Ловелиус, Н. В. Изменчивость прироста деревьев (дендроиндикация природных процессов и антропогенных воздействий) / Н.В. Ловелиус. – Ленинград: Наука, 1979. – 230 с.
35. Магда, В. Н. Климатический отклик прироста деревьев в горных лесах Алтае-Саянского региона / В.Н. Магда, Е.А. Ваганов // Известия РАН. Сер. географическая. – 2006. – № 5. – С. 92-100.
36. Молчанов, А. А. Дендроклиматические основы прогнозов погоды / А.А. Молчанов. – Москва: Наука, 1976. – 168 с.

37. Переведенцев, Ю. П. Мониторинг современных изменений климата Земли / Ю.П. Переведенцев, К. М. Шанталинский // Устойчивое развитие регионов: опыт, проблемы, перспективы. – Казань, КГУ, 2017. С. 101-114.
38. Романовский, М. Г. Полиморфизм древесных растений по количественным признакам / М.Г. Романовский. – Москва: Наука, 1994. – 96 с.
39. Романовский, М. Г. Система вида у древесных растений / М.Г. Романовский, Р.В. Щекалев. – Москва: Товарищество научных изданий КМК, 2014. – 212 с.
40. Румянцев, Д. Е. История и методология лесоводственной дендрохронологии / Д.Е. Румянцев. – Москва: МГУЛ, 2010. – 109 с.
41. Румянцев, Д. Е. Потенциал использования дендрохронологической информации в лесной науке и практике: автореф. дис. ... д-ра биол. наук / Д.Е. Румянцев. – Москва, 2011. – 36 с.
42. Сидоренков, Н. С. Физика нестабильностей вращения Земли / Н.С. Сидоренков. – Москва: Физматлит, 2002. – 384 с.
43. Сидоренков, Н. С. Нестабильность вращения Земли / Н.С. Сидоренков // Вестник Российской академии наук. – 2004. – Т. 74, № 8. – С. 701-715.
44. Сидорова, О. В. Отклик древесно-кольцевых хронологий севера Евразии на мощные вулканические извержения / О.В. Сидорова, М.М. Наурзбаев, Е.А. Ваганов // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. Т. 20. – Санкт-Петербург: Гидрометеоздат, 2005. – С. 59-72.
45. Тишин, Д. А. Изменчивость радиального прироста ели на юге ареала / Д.А. Тишин // Дендрэкология и лесоведение. – Красноярск: Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, 2007. – С. 158-160.
46. Тишин, Д. В. Особенности радиального прироста сосны (*Pinus sylvestris*) Раифского участка ВКГПЗ / Д.В. Тишин, О.В. Аськеев, И.В. Аськеев // Труды Волжско-Камского гос. заповедника. Вып. 6. – Казань, 2005. – С. 199-205.
47. Трифонов, В. Г. Динамика Земли и развитие общества / В.Г. Трифонов, А.С. Караханян // Труды Геологического института РАН. Вып. 585. – Москва: ОГИ, 2008. – 436 с.
48. Уткин, В. И. О связи неравномерности вращения и сейсмичности Земли / В.И. Уткин, И.А. Цурко // Уральский геофизический вестник. – 2010. – № 2 (17). – С. 53-60.
49. Уткин, В. И. Вариации неравномерного вращения Земли как триггирующий фактор сейсмичности планеты / В.И. Уткин, А.К. Юрков, И.А. Цурко // Геология и геофизика Юга России. – 2012. – № 1. – С. 3-13.
50. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ / Дж. О. Ким, Ч.У. Мьюллер, У.Р. Клекка и др. – Москва: Финансы и статистика, 1989. – 215 с.
51. Фридман, А. М. О связи глобальной сейсмической активности Земли с особенностями ее вращения / А.М. Фридман, А.В. Клименко, Е.В. Поляченко, М.В. Фридман // Вулканология и сейсмология. – 2005. – № 1. – С. 67-74.
52. Хемминг, Р. В. Цифровые фильтры / Р.В. Хемминг. – Москва: Советское радио, 1980. – 224 с.
53. Шиятов, С. Г. Дендрохронология, ее принципы и методы / С.Г. Шиятов // Записки Всесоюзного ботанического общества. Вып. 6: Проблемы ботаники на Урале. – Свердловск: УНЦ АН СССР, 1973. – С. 53-81.



54. Шиятов, С. Г. Методы дендрохронологии / С.Г. Шиятов, Е.А. Ваганов, А.В. Кирдянов и др. – Красноярск: КрасГУ, 2000. – 80 с.
55. Шиятов, С. Г. Цикличность радиального прироста деревьев в высокогорьях Урала / С.Г. Шиятов, В.С. Мазепа // Дендрохронология и дендроклиматология. – Новосибирск: Наука, 1986. – С. 134-160.
56. Шиятов, С. Г. Тысячелетняя реконструкция температуры лета на Полярном Урале: данные древесных колец можжевельника сибирского и лиственницы сибирской / С.Г. Шиятов, Р.М. Хантемиров, Л.А. Горланова // Археология, этнография и антропология Евразии. – 2002. – № 9. – С. 2–5.
57. Юкнис, Р. А. Выявление антропогенно обусловленных изменений продуктивности лесных насаждений на основе анализа временных рядов годичного прироста деревьев / Р.А. Юкнис, Д.А. Шипените, А.И. Жиливичус // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. Т. 8. – Ленинград: Гидрометеоиздат, 1985. – С. 145-157.
58. Fritts, H. C. Tree rings and climate / H. C. Fritts. – London – New York – San Francisco: Academic press, 1976. – 576 p.
59. Gervais, B. R. Tree-ring and summer temperature response to volcanic aerosol forcing at the northern tree-line, Kola Peninsula, Russia / B.R. Gervais, G.M. MacDonald // The Holocene. – 2001. – Vol. 11. – P. 499-505.
60. Grattan, J. P. Non climatic factors and the environmental impact of volcanic volatiles: Implications of the Laki fissure eruption of AD 1783 / J.P. Grattan, D.J. Charman // The Holocene. – 1994. – Vol. 4. – P. 101-106.
61. Holmes, R. L. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement / R. L. Holmes // Tree-Ring Bulletin. – 1983. – Vol. 43. – P. 69-78.
62. Holmes, R. L. Users Manual for Program ARSTAN / R.L. Holmes et al. // Tree-Ring Chronologies of Western North America: California, Eastern Oregon and northern Great Basin. – Laboratory of Tree Ring Research, The University of Arizona, 1986. – P. 50-65.
63. Jacoby, G. C. Long term temperature trends and tree growth in Taymir region of Northern Siberia / G.C. Jacoby, N.V. Lovelius, O.I. Shumilov et al. // Quater. Res. – 2000. – Vol. 53. – P. 312-318.
64. Krakauer, N. Y. Do volcanic eruptions enhance or diminish net primary production? / N. Y. Krakauer, J. Randerson // Glob. Biogeochem. Cycles. – 2003. – Vol. 17, №. 4. – P. 1118.
65. Mercado, L. M. Impact of changes in diffuse radiation on the global land carbon sink / L.M. Mercado, N. Bellouin, S. Sitch et al. // Nature. – 2009. – Vol. 457. – P. 1014-1017.
66. Ogle, N. Palaeovolcanic forcing of short term dendroisotopic depletion: The effect of decreased solar intensity on Irish oak / N. Ogle, C.S.M. Turney, R.M. Kalin et al. // Geophys. Res. Lett. – 2007. – Vol. 32. – P. 704-708.
67. Oman, L. Modeling the distribution of the volcanic aerosol cloud from the 1783-1784 Laki eruption / L. Oman, A. Robock, G.L. Stenchikov et al. // J. Geophys. Res. – 2006. – Vol. 111. – P. 192-209.
68. Rampino, M. R. Historic eruptions of Tambora (1815), Krakatau (1883), and Agung (1963), their stratospheric aerosols and climatic impact / M.R. Rampino, S. Self // Quater. Res. – 1982. – Vol. 18. – P. 127-143.

69. Rinn, F. TSAPWin – Time Series Analysis and Presentation for Dendrochronology and Related Applications, Version 0.53, User Reference / F. Rinn. – Heidelberg, 2005. – 91 p.
70. Robock, A. Volcanic eruptions and climate / A. Robock // Rev. Geophys. – 2000. – Vol. 38. – P. 191-219.
71. Sadler, J. P. Volcanoes as agents of past environmental change / J.P. Sadler, J.P. Grattan // Global Planet. Change. – 1999. – Vol. 21. – P. 181-196.
72. Salzer, M. W. Bristlecone pine tree rings and volcanic eruptions over the last 5000 yr / M.W. Salzer, M.K. Hughes // Quater. Res. – 2007. – Vol. 67. – P. 57–68.
73. Scuderi, L. A. Tree-ring evidence for climatically effective volcanic eruptions / L.A. Scuderi // Quater. Res. – 1990. – Vol. 34. – P. 67–85.
74. Stothers, R. B. The great dry fog of 1783 / R.B. Stothers // Climatic Change. – 1996. – Vol. 32. – P. 79-89.
75. Stothers, R. B. The great Tambora eruption in 1815 and its aftermath / R.B. Stothers // Science. – 1984. – Vol. 224. – P. 1191-1198.
76. Thordarson, T. Atmospheric and environmental effects of 1783-1784 Laki eruption: A review and reassessment / T. Thordarson, S. Self // J. Geophys. Res. – 2003. – Vol. 108. – P. 4011-4019.

#### DIFFERENT GENERATION TREES GROWTH REGULARITIES IN PINE FORESTS OF BOLSHAYA KOKSHAGA NATURE RESERVE

Iu. P. Demakov, D. V. Tishin, P. Iu. Iskandirov

**Keywords:** Scots pine (*Pinus sylvestris* L.); cenopopulations; generations; annual radial increment, dynamics, regularities, factors.

The data on dynamics of radial increment of trees of various ages in pine forests of Bolshaya Kokshaga nature reserve are given. In the research territory, it was determined that mean width of annual ring of trees was closely related to their age, and decreased with age. The connection between trees's diameter and age varies in different ecotopes, which is the evidence of different rate of trees's growth and established habitat conditions. It is shown that growth of new generation of trees and death of the old ones is mainly due to forest fires that damaged the extensive areas of forest in the nature reserve in 1780, 1825, 1850, 1910, 1921, and 1932 years. It is noted that a large volcanic eruption (Tambora, Indonesia, 1815) caused a strong and long-term decline of annual increment of trees. Rotation rate variations of the Earth and solar activity, causing the change in biogeocenoses in a certain period of time, do also have an impact on the dynamics of annual increment of trees. The authors concluded that the dynamics of radial increment of trees of one age in different ecotopes was not the same one. It is a strong evidence of its dependence on the biocenotic, not external factors, the influence of which is always indirect.

УДК 582.29 (470.373)

## АНАЛИЗ ЛИХЕНОБИОТЫ ЗАПОВЕДНИКА «БОЛЬШАЯ КОКШАГА»

Г. А. Богданов

Проведен анализ лишенобиоты заповедника «Большая Кокшага», основой для которого служили материалы многолетних сборов образцов лишайников, проведенных на его территории в различных экотопах. Установлено, что в ее состав входят 336 видов, включая 12 видов лишенофильных грибов, что составляет 74,6 % от всего их числа в Республике Марий Эл. Лишенобиота имеет в целом борельно-неморальный характер с некоторыми южными чертами. Среди жизненных форм лишайников преобладают накипные, на долю которых приходится 60 % видов. Остальные 40 % видов лишайников имеют кустистый и листоватый таллом. Доля мезофитов составляет 63,3 %, а остальные 36,7 % относятся к гигромезофитам. По приуроченности к разным типам субстратов лишайники заповедника относятся к шести группам, среди которых преобладают эпифиты (65,8 %); эпигейды составляют 12,8 %, а эпиксилы – 12,2 %. К комплексу видов-индикаторов слабонарушенных лесных экосистем можно отнести 55 видов (16,4 %). Из 59 видов лишайников, внесенных в Красную книгу Республики Марий Эл, 42 вида произрастают в заповеднике и его охранной зоне. Виды *Arthonia zwackhii*, *Vactrospora dryina* и *Caloplaca ulcerosa* встречаются в России только на территории заповедника

**Ключевые слова:** заповедник «Большая Кокшага», лишенобиота, редкие виды лишайников.

### Введение

Лишенобиота Республики Марий Эл изучена сравнительно неплохо. Так, в настоящее время по литературным источникам [3-6, 11] и собственным данным, полученным при обработке гербарного материала с большей части республики, выявлено 450 видов лишайников и лишенофильных грибов. Изучение лишайников в заповеднике было начато в 1994 году во время флористического и геоботанического обследования его южной части. Список лишайников, обнаруженных на его территории, насчитывает в настоящее время 336 видов, включая 12 видов лишенофильных грибов, что составляет 74,6 % от всего их числа в республике. Один вид – *Heterodermia japonica* (M. Satō) Swinscow et Krog – был выделен из многочисленных образцов этого рода, но не включен в аннотированный список лишенобиоты заповедника. По литературным данным [6], на территории заповедника Б.П. Васильковым отмечено присутствие *Ictadophila ericetorum* (L.) Zahlbr., обнаруженного им 6.08.1932 на гнилом пне ели у д. Шаптунга (образец хранится в настоя-

щее время в гербарии заповедника). Этот вид даже при тщательных поисках с тех пор нами так и не был обнаружен.

**Цель исследования** – провести анализ состава лишенофлоры, выявить редкие и исчезающие виды, а также виды-индикаторы слабо затронутых хозяйственной деятельностью лесов заповедника.

### Результаты исследования и их обсуждение

Таксономический анализ лишенобиоты показал, что лишайники заповедника относятся к 112 родам из 49 семейств. В среднем одно семейство включает 6,8 вида, а один род – 3 таксона. В состав десяти ведущих семейств в лишенофлоре заповедника входит 214 таксонов из 45 родов (табл. 1), что составляет 63,6 % всех выявленных видов. Остальные 122 вида лишайников представлены 39 семействами. Доминирует в заповеднике семейство Parmeliaceae, которому несколько уступают по представительности семейства Cladoniaceae, Physciaceae, Lecanogaceae и Bacidiaceae. Каждое из трех семейств, занимающих XI ранговую позицию, состоит из 9 видов, а следующие за ними два семейства – из 8 видов. Еще два семейства, занимающие XIII ранговую позицию, состоят из 7 видов каждое, а следующие за ними три семейства – из 6, 5 и 4 видов соответственно. В состав пяти семейств входит по три вида, 11 – по два, а 13 семейств – по одному виду.

Таблица 1  
Ранговое распределение 10 ведущих семейств в лишенобиоте заповедника

Ранг семейств	Название семейств	Количество видов	Количество родов
I	Parmeliaceae (Пармелиевые)	49	20
II	Cladoniaceae (Кладониевые)	30	1
III	Physciaceae (Фисциевые)	27	8
IV	Lecanogaceae (Леканоровые)	26	4
V	Bacidiaceae (Бацидиевые)	24	5
VI	Coniocybaeae (Кониоцибовые)	14	2
VII	Arthoniaceae (Артониевые)	12	1
VIII	Collembataeae (Коллемовые)	11	2
IX	Teloschistaceae (Телосхистовые)	11	2
X	Peltigeraceae (Пельтигеревые)	10	1
<b>Всего</b>		<b>214</b>	<b>45</b>

Ведущая роль семейств Parmeliaceae, Cladoniaceae и Lecanogaceae характерна для всей лишенобиоты умеренной зоны. В них сосредоточена

почти половина (105) видов. Семейства Physciaceae, Bacidiaceae, Arthoniaceae, Collemataceae и Teloschistaceae придают лишенобиоте более южный характер. Большое число видов первых трех семейств характерно для зоны широколиственных лесов. Они придают ей неморальный характер. Представители семейства Teloschistaceae преобладают в более аридных зонах с гористым рельефом. Виды семейства Collemataceae наибольшее распространение также имеют в южных горных областях, но с влажным морским климатом. Только представители ведущих семейств Coniocybaceae и Peltigeraceae придают лишенобиоте бореальный характер, так как большинство их представителей обитают в зоне хвойных лесов. В целом же 10 ведущих семейств в лишенобиоте заповедника придают ей бореально-неморальный характер с некоторыми южными чертами.

В составе ведущих 10 родов сосредоточено 127 видов лишайников (табл. 2), что составляет 37,8 % от всех видов лишенобиоты заповедника. Три рода включают по 7 и 6 видов соответственно; четыре рода – по 5 видов; семь родов – по 4 вида; 11 родов – по 3. По два вида содержат 15 родов, а по одному виду – 59 родов. В среднем на один род приходится 3 вида.

Таблица 2

Ранговое распределение 10 ведущих родов в лишенобиоте заповедника

Ранг семейств	Название семейств	Количество видов
I	Cladonia (Кладония)	29
II	Lecanora (Леканора)	21
III	Chaenotheca (Хенотека)	13
IV	Arthonia (Артония)	12
V	Usnea (Уснея)	10
VI	Peltigera (Пельтигера)	10
VII	Bacidia (Васидия)	8
VIII	Micarea (Микарея)	8
IX	Bryoria (Бриория)	8
X	Pertusaria (Пертузария)	8
<b>Всего</b>		<b>127</b>

Ведущая роль, как следует из приведенных данных, принадлежит родам *Cladonia* и *Lecanora*, в которых сосредоточено 50 видов или 39,3 % всего их числа. Такое распределение этих родов характерно для всей лишенобиоты умеренной зоны. Вхождение в состав ведущих родов *Chaenotheca*, *Usnea*, *Peltigera*, *Micarea*, *Bryoria* и *Pertusaria*, доля кото-

рых в лишенобиоте составляет 45,5 %, придают ей бореальный характер. Роды *Arthonia* и *Bacidia* придают флоре неморальные черты, но их доля составляет всего 15,2 %. В целом же лишенобиота заповедника имеет бореально-неморальный характер.

Среди жизненных форм лишайников заповедника встречаются три группы: накипные, листоватые и кустистые. Преобладают среди них накипные (201 вид), из которых пять видов (*Aspicilia moenium*, *Pycnora sorophora*, *Hypocenomyce anthracophila*, *H. friesii*, *H. Scalaris*) относятся к группе с чешуйчатым талломом. Лишайников с листоватым и кустистым талломом обнаружено 68 и 67 видов соответственно. Все макролишайники образуют группу из 135 видов. Остальные же виды (201) относятся к микролишайникам. Соотношение макролишайников к микролишайникам составляет примерно 1:1,5 (в хорошо изученных лишенофлорах это соотношение обычно больше – 1:2 или даже 1:3). При тщательном изучении лишенофлоры можно обнаружить, как минимум, еще около 70 микролишайников. Общее число лишайников может достигнуть при этом 405 видов.

Лишайники не имеют специальных приспособлений для регулирования водного обмена и удерживания воды на длительное время. Их водный режим зависит от влажности субстрата, на котором они произрастают, а также от влажности воздуха. Основным источником поступления воды являются атмосферные осадки в виде дождя, снега и тумана. У напочвенных лишайников рост и развитие зависят также от длительности увлажнения почвы.

Среди лишенобиоты выделены три экологические группы и одна переходная группа: гигрофиты, гидрофиты, мезофиты и гигромезофиты. Преобладающей группой являются мезофиты, к которой относятся лишайники, произрастающие в условиях умеренного увлажнения. К этой группе можно отнести 213 видов, или 63,3 % всех видов лишенобиоты. Большое увлажнение предпочитают два вида – *Leptogium rivulare* и *Absoconditella sphagnorum*. Первый из них растет у основания деревьев, чаще всего осины, в пойменных лесах и его слоевище в период половодья около месяца находится под водой, а в период межени – невысоко от уреза воды. *Absoconditella sphagnorum* растет на микропонижениях сфагновой сплавины оз. Кошеер на постоянно увлажненных отмерших мхах из рода *Schagnum*, *Cladopodiella fluitans* и *Mylia anomala*. Из гидрофитов на территории заповедника обнаружен только *Bacidina inundata*, который обычно растет под водой, на камнях, бетонных изделиях, металле и упавших в воду валежинах твердых древесных пород. При затоплении местообитания на бобровой запруде на ручье Ин-энер некоторые экзем-

пляры *Bacidina inundata* 2-3 года успешно росли под водой. Очень высока встречаемость гигромезофитов, в состав которых входит 120 видов (35,7 % всей лишенобиоты). Они произрастают обычно во влажных экотопах поймы р. Большая Кокшага и ее крупных притоков: в приручьевых ельниках, ольшаниках, хвойно-широколиственных лесах.

