

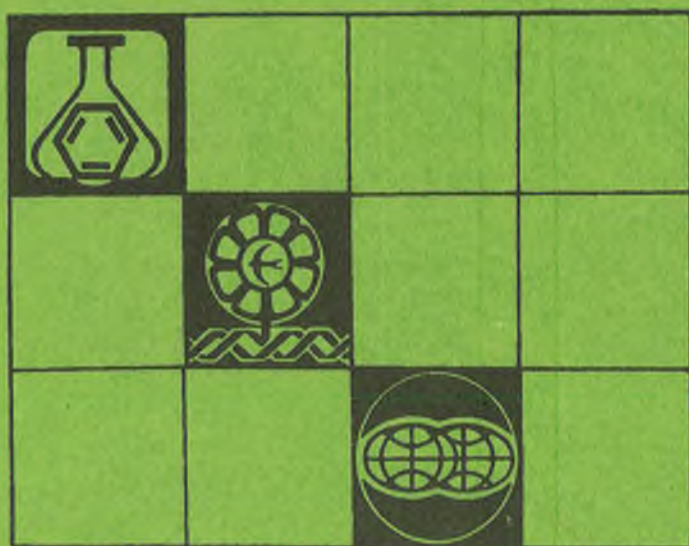
ВЕСТНИК

Белорусского государственного
университета

СЕРИЯ 2

Химия
Биология
География

1 '96



СОДЕРЖАНИЕ

ХИМИЯ

<i>Хартон В.В., Наумович Е.Н., Тихонович В.Н., Вечер А.А., Самохвал В.В.</i> Активация поверхности кислородных электродов высокотемпературных топливных элементов.....	3
<i>Галицкий Н.В., Ясинецкий В.В., Огородников В.А.</i> Изучение сорбции ионов цинка из растворов $ZnSO_4-H_2SO_4-Na_2SO_4-H_2O$ на катионите КУ-2×8	8
<i>Ручай Н.С., Маркевич Р.М., Гребенчикова И.А., Гринько В.Н., Гриц Н.В.</i> Исследование процесса очистки сточных вод иммобилизованной микрофлорой	13
<i>Почтенный А.Е., Шишкин Н.Я., Долгий В.К., Зарапин В.Г., Ильющонок И.П., Лугин В.Г., Мисевич А.В.</i> Сенсорные слои органических и металлооксидных полупроводников, полученные и модифицированные вакуумными методами.....	18
<i>Воробьева Т.Н., Свиридов В.В.</i> Природа адгезии в системе полимер – металлическое покрытие, осажденное из раствора	23

БИОЛОГИЯ

<i>Сенчук В.В.</i> Белки сократительных систем как диагностические маркеры злокачественных опухолей.....	30
<i>Мальхина А.П., Петрашевская Н.Н., Лобанок Л.М.</i> Модификация электрофизиологических характеристик миоцитов правого предсердия при гипоксии и реоксигенации.....	38
<i>Джус М.А.</i> Флористические находки в Минской области	40

ГЕОГРАФИЯ

<i>Жмойдяк Р.А., Вашкевич Л.Ф., Горблюк А.В.</i> Микроэлементный режим почв легкого механического состава, окультуренных высокими дозами сапротелевых удобрений.....	44
<i>Губин В.Н., Марцинкевич Г.И.</i> Проблемы космического ландшафтоведения.....	49
<i>Обровец С.М., Демидович Л.А., Коробчук Л.А.</i> Палеорельеф дна бассейна кузьмичевского возраста южной части Припятского палеорифта	53
<i>Гриневиц А.Г., Емельянов Ю.Н.</i> Вопросы информационного обеспечения аварийных ситуаций на реках Беларуси	57
<i>Жмойдяк Р.А., Вашкевич Л.Ф., Глазкова Л.Н.</i> Эволюция осушенных почв Поозерья.....	62

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

<i>Капудский Ф.Н., Бычковский П.М., Юршилович Т.Л., Старобинец Г.Л., Борщевская Т.И.</i> Оценка свободной энергии гидрофобных и полярных взаимодействий при переносе хлоридов спирибромина и проспидина из воды в слабокислотный катионит КБ-4п2(Н).....	67
<i>Фролов А.В.</i> К познанию жуков рода <i>Aphodius</i> (Coleoptera, Scarabaeidae) фауны Беларуси.....	68