По приуроченности к разным типам субстратов лишайники заповедника можно отнести к шести группам. На каменистом субстрате, который встречается в заповеднике лишь на насыпи железной дороги, содержащей соединения Са и Si, обитают эпилиты. К этой группе мы отнесли виды, обитающие также на кирпичях, бетонных столбах и шифере. Число эпилитов невелико – 12 видов (3,6 %). В их число входят *Acarospora heppii* (Nägeli ex Hepp) Nägeli (Акароспора Геппа), *Sarcogyne regularis* Körb. (Саркогина правильная), *Bacidina inundata* (Fr.) Vězda (Бацидина затопляемая), *Aspicilia moenium* (Vain.) G. Thor et Timdal (Аспицилия стенная), *Lecanora crenulata* Hook. (Леканора мелкогородчатая), *Lecanora dispersa* (Pers.) Sommerf. (Леканора рассеянная), *Micarea erratica* (Körb.) Hertel, Rambold et Pietschm. (Микарея эрратика), *M. tuberculata* (Sommerf.) R.A. Anderson (М. бугорчатая), *Physcia caesia* (Hoffm.) Fűrng. (Фисция сизая), *Porpidia crustulata* (Ach.) Hertel et Knoph (Порпидия корковидная), *Stereocaulon tomentosum* Fr. (Стереокаулон войлочный) и *Verrucaria muralis* Ach. (Веррукария стенная). Бацидина затопляемая растет также на металле и древесине дуба, которые находятся в воде. Стереокаулон войлочный может произрастать и на песчаной почве, а фисция сизая обнаружена в заповеднике только на обломках красного кирпича у д. Шушер.

Эпигейды – виды, обитающие на почве, откуда некоторые из них могут переходить на кору у основания деревьев или на древесину упавших деревьев (виды рода Кладония). Из этой группы в заповеднике встречаются 43 вида (12,8 %), обитающие чаще всего на песчаном и супесчаном субстрате. На глинистом субстрате на насыпи железной дороги у бывшей станции Шаптунга обнаружен редкий для республики вид *Collema limosum* (Ach.) Ach. (Коллема топяная). На супесчаном субстрате вдоль лесных дорог и по просекам ЛЭП произрастают *Thrombium epigaeum* (Pers.) Wallg. (Тромбиум наземный), *Multiclavula corynoides* (Peck.) R. H. Petersen (Мультиклавула булавовидная), *M. mucida* (Pers.) R.H. Petersen (М. слизистая) и *M. vernalis* (Schwein.) R. H. Petersen. (М. весенняя). Остальные 32 вида произрастают на песчаной почве. Это в основном виды рода *Cladonia*, *Cetraria*, *Peltigera*.

Основная группа лишайников (221 вид или 65,8 % лишенобиоты) – эпифиты, произрастающие на коре стволов и ветвей деревьев. Иногда

они могут расти на отмерших и упавших деревьях на ранних стадиях их разложения. В эту группу входят все виды из родов *Bryoria*, *Evernia*, *Hypogymnia*, *Melanelixia*, *Melanohalea*, *Usnea*, *Phaeophyscia*, *Physcia*, *Physconia*, *Ramalina*, *Pertusaria*, *Chaenotheca* и др.

В группу эпиксиллов заповедника входит 41 вид лишайника (12,2 %). Произрастают они на лишенном коры сухостое многих деревьев, а также на упавших стволах. Это в основном виды родов *Chaenotheca*, *Micarea*, *Calicium* и др.

Группа лишайников-эпифитореликвитов обитает на гниющих растительных остатках (мхах, растениях, опавших шишках). К этой группе в заповеднике, насчитывающей всего 11 видов (3,3 %), относятся *Anzina carneonivea* (Anzi) Scheid. in Vězda (Анзина телесно-белоснежная), *Sarea difformis* (Fr.) Fr. (Зареа двуформенная), *Mycobilimbia cf. berengeriana* (A.Massal.) Hafellner et V.Wirth (М. Беренгера), *M. epixanthoides* (Nyl.) Vitik., Ahti, Kuusinen, Lommi et T. Ulvinen (М. желтоватая), *M. carneoalbida* (Mull. Arg.) Printzen (М. телесно-беловатая), *M. hypnorum* (Lib.) Kalb et Hafellner (М. гипновая), *M. tetramera* (De Not.) Vitik., Ahti, Kuusinen, Lommi et T. Ulvinen (М. четырехчленная), *Muxobilimbia microcarpa* (Th.Fr.) Hafellner (Миксобилимбия мелкоплодная), *M. sabuletorum* (Schreb.) Hafellner (М. песчаная), *Absconditella sphagnumorum* Vězda et Poelt (Абскондителла сфагновая) и *Agonimia allobata* (Stizenb.) P. James (Агонимия лопастная). Анзина телесно-белоснежная обнаружена на отмерших мхах рода *Polytrichum*, а также на отмерших шишках сосны. Зареа двуформенная произрастает на застывшей смоле деревьев сосны и ели.

Наименее представительной группой лишайников в заповеднике являются эврисубстратные виды, произрастающие на всех видах субстратов, включая и искусственные. В эту группу входят всего восемь видов (2,4 %): *Candelariella aurella* (Hoffm.) Zahlbr. (Канделяриелла золоти-стенная), *C. vitellina* (Hoffm.) Müll. Arg. (К. желточно-желтая), *C. xanthostigma* (Ach.) Lettau (К. желтоглазиковая), *Lecanora hagenii* (Ach.) Ach. (Леканора Хагена), *L. symmicta* (Ach.) Ach. (Л. смешанная), *Phaeophyscia nigricans* (Flörke) Moberg (Феофисция темнеющая), *Ph. orbicularis* (Neck.) Moberg (Ф. округлая) и *Caloplaca holocarpa* (Hoffm. ex Ach.) A. E. Wade (Калоплака голоплодная).

В заповеднике встречаются виды лишайников, которые в основном произрастают только в населенных пунктах, близ кордонов или в массе встречаются на месте бывших пристаней, где раньше велась активная хозяйственная деятельность. В их число входит 23 вида (6,8 %): *Trapeziopsis flexuosa* (Fr.) Coppins et P. James (Трапелиопсис извилистый),

*Strangospora moriformis* (Ach.) Stein (Странгоспора трутиковая), *Cyphe-  
lium notarisii* (Tul.) Blomb. et Forssell (Цифелиум Нотариза), *Thelomma  
ocellatum* (Körb.) Tibell (Теломма глазковая), *Candelariella aurella*, *C. vitel-  
lina*, *C. xanthostigma*, *Cladonia cariosa* (Ach.) Spreng. (Кладония  
трухлявая), *Aspicilia toenium*, *Lecanora crenulata*, *L. dispersa*, *L. hagenii*, *L.  
saligna* (Леканора ивовая), *L. symmicta* (Леканора смешанная), *L. varia*  
(Леканора изменчивая), *Parmelina tiliacea* (Hoffm.) Hale (Пармелина ли-  
повая), *Phaeophyscia nigricans*, *Ph. orbicularis*, *Physcia caesia*, *Rinodina  
archaea* (Ach.) Arnold (Ринодина древняя), *Caloplaca pyracea* (Ach.) Th. Fr.  
(Калоплака огненная), *Xanthoria fallax* (Hepp) Arnold (Ксантория обман-  
чивая) и *Xanthoria polycarpa* (Hoffm.) Th. Fr. ex Rieber (Ксантория много-  
плодная).

В лесах заповедника можно выделить комплекс видов, которые про-  
израстают в малонарушенных хозяйственной деятельностью лесных био-  
геоценозах. К ним можно отнести 55 видов (16,4 % всей лишенобиоты):  
*Arthonia byssacea* (Weigel) Almq. (Артония плесневая), *A. cinereoprunosa*  
Schaer. (А. пепельноприсыпанная), *Bactrospora dryina* (Ach.) A. Massal.  
(Бактроспора дубовая), *Cresponea chloroconia* (Tuck.) Egea et Torrente  
(Креспонея зеленоконусная), *Opegrapha niveoatra* (Borrer) J. R. Laundon  
(Опеграфа снежно-черная), *Schismatomma pericleum* (Ach.) Branth et Rostr.  
(Схизматомма пихтовая), *Acrocordia gemmata* (Ach.) A. Massal. (Акркор-  
дия кровяная), *Dimerella lutea* (Dicks.) Trevis. (Димерелла желтая), *Gyalecta  
truncigena* (Ach.) Hepp (Гиалекта ствольная), *Collema cf. fasciculare* (L.)  
Weber ex F. H. Wigg. (Коллема пучковатая), *C. flacidum* (Ach.) Ach. (К.  
вялая), *C. furfuraceum* (Arnold) Du Rietz. (К. чешуйчатая), *C. ligerinum* (Hu)  
Narm. (К. лигерийская), *Leptogium cyanescens* (Rabenh.) Körb. (Лептогиум  
синеватый), *L. rivulare* (Ach.) Mont. (Л. приручейный), *L. saturninum*  
(Dicks.) Nyl. (Л. насыщенный), *L. subtile* (Schrud.) Torss (Л. тонкий), *L.  
tenuissimum* (Dicks.) Körb. (Л. наитончайший), *L. teretiusculum* (Wallr.)  
Arnold (Л. вальковатый), *Lecanora thysanophora* R. C. Harris (Леканора  
тизанофора), *Loxospora cismonica* (Beltr.) Hafellner. (Локсоспора сизмон-  
ская), *Mycoblastus affinis* (Schaer.) T. Schauer. (Микобластус родственный),  
*Bryoria capillaris* (Ach.) Brodo et D. Hawksw. (Бриория волосовидная), *B.  
fuscescens* (Gyeln.) Brodo et D. Hawksw. (Б. буроватая), *B. implexa* (Hoffm.)  
Brodo et D. Hawksw. (Б. переплетенная), *B. nadvornikiana* (Gyeln.) Brodo et  
D. Hawksw. (Б. Надворника), *B. osteola* (Gyeln.) Brodo et D. Hawksw. (Б.  
пепельная), *B. subcana* (Nyl. ex Stizenb.) Brodo et D. Hawksw. (Б.  
сивоватая), *B. trichodes* (Michx.) Brodo et D. Hawksw. (Б. волосистая), *Ce-  
trelia cetrarioides* (Del. ex Duby) W. Culb. et C. Culb. (Цетрелия цетрарие-

видная), *C. olivetorum* (Nyl.) W. Culb. et C. Culb. (Ц. оливковая), *Evernia  
divaricata* (L.) Ach. (Еверния растопыренная), *Hypogymnia vittata* (Ach.)  
Paug. (Гипогимния ленточная), *Menegazzia terebrata* (Hoffm.) A. Massal.  
(Менегаззия пробуравленная), *Nephromopsis laureri* (Kremp.) Kurok.  
(Нефромопсис Лаурера), *Usnea dasipoga* (Ach.) Nyl. (*Usnea filipendula*  
Stirt.) (Уснея густобородая), *U. florida* (L.) Weber ex F. H. Wigg. (У. цве-  
тущая), *U. lapponica* Räs. (Уснея лапландская), *U. intermedia* (A. Massal.)  
Jatta (У. промежуточная), *Usnocetraria oakesiana* (Tuck.) M.J. Lai et J. C.  
Wei (Усноцетрария Океза), *Heterodermia speciosa* (Wulfen in Jacq.) Trevis.  
(Гетеродермия видная), *Ramalina obtusata* (Arnold) Bitter. (Рамалина при-  
тупленная), *R. roesleri* (Hchst. ex Schaer.) Hue (Рамалина Реслера), *R. si-  
nensis* Jatta. (Р. китайская), *R. thrausta* (Ach.) Nyl. (Р. ниточная), *Lobaria  
pulmonaria* (L.) Hoffm. (Лобария легочная), *Nephroma bellum* (Spreng.)  
Tuck. (Нефрома красивая), *N. parile* (Ach.) Ach. (Нефрома одинаковая),  
*Chaenotheca gracillima* (Vain.) Tibell. (Хенотека грациознейшая), *Ch. his-  
pidula* (Ach.) Zahlbr. (Х. щетинистая), *Ch. phaeocephala* (Turner) Th. Fr. (Х.  
темноголовая), *Sclerophora coniophaea* (Norman) J.-E. Mattsson et Middelb.  
(Склерофора темноконусная), *S. pallida* (Pers.) Y. J. Jao et Spooner. (С.  
бледная), *Icmadophila ericetorum* (L.) Zahlbr. (Икмадофила пустошная) и  
*Microcalicium disseminatum* (Ach.) Vain. (Микрокалицидум рассеянный).

**Редкие и охраняемые виды лишайников.** В Красную книгу Рес-  
публики Марий Эл [7] занесены 59 видов лишайников, из которых 42  
вида произрастают на территории заповедника и его охранной зоны, что  
составляет примерно 71,2 % от всех охраняемых видов (табл. 3). Мак-  
ролишайники представлены 29 видами. Из них 16 видов кустистых, 13  
видов листоватых и 13 видов накипных лишайников.

Все виды лишайников, внесенных в Красную книгу РМЭ, отнесены к  
шести категориям: 0 – вероятно исчезнувшие; 1 – находящиеся под угро-  
зой исчезновения; 2 – уязвимые; 3 – редкие; 4 – неопределённого статуса;  
5 – восстанавливающиеся. В заповеднике отсутствуют лишайники, отне-  
сенные к категории 0. Редких лишайников категории 1 имеется три ви-  
да, которые произрастают на территории заповедника всего в одном  
месте, причем их ценопопуляции состоят всего из 4-5 особей и занима-  
ют очень маленькую площадь. Из-за зарастания местообитаний лесом,  
приведшего к изменению освещенности и влажности среды, находится  
под угрозой исчезновения в настоящее время *Stereocaulon tomentosum*.  
Могут исчезнуть также *Collema furfuraceum* и *Leptogium subtile*, так как  
деревья осины, на которых они обитают, после аномально жаркого 2010  
года усохли и кора их постепенно отваливается.

Таблица 3

Редкие и исчезающие виды лишайнобиоты заповедника

Название вида	Категория вида, включенного в Красные книги	
	РФ	РМЭ
<i>Absconditella sphagnorum</i> Vězda et Poelt		3
<i>Arthonia zwackhii</i> Sandst.		3
<i>Bactrospora dryina</i> (Ach.) A. Massal.		3
<i>Bryoria osteola</i> (Gyeln.) Brodo et D. Hawksw.		3
<i>Bryoria trichodes</i> (Michx.) Brodo et D. Hawksw.		3
<i>Caloplaca chrysophthalma</i> Degel.		3
<i>Cetrelia olivetorum</i> (Nyl.) W.L. Culb. et C.F. Culb.		5
<i>Chaenotheca gracillima</i> (Vain.) Tibell		3
<i>Chaenotheca hispidula</i> (Ach.) Zahlbr.		3
<i>Chaenotheca phaeocephala</i> (Turner) Th. Fr.		3
<i>Collema flaccidum</i> (Ach.) Ach.		4
<i>Collema furfuraceum</i> (Arnold) Du Rietz		1
<i>Collema ligerinum</i> (Hy) Harm.		3
<i>Collema limosum</i> (Ach.) Ach.		4
<i>Heterodermia speciosa</i> (Wulfen) Trevis.		5
<i>Hypogymnia vittata</i> (Ach.) Parrique		5
<i>Leptogium rivulare</i> (Ach.) Mont.		3
<i>Leptogium subtile</i> (Schrad) Torss.		1
<i>Leptogium tenuissimum</i> (Dicks.) Körb.		4
<i>Leptogium teretiusculum</i> (Wallr.) Arnold		2
<i>Lobaria pulmonaria</i> (L.) Hoffm.	2	2
<i>Loxospora cisonica</i> (Beltr.) Hafellner		3
<i>Menegazzia terebrata</i> (Hoffm.) Massal.	3	2
<i>Multiclavula mucida</i> (Pers.) R.H. Petersen		3
<i>Multiclavula corynoides</i> (Peck.) R. H. Petersen		3
<i>Mycoblastus affinis</i> (Schaer.) T. Schauer		3
<i>Nephromopsis laureri</i> (Kremp.) Kurok.	3	3
<i>Phaeophyscia kairamoi</i> (Vain.) Moberg		2
<i>Physcia caesia</i> (Hoffm.) Fűrnr.		5
<i>Ramalina obtusata</i> (Arnold) Bitter		2
<i>Ramalina roesleri</i> (Hochst. ex Schaer.) Hue		3
<i>Ramalina sinensis</i> Jatta		2
<i>Ramalina thrausta</i> (Ach.) Nyl.		5
<i>Schimatomma pericleum</i> (Ach.) Branth et Rostr.		4
<i>Sclerophora coniophaea</i> (Norman) J. Mattsson et Middelb.		3
<i>Sclerophora pallida</i> (Pers.) Y.J. Jao et Spooner		3
<i>Stereocaulon tomentosum</i> Fr.		1
<i>Usnea florida</i> (L.) Wigg.	2	2
<i>Usnea fulvovirens</i> (Räs.) Räs.		4
<i>Usnea intermedia</i> (A. Massal.) Jatta		3
<i>Usnea lapponica</i> Vain.		5
<i>Usnocetraria oakesiana</i> (Tuck.) M.J. Lai et J.C. Wei		3

К категории 2 относятся семь видов. Слоевища *Leptogium teretiusculum*, *Phaeophyscia kairamoi*, *Ramalina sinensis*, *Ramalina obtusata*, произрастающие в основном на стволах старовозрастных осин и тополя черного, часто исчезают при выпадении из древостоя этих деревьев из-за усыхания или уничтожения бобрами. Крупные талломы *Lobaria pulmonaria*, *Usnea florida* в зимнее время часто падают вместе с комом снега с веток и стволов после сильных снегопадов и последующих потеплений. *Menegazzia terebrata*, произрастающая на стволах ольхи черной, быстро погибает вместе с форофитами в результате запруживания бобрами местообитаний по притокам р. Б. Кокшага.

Наибольшее число видов лишайников (21) относится к категории 3. Некоторые виды этой категории (*Absconditella sphagnorum*, *Multiclavula corynoides*) являются редкими из-за малой представленности подходящих местообитаний на территории заповедника. Для других же видов (*Arthonia zwackhii*, *Mycoblastus affinis*, *Usnocetraria oakesiana*, *Nephromopsis laureri*) низкая встречаемость является нормой. К ним относятся виды из рода *Chaenotheca*, *Sclerophora*. Часть редких видов находится на границе ареала или же изолированно за пределами основного ареала.

Об охраняемых лишайниках категории 4, куда относятся *Collema flaccidum*, *Collema limosum*, *Leptogium tenuissimum*, *Usnea fulvovirens* и *Schimatomma pericleum*, сведений пока мало. При дальнейших исследованиях состояния их ценопопуляций они могут быть отнесены к другим категориям.

Видам категории 5 на территории заповедника ничего не угрожает. Пять видов из них (*Cetrelia olivetorum*, *Heterodermia speciosa*, *Hypogymnia vittata*, *Ramalina thrausta*, *Usnea lapponica*) имеют на территории заповедника самые крупные по численности ценопопуляции в РМЭ. Только у вида *Physcia caesia*, который начинает занимать не только естественный каменистый субстрат, но и старые кирпичные, каменные и бетонные постройки, численность пока невысока.

Из лишайников, произрастающих в заповеднике, в Красную книгу России включены *Lobaria pulmonaria*, *Usnea florida*, *Menegazzia terebrata*, *Nephromopsis laureri*. Первые два вида на его территории встречаются часто, а у уснеи цветущей отмечены самые крупные ценопопуляции для равнинной части российского ареала. Только *Nephromopsis laureri* обнаружен однажды в ельнике по ручью Лор. Вид *Leptogium rivulare*, имеющий на территории ООПТ самую большую по численности популяцию в Республике Марий Эл, занесен в Красный список МСОП с категорией NT. Ценопопуляции лишайника *Collema ligerinum*, который включен в Приложение 3 к Красной книге России, нуждаются в особом контроле.

Из редких и охраняемых видов, произрастающих на территории заповедника, можно указать те, которые ограниченно распространены на территории России. Так, для *Usnea intermedia*, *Usnea florida*, *Bryoria osteola*, *Bryoria trichodes* характерно произрастание в некоторых горных областях России, а в равнинной части они распространены очень редко. Редкие для нашей республики *Arthonia zwackhii* и *Bactrospora dryina* не обнаружены пока в других частях России [1]. Лишайник *Absoconditella sphagnorum* впервые в России обнаружен именно на территории РМЭ; второе местонахождение этого вида – Республика Карелия [1]. Редкий *Leptogium rivulare*, который отмечен также в Республике Коми, Мурманской и Кировской областях, имеет в пойме р. Большая Кокшага самые крупные по численности ценопопуляции в России или даже в мире. Для охраняемых видов *Usnocetraria oakesiana*, *Caloplaca chrysophthalma*, *Collema ligerinum* бассейн р. Большая Кокшага является пока единственным местом произрастания в европейской части России (без Кавказа). Лишайник *Loxospora cisonica*, обнаруженный дважды на коре пихты, отмечен в России, кроме территории заповедника, только в Нижегородской области [9].