НОВОЕ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

<i>Рагойша А.А., Вавилова А.В., Горошко Н.Н.</i> Компьютеризация самостоятельной работы студентов при изучении химических свойств неорганических веществ	70
--	----

ПАМЯТИ УЧЕНОГО

Вячеслав Михайлович Широков	73
--	----

ВЕСТНИК

Белорусского государственного
университета

НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Издается с февраля 1969 года
один раз в четыре месяца

СЕРИЯ 2

**Химия
Биология
География**

1 '96

ФЕВРАЛЬ



МИНСК
„УНІВЕРСІТЭЦКАЕ”

Главный редактор В.Г. РУДЬ

Ответственный секретарь П.Н. БАРАНОВСКИЙ

Редакционная коллегия серии:

А.И. ЛЕСНИКОВИЧ (*ответственный редактор*),
С.А. ВОРОБЬЕВА (*ответственный секретарь*), Р.А. ЖМОЙДЯК, Ф.Н.
КАПУЦКИЙ, В.Н. КИСЕЛЕВ, Л.В. КОЗЛОВСКАЯ, Н.М. КРЮЧКОВА, А.И.
КУЛАК, И.К. ЛОПАТИН, В.А. ПРОКУЛЕВИЧ, Е.М. РАХМАНЬКО, В.В.
СЕНЧУК (*зам. ответственного редактора*), Л.С. СТАНИШЕВСКИЙ,
А.В. ТОМАШЕВИЧ, В.М. ШИРОКОВ (*зам. ответственного редактора*),
О.М. ШАДЫРО, А.С. ШУКАНОВ

ВЕСТНИК БЕЛОРУССКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

Серия 2: Хим. Биол. Геогр. 1996. №1

Редактор И.А. Лешкевич
Художественный редактор Ю.С. Сергачев
Технический редактор и корректор Г.И. Хмарун

Набор и верстка выполнены в редакции журнала Г.М. Добыш и В.А. Семеновым

Подписано в печать 06.03.96. Формат 70×108 1/16. Бумага офс. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 7,0. Усл. кр.-отт. 7,52. Уч. изд. л. 8,45. Тираж 480 экз. Заказ 390. Цена 12 000 р.

Издательство "Універсітацкае". 220048, Минск, проспект Машерова, 11. Адрес редакции
220080, Университетский городок, тел. 20-65-42

Отпечатано с готовых диапозитивов заказчика в типографии издательства "Белорусский
Дом печати". 220013, Минск, пр. Ф.Скорины, 79

© Вестник Белгосуниверситета, 1996



В разделе "Химия" данного выпуска журнала представлен ряд работ, которые выполнялись в рамках межвузовской программы "Химические проблемы экологии, химической безопасности, энергосбережения и рационального использования материалов и сырья".

Редколлегия журнала и в дальнейшем намерена проводить тематические подборки статей и просит читателей предлагать темы публикаций.

УДК 541.133:537.312.6

В.В. ХАРТОН, Е.Н. НАУМОВИЧ, В.Н. ТИХОНОВИЧ, А.А. ВЕЧЕР, В.В. САМОХВАЛ

АКТИВАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ КИСЛОРОДНЫХ ЭЛЕКТРОДОВ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

It was found that polarizability of $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Mn}(\text{Fe})\text{O}_3$ electrodes in contact with ZrO_2 -based solid electrolyte can be reduced by applying layers of praseodymium oxide and lanthanum-strontium cobaltite on the electrode surface.

Высокотемпературные топливные элементы (ВТЭ) с оксидными твердыми электролитами обладают существенными преимуществами перед топливными элементами, основанными на жидких электролитах либо β -глиноземе [1,2]. К числу таких преимуществ относится прежде всего возможность непосредственного использования для получения электрической энергии восстановительных газов (например, природного газа, сопутствующего газа нефтяных месторождений, биогаза) без специальной очистки.

При создании высокотемпературных топливных элементов одной из основных проблем является разработка материалов кислородных электродов, которые должны удовлетворять многочисленным физико-химическим, техническим и экономическим требованиям, и технологий изготовления электродов [3]. Перспективными материалами кислородных электродов ВТЭ являются твердые растворы на основе манганитов лантана-стронция со структурой перовскита [3–5], отличающиеся высокой электропроводностью, близостью коэффициентов термического расширения (КТР) к КТР стабилизированного диоксида циркония, а также достаточно низкой поляризуемостью электродных слоев. Показано [6], что оптимальными электрохимическими свойствами в ряду твердых растворов $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ ($x=0,3-0,6$) обладает сложный оксид с $x=0,4$, причем введение спекающей добавки Bi_2CuO_4 в состав электродов приводит к существенному снижению поляризационного сопротивления.