На территории охранной зоны заповедника в черноольшанике на берегу ручья в кв. 6 Старожильского лесничества обнаружен на гладкой коре молодой черемухи у основания ее ствола редкий для России вид *Vezdaea aestivalis* (Ohlert) Tscherm.-Woess et Poelt (Вездеа летняя). В России он встречен только в Ленинградской области и на Южном Урале [8]. Для этого вида характерно образование в конце зимы – начале весны апотециев, которые существуют недолго и распадаются. В ур. Прямик (кв. 77 заповедника) 10.03.2004 обнаружен в пойменном экотопе на коре старовозрастной осины другой вид – *Caloplaca ulcerosa* Corpins et P. James (Калоплака вогнутая), произрастающий совместно с нитрофильным лишайником *Phaeophyscia nigricans* (Flörke) Moberg и эпифитным мхом *Myrinia pulvinata* (Wahlenb.) Schimp., который оказался новым для России. Места его ближайших находок находятся на Украине и в Эстонии [9].

### Заключение

1. Таксономический анализ состава лишайнобиоты заповедника показал, что она имеет бореально-неморальный характер с некоторыми южными чертами.

2. Среди жизненных форм лишайников преобладают накипные формы (201 вид). Лишайники с кустистым и листоватым талломом образуют группу из 135 видов. Соотношение макролишайников к микроли-

шайникам равно примерно 1:1,5, что гораздо ниже, чем для хорошо изученных лишайнобиот.

3. Среди видов лишайнобиоты преобладают мезофиты (213 видов, или 63,3 % всего видового состава). Высока также численность гигромезофитов (120 видов, или 35,7 %).

4. По приуроченности к разным типам субстратов лишайники заповедника относятся к шести группам, среди которых преобладают эпифиты (221 вид, или 65,8 %). Эпигейды представлены 43 видами (12,8 %), а эпиксилы – 41 видом (12,2 %).

5. К комплексу видов-индикаторов слабонарушенных лесных экосистем можно отнести 55 видов, что составляет 16,4 % всей лишайнобиоты.

6. Из 59 видов лишайников, внесенных в Красную книгу Республики Марий Эл, 42 вида произрастают в заповеднике и его охранной зоне, что составляет 71,2 % от всех охраняемых видов.

7. Редкие для Республики Марий Эл виды *Arthonia zwackhii*, *Bactrospora dryina*, *Caloplaca ulcerosa* встречаются в России только на территории заповедника.

### Библиографический список

1. Альструп, В. Лишайники и лишайнофильные грибы, обнаруженные в Северном Приладожье (Республика Карелия) в ходе международной полевой экскурсии в августе 2004 г., предшествующей Пятому конгрессу Международной лихенологической ассоциации: предварительный отчет / В. Альструп, А.А. Заварзин, Я. Коцюркова и др. // Труды Карельского научного центра РАН. Вып. 7: Биогеография Карелии. – Петрозаводск, 2005. – С. 3-15.

2. Богданов, Г. А. Новые и редкие для России виды лишайников из Республики Марий Эл / Г.А. Богданов, Г.П. Урбанавичюс // Ботанический журнал. – 2008. – Т. 93, № 6. – С. 944-950.

3. Бязров, Л. Г. Виды лишайников, собранные впервые в Марийской АССР / Л.Г. Бязров // Новости систематики низших растений. – 1970. – Т. 7. – С. 298-299.

4. Бязров, Л. Г. Синузиды эпифитных лишайников в некоторых типах лесных биоценозов Марийской АССР / Л.Г. Бязров // Ботанический журнал. – 1970. – Т. 55, № 8. – С. 1065-1076.

5. Васильева, Л. Н. Лишайники междуручья Большой Кокшаги и Большого Кундыша в Марийской АССР / Л.Н. Васильева, В.А. Крейер // Флора Марийской АССР и вопросы её охраны. – Йошкар-Ола: МарГУ, 1981. – С. 3-9.

6. Васильков, Б. П. К флоре лишайников Марийской республики / Б.П. Васильков // Сб. трудов Поволжского лесотехнического института им. М. Горького. Вып 3. – Йошкар-Ола: Маркнигоиздат, 1940. – С. 16-23.

7. Красная книга Республики Марий Эл. Том «Растения. Грибы» / составители Г.А. Богданов, Н.В. Абрамов, Г.П. Урбанавичюс, Л.Г. Богданова. – Йошкар-Ола: Мар. гос. ун-т, 2013. – 324 с.

8. Определитель лишайников России. Вып. 10. – Санкт-Петербург: Наука, 2008. – 515 с.

9. Определитель лишайников России. Вып. 9: Фусцидиевые, Телосхистовые. – СПб.: Наука, 2004. – 339 с.

10. Преснякова, М. Г. Новые виды лишайников Нижегородской области / М.Г. Преснякова // Новости систематики низших растений. – 2001. – Т. 35. – С. 200-202.

11. Суетина, Ю. Г. Лишайники города Йошкар-Ола, новые для Республики Марий Эл / Ю.Г. Суетина // Бот. журнал. – 1997. – Т. 82, № 5. – С. 118-120.

### BOLSHAYA KOKSHAGA NATURE RESERVE LICHEN BIOTA ANALYSIS

G. A. Bogdanov

**Keywords:** Bolshaya Kokshaga nature reserve, lichen biota, rare species of lichens.

The analysis of lichen biota of Bolshaya Kokshaga nature reserve was conducted. The materials of multi-year collections of lichen samples, taken in the territory of the reserve in various ecotopes, were the basis for the analysis. It was discovered that 336 species composed the lichen biota, including 12 species of lichenicolous fungi (74.6 % of the total number of lichen species in Mari El Republic). The lichen biota is, in total, of boreal-nemoral nature but southern species can also be found. Crustaceous lichens are the most represented species, they constitute 60 % of the lichens. Other lichens (40 %) are of bushy and foliated thallomes. The share of mesophytes is 63.3 %, the share of hygromesophytes is 36.7 %, correspondingly. According to the types of substrates, the nature reserve lichens may be divided into six groups where epiphytes prevail (65.8 %); epigeic lichens take the second place (12.8 %), and epixyles – the third one (12.2 %). Fifty-five species (16.4 %) may be included into the group of indicator species of weakly disturbed forest ecosystems. Forty-two of 59 species of lichens, listed in the Red Book of Mari El Republic, grow in the reserve and its protective zone. *Arthonia zwackhii*, *Bactrospora dryina*, and *Caloplaca ulcerosa* are found in Russia in the territory of the nature reserve only.

УДК 582.32 (470.343)

### АНАЛИЗ МОХОВИДНЫХ ЗАПОВЕДНИКА «БОЛЬШАЯ КОКШАГА»

Г. А. Богданов

*На основе списка моховидных заповедника, составленного по данным многолетних сборов и включающего 225 видов антоцеротовых, печеночников и листовелых мхов, проведен таксономический, географический и экологический анализ бриофлоры. Описаны ее эколого-ценотические особенности, выделены редкие и охраняемые виды моховидных. Показано, что основу флоры моховидных заповедника составляют бореальные виды, на долю которых приходится 66 % всего их списочного состава. Второе место в бриофлоре занимают неморальные (дубравные) виды, на долю которых приходится 19 % общего их числа. Флору моховидных заповедника можно считать в целом неморально-бореальной с небольшим участием северных и горных видов. Наиболее богаты моховидными лесные сообщества, где произрастает 169 видов, а также почвенные обнажения (92 вида). Среди экологических групп моховидных по отношению к влажности субстрата ведущие места занимают мезофиты (90 видов) и гигрофиты (50 видов). Из 53 видов моховидных, занесенных в Красную книгу Республики Марий Эл, 27 видов произрастают на территории заповедника.*

**Ключевые слова:** заповедник «Большая Кокшага»; моховидные; таксономический, географический и экологический анализ флоры; редкие виды.

### Введение

Моховидные из-за спорового размножения способны произрастать на территории любых природных зон. Обладая высокой экологической пластичностью, они могут занимать самые различные местообитания: от самых засушливых до водных. Тем не менее на видовое разнообразие моховидных определенных территорий влияют особенности климата, разнообразие субстрата, его трофность, световой и водный режим, а также богатство ценозов со своим растительным покровом и особенностями. Большое количество различных местообитаний препятствует, однако, быстрому и полному выявлению видового состава моховидных.

Изучение флоры моховидных Республики Марий Эл было начато в 1926 году Л.Н. Васильевой во время обследования болот северо-запада Казанского края. Далее оно продолжилось в 1928, 1930, 1931-1934 годах. Последние 4 года работы велись геоботанической экспедицией Марийского научно-исследовательского института. В результате многолетних работ был составлен аннотированный список сфагновых мхов, зеленых мхов, печеночников и их распределение по основным типам



лесной и болотной растительности [1, 2]. С учетом обнаруженных новых трех гипоарктогорных видов [3] общее количество видов мхов и печеночников составило 172.

### Объекты и методика исследований

Исходным материалом для проведения анализа моховидных заповедника были материалы геоботанических описаний и гербарные сборы, начатые в 1994 году и продолженные (с перерывами) до 2010 года, а также аннотированные списки, опубликованные в разные годы по листователю мхам, печеночникам и антоцеротовым. При анализе моховидных была использована методика, предложенная А.С. Лазаренко [6] для листователю мхов и Р.Н. Шляковым [8, 9] для печеночников.

### Результаты исследования и их обсуждение

Инвентаризация видового разнообразия моховидных на территории заповедника «Большая Кокшага» была начата в 1994 году в ходе исследования его флоры. Работы по изучению листователю мхов были проведены совместно с И.В. Чернядьевой летом 1998 года и С.Ю. Поповым осенью 2000 года, а печеночников – с Н.А. Константиновой и А.Н. Савченко осенью 2008 года [4, 7]. В результате изучения моховидных удалось выявить на территории заповедника 225 видов из 113 родов и 56 семейств, объединенных в три отдела: Anthocero-tophyta, Marchantiophyta и Bryophyta (табл. 1). Отдел Anthocerotophyta представлен всего одним видом – *Anthoceros agrestis*, а отдел Marchantiophyta – 54 видами из 33 родов и 23 семейств. Наибольшим видовым богатством отличается отдел Bryophyta – 170 видов из 79 родов и 33 семейств. 22 вида моховидных, из которых 13 видов печеночников и 9 видов листователю мхов, выявлены только в заповеднике и не обнаружены пока на территории Республики Марий Эл.

Таблица 1

#### Таксономический состав моховидных заповедника «Большая Кокшага»

Семейство (число видов)	Род, число видов
<i>Отдел Anthocerotophyta (Антоцеротовидные)</i>	
Anthocerotaceae (1)	<i>Anthoceros</i> (1)
<i>Отдел Marchantiophyta (Маршанциевидные)</i>	
Codontiaceae (1)	<i>Fossombronia</i> (1)
Pelliaceae (2)	<i>Pellia</i> (2)

Продолжение таблицы 1

Семейство (число видов)	Род, число видов
Blasiaceae (1)	<i>Blasia</i> (1)
Aneuraceae (2)	<i>Aneura</i> (1), <i>Riccardia</i> (1)
Metzgeriaceae (1)	<i>Metzgeria</i> (1)
Trichocolaceae (1)	<i>Blepharostoma</i> (1)
Lophoziaceae (8)	<i>Barbilophozia</i> (1), <i>Crossocalyx</i> (1), <i>Isopachys</i> (1), <i>Lophozia</i> (4), <i>Orthocaulis</i> (1)
Jungermanniaceae (3)	<i>Crossogyna</i> (1), <i>Plectocolea</i> (1), <i>Liochlaena</i> (1)
Scapaniaceae (2)	<i>Scapania</i> (2)
Geocalycaceae (5)	<i>Chiloscyphus</i> (2), <i>Geocalyx</i> (1), <i>Lophocolea</i> (2)
Myliaceae (1)	<i>Mylia</i> (1)
Plagiochilaceae (1)	<i>Plagiochila</i> (1)
Lepidoziaceae (1)	<i>Lepidozia</i> (1)
Calypogeiaceae (4)	<i>Calypogeia</i> (4)
Cephaloziaceae (5)	<i>Cephalozia</i> (3), <i>Cladopodiella</i> (1), <i>Odontoschisma</i> (1)
Cephaloziellaceae (3)	<i>Cephaloziella</i> (3)
Ptilidiaceae (1)	<i>Ptilidium</i> (1)
Frullaniaceae (2)	<i>Frullania</i> (2)
Radulaceae (1)	<i>Radula</i> (1)
Conocephalaceae (1)	<i>Conocephalum</i> (1)
Marchantiaceae (1)	<i>Marchantia</i> (1)
Ricciaceae (7)	<i>Riccia</i> (6), <i>Ricciocarpos</i> (1)
<i>Отдел Bryophyta (Мхи, или Листостебельные мхи)</i>	
Sphagnaceae (24)	<i>Sphagnum</i> (24)
Polytrichaceae (11)	<i>Atrichum</i> (3), <i>Pogonatum</i> (1), <i>Polytrichastrum</i> (3), <i>Polytrichum</i> (4)
Tetraphidaceae (1)	<i>Tetraphis</i> (1)
Buxbaumiaceae (1)	<i>Buxbaumia</i> (1)
Funariaceae (4)	<i>Funaria</i> (1), <i>Physcomitrium</i> (2), <i>Physcomitrella</i> (1)
Dicranaceae (12)	<i>Dicranum</i> (7), <i>Dicranella</i> (3), <i>Trematodon</i> (1), <i>Pseudephemerum</i> (1)
Fissidentaceae (3)	<i>Fissidens</i> (3)
Schistostegaceae (1)	<i>Schistostega</i> (1)
Ditrichaceae (2)	<i>Ditrichum</i> (1), <i>Ceratodon</i> (1)
Pottiaceae (5)	<i>Barbula</i> (2), <i>Didymodon</i> (1), <i>Syntrichia</i> (2)
Grimmiaceae (1)	<i>Schistidium</i> (1)
Orthotrichaceae (3)	<i>Orthotrichum</i> (3)
Meesiaceae (1)	<i>Leptobryum</i> (1)
Bryaceae (8)	<i>Bryum</i> (7), <i>Rhodobryum</i> (1)
Mniaceae (18)	<i>Pohlia</i> (7), <i>Mnium</i> (3), <i>Rhizomnium</i> (2), <i>Plagiomnium</i> (5), <i>Pseudobryum</i> (1)
Aulacomniaceae (1)	<i>Aulacomnium</i> (1)
Bartramiaceae (2)	<i>Philonotis</i> (2)
Fontinaliaceae (3)	<i>Fontinalis</i> (1)
Plagiotheciaceae (7)	<i>Plagiothecium</i> (6), <i>Herzogiella</i> (1)
Leucodontaceae (1)	<i>Leucodon</i> (1)
Calliergonaceae (6)	<i>Straminergon</i> (1), <i>Calliergon</i> (2), <i>Warnstorfia</i> (3)
Hypnaceae (1)	<i>Hypnum</i> (1)
Entodontaceae (1)	<i>Platygyrium</i> (1)

Окончание таблицы 1

Семейство (число видов)	Род, число видов
Anomodontaceae (3)	<i>Anomodon</i> (3)
Neckeraceae (2)	<i>Neckera</i> (1), <i>Homalia</i> (1)
Climaciaceae (1)	<i>Climacium</i> (1)
Hylocomiaceae (5)	<i>Hylocomium</i> (1), <i>Hylocomiastrum</i> (1), <i>Pleurozium</i> (1), <i>Rhytidiastrium</i> (1), <i>Rhytidiadelphus</i> (1)
Brachytheciaceae (15)	<i>Oxyrrhynchium</i> (1), <i>Cirriphyllum</i> (1), <i>Eurhynchiastrum</i> (1), <i>Brachytheciastrum</i> (1), <i>Sciurohypnum</i> (5), <i>Brachythecium</i> (6)
Scorpidiaceae (1)	<i>Sanionia</i> (1)
Pylaisiaceae (8)	<i>Breidleria</i> (1), <i>Calliargonella</i> (2), <i>Callicladium</i> (1), <i>Stereodon</i> (1), <i>Ptilium</i> (1), <i>Pylaisia</i> (2)
Pseudoleskeaceae (1)	<i>Pseudoleskeella</i> (1)
Leskeaceae (2)	<i>Haplocladium</i> (1), <i>Leskea</i> (1)
Thuidiaceae (4)	<i>Helodium</i> (1), <i>Abietinella</i> (1), <i>Thuidium</i> (2)
Amblystegiaceae (11)	<i>Myrinia</i> (1), <i>Tomentypnum</i> (1), <i>Campylidium</i> (1), <i>Serpoleskea</i> (1), <i>Campylidium</i> (1), <i>Leptodictyum</i> (1), <i>Hygroamblystegium</i> (2), <i>Amblystegium</i> (1), <i>Drepanocladus</i> (2)

Таксономический анализ флоры моховидных показал, что в спектре ведущих 11 семейств ведущие места занимают Sphagnaceae, Mniaceae, Brachytheciaceae, Dicranaceae, Polytrichaceae, Amblystegiaceae (табл. 2). Такое распределение характерно для большинства флор лесной зоны. Отсутствие в первой десятке семейств Pottiaceae и Grimmiaceae и высокое положение семейств Mniaceae, Brachytheciaceae указывают на равнинный характер бриофлоры. Присутствие среди ведущих семейств Bryaceae, Ricciaceae говорит о значительном количестве нарушенных местообитаний, а семейств Lophoziaceae и Plagiotheciaceae – о большом количестве валежин, находящихся на разных стадиях разложения.

Ведущие по числу видов семейства моховидных включают более половины видов мхов (129, или 57,3 % списочного состава). В среднем на один род приходится два вида. Видовое богатство ниже среднего имеют 76 родов из 113 (67,3 %). Во флоре присутствует большое количество семейств с одним видом (22, или 42,1 %) и одним родом (35, или 61,4 %), а количество семейств, включающих от 4 и больше родов, наоборот, меньше (8, или 14 %). Среди них выделяются семейства Amblystegiaceae (9 родов), Brachytheciaceae и Pylaisiaceae (по 6 родов), а из печеночников – семейство Lophoziaceae (5 родов). Флора моховидных заповедника имеет ярко выраженный миграционный характер, о чем свидетельствует высокое значение родового коэффициента (отношение числа родов к числу видов, %), составляющего 50,2 %.

Таблица 2

Ведущие семейства по числу видов моховидных в заповеднике «Большая Кокшага»

Ведущие семейства моховидных	Количество родов	Доля, %	Количество видов	Доля, %
Sphagnaceae	1	0,9	24	10,7
Mniaceae	5	4,4	18	8,0
Brachytheciaceae	6	5,3	15	6,7
Dicranaceae	4	3,5	12	5,3
Polytrichaceae	4	3,5	11	4,9
Amblystegiaceae	9	8,0	11	4,9
Lophoziaceae	4	3,5	8	3,6
Bryaceae	2	1,8	8	3,6
Pylaisiaceae	6	5,3	8	3,6
Ricciaceae	2	1,8	7	3,1
Plagiotheciaceae	2	1,8	7	3,1
<b>Всего</b>	<b>45</b>	<b>39,8</b>	<b>129</b>	<b>57,3</b>

Род *Sphagnum*, включающий 24 вида, является самым многочисленным в списке моховидных заповедника. Остальные роды по числу видов значительно уступают ему. Зональной особенностью флоры является высокое положение в спектре таких ведущих родов, как *Dicranum*, *Bryum*, *Pohlia* (по 7 видов) и *Plagiothecium*, *Brachythecium* и *Riccia* (по 6 видов).

Флора моховидных заповедника состоит из комплекса различных геоэлементов, которые проникли и закрепились на ее территории после многочисленных климатических изменений. Выделение этих элементов флоры в широтном и долготном направлениях проведено на основе методик, разработанных А.С. Лазаренко [6] и Р.Н. Шляковым [8]. Каждый вид моховидных заповедника на основе данных об ареалах был отнесен к определенному географическому элементу. Южные элементы представлены аридными и неморальными группами, а остальные, кроме полizonальных, относятся к северным элементам.

Установлено, что основу флоры моховидных заповедника составляют 149 бореальных видов, или 66,2 % всего их списочного состава (табл. 3), характерных в основном для таежной зоны. Во флоре заповедника наиболее богаты бореальными элементами семейства Sphagnaceae (23), Mniaceae (12), Brachytheciaceae (11), Dicranaceae (10), Lophoziaceae (9), Plagiotheciaceae (7), Polytrichaceae (7), Amblystegiaceae (5), Bryaceae (5), Pylaisiaceae (5). Представители этой группы являются доминантами или содоминантами в лесных и болотных сообществах.

Неморальный (дубравный) элемент во флоре моховидных занимает второе место по числу видов и связан в своем распространении с широ-

колиственными лесами. На его долю приходится 43 вида, или 19,2 % всего списка. Наиболее богаты неморальными видами семейства Riccia-ceae (5), Polytrichaceae, Anomodontaceae, Amblystegiaceae, Pylaisiaceae, Brachytheciaceae, Orthotrichaceae (по 3) и роды *Riccia* (5), *Atrichum*, *Orthotrichum*, *Anomodon* (по 3). Проникновение основных дубравных элементов во флору заповедника происходило по пойме р. Большой Кокшаги вместе с тополями дрожащим и черным, ивами ломкой и белой, дубом черешчатым, вязом гладким и липой мелколистной. Напочвенные неморальные виды попали по песчано-илистым отмелям реки и в дальнейшем расселились по нарушенным субстратам вне поймы.

Таблица 3

Состав широтных групп во флоре моховидных заповедника «Большая Кокшага»

Географический элемент	Количество видов	Доля, %
Бореальный	149	66,2
Неморальный	43	19,1
Гипоарктогорный	10	4,4
Полизоальный	10	4,4
Горный	8	3,6
Гипоарктический	2	0,9
Аридный	1	0,4
Арктоальпийский	1	0,4
Арктогорный	1	0,4
<b>Всего</b>	<b>225</b>	<b>100,0</b>
В том числе северные и горные виды	22	9,7

Во флоре моховидных встречается небольшое число полизоальных видов (10 видов, или 4,4 %), которые распространены от Арктики до тропиков. В воде встречаются *Riccia fluitans* и *Ricciocarpos natans*. На увлажненных местах, особенно на пожарищах, произрастают *Marchantia latifolia*, *Funaria hygrometrica* и *Ceratodon purpureus*. *Aneura pinguis*, *Bryum argenteum* предпочитают слегка увлажненные каменистые субстраты, а *Bryum caespiticium* и *Bryum capillare* – слегка увлажненные песчаные субстраты. Как среди камней, так и на песке встречается *Leptobryum pyriforme*.

В число южных элементов входят и аридные виды. Единственный представитель этой группы *Syntrichia ruralis* в большом количестве произрастает на песчаной мелкозлаковой пустоши у д. Шаптунга. Северные геоэлементы вместе с горными в изучаемой флоре представлены 22 видами (9,7 %). Эти виды в ледниковый период произрастали у границы ледника и по мере его отступления захватывали подходящие условия. В настоящее время в заповеднике они встречаются на верховых

болотах или в заболоченных лесах, а также по поймам рек. Во флоре среди северных географических элементов преобладают гипоарктические виды. Так, на илистом песке по берегу р. Большая Кокшага произрастают *Pohlia wahlenbergii* и *Pohlia prolifera*. В тенистых влажных еловых лесах по р. Б. Кокшага обнаружен *Mnium spinosum*, а в березняке по пойме руч. Ошминка – *Dicranum brevifolium*. По берегу минералотрофного болотца произрастает *Campylopusium stellatum* var. *protensum*. В приручевых заболоченных лесах обнаружены *Rhizomnium pseudopunctatum*, *Pseudobryum cinclidioides*, *Tomentypnum nitens*, *Helodium blandowii*.

Горные виды представлены во флоре 8 видами. Один из них *Fontinalis antiperetica* встречается в проточной воде некоторых притоков р. Большая Кокшага. *Hygroamblystegium varium* произрастает по берегам стариц в черноольшанике, а *Sciurohypnum plumosum* дважды найден на коре дуба и гнилой древесине в пойменном дубняке. Остальные горные виды (*Abietinella abietina*, *Barbula convolute*, *Didymodon fallax*, *Barbula unguiculata*) растут на глинисто-щебенистом грунте на насыпи заброшенной железной дороги, а *Schistidium apocarpum* – на бетонных конструкциях моста через р. Б. Кокшага.

Гипоарктический элемент во флоре представлен печеночником *Pellia neesiana* и мхом *Sphagnum jensenii*, растущими на хорошо увлажненных местообитаниях. Арктоальпийский и арктогорный геоэлемент флоры включают по одному виду – *Syntrichia norvegica* и *Philonotis tomentella*. Первый из них обнаружен на берегу оз. Шушер, а второй – на сыром песке по берегу ручья в кв. 63 заповедника.

Из-за преобладания в бриофлоре бореальных и неморальных геоэлементов ее можно считать неморально-бореальной с небольшим участием северных и горных видов, что является подтверждением расположения заповедника близ границы южной тайги в подзоне хвойно-широколиственных лесов.

В зависимости от протяженности видовых ареалов выделены также долготные группы моховидных (табл. 4). Наиболее представлены в заповеднике циркумполярные виды (148, или 65,8 % всего списка), произрастающие во всех секторах Голарктики. Доля биполярных видов, встречающихся в обоих полушариях Земли, в заповеднике составляет 23,6 % (53 вида). Космополитов же во флоре всего 12 видов (5,3 %). Из европейско-американской долготной группы, отсутствующей в азиатском секторе, обнаружено 4 вида: 3 вида печеночника (*Calypogeia suecica*, *Fossombronina wondraczekii*, *Liochlaena lanceolata*) и один вид мха (*Pseudephemerum nitudum*). Азиатско-американский ареал имеют 2 вида

печеночника: *Frullania bolanderi* и *Frullania inflata*. Из евросибирско-американской долготной группы встречаются два вида мхов: *Brachythecium erythrorhizon* и *Myrinia pulvinata*. Из представителей только европейского сектора Голарктики обнаружен печеночник *Riccia ciliata*. В основном приокеаническое распространение имеет только один вид – печеночник *Odontoschisma denudatum*.

Таблица 4

Состав долготных групп во флоре моховидных заповедника «Большая Кокшага»

Долготные группы	Количество видов	Доля, %
Циркумполярный	148	65,8
Биполярный	53	23,6
Космополитный	12	5,3
Европейско-американский	4	1,7
Азиатско-американский	2	0,9
Евросибирско-американский	2	0,9
Европейский	1	0,4
Европейско-восточноазиатский	1	0,4
Европейско-восточноазиатско-американский	1	0,4
Приокеанический	1	0,4
<b>Всего</b>	<b>225</b>	<b>100,0</b>

**Эколого-ценотические особенности распределения моховидных.**

В лесных сообществах заповедника обитает наибольшее количество видов моховидных (169). В напочвенном покрове зеленомошных сосняков их проективное покрытие доходит порой до 95%. Среди них наиболее распространены *Pleurozium schreberi*, *Dicranum polysetum* и *Hylocomium splendens*. В сосново-еловых и еловых лесах к этим видам добавляются *Dicranum scoparium*, *Rhytidiadelphus triquetrus*, *Rhodobryum roseum*, *Sphagnum girgensohnii*, *Sphagnum wulfianum*, *Sciurohypnum starkei* и *Sciurohypnum oedipodium*. Иногда здесь можно обнаружить *Ptilium crista-castrensis*, *Thuidium recognitum*, *Sphagnum warnstorffii*, *Plagiomnium affine*, *Plagiomnium elatum*, *Cirriphyllum piliferum* и *Barbilophozia barbata*. В пойменных широколиственных и хвойно-широколиственных лесах, где землю покрывает мощный опад из листьев, моховой покров практически не развивается. Он встречается только там, где быстрое течение воды во время половодья уносит листья, и его проективное покрытие достигает 30%. В его состав входят *Oxyrrhynchium hians*, *Eurhynchiastrum pulchellum*, *Brachytheciastrum velutinum*, *Sciurohypnum starkei*, *Plagiomnium ellipticum*, *Plagiomnium cuspidatum*, *Fissidens bryoides*, *Mnium stellare*, *Crossogyna autumnalis* и

*Plagiochila porelloides*. Редко и в небольшом количестве здесь можно встретить также *Fissidens adianthoides*, *Mnium spinosum* и *Mnium spinulosum*. Во влажных черноольшаниках и березняках в притеррасной части поймы р. Б. Кокшага по долинам ручьев в моховом покрове преобладают *Climacium dendroides*, *Calliergon cordifolium*, *Plagiomnium denticulatum* var. *undulatum*, *Rhizomnium punctatum*, *Plagiomnium ellipticum*, *Pseudobryum cinclidioides*, *Sphagnum squarrosum*, *Lophocolea heterophylla*, *Chiloscyphus pallescens*, *Chiloscyphus polyanthos* и *Pellia neesiana*. Изредка здесь встречаются *Sphagnum teres*, *Sphagnum fimbriatum*, *Sphagnum centrale*, *Atrichum undulatum*, *Bryum pseudotriquetrum*, *Dicranum brevifolium*, *Dicranum fuscescens*, *Helodium blandowii*, *Thuidium philibertii* и *Fissidens osmundoides*. Переувлажненные сосняки богаты видами сфагновых мхов, проективное покрытие которых достигает здесь 100%. Самыми обычными из них являются *Sphagnum angustifolium*, *Sphagnum fallax* и *Sphagnum magellanicum*. Часто встречается здесь также *Polytrichum commune*. По окраинам этих сосняков на менее увлажненных участках обычны *Sphagnum compactum*, *Sphagnum capillifolium* и *Sphagnum russowii*, а на кочках и на прикомлевых возвышениях растут в обилии *Polytrichum strictum*, *Aulacomnium palustre* и *Pohlia nutans*.

Среди лесных видов есть небольшая доля эпифитных. На различных древесных породах от прикомлевой части до кроны обнаружены 32 вида. Основным фактором роста и обилия является для них влажность. Большинство видов начинают расти еще в марте, когда тающий снег увлажняет кору деревьев, а на поверхности освещенной части ствола температура становится положительной, хотя температура воздуха чаще бывает низкой. Такой рост продолжается и в осеннее время, когда деревья полностью лишены листвы. Особенно высоко по стволу осины (до 15-20 м) поднимаются такие эпифиты как *Pylaisia polyantha*, *Orthotrichum speciosum* и *Orthotrichum obtusifolium*. Среди них редко встречающимися в заповеднике являются *Orthotrichum gymnostomum* и *Pylaisia selwynii*. При основании стволов старовозрастных деревьев липы, осины, вяза, дуба и отчасти ольхи черной произрастают такие эпифиты, как *Neckera pennata*, *Anomodon longifolius*, *Leucodon sciuroides*, *Dicranum viride*, *Pseudoleskeella nervosa*, *Leskea polycarpa*, *Serpoleskea subtilis*, *Homalia trichomanoides*, *Anomodon longifolius*, *Anomodon attenuatus*, *Anomodon viticulosus* и *Myrinia pulvinata*. Первые четыре вида не переносят долгого затопления, а вот остальные легко его выдерживают. Из эпифитных печеночников в заповеднике обнаружены 6 видов. Среди них обычны *Ptilidium pulcherrimum*, *Radula complanata*, *Frullania bolanderi* и *Lophocolea minor*. Редко встречаются *Frullania inflata* и *Metzgeria*

*furcata*. На комлях и наклоненных стволах деревьев могут встречаться и другие виды, не относящиеся к этой группе: *Lophozia longidens*, *Lophocolea heterophylla* и *Crossogyna autumnalis*. Большинство эпифитных видов моховидных хорошо и долго могут расти также на свежем валежнике.

Мхи на гнилой древесине – эпиксилы – в лесах заповедника представлены 98 видами, но настоящих эпиксиллов среди них всего 9: *Tetraphis pellucida*, *Dicranum flagellare*, *Platygyrium repens*, *Blepharostoma trichophyllum*, *Calypogeia muelleriana*, *Cephalozia bicuspidata*, *Cephalozia lunulifolia*, *Lophozia longidens* и *Lepidozia reptans*. На начальной и средней стадии разложения древесины на ней появляются виды, характерные для прикомлевых частей деревьев: *Amblystegium serpens*, *Brachythecium salebrosum*, *Callicladium haldanianum*, *Calliergonella lindbergii*, *Stereodon pallescens*, *Plagiothecium laetum*, *Plagiothecium latebricola*, *Plagiothecium nemorale*, *Plagiomnium cuspidatum*, *Sanionia uncinata*, *Sciurohypnum reflexum*, *Serpoleskea subtilis* и др. На конечной стадии разложения древесины появляются типичные виды напочвенных мхов *Pleurozium schreberi*, *Dicranum polysetum*, *Dicranum scoparium* и *Hylocomium splendens*. Среди эпиксиллов редкими являются *Fissidens osmundoides*, *Geocalyx graveolens* и *Odontoschisma denudatum*. Последние два вида сравнительно редки и для всей центральной части России.

Мхи, произрастающие на обнаженных нарушенных участках почв, представлены 92 видами. Такие местообитания встречаются по обрывистым берегам рек и стариц, на местах выворотов деревьев и порою кабанов, по обочинам и колеям заброшенных дорог, противопожарным канавам, на местах пожарниц и характеризуются относительно высоким освещением, слабым развитием травяного покрова и избыточным увлажнением. Здесь обычны виды из родов *Riccia*, *Bryum* и *Pohlia*. Многие представители двух последних родов имеют органы вегетативного размножения – выводковые почки и нити. На местах пожарниц распространены *Funaria hygrometrica*, *Pohlia nutans*, *Ceratodon purpureus* и *Marchantia latifolia*. На песчаных обнажениях обычны *Atrichum tenellum*, *Pogonatum urnigerum*, *Polytrichastrum longisetum*, *Polytrichum juniperinum*, *Polytrichum piliferum*, *Dicranella cerviculata*, *Dicranella heteromalla*, *Trematodon ambiguus*, *Fossombronina wondraczekii*, *Pellia endiviifolia*, *Blasia pusilla*, *Aneura pinguis*, *Isopaches bicrenatus*, *Lophozia excisa*, *Plectocolea hyalina*, *Riccia cavernosa*, *Riccia glauca* и *Riccia huebeneriana*. Для выворотов в лесах характерны *Atrichum flavisetum*, *Polytrichastrum formosum*, *Polytrichastrum pallidisetum*, *Ditrichum heteromallum*, *Plagiothecium cavifolium* и *Plagiothecium nemorale*. На супесчаных бортах колеи дорог произрастают *Vuxbaumia aphylla*,

*Cephaloziella divaricata*, *Cephaloziella rubella*, *Scapania curta* и *Scapania irrigua*. На перечисленных субстратах встречается большое количество редких и охраняемых видов: *Anthoceros agrestis*, *Riccia ciliata*, *Dicranella humilis*, *Schistostega pennata*, *Physcomitrium sphaericum*, *Physcomitrium eurystomum*, *Physcomitrella patens* и *Pseudephemerum nitidum*. Последние четыре вида являются эфемероидами.

Типично луговых видов мхов в заповеднике практически не встречается, поскольку лугов на его территории немного и расположены они в основном в поймах р. Б. Кокшага и ее крупных притоков. На этих лугах, образовавшихся в результате сведения широколиственных лесов и ольшаников, в последние 20 лет сенокосение отсутствует, и они зарастают высокотравьем, ивняком и шиповником. Здесь произрастают в небольшом количестве *Rhizomnium punctatum*, *Plagiomnium ellipticum*, *Calliergon cordifolium*, *Oxyrrhynchium hians*, *Brachythecium mildeanum*, *Oxyrrhynchium hians*, *Brachythecium mildeanum*, *Calliergonella lindbergii*, *Campylidium sommerfeltii* и *Drepanocladus aduncus*. Редко встречаются *Rhytidiastrium subpinnatum* и *Breidleria pratensis*. Суходольные луга встречаются на месте бывших полей вокруг населенных пунктов, на полянах и опушках леса. На них произрастают *Polytrichum juniperinum*, *Polytrichum piliferum*, *Ceratodon purpureus*, *Syntrichia ruralis*, *Bryum creberrimum*, *Bryum caespiticium*, *Pohlia nutans*, *Brachythecium salebrosum*, *Brachythecium albicans* и *Riccia sorocarpa*. Редкими в луговых сообществах заповедника являются *Syntrichia norvegica*, *Abietinella abietina*, *Anthoceros agrestis* и *Riccia ciliata*. Всего же на лугах отмечено присутствия 32 видов моховидных.

Естественных каменистых субстратов на территории заповедника нет, встречаются камни силикатного и известкового происхождения, которые были использованы при строительстве насыпи железной дороги и станции Шаптунга. Среди щебня есть песчано-гравийная смесь с небольшим содержанием суглинка. Бетонные блоки были использованы при строительстве дороги к д. Аргамач, перрона на станции и укреплении ж/д моста через р. Б. Кокшага. Из типичных эпилитов в заповеднике встречается только *Schistidium apocarpum*. На песчано-гравийном грунте обнаружены *Barbula convoluta*, *Barbula unguiculata* и *Didymodon fallax*. Произрастают здесь также мхи с широким распространением: *Bryum argenteum*, *Bryum capillare*, *Bryum creberrimum*, *Campylidium sommerfeltii* и *Aneura pinguis*. Всего же на таком виде субстрата произрастают 23 вида моховидных.

Открытые верховые и переходные участки болот встречаются на Кошеерском, Кундышском, Красноярском болотах и на болоте Чоя куп. Небольшие по площади переходные, травяно-сфагновые болота распростра-

нены в понижениях между облесенными дюнами в юго-восточной части заповедника. Здесь преобладают сфагновые мхи: *Sphagnum angustifolium*, *Sphagnum magellanicum* и *Sphagnum fallax*. На наиболее увлажненных участках произрастают *Sphagnum cuspidatum*, *Sphagnum majus*, *Sphagnum riparium*, *Sphagnum obtusum* и *Sphagnum subsecundum*. На сплавиной части болот с развитым мочажинным комплексом встречаются *Sphagnum balticum*, *Sphagnum fuscum*, *Sphagnum jensenii*, *Sphagnum rubellum*, *Straminergon stramineum*, *Calypogeia sphagnicola*, *Cephaloziella elachista*, *Cephalozia connivens*, *Cladopodiella fluitans* и *Mylia anomala*. Всего на болотах обнаружено произрастание 42 видов моховидных.

В воде стоячих водоемов и рек, а также в прибрежных местообитаниях обнаружены 28 видов моховидных. Они растут в воде или на ее поверхности, а при временном пересыхании мелких водоемов могут продолжать развитие на сыром субстрате. В воде ручьев с чистой и проточной водой произрастает *Fontinalis antiperetica*, вдоль стариц и в них распространены *Drepanocladus aduncus*, *Brachythecium rivulare*, *Brachythecium rutabulum*, *Fontinalis hypnoides*, *Riccia fluitans* и *Ricciocarpos natans*. В слабо пересыхающих искусственных водоемах вдоль железной дороги, образовавшихся после выемки грунта, обнаружены виды из семейства Calliergonaceae: *Calliergon giganteum*, *Calliergon cordifolium*, *Warnstorfia exannulata*, *Warnstorfia fluitans* и *Warnstorfia pseudostraminea*. Вдоль ручьев обычно растут *Hygroamblystegium humile*, *Hygroamblystegium varium*, *Leptodictyum riparium*, *Philonotis tomentella*, *Bryum pseudotriquetrum*, *Conocephalum conicum* и *Marchantia latifolia*. В воде оз. Кошеер произрастают *Sphagnum riparium* и *Fontinalis dalecarlica*.

**Экологическая структура флоры моховидных.** Среди экологических групп по отношению к влажности субстрата ведущее место занимают, как показал анализ, мезофиты (90 видов, или 40 % всего списка) и гигрофиты (50 видов, или 22,2 %), преобладающие в лесных, луговых ценозах и нарушенных местообитаниях (табл. 5). Число видов, характерных для местообитаний со средним увлажнением, достигает вместе с близкими к ним ксеромезофитами и гигромезофитами 134 вида (59,6 %). На местообитаниях с излишним увлажнением вместе с мезогигрофитами произрастают в целом 69 видов (30,6 %). В водных местообитаниях встречаются 17 видов гигрогидрофитов и гидрофитов (7,5 %). Из ксерофитов распространен всего один вид – *Schistidium apocarpum*, являющийся обитателем каменистых субстратов. Вместе с мезоксерофитами (обитателями сухих пустошей) *Polytrichum piliferum*, *Brachythecium albicans* и эпифитами *Frullania bolanderi*, *Frullania bolanderi* он составляет 2,2 % от всего числа моховидных. Такое соот-

ношение экологических групп моховидных с явным преобладанием мезо- и гигрофитов характерно для большинства флор равнинной части умеренной зоны, где нет гор, но есть значительное количество водоемов и болот.

Таблица 5  
Экологические группы флоры моховидных заповедника «Большая Кокшага»

Экологическая группа	Количество видов	Доля, %
Мезофит	90	40,0
Гигрофит	50	22,2
Гигромезофит	27	12,0
Мезогигрофит	19	8,4
Ксеромезофит	17	7,6
Гидрофит	14	6,2
Мезоксерофит	4	1,8
Гигрогидрофит	3	1,3
Ксерофит	1	0,4
<b>Всего</b>	<b>225</b>	<b>100,0</b>

Анализ исходных данных показал, что большинство видов моховидных заповедника (163, или 72,5 %) встречается редко или очень редко, а 62 вида (27,5 %) – часто (число встреч выше 5). Такое распределение видов мхов по их встречаемости в экотопах характерно для всего Северного полушария.

Из 53 видов моховидных, занесенных в Красную книгу Республики Марий Эл [5], 27 видов (50,9 %) произрастают на территории заповедника (табл. 6). Из охраняемых видов антоцеротовых и печеночников все семь видов также встречены здесь, из них *Anthoceros agrestis* и *Geocalyx graveolens* произрастают только на этой территории. Из 46 охраняемых видов Республики Марий Эл произрастают в заповеднике 20 видов листостебельных, из которых 8 видов обнаружены только здесь. Охраняемые виды мхов заповедника отнесены к 4 основным категориям. Не представлены здесь виды с категорией 0 (вероятно исчезнувшие) и 1 (находящиеся под угрозой исчезновения). Наибольшее количество охраняемых видов (16) имеют статус 3 (редкий вид). Неопределенные по статусу виды (9) в дальнейшем при тщательном обследовании могут быть отнесены к другим категориям. По одному виду относят к категориям 2 (сокращающие численность) и 5 (восстанавливающие численность). На территории заповедника произрастает около половины всех охраняемых видов моховидных Республики Марий Эл и большинству из них ничего не грозит.