Для металлических электродов, находящихся в контакте с твердым оксидным электролитом, перспективным способом уменьшения поляризационного сопротивления является их активация — внесение в состав электродных слоев оксида со смешанной электронной и кислородионной проводимостью [2,7]. В частности для электродов, находящихся в атмосфере свободного кислорода, активирующим агентом является оксид празеодима [3,8]. Очевидно, что введение добавок, увеличивающих скорость обмена кислорода с газовой фазой, в состав оксидных электродов также может приводить к улучшению электрохимических свойств электродных слоев.

Целью данной работы была разработка методик снижения поляризационного сопротивления оксидных электродов в контакте с твердым электролитом на основе диоксида циркония.

Материал и методика

Твердофазный синтез перовскитоподобных оксидов $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{MnO}_3$ и $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Mn}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$ ($x=0,2-0,5$) был осуществлен по стандартной керамической технологии из следующих исходных компонентов: $\text{La}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (ч.д.а.),

SrCO_3 (х.ч.), $\text{Mn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (ч.д.а.), Fe_3O_4 (ч.д.а.). Синтез проводился на воздухе при 1500–1700 К в течение 35 ч с многократным промежуточным измельчением спеков. Для изготовления керамики и электродных слоев были использованы только синтезированные оксидные материалы, однофазность которых предварительно контролировалась методом рентгенофазового анализа. Керамические образцы в виде брусков размером $(4 \times 4 \times 30) \times 10^{-3} \text{ см}^3$ и таблеток (диаметр 12 мм, толщина 3–4 мм) формовались путем гидравлического прессования под давлением 300 МПа и спекались при температурах синтеза на воздухе в течение 10–25 ч. Плотность полученной керамики составила 85–95% по отношению к значениям теоретической плотности. Методики рентгенографических исследований, контроля газоплотности керамики, измерения кислородопроницаемости подробно описаны в работах [6, 9]. При расчетах величины кислородопроницаемости $J(\text{O}_2)$ была использована формула

$$J(\text{O}_2) = \frac{RTI \cdot J}{4FS \cdot E},$$

где l и S — толщина и эффективная площадь исследуемого керамического образца, J (моль с^{-1}) — поток молекулярного кислорода через образец, F — постоянная Фарадея, E — ЭДС электрохимического сенсора кислорода, равная

$$E = \frac{RT}{4F} \ln(p_1/p_2),$$

где p_1 и p_2 — значения парциального давления кислорода с различных сторон керамики. Величина p_1 в ходе исследований соответствовала составу атмосферного воздуха ($0,21 \cdot 10^5$ Па). Поскольку значения $J(\text{O}_2)$ для манганитов лантана-стронция [6] существенно зависят от перепада давлений кислорода с различных сторон керамики, в настоящей работе значения кислородопроницаемости приводятся вместе с соответствующими им значениями E .

Особенности кристаллической структуры исследованных оксидов, а также некоторые результаты исследования их электропроводности и кислородопроницаемости представлены в [6].

Методики, применявшиеся для изготовления электродных слоев из оксидных материалов на твердоэлектролитных подложках $\text{Zr}_{0,9}\text{Y}_{0,1}\text{O}_{1,95}$ и для исследования электрохимической активности электродов, подробно описаны в [6, 9]. В соответствии с результатами [6], в качестве спекающей добавки при получении электродов $\text{La}_{0,6}\text{Sr}_{0,4}\text{MnO}_3$ был использован купрат висмута Bi_2CuO_4 (4 вес. %). При изготовлении электродов, содержащих железо, на основании предварительных исследований была выбрана спекающая добавка оксида висмута Bi_2O_3 (ч.д.а., 4 вес. %). Поляризационные исследования проводились на воздухе при температуре 1100–1300 К в режиме стационарной катодной поляризации при перенапряжениях от 10 до 800 мВ. Падение напряжения на твердом электролите было измерено на переменном токе (20 кГц). Расчет перенапряжения (η) и эффективного поляризационного сопротивления (R_η) проводили по формулам:

$$\eta = U - iR$$

$$R_\eta = \eta/i,$$

где U — разность потенциалов между исследуемым электродом и электродом сравнения при плотности постоянного тока, протекающего через электрохимическую ячейку, равной i ; iR — падение напряжения на твердом электролите. В обсуждении экспериментальных результатов значения R_η приводятся вместе с соответствующими им значениями i . Время установления стационарного состояния в электрохимических ячейках составляло от 1 до 15 ч.