Таблица 6  
Редкие и исчезающие виды мхов, выявленные на территории заповедника

Название вида	Наличие только в заповеднике	Статус в Красной книге РМЭ
<i>Anthoceros agrestis</i>	+	3 – редкий вид
<i>Geocalyx graveolens</i>	+	3 – редкий вид
<i>Odontoschisma denudatum</i>	-	3 – редкий вид
<i>Cephaloziella elachista</i>	-	4 – неопределенный по статусу вид
<i>Frullania inflata</i>	-	3 – редкий вид
<i>Riccia ciliata</i>	-	3 – редкий вид
<i>Ricciocarpos natans</i>	-	5 – восстанавливаемый в численности вид
<i>Sphagnum balticum</i>	-	3 – редкий вид
<i>Sphagnum jensenii</i>	-	3 – редкий вид
<i>Sphagnum palustre</i>	-	3 – редкий вид
<i>Sphagnum rubellum</i>	-	3 – редкий вид
<i>Physcomitrium sphaericum</i>	-	4 – неопределенный по статусу вид
<i>Physcomitrium eurystomum</i>	-	4 – неопределенный по статусу вид
<i>Physcomitrella patens</i>	-	4 – неопределенный по статусу вид
<i>Dicranum brevifolium</i>	+	4 – неопределенный по статусу вид
<i>Dicranella humilis</i>	-	4 – неопределенный по статусу вид
<i>Pseudephemerum nitidum</i>	+	4 – неопределенный по статусу вид
<i>Fissidens osmundoides</i>	+	3 – редкий вид
<i>Schistostega pennata</i>	-	4 – неопределенный по статусу вид
<i>Mnium spinosum</i>	+	3 – редкий вид
<i>Mnium spinulosum</i>	-	3 – редкий вид
<i>Hylocomiastrum umbratum</i>	+	3 – редкий вид
<i>Pylaisia selwynii</i>	-	4 – неопределенный по статусу вид
<i>Haplocladium microphyllum</i>	-	3 – редкий вид
<i>Thuidium philibertii</i>	-	2 – сокращающийся в численности вид
<i>Fontinalis dalecarlica</i>	+	3 – редкий вид
<i>Fontinalis antiperetica</i>	-	3 – редкий вид
<b>Всего 27 видов</b>	<b>8</b>	

### Закключение

По результатам проведенного анализа можно сделать следующие выводы:

1. Бриофлора заповедника включает 225 видов из 113 родов и 56 семейств, объединенных в три отдела: Anthocerotophyta, Marchantiophyta и Bryophyta. Ведущие места во флоре моховидных занимают семейства Sphagnaceae, Mniaceae, Brachytheciaceae, Dicranaceae, Polytrichaceae и Amblystegiaceae. В первые 11 наиболее представительных семейств входит более половины видов бриофлоры (129, или 57,3 %). В среднем в

одном роде содержится два вида. Самым представительным является род *Sphagnum*, включающий 24 вида.

2. Бриофлора заповедника является неморально-бореальной с небольшим участием северных и горных видов, так как ее основу составляют 149 бореальных и 43 неморальных (дубравных) вида, на долю которых приходится в целом 85,3 % всего списочного состава моховидных.

3. Наибольшее число во флоре моховидных занимают циркумполярные виды (65,8 %), которым значительно уступают следующие за ними по представительности биполярные виды (23,6 %). На долю же космополитов приходится всего 5,3 % всего списочного состава моховидных.

4. Наиболее богаты моховидными лесные сообщества, где произрастает 169 видов, а также почвенные обнажения, где обнаружено 92 вида.

5. Ведущие места среди моховидных по отношению их к влажности субстрата занимают мезофиты (40 %) и гигрофиты (22,2 %).

6. Большинство (72,5 %) видов моховидных встречаются в экотопах заповедника редко или даже очень редко.

7. Из 53 видов моховидных, занесенных в Красную книгу Республики Марий Эл, 27 произрастают на территории заповедника.

### Библиографический список

1. Васильева, Л. Н. К флоре сфагновых мхов северо-запада Казанского края / Л.Н. Васильева // Уч. зап. Казан. ун-та. Т. 93, кн. 6: Ботаника. Вып. 1. – Казань, 1933. – С. 154-171.
2. Васильева, Л. Н. К флоре мхов Марийской автономной области / Л.Н. Васильева // Уч. зап. Казан. ун-та. Т. 96, кн. 6: Ботаника. Вып. 3. – Казань, 1936. – С. 119-148.
3. Воробьев, Ю. М. Горные и северные виды мхов в Горьковской области и Марийской АССР / Ю.М. Воробьев, А.Д. Смирнова // Бриолихнологические исследования высокогорных районов и севера СССР. – Апатиты: Полярно-Альпийский Ботанический сад-институт, 1981. – С. 32.
4. Константинова, Н. А. Печёночники (Marchantiophyta) и антоцеротовые (Anthocerotophyta) заповедника «Большая Кокшага» (Республика Марий Эл, центр европейской части России) / Н.А. Константинова, Г.А. Богданов, А.Н. Савченко // Новости систематики низших растений. Т. 42. – Санкт-Петербург: БИН им. В.Л. Комарова РАН, 2008. – С. 252-265.
5. Красная книга Республики Марий Эл. Том «Растения. Грибы» – Йошкар-Ола: Мар. гос. ун-т, 2013. – 324 с.
6. Лазаренко, А. С. Основні засади класифікації ареалів листяних мохів Радянського Далекого Сходу / А.С. Лазаренко // Укр. бот. журн. – 1956. – Т. 13, № 1. – С. 31-40.

7. Чернядьева, И. В. Листостебельные мхи заповедника «Большая Кокшага» (Республика Марий Эл) / И.В. Чернядьева // Новости систематики низших растений. Т. 35. – Санкт-Петербург: БИН им. В.Л. Комарова РАН, 2001. – С. 266-278.

8. Шляков, Р. Н. Флора листостебельных мхов Хибинских гор / Р.Н. Шляков. – Мурманск: Мурманское кн. изд-во, 1961. – 252 с.

9. Шляков, Р. Н. Печеночные мхи Севера СССР / Р.Н. Шляков. Антоцеротовые. Печеночники: Гапломитриевые – Мецгериевые. – Ленинград: Наука, 1976. – 92 с.

### BOLSHAYA KOKSHAGA NATURE RESERVE BRYOPHYTES ANALYSIS

G. A. Bogdanov

**Keywords:** Bolshaya Kokshaga nature reserve; bryophytes; taxonomic, geographical and ecological analysis of flora; rare species.

A taxonomic, geographical, and ecological analysis of bryoflora was conducted based on the list of bryophytes of the reserve. The list is composed of multi-year data and includes 225 species of horn-worts, liverworts, and mosses. Ecological and coenotic features of bryoflora are described, rare and protected species of bryophytes are defined. It is shown that boreal species form the flora of Bolshaya Kokshaga nature reserve, they take 66 % of all the bryophytes. Nemoral species take the second place (19%). In the reserve, the flora of bryophytes is mainly nemoral-boreal, but northern and mountain species can also be found. Forest communities and soil scalplings are the richest in bryophytes areas where 169 and 92 species of bryophytes are found, correspondingly. In the ecological group of bryophytes on humidity of substrate, mesophytes (90 species) and hygrophytes (50 species) take the leading place. Twenty-seven of 53 species of bryophytes, listed in the Red Book of Mari El Republic, grow in the territory of the nature reserve.

УДК 634.738: 632.4.01

### РАСПРОСТРАНЕНИЕ И ДИНАМИКА ОСНОВНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ БРУСНИКИ В ЗАПОВЕДНИКЕ «БОЛЬШАЯ КОКШАГА»

Л. В. Рыжова, И. В. Ибраев, З. З. Файзрахманова

Приведены результаты изучения распространения и динамики трех основных заболеваний брусники (гипертрофии стебля, экзобазидиоза и серой пятнистости листьев) на маркированных парциальных кустах этого растения в заповеднике «Большая Кокшага». Установлено, что распределение кустов брусники, пораженных гипертрофией стебля преимущественно групповое, а пораженных экзобазидиозом и серой пятнистостью листьев – случайное (диффузное). Степень поражения растений гипертрофией стебля не зависит от их онтогенетического состояния, возраста и балла жизнеспособности, а большие экзобазидиозом парциальные кусты имели в большинстве случаев возраст от 5 до 7 лет. Серая пятнистость листьев брусники довольно широко распространена в заповеднике, однако степень поражения ею растений небольшая и заболевания подвержены в основном молодые парциальные кусты.

**Ключевые слова:** заповедник; брусника; парциальные кусты; состояние; заболевания; распространение; динамика.

### Введение

В жизни растений важную роль играют грибные заболевания, являющиеся естественными компонентами фитоценозов. Фитопатогенные грибы, поражая растения, в том числе кустарнички, влияют на процессы их жизнедеятельности, снижая интенсивность роста и плодоношения. На кустарничках подсемейства Vaccinioideae паразитирует более 70 видов патогенных микромицетов, среди которых наиболее распространены листостебельные фитопатогены [2, 5, 7, 8].

Многолетние исследования поражения брусники *Vaccinium vitis-idaea* L. на территории Республики Марий Эл позволили выявить видовой состав фитопатогенных грибов, а также влияние факторов среды на встречаемость ряда заболеваний растения [9–13]. Установлено, что наиболее серьезным заболеванием брусники является гипертрофия стебля, которую вызывает гриб *Calyptospora goeppertiana* Kühn. (рис. 1), относящийся к отряду Basidiomycota, классу Pucciniomycetes, порядку Puccinales, семейству Pucciniastraceae, роду *Calyptospora* [1]. Живые стебли брусники в результате поражения данным грибом гипертрофируются (удлиняются и утолщаются), становясь однородной массой рыхлой консистенции.





Рис. 1. Гипертрофия стебля, вызываемая грибом *Calyptospora goeppertiana* Kühn.

Другим распространенным заболеванием брусники является экзобазидиоз, вызываемый грибами экзобазидиум брусничный *Exobasidium vaccinii* Woron. (рис. 2) и *Exobasidium vaccinii-uliginosi* Boudier. (рис. 3), которые относятся к отделу Basidiomycota, классу Ustilaginomycetes, порядку Exobasidiales [4]. Поражению подвергаются молодые стебли, листья, соцветия, а также ягоды, которые деформируются и гипертрофируются [2, 3].



Рис. 2. Поражение куста брусники грибом *Exobasidium vaccine* Woron.



Рис. 3. Экзобазидиоз брусники, вызываемый грибом *Exobasidium vaccinii-uliginosi* Boudier.

Серую пятнистость листьев брусники вызывает гриб *Phyllosticta leptidea* (Fr.) Allesch. В начальной стадии заболевания лист покрывается буровато-красными округлыми пятнами по центру или по краю листовой пластинки, затем ткань в центре пятна отмирает, а на площади пятна формируются пикниды гриба. Пятна отмершей ткани становятся угловатыми, захватывая порой всю листовую пластинку. К концу вегетационного периода кусты брусники, в сильной степени пораженные пятнистостью, засыхают.

В данной статье приводятся результаты исследования динамики и пространственного размещения вышеназванных заболеваний, а также зависимости их встречаемости от онтогенетического состояния, календарного возраста, жизнеспособности и степени поражения маркированных парциальных кустов брусники на учетных площадках в заповеднике «Большая Кокшага».

#### Объекты и методы исследования

Исследования проведены в 2012-2018 годах на двух постоянных учетных площадках, находящихся на территории заповедника, где парциальные кусты брусники были исходно описаны, замаркированы и нанесены на планы. Подробное описание биотопов, которые довольно сходны между собой по экологическим условиям и характеризуются по экологическим шкалам Д.Н. Цыганова [15], кислыми небогатыми умеренно-увлажненными почвами, большим увлажнением – сыровато-лесолуговым, приведено в наших прежних работах [9-13]. У каждого

парциального куста ежегодно в конце июля – начале августа определяли онтогенетическое состояние, календарный возраст [6], жизнённость, наличие и характер повреждений, а также степень поражения. Для оценки характера пространственного размещения парциальных кустов брусники учетную площадку делили на квадраты 20×20 см и в каждом из них подсчитывали их число. Полученные эмпирические распределения числа парциальных кустов по квадратам проверяли на согласие с распределением Пуассона с помощью программы PoisXact [16]. Сравнение характера распределения парциальных кустов по всем исследованным параметрам проводили с помощью критерия  $\chi^2$  и точного критерия Фишера с использованием компьютерной программы RCEXACT и таблиц сопряженности [14].

### Результаты исследования и их обсуждение

Исследования показали, что на первой учетной площадке (УП 1) растения брусники, пораженные гипертрофией стебля, не встречаются. На УП 2 количество пораженных болезнью парциальных образований флуктуирует по годам (табл. 1), что связано как с гибелью больных кустов, так и заболеванием новых. Пораженные парциальные кусты, как было установлено, образуют скопления в схожих и близких к ним квадратах (рис. 4), что указывает на групповой характер распределения, подтвержденный статистическими расчетами. В 2018 году было встречено всего четыре парциальных куста, пораженных гипертрофией стебля, которые распределены по площади случайным образом. Поражение растений брусники гипертрофией стебля не зависит от онтогенетического состояния парциального куста и его календарного возраста, а характер распределения их поражения патогеном не различается между годами ( $\chi^2 = 14,31$ ;  $v = 12$ ;  $p = 0,28$ ).

Таблица 1  
Динамика количества парциальных кустов брусники, пораженных гипертрофией стебля

Год	Число площадок 20×20 см с разным количеством пораженных кустов, экз.							Итого
	0	1	2	3	4	5	9	
2012	19	3	1	1	0	0	1	17
2013	20	2	1	0	2	0	0	12
2014	21	2	0	2	0	0	0	8
2015	17	5	2	0	0	1	0	14
2016	17	3	4	0	1	0	0	15
2018	22	2	1	0	0	0	0	4

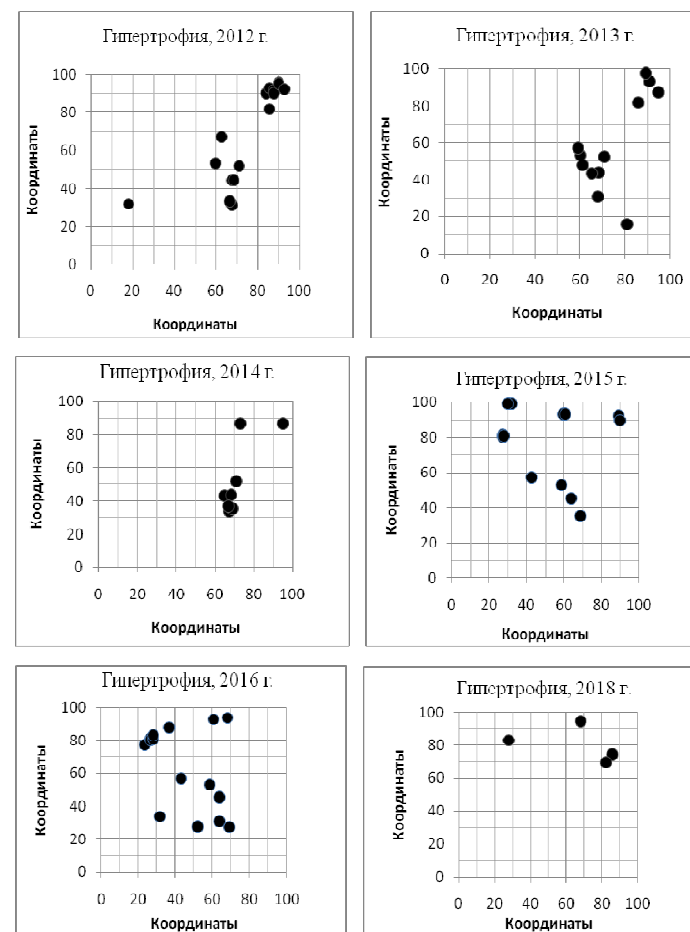


Рис. 4. Расположение парциальных кустов брусники, пораженных гипертрофией стебля в разные годы на УП 2

Экзобазидиоз брусники был обнаружен на обеих учетных площадках, но количество больных растений на УП 1 было во все годы значительно выше, чем на УП 2 и очень сильно изменялось во времени (табл. 2). На УП 1 наиболее часто экзобазидиоз встречался на молодых генеративных кустах, а на УП 2 – на старых генеративных растениях (табл. 3). Пораженные растения располагались случайным образом, не образуя значительных скоплений (рис. 5; 6).

Таблица 2

**Динамика количества парциальных кустов брусники, пораженных экзобазидиозом**

Год	Число площадок 20×20 см с разным количеством пораженных кустов, экз.								Итого	
	0	1	2	3	4	5	6	7		
Учетная площадка № 1										
2012	8	9	7	1						26
2013	3	6	6	5	2	1	1	1		59
2014	1	2	6	5	4	3	3	1		85
2015	5	1	10	2	5	0	2			59
2016	5	2	3	5	5	2	1	2		73
2018	9	9	6	0	1					25
Учетная площадка № 2										
2012	24	1								1
2013	22	3								3
2014	18	4	2	1						11
2015	17	5	2	1						12
2016	9	8	6	1	1					27
2018	23	2								2

Таблица 3

**Распределение на учетных площадках парциальных кустов брусники разного онтогенетического состояния, пораженных экзобазидиозом**

Номер УП	Доля пораженных растений разных стадий онтогенеза, %						Объем выборки
	im	v	g <sub>1</sub>	g <sub>2</sub>	g <sub>3</sub>	ss	
2014 год							
1	3,5	4,7	72,9	17,7	1,2	0,0	85
2	9,1	0,0	27,3	27,3	36,3	0,0	11
2015 год							
1	11,7	16,7	44,9	20,0	5,0	1,7	60
2	16,7	16,7	16,7	8,3	41,6	0,0	12

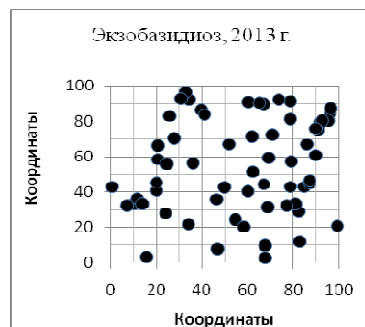
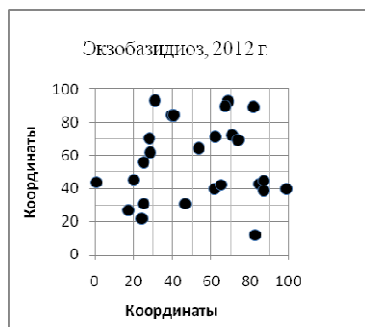


Рис. 5. Расположение парциальных кустов брусники, пораженных экзобазидиозом в разные годы на УП 1 (начало)

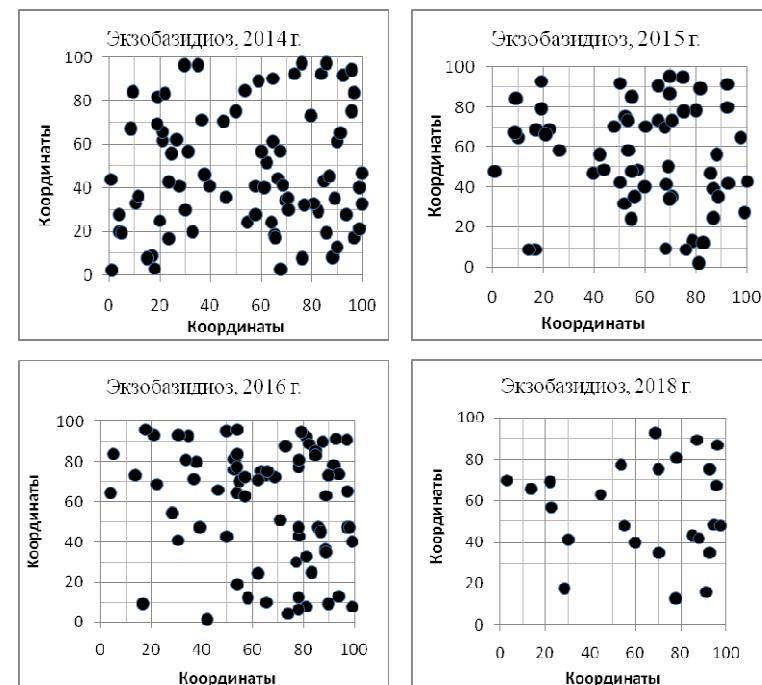


Рис. 5. Расположение парциальных кустов брусники, пораженных в разные годы экзобазидиозом на УП 1 (окончание)



Рис. 6. Расположение парциальных кустов брусники, пораженных экзобазидиозом в разные годы на УП 2 (начало)

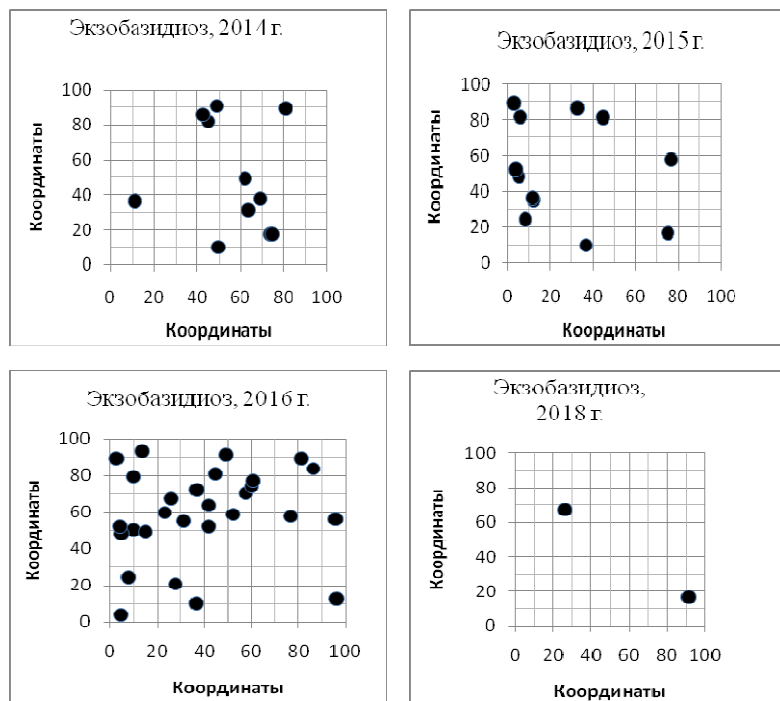


Рис. 6. Расположение парциальных кустов брусники, пораженных экзобазидиозом в разные годы на УП 2 (окончание)

Поражение парциальных кустов брусники серой пятнистостью листьев было обнаружено также на обеих УП, но количество больных растений на УП 1 было во все годы значительно выше (от 5,7 до 23,4 раз), чем на УП 2, и очень сильно изменялось во времени (табл. 4). Иногда парциальные кусты расположены группами, однако в большинстве случаев пространственное распределение поражения болезнью диффузное. На квадратах размером 10×10 см встречается чаще всего 1-3 пораженных болезнью экземпляра растения, хотя в 2015 году на УП 1 в одном квадрате было обнаружено 17 таких экземпляров. Поражению подвергаются в основном виргинильные и молодые генеративные особи (табл. 5), степень заболевания которых в целом невысокая (табл. 6). Наиболее сильно поражены болезнью субсенильные растения.