После предварительного измерения зависимости перенапряжения от плотности катодного тока, протекающего через электродные слои, исследованные электроды подвергались активации — нанесению на поверхность оксидных материалов (активирующих агентов) с целью увеличения скорости обмена кислородом между электродами и газовой фазой. В соответствии с данными [3, 5, 8, 10], в качестве активирующих агентов были выбраны кобальтит лантана-стронция $\text{La}_{0,5}\text{Sr}_{0,5}\text{CoO}_{3-\delta}$, оксид празеодима и сложный оксид $\text{Sn}_{0,87}\text{Al}_{0,13}\text{O}_{2-\delta}$. Для активации электродных слоев были использованы следующие методы: пропитка насыщенным раствором нитрата празеодима в этиловом спирте (метод 1), пропитка концентрированным водным раствором нитратов, образующимся при растворении в азотной кислоте кобальтита $\text{La}_{0,5}\text{Sr}_{0,5}\text{CoO}_3$ (метод 2), нанесение

геля оксида празеодима (метод 3), нанесение мелкодисперсного порошка легированного оксида олова с органической связкой (метод 4). После нанесения активирующих агентов электрохимические ячейки подвергались медленному нагреву до 1250 К (скорость нагрева 3–5 К/мин). В последующем обсуждении результатов характеристики активированных электродов сопоставляются только с характеристиками тех же электродов до нанесения активирующих агентов.

Продольное электрическое сопротивление электродных слоев измерялось 4-зондовым методом на переменном токе (5 кГц) в ячейке с платиновыми зондами. Измерения проводились в температурном интервале 300–1300 К на воздухе. При расчетах параметра сопротивления электродных слоев (ρ/d) была использована формула

$$\rho/d = (U/I) \cdot (a/L),$$

где U и L — падение напряжения и расстояние между потенциальными зондами, I — сила тока, протекающего вдоль электрода, a — ширина электродного слоя.

Результаты и их обсуждение

Согласно результатам исследования электродных слоев $\text{La}_{0,6}\text{Sr}_{0,4}\text{Mn}(\text{Fe})\text{O}_3$ в контакте с твердым электролитом на основе диоксида циркония, в процессе эксплуатации подобных электрохимических ячеек может наблюдаться возрастание эффективного поляризационного сопротивления при длительных отжигах ячеек в течение первых 25–50 ч без пропускания постоянного тока и при термоциклировании. Как правило, после охлаждения системы до комнатной температуры и последующего нагрева имеет место резкое возрастание поляризационного сопротивления, которое затем постепенно уменьшается. Такие особенности электрохимического поведения связаны, вероятно, с низкой ионной проводимостью электродных материалов и замедленностью установления стационарного профиля концентрации кислорода в кристаллической решетке манганитов-ферритов по толщине электрода. Это существенно затрудняет исследование поляризуемости катодных слоев, поскольку требует для измерения характеристик каждого электрода непрерывных исследований в течение не менее 100 ч.

Таблица 1

Влияние активации на перенапряжение электродов $\text{La}_{0,6}\text{Sr}_{0,4}\text{MnO}_3$ при 1230 К в режиме стационарной катодной поляризации на воздухе

№ электрод а	Метод обработки	i , мА/см ²	η , мВ
1	После изготовления	170	159
	После активации по методу 3	170	151
	После дополнительного нагрева (1300 К; 5 мин)	170	107
2	После изготовления	172	164
	После последовательной активации методами 2 и 3 и пропускания тока в течение 3 ч	172	84
3	После изготовления	171	153
	После отжига (1030 К; 130 ч)	91	473
	После активации по методу 4 и пропускания тока в течение 10 ч	68	452
	После отжига (1030 К; 30 ч) и пропускания тока в течение 12 ч	68	267
	После повторной активации по методу 4	22	330
	После активации по методу 2	113	301

Нанесение на поверхность оксидных электродов оксида празеодима и кобальтита $\text{La}_{0,5}\text{Sr}_{0,5}\text{CoO}_{3,8}$ обеспечивает возрастание электрохимической активности электродов, причем нанесение $\text{PrO}_{2,8}$ приводит к более значимым результатам по сравнению с введением кобальтита в состав электродного слоя: после активации по методам 1 и 3 эффективное поляризационное сопротивление электродов при равной плотности катодного тока уменьшалось на 5–25% (табл.

1 и 2). Активация по методу 2, как правило, влияет на электрохимическую активность намного слабее. Результаты нанесения оксида празеодима различными способами (активация по методам 1 и 3) оказались достаточно близкими. Поскольку пропитка электродного слоя нитратом празеодима, очевидно, позволяет достигнуть более равномерного распределения $\text{PrO}_{2,5}$ по поверхности пористого электрода по сравнению с нанесением геля оксида празеодима, полученные результаты приводят к выводу о том, что лимитирующая стадия катодного процесса в исследованных системах локализуется на отдельных участках поверхности электродов.

Наибольшее возрастание электрохимической активности электродов $\text{La}_{0,6}\text{Sr}_{0,4}\text{Mn}(\text{Fe})\text{O}_3$ достигается при последовательном нанесении на поверхность электродных слоев оксида празеодима (активация по методам 1 либо 3) и кобальтита $\text{La}_{0,5}\text{Sr}_{0,5}\text{CoO}_{3,8}$ (активация по методу 2). Эффективное поляризационное сопротивление электродов, последовательно активированных таким образом, составило от 0,1 до 0,5 Ом·см² при плотности катодного тока 300 мА/см² (см. табл. 1, 2).

Таблица 2

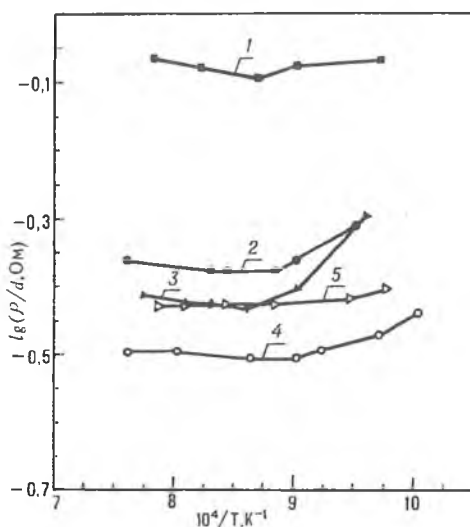
Влияние активации на эффективное поляризационное сопротивление электродов $\text{La}_{0,6}\text{Sr}_{0,4}\text{Mn}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$ при 1230 К в режиме стационарной катодной поляризации на воздухе

№ электрода	x	Метод обработки	i, мА/см ²	R _p , Ом см ²
1	0,3	После изготовления	89	3,6
		После активации по методу 1	177	3,2
			89	1,2
			177	1,2
		После активации по методу 2	357	0,8
			89	1,0
			177	1,0
89	0,1			
После отжига (1030 К; 30 ч)	177	<0,1		
	89	0,2		
	312	<0,1		
2	0,3	После изготовления	86	3,6
		После активации по методу 3	71	1,3
		После выдержки на постоянном токе (300 мА/см ² ; 20 ч)	241	0,5
			235	0,4
		После активации по методу 2	94	0,5
296	<0,1			
3	0,5	После изготовления	77	5,6
		После активации по методу 3	166	3,3
		После активации по методу 2	275	<0,1
		После выдержки на постоянном токе (300 мА/см ² ; 20 ч)	275	<0,1

При введении в состав электродных слоев легированного оксида олова (активация по методу 4) поляризуемость электродов резко возрастает (см. табл. 1). Это связано, вероятно, с недостаточно высокой скоростью обмена кислородом между оксидом олова и газовой фазой: нанесение $\text{Sn}_{0,87}\text{Al}_{0,13}\text{O}_{2,5}$ приводит к блокированию наиболее активных участков поверхности манганитового электрода.