Таблица 4

**Динамика поражения парциальных кустов брусники серой пятнистостью листьев**

Год	Число площадок 10×10 см с разным количеством пораженных кустов, экз.									Итого
	0	1	2	3	4	5	6	7	≥ 8	
Учетная площадка № 1										
2012	50	30	15	2	2	1				<b>348</b>
2013	33	30	15	10	4	3	2			<b>133</b>
2014	17	30	20	14	7	6	3	1	2	<b>211</b>
2015	9	17	15	14	18	9	6	5	7	<b>334</b>
2016	15	17	14	22	7	8	4	1	1	<b>220</b>
2018	40	30	12	8	5	3	1			<b>132</b>
Учетная площадка № 2										
2012	70	19	11							<b>41</b>
2013	68	24	6	2						<b>42</b>
2014	92	7	1							<b>9</b>
2015	76	24								<b>24</b>
2016	85	11	2	2						<b>21</b>
2018	83	11	6							<b>23</b>

Таблица 5

**Распределение парциальных кустов брусники разного онтогенетического состояния, пораженных серой пятнистостью листьев**

Год	Доля пораженных растений разных стадий онтогенеза, %						Объем выборки
	im	v	g <sub>1</sub>	g <sub>2</sub>	g <sub>3</sub>	ss	
2013	14,6	34,3	37,1	12,6	1,4	0,0	<b>143</b>
2014	21,0	25,2	34,6	16,8	1,4	1,0	<b>214</b>
2015	24,5	26,3	28,6	15,0	5,0	0,6	<b>339</b>
<b>Среднее</b>	<b>20,0</b>	<b>28,6</b>	<b>33,5</b>	<b>14,8</b>	<b>2,6</b>	<b>0,5</b>	<b>696</b>

Таблица 6

**Распределение парциальных кустов брусники разного онтогенетического состояния по степени их поражения серой пятнистостью листьев**

Балл поражения	Доля пораженных растений разных стадий онтогенеза, %					
	im	v	g <sub>1</sub>	g <sub>2</sub>	g <sub>3</sub>	ss
1	69,2	70,8	49,0	48,0	57,2	33,2
2	27,9	24,4	39,2	44,8	34,2	49,8
3	2,9	4,8	11,8	7,2	8,6	17,0
<b>Средний балл</b>	<b>1,34</b>	<b>1,34</b>	<b>1,63</b>	<b>1,59</b>	<b>1,51</b>	<b>1,84</b>
Объем выборки	<b>136</b>	<b>168</b>	<b>194</b>	<b>94</b>	<b>35</b>	<b>6</b>

## Заключение

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. На территории заповедника парциальные кусты брусники повреждаются грибами *Calyptospora goeppertiana* Kühn., *Exobasidium vaccinii* Woron., *Exobasidium vaccinii-uliginosi* Boudier. и *Phyllosticta leptidea* (Fr.) Allesch., вызывающими гипертрофию стебля, экзобазидиоз и серую пятнистость листьев.

2. Наиболее распространенной болезнью брусники является серая пятнистость листьев. Количество пораженных данным заболеванием парциальных кустов изменяется от 9 до 348 экз./м<sup>2</sup>. Количество же парциальных кустов, пораженных гипертрофией стебля, изменяется на площадках размером 1 м<sup>2</sup> от 8 до 17 экз., а экзобазидиозом – от 1 до 85.

3. Поражению серой пятнистостью листьев и экзобазидиозом подвергаются в основном виргинильные и молодые генеративные особи, степень заболевания которых в целом невысокая. Степень же поражения растений гипертрофией стебля не зависит от их онтогенетического состояния, возраста и балла жизнеспособности.

4. Распределение по площади парциальных кустов брусники, пораженных гипертрофией стебля, преимущественно групповое, а экзобазидиозом и серой пятнистостью листьев – диффузное.

## Библиографический список

1. Азбукина, З. М. Определитель грибов России. Порядок Ржавчинные. 1. Семейства Пукциниастровые, Кронарциевые, Меламспоровые, Факопсоровые, Чаконовые, Микронегериевые / З.М. Азбукина. – Владивосток: Дальнаука, 2015. – 281 с.
2. Воронин, М. С. Избранные произведения / М.С. Воронин. – Москва, 1961. – 324 с.
3. Гарибова, Л. В. Основы микологии: морфология и систематика грибов и грибоподобных организмов: учебное пособие / Л.В. Гарибова, С.Н. Лекомцева. – Москва: Т-во научных изданий КМК, 2005. – 220 с.
4. Докукина, Е. А. Грибные болезни вересковых ягодных кустарничков в рекреационных лесах: дис. ... канд. биол. наук / Е.А. Докукина. – Москва, 2001. – 150 с.
5. Жуйкова, И. В. Особенности роста и определение возраста некоторых растений Хибин / И.В. Жуйкова // Проблемы Севера. Вып. 8. – Москва-Ленинград: Наука, 1964. – С. 116-129.
6. Жуков, А. М. Патогенные грибы на растениях сем. Vacciniaceae в Южной Сибири / А.М. Жуков // Природные комплексы низших растений Западной Сибири. – Новосибирск: Наука, 1977. – С. 145-173.
7. Макеева, Г. Ю. Патогенные микромицеты, основные болезни и способы защиты от них на культивируемых ягодных кустарничках подсемейства Брусничные (Vaccinioideae): дис. ... канд. биол. наук / Г.Ю. Макеева. – Кострома, 2003. – 24 с.
8. Прокопьева, Л. В. Болезни брусники (*Vaccinium vitis-idaea* L.), вызванные грибами / Л.В. Прокопьева, Е.С. Христолюбова, Н.В. Глотов // Научные труды Государственного природного заповедника «Большая Кокшага». Вып. 5. – Йошкар-Ола: МарГУ, 2011. – С. 175-188.

9. Прокопьева, Л. В. Болезни парциальных кустов брусники (*Vaccinium vitis-idaea* L.) в сосняках брусничных / Л.В. Прокопьева, Н.В. Глотов // Роль и задачи особо охраняемых природных территорий в современной России: сб. материалов Всерос. науч. практ. конф. – Йошкар-Ола, 2013. – С. 93-97.

10. Прокопьева, Л. В. Жизненность парциальных кустов брусники (*Vaccinium vitis-idaea* L.) / Л.В. Прокопьева, М.А. Большунова // Популяции в пространстве и во времени: сб. материалов. VIII Всерос. популяционного семинара. – Н. Новгород, 2005. – С. 335-338.

11. Прокопьева, Л. В. Онтогенез брусники обыкновенной (*Vaccinium vitis-idaea* L.) / Л.В. Прокопьева, Н.В. Глотов, Л.А. Жукова // Онтогенетический атлас лекарственных растений. – Йошкар-Ола: МарГУ, 2000. – С. 39-46.

12. Рыжова, Л. В. Динамика фитосанитарного состояния ценопопуляций брусники в заповеднике «Большая Кокшага» / Л.В. Рыжова, З.З. Файзрахманова // Научные труды Государственного природного заповедника «Большая Кокшага». Вып. 8. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2017. – С. 192-209.

13. Рыжова, Л. В. Распространение заболеваний парциальных кустов брусники *Vaccinium vitis-idaea* L. на учетных площадках / Л.В. Рыжова, М.В. Бочарова, А.В. Михайлова // Современные проблемы медицины и естественных наук. Вып. 5. – Йошкар-Ола: МарГУ, 2016. – С. 37-39.

14. Хромов-Борисов, Н. Н. Биометрические задачи в популяционных исследованиях / Н.Н. Хромов-Борисов, Г.Б. Лазаротто, Т.Б. Ледур // Методы популяционной биологии: сб. материалов VII Всерос. популяционного семинара. Ч. 2. – Сыктывкар, 2004. – С. 62-86.

15. Цыганов, Д. Н. Фитоиндикация экологических режимов в подзоне хвойно-широколиственных лесов / Д.Н. Цыганов. – Москва: Наука, 1983. – 198 с.

16. Papworth, D. G. Exact Tests of Fit for a Poisson Distribution / D.G. Papworth // Computing. – 1983. – Vol. 31, is. 1. – P. 33-45.

## DISTRIBUTION AND COURSE OF MAJOR DISEASES OF RED BILBERRY IN BOLSHAYA KOKSHAGA NATURE RESERVE

L. V. Ryzhova, I. V. Ibraev, Z. Z. Faizrahmanova

**Keywords:** nature reserve; red bilberry; partial bushes; condition; diseases; distribution; dynamics.

The research results of distribution and course of three major diseases of red bilberry (hypertrophy of bilberry stems, net blister blight, and gray leaf spot) on the marked partial bushes in Bolshaya Kokshaga nature reserve are given. It was determined that allocation of red bilberry bushes, affected by hypertrophy of stems was mainly a group one, affected by net blister blight and gray leaf spot – a random one. The extent of hypertrophy of stems does not depend on their ontogenetic state, age, and health. Most bushes affected by net blister blight bushes are of 5 - 7 years. Gray leaf spot is a rather frequent problem for the nature reserve, but the degree of injury is not a high one. Young partial bushes usually suffer from this disease.

УДК 574.4

## ЛУГОВАЯ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ И ЭНТОМОФАУНА ОКРЕСТНОСТЕЙ ОЗЕРА СОЛЕНОЕ

П. В. Бедова, Г. А. Богданов

Приведены материалы исследования энтомофауны на разнотравно-мелкозлаковых разнотравно-злаковых и разнотравно-вейниковых лугах, прилегающих к озеру Солёное. Показано, что наибольшее количество видов, родов, семейств и отрядов насекомых, а также их численность отмечены на разнотравно-злаковом лугу. Доминантами по встречаемости являются тли *Apis tabae* Linnaeus, 1758 и муравьи *Formica rufa* Linnaeus, 1758. На всех учетных площадках по численности доминируют представители отрядов *Coleoptera* и *Hemiptera*. Всего на исследуемой территории обитает 139 видов насекомых, относящихся к 56 семействам и 10 отрядам, среди которых встречаются редкие для Республики Марий Эл.

**Ключевые слова:** луговая растительность; насекомые; видовое разнообразие; численность; встречаемость; отряды; редкие виды.

### Введение

Важность фаунистических исследований заключается в том, что они служат основой для работ по систематике, аутоэкологии, биоценологии и зоогеографии. Озеро Солёное располагается в провинции низменного Заволжья в левобережье реки Большая Кокшага Республики Марий Эл, которая расположена на востоке Восточно-европейской равнины в средней части бассейна реки Волги [3]. Департаментом экологической безопасности, природопользования и защиты населения РМЭ предложено создать памятник природы Республики Марий Эл, в который входит озеро Солёное и прилегающая к водоему территория. Фауна озера Солёное изучалась ранее [1], а прилегающая к озеру территория исследуется впервые. В связи с этим цель данной работы - изучение луговой растительности на прилегающей к озеру территории и обитающих на лугах насекомых.

### Объекты и методика исследования

Исследования проведены в летний период 2015 года. Для оценки численности насекомых на единице площади применялись общепринятые методы [2]. Средняя длина пути, проходимая обручем сачка по травостою при каждом взмахе, составляла 1,2 м, радиус сачка 0,15 м, число взмахов – 10. Трудные для определения в полевых условиях сосудистые

растения гербаризировали и определяли в лаборатории по диагностическим признакам, приведенным в книге П.Ф. Маевского «Флора средней полосы европейской части России» [4].

### Результаты исследований и их обсуждение

Луга на исследуемой территории образовались на месте вырубки соснового леса и до 1998 года скашивались. В конце 60-х годов прошлого века в течение нескольких лет здесь содержались утки птицефабрики «Озерная». Наибольший по площади луг (0,3 га), находящийся у западного берега озера, где к нему подходит дорога от поселка Старожильск, был когда-то огорожен.

В настоящее время луг представляет собой разнотравно-злаковое сообщество, из-за отсутствия сенокосения на котором появилось возобновление березы и осины высотой от 0,5 м до 1,5 м, частично поеденное лосями. Травяной покров на лугу густой с проективным покрытием (ПП) 100 %, в состав которого входит 43 вида растений. Среди злаков доминируют ежа сборная (*Dactylis glomerata* L.) и тимopheевка луговая (*Phleum pratense* L.), совместное ПП которых составляет 45 %. Содоминантами являются подмаренник мягкий (*Galium mollugo* L.), короставник полевой (*Knautia arvensis* (L.) J.M. Coult.), пахучка обыкновенная (*Clinopodium vulgare* L.) (совместное ПП достигает 25 %). Среди трав есть и представители лесной флоры, такие как земляника лесная (*Fragaria vesca* L.), марьянник луговой (*Melampyrum pratense* L.). Встречаются также полевые сорняки: фиалка трехцветная (*Viola arvensis* Murray), звездчатка злаковая (*Stellaria graminea* L.), льнянка обыкновенная (*Linaria vulgaris* Mill.), дрема белая (*Melandrium album* (Mill.) Garcke), хлопושка обыкновенная (*Oberna behen* (L.) Kohn.). Остальные виды типично луговые. Моховой покров из-за наличия травянистого опада, не развит. На наиболее высоких и сухих участках в небольшом количестве встречается брахитециум беловатый (*Brachythecium albicans* (Hedw.) B.S.G.).

Ближе к опушке сосняка вейникового, на освещенном сухом участке находится разнотравно-вейниковый луг. Здесь преобладает возобновление березы высотой от 2 до 5 м, есть также поросль осины высотой до 2 м и рябины обыкновенной высотой до 2-3 м, сильно поврежденной лосями. О былом присутствии здесь человека говорит наличие заносных культивируемых видов: яблони домашней (*Malus domestica* Borkh.) высотой до 6 м и ирги колосистой (*Amelanchier spicata* (Lam.) K. Koch) высотой до 4 м. Покрытие травяного покрова, в состав которого входит 41 вид, достигает на этом лугу 85 %. Доминирует вейник наземный

(*Calamagrostis epigeios* (L.) Roth), ПП которого составляет 55 %. Содомиантами являются пахучка обыкновенная, марьянник луговой, клевер средний (*Trifolium medium* L.), подмаренник мягкий, полевица тонкая (*Agrostis tenuis* Sibth.). Количество лесных видов здесь больше: земляника лесная, марьянник луговой, золотарник обыкновенный (*Solidago virgaurea* L.), ожика волосистая (*Luzula pilosa* (L.) Willd.), ландыш майский (*Convallaria majalis* L.), вероника лекарственная (*Veronica officinalis* L.), фиалка собачья (*Viola canina* L.).

Вдоль лесной дороги, идущей по западному берегу озера, на сухом участке находится разнотравно-мелкозлаковый луг, большая часть которого заросла сосной. Травяной покров, состоящий из 45 видов растений, невысокий и негустой (ПП до 55 %). В нем преобладают виды, характерные для травянистых или даже остепненных сосняков: полевица тонкая и полевица виноградниковая (*Agrostis vinealis* Schreb.), пахучеколосник обыкновенный (*Anthoxanthum odoratum* L.), вереск обыкновенный (*Calluna vulgaris* (L.) Hull), очанка прямая (*Euphrasi astricta* D. Wolff ex J.F. Lehm.), гвоздика Борбаша (*Dianthus borbasii* Vandas), прострел раскрытый (*Pulsatilla pratensis* (L.) Mill.), колючник Биберштейна (*Carlina vulgaris* L.), ястребинка волосистая (*Hieracium pilosella* L.), кошачья лапка двудомная (*Antennaria dioica* (L.) Gaertn.), фиалка скальная (*Viola rupestris* F.W. Schmidt), клевер золотистый (*Chrysaspis aurea* (Pollich) Greene), щавель малый (*Rumex acetosella* L.), вероника колосистая (*Veronica spicata* L.), букашник горный (*Jasione montana* L.), нивяник обыкновенный (*Leucanthemum vulgare* Lam.), черноголовка обыкновенная (*Prunella vulgaris* L.), сухоцветка лесная (*Omalotheca sylvatica* (L.) Sch. Bip. & F.W. Schultz) и орляк обыкновенный (*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn). Наиболее затененные и увлажненные участки этого луга представляют собой сосняк ландышево-орляковый. Возобновление сосны густое, высотой 8-10 м. На некоторых местах в травяном покрове этого сосняка остались еще виды, характерные для лугов: клевер средний и клевер луговой (*Trifolium pratense* L.), крестовник Якова (*Senecio jacobaea* L.), короставник полевой, осока заячья (*Carex lachenalii* Schkuhr) и осока бледноватая (*Carex pallescens* L.), тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium* L.), колокольчик раскидистый (*Campanula patula* L.), подмаренник мягкий, ястребинка зонтиконосная (*Hieracium umbellatum* L.). Формируется мохово-лишайниковый ярус, ПП которого составляет 10-15 %. Среди мхов преобладает плевроциум Шребера (*Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt.), политрихум можжевелниковидный (*Polytrichum juniperinum* Hedw.), реже встречается брахитециум беловатый. Из лишайников, кроме палочковидных кладоний, начи-

нают появляться кустистые виды: кладония лесная (*Cladonia arbuscula* (Wall.) Flot.) и кладония оленья (*Cladonia rangiferina* (L.) Weber ex F. N. Wigg.).

В результате проведенных исследований энтомофауны на луговых полянах, прилегающих к озеру Солёное, выявлено 139 видов насекомых, которые относятся к 56 семействам и 10 отрядам (табл. 1). Наибольшее количество видов (50) принадлежит к отряду *Coleoptera*, что составляет 36 % от общего списка энтомофауны (рис. 1). Доля представителей отряда *Lepidoptera* составляет 17 %, отряда *Diptera* – 14 %, отряда *Hymenoptera* – 12 %, отряда *Hemiptera* – 8 %. Представители отрядов *Mecoptera*, *Odonata*, *Neuroptera*, *Orthoptera* и *Homoptera* составляют менее 6 % от общего списка видов.

Таблица 1  
Таксономический состав энтомофауны окрестностей озера Солёное

Отряд	Количество видов	Количество семейств
Чешуекрылые <i>Lepidoptera</i>	24	7
Стрекозы <i>Odonata</i>	9	3
Сетчатокрылые <i>Neuroptera</i>	1	1
Прямokрылые <i>Orthoptera</i>	4	2
Равнокрылые <i>Homoptera</i>	3	3
Жестоккрылые <i>Coleoptera</i>	50	16
Полужестоккрылые <i>Hemiptera</i>	11	5
Перепончатокрылые <i>Hymenoptera</i>	17	7
Двукрылые <i>Diptera</i>	19	11
Скорпионницы <i>Mecoptera</i>	1	1
<b>ИТОГО</b>	<b>139</b>	<b>56</b>

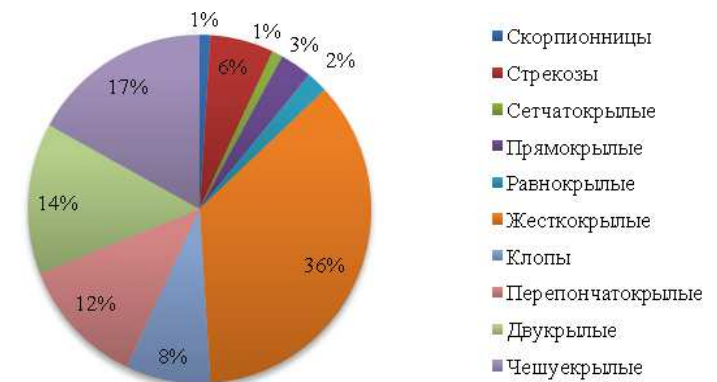


Рис. 1. Распределение представителей отдельных отрядов насекомых на лугах, прилегающих к озеру Солёное

Наибольшее количество видов, родов, семейств и отрядов насекомых отмечено на разнотравно-злаковом лугу (табл. 2). На разнотравно-мелкозлаковом лугу наибольшим видовым разнообразием отличается отряд Жесткокрылые (24 % от общего количества видов). Довольно много также видов полужесткокрылых, перепончатокрылых и двукрылых насекомых. На разнотравно-злаковом лугу наибольший вклад в видовое разнообразие вносят также представители отряда Жесткокрылые – 27 % от общего количества видов. Довольно много видов перепончатокрылых и двукрылых насекомых. Здесь отмечены также чешуекрылые и сетчатокрылые насекомые, которые отсутствуют на разнотравно-мелкозлаковом лугу. На разнотравно-вейниковом лугу наибольший вклад в видовое разнообразие вносят также представители отряда Жесткокрылые (27 %). Довольно много видов перепончатокрылых, двукрылых и полужесткокрылых насекомых. Здесь, однако, отсутствуют прямокрылые насекомые и стрекозы.

Таблица 2  
Таксономическое разнообразие энтомофауны в исследованных экотопах

Экотоп	Число насекомых, относящихся к разным таксонам			
	виды	рода	семейства	отряды
Разнотравно-мелкозлаковый луг	21	21	18	8
Разнотравно-злаковый луг	26	26	21	9
Разнотравно-вейниковый луг	19	19	16	7

На разнотравно-злаковом лугу отмечена наибольшая численность насекомых (15,33 экз./м<sup>2</sup>), среди которых преобладают представители отряда *Hymenoptera* (табл. 3). На разнотравно-мелкозлаковом лугу общая численность насекомых составила 10,88 экз./м<sup>2</sup>, доминируют среди которых представители отряда *Hemiptera*. На разнотравно-вейниковом лугу численность насекомых, среди которых доминируют также представители отряда *Hemiptera*, лишь немногим ниже (10,58 экз./м<sup>2</sup>). Во всех экотопах довольно высока численность представителей отряда *Diptera*. Наибольшую плотность поселений на изучаемой территории имеет черная тля (*Apis tabae* Linnaeus, 1758), встречаемость которой составляет 100 %. Такова же встречаемость рыжего лесного муравья (*Formica rufa* Linnaeus, 1758). Довольно высока встречаемость (67 %) полужесткокрылых родов *Lygocoris* и *Adelphocoris*; журчалки цветочной (*Myathropa florum* Linnaeus, 1758), мухи мясной (*Sarcophaga carnaria* Linnaeus, 1758), а также пчелы медоносной (*Apis mellifera* Linnaeus, 1758).

Таблица 3  
Обилие представителей разных отрядов насекомых в исследованных экотопах

Отряды насекомых	Численность отрядов насекомых в разных экотопах, экз./м <sup>2</sup>		
	Разнотравно-мелко-злаковый луг	Разнотравно-зла-ковый луг	Разнотравно-вейни-ковый луг
Жесткокрылые	2,24	2,80	1,96
Равнокрылые	1,94	2,50	1,38
Стрекозы	0,56	0,84	0,00
Перепончатокрылые	1,40	3,34	1,39
Полужесткокрылые	3,06	1,39	2,50
Двукрылые	1,40	2,78	2,23
Чешуекрылые	0,00	0,84	0,56
Прямокрылые	0,28	0,28	0,00
Сетчатокрылые	0,00	0,56	0,56

Результаты исследований позволяют сделать следующие **выводы**:

1. На территории выделенного памятника природы «Озеро Солёное» представлены разнотравно-мелкозлаковые, разнотравно-злаковые и разнотравно-вейниковые луга, имеющие большое видовое богатство растений (от 41 до 45 видов), что обусловлено проявлением экотонного эффекта.

2. В пределах обследованных экотопов обитает 139 видов насекомых, которые относятся к 56 семействам и 10 отрядам. Наибольшим видовым разнообразием характеризуется отряд *Coleoptera*, представители которого составляют 36 % от общего списка энтомофауны.

3. Наибольшее количество видов, родов, семейств и отрядов насекомых отмечено на разнотравно-злаковом лугу. Доминантами по встречаемости являются тли *Apis tabae* и муравьи *Formica rufa*.

4. Во всех экотопах доминируют по численности представители отрядов Жесткокрылые и Полужесткокрылые. Наибольшая общая численность насекомых отмечена на разнотравно-злаковом лугу.

5. На прилегающей к озеру Солёное территории обитают редкие виды насекомых, занесенных в Красную книгу Республики Марий Эл: крепкоголовка Палемон (*Carterocephalus palaemon* Pallas, 1771), крепкоголовка пятнистая (*Carterocephalus silvicola* (Meigen, 1829), хвостоносец Махаон (*Papilio machaon* Linnaeus, 1758), шашечница Аврелия (*Melilata aurelia* Nickerl, 1850), перламутровка Ниоба (*Argynnis niobe* Linnaeus, 1758), шмель Шренка (*Bombus schrencki* Morawitz, 1881) и шмель челящик (*Bombus distinguendus* Morawitz, 1869).

6. Научные исследования на территории памятника природы целесообразно продолжить, а луга взять под охрану и создать «Экологическую тропу», на которой проводить экскурсии для школьников.



Работа выполнена в рамках Государственного контракта № 6 от 27 мая 2015 года, заключенного с Департаментом экологической безопасности, природопользования и защиты населения Республики Марий Эл [5].

#### Библиографический список

1. Бедова, П.В., Бадина Е.А. Макрозообентос солоноватоводного карстового озера Соленое Республики Марий Эл // III Всероссийская молодежная научная конференция «Естественнонаучные основы теории и методов защиты окружающей среды». – Санкт-Петербург, 2014. С. 14-15.
2. Дунаев, Е.А. Методы эколого-энтомологических исследований / Е.А. Дунаев. – Москва: МосгорСЮН, 1997. – 44 с.
3. Иванов, Н.В. География Марийской АССР / Н.В. Иванов. – Йошкар-Ола, 1992. – 104 с.
4. Маевский, П.Ф. Флора средней полосы европейской части России 10-е изд. / П.Ф. Маевский. – Москва: Товарищество научных изданий КМК, 2006. – 600 с.
5. Отчет о НИР «О выполнении мероприятий по организации особо охраняемой природной территории (Озеро Соленое)»: ГК № 6-ЭА; рук. П.В. Бедова. – Йошкар-Ола, 2015. – 121 с. – Инв. №.130 005 84.

#### MEADOW VEGETATION AND ENTOMOFAUNA AROUND LAKE SOLENOE

P. V. Bedova, G. A. Bogdanov

**Keywords:** meadow vegetation, insects, species diversity, number, occurrence, orders, rare species.

The study materials of entomofauna on grass-small gramineous, grass - gramineous, and grass - reedgrass meadows around Lake Solenoe are given. It is shown that the highest number of insect species, genera, families, and orders as well as their number are found in the grass -gramineous meadow. The aphid (*Apis tabae* Linnaeus, 1758) and ants (*Formica rufa* Linnaeus, 1758) are the leaders on species occurrence. In all the sample areas, the representatives of Coleoptera and Hemiptera orders prevail in number. There are, in total, 139 insect species of 56 families and 10 orders, some of them are considered to be the rare ones for Mari El Republic.

УДК 631.4:631.61:574.4:541.15

#### «ВЕДЬМИНЫ МЕТЛЫ» НА БЕРЕЗЕ ПОВИСЛОЙ

Л. В. Рыжова

Представлен материал о необычном новообразовании, обнаруженном на дереве березы повислой, напоминающем собой «ведьмину метлу». Описаны возможные причины появления этой структурной аномалии.

**Ключевые слова:** береза повислая; новообразования; «ведьмины метлы».

Проезжая летом 2018 года по трассе Йошкар-Ола – Санчурск, на 17-18 км увидели необычное дерево: на сухой березе какие-то шары зеленого цвета (см. рис.). Неужели омела белая?

Известно, что омела белая – вечнозеленый кустарник, паразитирующий на различных древесных видах. Поселяется он на верхушке дерева или на его ветвях и разрастается зеленым, в большинстве случаев густым кустом. Распространена омела в юго-западной части лесной зоны, в западной лесостепи европейской части бывшего СССР,

на Кавказе, в Крыму, Прибалтике, также встречается в Приморском крае, Калининградской, Ленинградской и Белгородской областях России. В Республике Марий Эл омела белая ранее не встречалась. Однако, подъехав поближе и рассмотрев дерево, меня ждало разочарование. Оказалось это вовсе не омела, а своеобразные «ведьмины метлы», которые представляли собой пучки молодых побегов березы, располагавшихся на разных ветвях дерева. В 2019 году картина повторилась и дерево выглядело практически таким же, как и в 2018 году.



«Ведьмины метлы» на березе повислой

«Ведьмины метлы» представляют собой тип органогидного галла с аномальным ветвлением или с образованием скопления ветвей вследствие развития быстросозревающих многочисленных почек [3]. Чем же обусловлено их образование на деревьях? Однозначного ответа на этот

вопрос нет. Они могут возникать, судя по многочисленным литературным данным, вследствие поражения растений возбудителями болезней и вредителями (насекомыми, клещами, нематодами, грибами, бактериями, вирусами), а также вследствие травмирования или воздействия различных химических мутагенов (дефолиантов, промышленных выбросов) и радиоактивного излучения, либо нарушений режима влажности, температуры, освещения и т.д. [2].

По внешним морфологическим признакам «ведьмины метлы» паразитарного происхождения и непаразитарные существенно различаются. «Метлы» паразитарного происхождения, по сравнению с мутантными, более рыхлые, они обычно состоят из вертикально ориентированных недолговечных побегов с короткими хлоротичными листьями, репродуктивные органы не образуются. Непаразитарные, или мутантные «метлы» выделяются в кронах деревьев компактным расположением коротких побегов и темно-зеленым цветом листьев. Они обычно долговечны и иногда образуют семена. Мутантные «метлы» могут размножаться прививками, и привои сохраняют характерную для этих образований шарообразную компактную форму [3].

Одной из причин появления «ведьминых метел» является, например, поражение березы ржавчинным грибом *Taphrina turgida* Giesh, в результате которого на ветвях образуются округлые вздутия, а с нижней стороны их появляется беловатый или желтоватый слой сумок. Листья на пораженных побегах деформированные, мелкие, хлоротичные и быстро опадающие. Возможно также заражение растений вирусами, чаще фитоплазма *Potatowitches broom*, и галловыми клещами [1, 4]. Однако на данном дереве признаков заболевания обнаружено не было.

А.А. Щербинина [5] выделяет так называемые техногенные «ведьмины метлы», связанные с антропогенной деятельностью. Образование таких аномальных структур характерно для крон деревьев придорожной полосы крупных автомагистралей. Техногенные «ведьмины метлы» представляют собой аномальные образования, возникающие в результате нарушения регуляции ростовых процессов, прежде всего апикального доминирования, что находит выражение в изменении морфологического строения ветвей деревьев. Для подобных «ведьминых метел» характерны, в частности, уменьшение длины побегов, усиление интенсивности ветвления, вследствие чего данные аномальные структуры четко различимы в кронах деревьев. Наиболее вероятной причиной появления структурных аномалий роста на данной березе, напоминающих «ведьмины метлы», является скорее всего засуха 2010 года и временное складирование здесь в 2017 году песчаной смеси с химическими добавками для борьбы с гололедом.

### Библиографический список

1. Воробьева, М. В. Лесная фитопатология. Раздел 4: Болезни стволов и ветвей: метод. указания / М.В. Воробьева. – Екатеринбург, 2010. – 26 с.
2. Коровин, В. В. Структурные аномалии стебля древесных растений: итоги наблюдений // Структурные и функциональные отклонения от нормального роста и развития растений под воздействием факторов среды: материалы Международной конференции / В.В.Коровин. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2011. – С. 131-136.
3. Коровин, В. В., Структурные аномалии стебля древесных растений / В.В. Коровин, Л.Л. Новицкая, Г.А. Курносов. – Москва: МГУЛ, 2001. – 259 с.
4. Федоров, Н. И. Лесная фитопатология: учеб. пособие для лесохоз. спец. вузов / Н.И. Федоров. – Минск: Высшая школа, 1987. – 178 с.
5. Щербинина, А. А. Структурные аномалии крон древесных растений придорожной полосы МКАД / А.А. Щербинина // Вестник Московского государственного университета леса. Лесной вестник. – 2004.– № 4. – С. 64-71.

### “WITCHES’ BROOMS” ON EUROPEAN WHITE BIRCH

L. V. Ryzhova

**Keywords:** European white birch (*Betula pendula* L.); growth; “witches’ brooms”.

The article contains the information on an unusual growth, discovered on the European white birch trees. The growth looks like a “witches’ broom”. Possible reasons for this structural anomaly are described.

УДК 016:502.17 (470.343)

**БИБЛИОГРАФИЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ,  
ВЫПОЛНЕННЫХ В ГОСУДАРСТВЕННОМ ПРИРОДНОМ  
ЗАПОВЕДНИКЕ «БОЛЬШАЯ КОКШАГА»  
И НА СОПРЕДЕЛЬНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ. ДОПОЛНЕНИЕ 6**

Составитель Л.В. Рыжова

**2013 год**

Гончаров Е.А., Пигалин Д.И. Распределение техногенных и естественных радионуклидов в лесных экосистемах заповедника «Большая Кокшага» // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. – 2013. – № 4. – С. 76-87.

**2015 год**

Демаков Ю.П., Краснов В.Г., Исаев А.В. Структура и закономерности развития древостоев с участием дуба в лесах Марийского Предволжья // Вестник Удмуртского университета. Биология. Науки о Земле. – 2015. – Т. 25, вып. 4. – С. 53-61.

Демаков Ю.П., Краснов В.Г., Исаев А.В. Структура и закономерности развития древостоев с участием липы в лесах Марийского Предволжья // Известия ТСХА. – 2016. – Вып. 6. – С. 5-21.

**2017 год**

Богданов Г.А. Анализ флоры заповедника «Большая Кокшага» // Научные труды Государственного природного заповедника «Большая Кокшага». Вып. 8. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2017. – С. 246-256.

Воробьева И.Г., Богданов Г.А., Сбоева С.П. Население почвенной мезофауны сосняков заповедника «Большая Кокшага» // Научные труды Государственного природного заповедника «Большая Кокшага». Вып. 8. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2017. – С. 340-353.

Гончаров Е.А., Иосифиди А.М., Петухов А.С. Радиоэкологические исследования на территории заповедника «Большая Кокшага» // Научные труды Государственного природного заповедника «Большая Кокшага». Вып. 8. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2017. – С. 169-180.

Демаков Ю. П., Денисов С.А. Сложение и динамика породного состава лесов в борах Марийского Заволжья // Вестник Поволжского го-

сударственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. – 2017. – № 3 (35). – С. 37-48.

Эколого-ресурсный потенциал лесных насаждений на приовражно-балочных землях Среднего Поволжья / Ю. П. Демаков, Т.В. Нуреева, В.Г. Краснов, А.А. Рыжков // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. – 2017. – № 3 (35). – С. 73-87.

Демаков Ю.П., Исаев А.В. Динамика состояния сосновых древостоев на постоянных пробных площадях // Научные труды Государственного природного заповедника «Большая Кокшага». Вып. 8. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2017. – С. 257-310.

Использование рентгенофлуоресцентного анализа для оценки содержания химических элементов в почве лесных биогеоценозов / Ю.П. Демаков, А.В. Исаев, Б.И. Гареев, Г.А. Баталин // Научные труды Государственного природного заповедника «Большая Кокшага». Вып. 8. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2017. – С. 56-75.

Демаков Ю.П., Исаев А.В., Нуреев Н.Б. Вариабельность плотности сложения почв в лесных биогеоценозах Среднего Поволжья // Научные труды Государственного природного заповедника «Большая Кокшага». Вып. 8. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2017. – С. 44-55.

Демаков Ю.П., Исаев А.В., Шарафутдинов Р.Н. Роль лесной подстилки в борах Марийского Заволжья и вариабельность ее параметров // Научные труды Государственного природного заповедника «Большая Кокшага». Вып. 8. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2017. – С. 15-43.

Демаков Ю.П., Шейкина О.В., Гладков Ю.Ф. Генетическая структура суходольных и болотных ценопопуляций сосны обыкновенной в Республике Марий Эл // Проблемы популяционной биологии: материалы XII Всерос. популяционного семинара. – Йошкар-Ола: ООО ИПФ СТРИНГ, 2017. – С. 262-264.

Демаков Ю.П., Краснов В.Г., Исаев А.В. Закономерности строения и развития древостоя на плантации лиственницы сибирской в краткой-менном экотопе // Вестник ПГТУ. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2017. – № 1 (33). – С. 36-49.

Демаков Ю.П., Нуреев Н.Б., Исаев А.В. Плотность сложения почв Среднего Поволжья // Труды Поволжского государственного технологического университета. Серия: Технологическая. – 2017. – № 5. – С. 12-17.

Демаков Ю.П. Нуреева Т.В. Рыжков А.А. Роль деревьев разных классов развития в сложении структуры сосняков // Проблемы популя-

ционной биологии: материалы XII Всеросс. популяционного семинара. – Йошкар-Ола: ООО ИПФ СТРИНГ, 2017. – С. 70-73.

Дробот В.И. Мониторинг населения птиц на модельных маршрутах заповедника // Научные труды Государственного природного заповедника «Большая Кокшага». Вып. 8. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2017. – С. 370-384.

Дробот В.И. Редкие и малочисленные виды птиц заповедника «Большая Кокшага» // Научные труды Государственного природного заповедника «Большая Кокшага». Вып. 8. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2017. – С. 354-369.

Дубровский В.Ю. Структура населения грызунов и насекомых в заповеднике в период предзимья // Научные труды Государственного природного заповедника «Большая Кокшага». Вып. 8. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2017. – С. 396-402.

Орнитофауна южной части заповедника «Большая Кокшага» в период предзимья / В.Ю. Дубровский, В.В. Беляков, Е.А. Зубкова, В.И. Хашеватская // Научные труды Государственного природного заповедника «Большая Кокшага». Вып. 8. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2017. – С. 385-395.

Исаев А.В., Демаков Ю.П. Развитие фитоценозов в пойме среднего течения реки Большая Кокшага // Научные труды Государственного природного заповедника «Большая Кокшага». Вып. 8. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2017. – С. 311-339.

Исаев А.В., Митякова И.И. Экогеохимия почв прирусловой части поймы, развивающихся в условиях меандрирования // Научные труды Государственного природного заповедника «Большая Кокшага». Вып. 8. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2017. – С. 76-114.

Корнеев В.А., Князев М.Н., Полушина О.М. Лесная куница и горностаи в заповеднике «Большая Кокшага» // Научные труды Государственного природного заповедника «Большая Кокшага». Вып. 8. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2017. – С. 403-422.

Османова Г.О., Богданов Г.А. Состояние популяции гроздовника многораздельного в заповеднике // Научные труды Государственного природного заповедника «Большая Кокшага». Вып. 8. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2017. – С. 181-191.

Рыжова Л.В. Библиография научно-исследовательских работ, выполненных в Государственном природном заповеднике «Большая Кокшага» и на сопредельных территориях. Дополнение 6 // Научные труды Государственного природного заповедника «Большая Кокшага». Вып. 8. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2017. – С. 423-431.

Рыжова Л.В. Плотность и морфометрические признаки популяции морошки в заповеднике // Научные труды Государственного природного заповедника «Большая Кокшага». Вып. 8. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2017. – С. 232-235.

Рыжова Л.В., Глотов Н.В. Структура и годичные приросты парциальных кустов брусники в заповеднике // Научные труды Государственного природного заповедника «Большая Кокшага». Вып. 8. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2017. – С. 210-231.