На рисунке представлена температурная зависимость параметра сопротивления электродных слоев $\text{La}_{0,6}\text{Sr}_{0,4}\text{MnO}_3$ с различной поверхностной плотностью. Продольное сопротивление оксидных электродов закономерно уменьшается с ростом поверхностной плотности. Последовательная активация по методам 3 и 2 практически не влияет на значения параметра сопротивления при рабочих температурах электрохимических ячеек и приводит к уменьшению сопротивления слоев при низких температурах, что определяется более высокой удельной электропроводностью $\text{La}_{0,5}\text{Sr}_{0,5}\text{CoO}_{3,8}$ по сравнению с электродным материалом $\text{La}_{0,6}\text{Sr}_{0,4}\text{MnO}_3$.

Для исследования влияния активирующих агентов на транспорт кислорода в керамике $\text{La}_{0,6}\text{Sr}_{0,4}\text{Mn}(\text{Fe})\text{O}_3$ при измерениях кислородопроницаемости на поверхность некоторых керамических образцов наносились слои оксида празеодима либо платины. Поверхностная плотность нанесенных слоев составляла около 5 мг/см^2 . Если нанесение на поверхность керамики $\text{La}(\text{Sr})\text{MnO}_3$ подобных слоев приводит к увеличению кислородопроницаемости и изменению характера зависимости $J(\text{O}_2)$ от перепада парциальных давлений кислорода с различных сторон образца, то для твердых растворов $\text{La}_{0,6}\text{Sr}_{0,4}\text{Mn}(\text{Fe})\text{O}_3$ влияние поверхностных слоев из оксида празеодима на кислородопроницаемость оказывается более слабым (табл. 3). Это позволяет предположить, что замещение марганца железом приводит к изменению лимитирующей стадии процесса переноса кислорода через керамику из манганитов-ферритов: для твердых растворов $\text{La}(\text{Sr})\text{MnO}_3$ транспорт кислорода лимитируется скоростью адсорбции-десорбции [6], тогда как в случае $\text{La}_{0,6}\text{Sr}_{0,4}\text{Mn}(\text{Fe})\text{O}_3$ лимитирующей стадией является, вероятно, ионная проводимость керамики. Полученные результаты хорошо согласуются с ранее сделанными выводами об отсутствии прямой корреляции между кислородопроницаемостью керамики из перовскитоподобных оксидов и электрохимической активностью электродов, изготовленных из данных материалов [6, 11]. Анализ представленных экспериментальных данных позволяет сделать заключение о том, что уменьшение поляризуемости электродов при нанесении активирующих агентов определяется не увеличением электропроводности электродных слоев либо диффузионного потока кислорода внутри объема электродного материала, а возрастанием электрохимической активности поверхности электрода.



Температурная зависимость параметра сопротивления электродных слоев $\text{La}_{0,6}\text{Sr}_{0,4}\text{MnO}_3$ с поверхностной плотностью (мг/см^2): 112 (1), 159 (2), 178 (3,5), 202 (4) до активации (1-4) и после последовательной активации по методам 3 и 2

Таблица 3

Кислородопроницаемость керамики $\text{La}_{0,6}\text{Sr}_{0,4}\text{Mn}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$

x	T, K ± 3 K	Обработка поверхности	E, мВ	$J(\text{O}_2)$, моль/(с см)
0	980	—	112	$3,8 \cdot 10^{-11}$
	1100	—	94	$4,6 \cdot 10^{-11}$
	1170	—	87	$5,7 \cdot 10^{-11}$
0	1170	Pt	91	$8,1 \cdot 10^{-11}$
0	1170	$\text{PrO}_{2,8}$	91	$7,2 \cdot 10^{-11}$
0,2	1085	—	208	$7,6 \cdot 10^{-12}$
0,3	1110	—	811	$1,7 \cdot 10^{-12}$
	1180	—	895	$6,3 \cdot 10^{-12}$
0,3	1110	$\text{PrO}_{2,8}$	811	$2,0 \cdot 10^{-12}$
	1180	$\text{PrO}_{2,8}$	895	$7,4 \cdot 10^{-12}$
	1205	$\text{PrO}_{2,8}$	891	$1,1 \cdot 10^{-11}$

Таким образом, последовательное нанесение оксида празеодима и кобальтита лантана-стронция на поверхность электродов $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Mn}(\text{Fe})\text{O}_3$ приводит к значительному уменьшению эффективного поляризационного сопротивления.