Рыжова Л.В., Файзрахманова З.З. Динамика фитосанитарного состояния ценопопуляций брусники в заповеднике «Большая Кокшага» // Научные труды Государственного природного заповедника «Большая Кокшага». Вып. 8. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2017. – С. 192-209.

Выживаемость и пути онтогенеза слоевищ эпифитного лишайника эвернии сливовой (*Evernia prunastri* (L.) Ach.) / Ю.Г. Суетина, С.В. Дмитриева, А.Б. Трубянов, Г.Ю. Софронов, С.М. Иванов, Н.В. Глотов // Проблемы популяц. биологии: материалы XII Всерос. популяц. семинара памяти Н.В. Глотова. – Йошкар-Ола: Мар. гос. ун-т, 2017. – С. 218-220.

#### 2018 год

Воробьева И.Г., Емелькина А.А. Анализ состояния гнезд северного лесного муравья на территории ГПЗ «Большая Кокшага» // Современные проблемы медицины и естественных наук: сборник статей Всероссийской научной конференции. Вып. 7. – Йошкар-Ола, 23-27 апреля 2018 г. / Мар. гос. ун-т. – Йошкар-Ола, 2018. – С. 186-189.

Границы и причины вариабельности запасов гумуса в почвах лесов Среднего Поволжья / Ю.П. Демаков, А.В. Исаев, Н.Б. Нуреев, И.И. Митякова // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2018. – № 3 (39). – С. 30-49.

Демаков Ю.П. Структура и закономерности развития лесов Республики Марий Эл: монография. – Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2018. – 432 с.

Демаков Ю.П., Краснов В.Г. Изменение структуры и ресурсного потенциала лесов Чувашии за период с 1942 по 2014 годы // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2018. – № 1 (37). – С. 19-32.

Демаков Ю.П., Краснов В.Г., Курненикова И.П. Распространение и ресурсный потенциал клена остролистного в лесах Республики Марий Эл // Лесохозяйственная информация. – 2018. – № 2. – С. 17-27.

Экономические основы и опыт плантационного лесовыращивания в Среднем Поволжье / Ю.П. Демаков, Т.В. Нуреева, А.С. Пуряев, В.Г. Краснов // Сибирский лесной журнал. – 2018. – № 2. – С. 3-14.

Impact of plant Extracts on the germination of seeds of Pine, Fir, and Radish in Laboratory Experiment / Ю.П. Демаков, Д.И. Пигалин, Д.А. Корепанов, Е.А. Гончаров, М.Н. Чефранова // Asian J. of Microbiol. Biotech. Env. Sc. – 2018. – Vol. 20, No (1). – P. 200-207.

Демаков, Ю.П. Встречаемость растений в живом напочвенном покрове лесоболотных массивов Среднего Поволжья / Ю.П. Демаков, О.А. Жгулева, Н.А. Акшикова, Д.И. Мухортов, Д.А. Корепанов // Свидетельство о регистрации базы данных RUS № 2018620998 от 23.05.2018 г. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35271364>

Ответная реакция эритроцитов некоторых представителей батрахо- и герпетофауны на антропогенный пресс / Г.П. Дробот, А.А. Ведерников, А.О. Свинин, М.Н. Сидушкина, Т.Н. Рябчикова // Современные проблемы медицины и естественных наук: сборник статей Всероссийской научной конференции. Вып. 7. – Йошкар-Ола, 23-27 апреля 2018 г. / Мар. гос. ун-т. – Йошкар-Ола, 2018. – С. 198-201.

Ибраев И.В. Встречаемость гипертрофии стебля и экзобазидиоза брусники (*Vacciniu m vitis-idaea* L.) // Студенческая наука и XXI век. – Т. 15, № 2(17), ч. 1. – Йошкар-Ола: Мар. гос. ун-т, 2018. – С. 83-84.

Исаев А.В. Успехи деятельности заповедника «Большая Кокшага» как результат слаженной работы отделов и сотрудников // Роль и задачи экологического просвещения и познавательного туризма на особо охраняемых природных территориях в современной России: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции. – Йошкар-Ола, 2018. – С. 14-21.

Научные труды Государственного природного заповедника «Большая Кокшага». Вып. 8. – Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2017 – 436 с.

Рыжова Л.В. Онтогенетические пути развития парциальных кустов брусники (*Vaccinium vitis-idaea* L.) на учетных площадках // Современные проблемы медицины и естественных наук: сборник статей Всероссийской научной конференции. Вып. 7. – Йошкар-Ола, 23-27 апреля 2018 г. / Мар. гос. ун-т. – Йошкар-Ола, 2018. – С. 170-173.

Рыжова Л.В. Формирование структуры парциальных кустов брусники (*Vaccinium vitis-idaea* L.) // Современные проблемы медицины и естественных наук: сборник статей Всерос. науч. конф. Вып. 7. 23-27.04.2018 / Мар. гос. ун-т. – Йошкар-Ола, 2018. – С. 158-162.

Рыжова Л.В., Файзрахманова З.З. Некоторые особенности распространения и динамики серой пятнистости на бруснике *Vaccinium vitis-idaea* // Биосистемы: организация, поведение, управление: Тезисы докладов 71-й Всерос. с международным участием школы-конференции молодых ученых (Нижний Новгород, 17–20.04.2018). – Нижний Новгород: Университет Лобачевского. 2018. – С. 192.

Цитохимическая активность фосфатаз нейтрофилов крови зеленых лягушек из природных популяций / Т.Н. Рябчикова, М.Н. Сидушкина, А.А. Ведерников, А.О. Свинин, Г.П. Дробот // Современные проблемы медицины и естественных наук: сборник статей Всероссийской научной конференции. Вып. 7. – Йошкар-Ола, 23-27 апреля 2018 г. / Мар. гос. ун-т. – Йошкар-Ола, 2018. – С. 133-136.

Содержание гликогена и липидов в псевдозоонофилах крови зеленых лягушек из биотопов с различным уровнем антропогенной нагрузки / М.Н. Сидушкина, Т.Н. Рябчикова, А.О. Свинин, А.А. Ведерников, Г.П. Дробот // Современные проблемы медицины и естественных наук: сборник статей Всероссийской научной конференции. Вып. 7. – Йошкар-Ола, 23-27 апреля 2018 г. / Мар. гос. ун-т. – Йошкар-Ола, 2018. – С. 139-143.

К изучению лишайников государственного природного заказника «Заволжский» (Чувашская Республика) / Е.А. Синичкин, Г.А. Богданов, А.В. Димитриев, Н.В. Смирнова, П.Н. Омельченко // Самарский научный вестник. – 2017. – Т.7, № 4 (25). – С. 108-115.

Суетина Ю.Г., Олюнина Е.С. Плотность, онтогенетическая и размерная структура популяции эпифитного лишайника гипогимнии вздутой (*Hypogymnia physodes* (L.) NYL.) в сосняке черничном в условиях верхового болота // Современные проблемы медицины и естественных наук: сборник статей Всероссийской научной конференции. Вып. 7, Йошкар-Ола, 23-27 апреля 2018 г. / Мар. гос. ун-т. – Йошкар-Ола, 2018. – С. 174-176.

Суетина Ю.Г., Соколова С.Г. Размерная структура популяции эвернии сливовой (*Evernia prunastri* (L.) ACH.) в затененном липняке в пойме р. Большая Кокшага // Современные проблемы медицины и естественных наук: сборник статей Всероссийской научной конференции. Вып. 7. – Йошкар-Ола, 23-27 апреля 2018 г. / Мар. гос. ун-т. – Йошкар-Ола, 2018. – С. 186-190.

Морфометрическая изменчивость *Pterostichus oblongopunctatus* (Fabricius, 1787) на заповедных территориях / Р.А. Суходольская, Т.Р. Мухаметнабиев, Н.Л. Ухова, И.Г. Воробьева // Проблемы почвенной зоологии: материалы XVIII Всероссийского совещания по почвенной зооло-

гии (22-26.10.2018, Москва). – Москва: Т-во научных изд. КМК, 2018. – С. 194-195.

Суходольская Р.А., Ухова Н.Л., Воробьева И.Г. Изменчивость размеров и морфометрической структуры популяций жужелицы *Pterostichus oblongopunctatus* (Fabricius, 1787) в заповедниках // Вестник Оренбургского государственного педагогического университета: Электронный научный журнал (Online) 2018, № 4 (28). – С. 44–55. Режим доступа: <http://www.vestospu>

### 2019 год

Границы и причины изменчивости параметров кислотности почв лесных биоценозов Среднего Поволжья / Ю.П. Демаков, А.В. Исаев, И.И. Митякова, Н.Б. Нуреев // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2019. – № 1 (41). – С. 54-71.

Ибраев И.В., Рыжова Л.В. Экзобазидиоз и гипертрофия стебля парциальных кустов брусники (*Vaccinium vitis-idaea* L.) // Современные проблемы медицины и естественных наук: сборник статей Международной научной конференции. Вып. 8. Йошкар-Ола, 15–19 апреля 2019 г. / Мар. гос. ун-т. – Йошкар-Ола, 2019. – С. 136-137.

Характеристика обмена веществ в тканях зеленых лягушек из разных местообитаний / Е.А. Пузаткина, А.О. Свинин, Ю.В. Муравьева, Е.Ю. Марышева // Современные проблемы медицины и естественных наук: сборник статей Международной научной конференции. Вып. 8. Йошкар-Ола, 15–19 апреля 2019 г. / Мар. гос. ун-т. – Йошкар-Ола, 2019. – С. 153-154.

Оценка цитогенетического гомеостаза зеленых лягушек, населяющих местообитания с разной антропогенной нагрузкой / Т.Н. Рябчикова, Г.П. Дробот, А.О. Свинин, А.А. Ведерников, М.Н. Сидушкина // Современные проблемы медицины и естественных наук: сборник статей Международной научной конференции. Вып. 8. – Йошкар-Ола, 15–19 апреля 2019 г. / Мар. гос. ун-т. – Йошкар-Ола, 2019. – С. 156-157.

Сравнительная характеристика лейкоцитарного состава крови зеленых лягушек рода *Pelophylax*, обитающих на территории Республики Марий Эл / М.Н. Сидушкина, Г.П. Дробот, А.О. Свинин, А.А. Ведерников, Т.Н. Рябчикова // Современные проблемы медицины и естественных наук: сборник статей Международной научной конференции. Вып. 8. – Йошкар-Ола, 15–19 апреля 2019 г. / Мар. гос. ун-т. – Йошкар-Ола, 2019. – С. 159-160.

Суетина Ю.Г., Бердникова С.А. Изменение анатомической структуры слоевищ эвернии сливовой (*Evernia prunastri* (L.) Ach.) в онтогенезе // Современные проблемы медицины и естественных наук: сборник статей Международной научной конференции. Вып. 8. Йошкар-Ола, 15–19 апреля 2019 г. / Мар. гос. ун-т. – Йошкар-Ола, 2019. – С. 162-163.

Анализ выживаемости слоевищ *Evernia prunastri* (L.) Ach. / Ю.Г. Суетина, С.В. Дмитриева, А.Б. Трубянов, Г.Ю. Софронов, С.М. Иванов, Н.В. Глотов // Современные проблемы медицины и естественных наук: сборник статей Международной научной конференции. Вып. 8. Йошкар-Ола, 15–19 апреля 2019 г. / Мар. гос. ун-т. – Йошкар-Ола, 2019. – С. 163-164.

Суетина Ю.Г., Иванов С.М. Динамика структуры популяций эпифитных лишайников *Evernia prunastri* (L.) Ach. и *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. на липе сердцелистной в пойменном липняке реки Большая-Кокшага // Самарский научный вестник. – 2019. – Т. 8, № 1 (26). – С. 110-115.

Файзрахманова З.З., Рыжова Л.В. Серая пятнистость парциальных кустов брусники (*Vaccinium vitis-idaea* L.) // Современные проблемы медицины и естественных наук: сборник статей Международной научной конференции. Вып. 8. – Йошкар-Ола, 15–19 апреля 2019 г. / Мар. гос. ун-т. – Йошкар-Ола, 2019. – С. 178-179.

### ДИПЛОМНЫЕ РАБОТЫ

#### 2019 год

Бердникова С.А. Анатомическое строение слоевища эвернии сливовой (*Evernia prunastri* (L.) Ach.) в пойменном липняке – Йошкар-Ола: Марийский гос. ун-т, 2019. Научный руководитель: канд. биол. наук, доцент Ю.Г. Суетина.

Ибраев И.В. Экзобазидиоз и гипертрофия стебля парциальных кустов брусники (*Vaccinium vitis-idaea* L.) – Йошкар-Ола: Марийский гос. ун-т, 2019. Научный руководитель: канд. биол. наук, доцент Л.В. Рыжова.

Котомкина Е.А. Генетическая гетерогенность фотобионта слоевища лишайника эвернии сливовой (*Evernia prunastri* (L.) Ach.) – Йошкар-Ола: Марийский гос. ун-т, 2019. Научный руководитель: канд. биол. наук, доцент Ю.Г. Суетина.

Галкина С.Ю. Генетическая гетерогенность фотобионта слоевища лишайника гипогимнии вздутой (*Hypogymnia physodes* (L.) Nyl.) – Йошкар-Ола: Марийский гос. ун-т, 2019. Научные руководители: канд. биол. наук, доцент Ю.Г. Суетина; канд. биол. наук, доцент А.Б. Трубянов.

Файзрахманова З.З. Динамика болезней парциальных кустов брусники *Vaccinium vitis-idaea* L. – Йошкар-Ола: Марийский гос. ун-т, 2019. Научный руководитель: канд. биол. наук, доцент Л.В. Рыжова.

## РУКОПИСИ, ОТЧЕТЫ

### 2017 год

Гончаров Е.А., Иосифиди А.М., Петухов А.С. Радиозкологические исследования на территории заповедника «Большая Кокшага». – 2017. – 9 с.

Дробот В.И. Мониторинг фауны и населения птиц на модельных маршрутах заповедника «Большая Кокшага». – 2017. – 12 с.

Дробот В.И. Отчет по результатам учебной полевой практики студентов 2 курса ИЕНиФ МарГУ за 2017 год «Фауна и население птиц на постоянных маршрутах».

Дробот В.И. Редкие и малочисленные виды птиц заповедника «Большая Кокшага». – 2017. – 13 с.

Дубровский В.Ю., Беляков В.В., Овсянко Е.Д. Структура синичьих стай в период предзимья. – КЮБЗ, 2017. – 5 с.

Дубровский В.Ю., Шальнова М.А., Зайченко С.Д., Ужвий С.Г., Осеннее распределение тетеревиных по заповеднику «Большая Кокшага». – КЮБЗ, 2017. – 4 с.

Дубровский В.Ю., Крюкова А.С., Синявский Р.А., Родкина А.А. Орнитофауна заповедника «Большая Кокшага» в период предзимья. – КЮБЗ, 2017. – 5 с.

Климова С.Д., Нутрихин Г., Румянцева Л.А., Смирнов П.А. Структура населения мелких млекопитающих в период предзимья в заповеднике «Большая Кокшага». – 2017. – 5 с.

Преображенская. Отчет о результатах зимних учетов птиц в рамках программы «Евразийский Рождественский учет в государственном природном заповеднике «Большая Кокшага» в зимний сезон 2016/2017 г. – 2017. – 1 с.

### 2018 год

Забиякин В.А., Дробот В.И. Отчет по результатам учебной полевой практики студентов 2 курса ИЕНиФ МарГУ за 2018 год «Фауна и население птиц на постоянных маршрутах».

Климова С.Д., Гварамдзэ А.Д. Структура населения мелких млекопитающих в заповеднике «Большая Кокшага» в период предзимья – 2018. – 3 с.

Родкина А.А., Котова К.Г. Орнитофауна заповедника Большая Кокшага в период предзимья КЮБЗ. – 2018. – 6 с.

## ОБ АВТОРАХ

### ABOUT AUTHORS

**Бедова Прасковья Владимировна** – канд. биол. наук, доцент кафедры биологии Марийского государственного университета. E-mail: bedova@marsu.ru

**Bedova, Praskovia V.** – Candidate of Biological Sci.; Associate Professor of the Chair of Biology, Mari State University. E-mail: bedova@marsu.ru

**Богданов Геннадий Алексеевич** – старший научный сотрудник ГПЗ «Большая Кокшага». E-mail: nauka\_gpz@yolamail.ru

**Bogdanov, Gennady A.** – Senior Researcher, Nature State Reserve «Bolshaya Kokshaga». E-mail: nauka\_gpz@yolamail.ru.

**Гареев Булат Ирекович** – ассистент кафедры геофизики и геоинформационных технологий ИГиНГТ КФУ. E-mail: bulat@gareev.net

**Gareev, Bulat I.** – Assistant Professor at the Chair of Geophysics and Geoinformational Technologies, Institute of Geology and Petroleum Technologies, Kazan Federal University. E-mail: bulat@gareev.net

**Демаков Юрий Петрович** – д-р биол. наук, главный научный сотрудник ГПЗ «Большая Кокшага», профессор Поволжского государственного технологического университета. E-mail: DemakovYP@volgatech.net, YPDemakov@yandex.ru

**Demakov, Yury P.** – Doctor of Biological Sci., Chief Researcher at Nature State Reserve «Bolshaya Kokshaga», Professor at Volga State University of Technology. E-mail: DemakovYP@volgatech.net, YPDemakov@yandex.ru

**Исаев Александр Викторович** – канд. с.-х. наук, зам. директора ГПЗ «Большая Кокшага», доцент кафедры биологии Марийского государственного университета. E-mail: avsacha@yandex.ru

**Isaev, Alexander V.** – Candidate of Agricultural Sci.; Vice-director of Nature State Reserve «Bolshaya Kokshaga», Associate Professor at the Chair of Biology, Mari State University. E-mail: avsacha@yandex.ru

**Искандиров Павел Юрьевич** – аспирант Приволжского (Казанского) федерального университета.

**Iskandirov, Pavel Iu.** – Postgraduate student at Kazan Federal University.

**Митякова Ирина Ивановна** – канд. биол. наук, доцент кафедры экологии, почвоведения и природопользования Поволжского государственного технологического университета. E-mail: mii-25@mail.ru

**Mityakova, Irina I.** – Candidate of Biological Sci.; Associate Professor at the Chair of Ecology, Pedology and Nature Management, Volga State University of Technology. E-mail: mii-25@mail.ru

**Нуреев Наиль Биллалович** – канд. биол. наук, доцент кафедры экологии, почвоведения и природопользования Поволжского государственного технологического университета. E-mail: NureevNB@volgatech.net

**Nureev, Nail B.** – Candidate of Biological Sci.; Associate Professor at the Chair of Ecology, Pedology and Nature Management, Volga State University of Technology. E-mail: NureevNB@volgatech.net

**Рыжова (Прокопьева) Людмила Валерьяновна** – канд. биол. наук, доцент кафедры биологии Марийского государственного университета; старший научный сотрудник ГПЗ «Большая Кокшага». E-mail: procorjeva@mail.ru

**Ryzhova (Prokopyeva), Lyudmila V.** – Candidate of Biological Sci., Associate Professor at the Chair of Biology, Mari State University; Senior Researcher, Nature State Reserve «Bolshaya Kokshaga». E-mail: procorjeva@mail.ru

**Тишин Денис Владимирович** – канд. биол. наук, доцент Казанского (Приволжского) Федерального университета. E-mail: dtishin80@gmail.com

**Tishin, Denis V.** – Candidate of Biological Sci., Associate Professor at Kazan Federal University. E-mail: dtishin80@gmail.com

**Файзрахманова Зарина Зульфатовна** – студентка института естественных наук и фармации Марийского государственного университета.

**Faizrakhmanova, Zarina Z.** – student, Institute of Medicine and Natural Science, Mary State University.

**Шарафутдинов Рафик Низамутдинович** – канд. биол. наук, доцент кафедры химии и экологии Набережночелнинского института Казанского (Приволжского) Федерального университета. E-mail: sharafrn@yandex.ru

**Sharafutdinov, Rafik N.** – Candidate of Biological Sci., Associate Professor at the Chair of Chemistry and Ecology, Naberezhnye Chelny Branch of Kazan Federal University. E-mail: sharafrn@yandex.ru



*Научное издание*

**Научные труды  
Государственного природного  
заповедника «Большая Кокшага»**

Выпуск 9

Редакторы Л.С. Емельянова, Г.П. Павловская  
Перевод на английский язык М.А. Зверева  
Компьютерный набор и верстка  
Ю.П. Демаков, А.В. Исаев

Подписано в печать 28.02.2020. Формат 60×84/16.  
Бумага офсетная. Печать офсетная  
Усл. п. л. 14,88. Тираж 200 экз.  
Заказ № 21267

Федеральное государственное бюджетное учреждение  
«Государственный природный заповедник «Большая Кокшага»  
424038, г. Йошкар-Ола, ул. Воинов-Интернационалистов, 26

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет».  
424000, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3

Отпечатано в ООО «Типография Правительства Республики Марий Эл».  
424002, г. Йошкар-Ола, ул. Комсомольская, д. 112. Тел.: 8 (8362) 45-02-94.