1. Stonehart P. // Proc. 1st Europ.SOFC Forum (Lucerne, Switzerland, 3–7.10.1994). P.15.
2. Чеботин В.Н., Перфильев М.В. Электрохимия твердых электролитов. М., 1978.
3. Перфильев М.В., Демин А.К., Кузин Б.Л., Липилин А.С. Высокотемпературный электролиз газов, М., 1988.
4. Takahashi T., Iwahara H. // Rep. of Special Project Research Under Grant in Aid of Scientific Research of the Ministry of Education, Science and Culture. Japan, 1980. P.727.
5. Sasaki K., Goedickemeier M., Bohac P., Orliukas A., Gauckler L.J. // Proc. 5th IEA Workshop (Juelich, Germany, 2–4.3.1993). P.187.
6. Nicolaev A.V., Kharton V.V., Naumovich E.N., Veher A.A. // Proc. 1 Europ.SOFC Forum (Lucerne, Switzerland, 3–7.10.1994). P.415.
7. Isenberg A.O. // Sol. State Ionics. 1981. V.3/4. P.431.
8. Фадеев Г.И., Перфильев М.В. // Электродные процессы в твердоэлектролитных системах. Свердловск, 1988, С.85.
9. Хартон В.В., Наумович Е.Н., Жук П.П., Демин А.К., Николаев А.В. // Электрохимия. 1992. Т.28. №11. С.1693.
10. Пальгуйев С.Ф., Гильдерман В.К., Земцов В.И. Высокотемпературные оксидные электронные проводники для электрохимических устройств. М., 1990.
11. Хартон В.В., Наумович Е.Н. // Электрохимия. 1993. Т.29. №12. С.1481.

УДК 546.47:66.08:628.16

Н.В. ГАЛИЦКИЙ, В.В. ЯСИНЕЦКИЙ, В.А. ОГОРОДНИКОВ

ИЗУЧЕНИЕ СОРБЦИИ ИОНОВ ЦИНКА ИЗ РАСТВОРОВ $\text{ZnSO}_4\text{-H}_2\text{SO}_4\text{-Na}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}$ НА КАТИОНИТЕ КУ-2×8

The sorption processes of zinc ions on H^+ - and Na^+ -forms of KY-2×8 cation-exchange resin both in static and dynamic regimes from the solutions, containing ZnSO_4 , H_2SO_4 , Na_2SO_4 with initial concentrations 0,02–0,15, 0,2–2, 2–6 grams per liter respectively are delt with. It has been shown that degree of the extraction of zinc ions from the solution in static regime is little dependent on the composition of the solution and the form of ion-exchange resin. The conclusion has been made that H^+ - or mixed H^+ , Na^+ -forms of ion-exchange resin are more preferable ones for purification of sewage in dynamic regime, especially in those cases, when the initial concentration of zinc ions is small and that of sodium ions is high.

Введение

Проблема очистки сточных вод помимо экологического аспекта имеет еще и экономическую сторону — при сбросе предприятием большого объема стоков с концентрацией тяжелых металлов даже ниже ПДК имеют место значительные потери дефицитного сырья. Поэтому изучение вопроса очистки низкоконцентрированных стоков представляет особый интерес. Очистка сточных вод широко применяющимся в настоящее время реагентным способом в принципе позволяет удовлетворительно решить задачу снижения содержания ионов тяжелых металлов в сбрасываемых стоках ниже ПДК. Однако при таком способе очистки часто оказывается труднорешаемой проблема возврата цветных металлов в производство, т.е. экономическая сторона рассматриваемого вопроса. По этой причине особого внимания заслуживает изучение ионообменного метода очистки, позволяющего вернуть сорбированные ионы в первоначальной химической форме.

Целью настоящей работы являлось изучение процессов сорбции ионов цинка из растворов, содержащих сульфаты цинка, натрия и серную кислоту. Выбор состава и диапазона варьирования концентраций компонентов раствора был обусловлен технологическими условиями, существующими на Могилевском заводе искусственного волокна им. Куйбышева.

Материал и методика

Для проведения опытов использовали следующие вещества: сульфат цинка семиводный (х.ч.), серную кислоту (х.ч.), сульфат натрия безводный (ч.), воду дистиллированную, трилон Б. Процессы сорбции ионов цинка изучали на катионите КУ-2×8 в H^+ - и Na^+ -формах в статическом и динамическом режимах. Под-

готовку ионита к работе проводили по общепринятой методике. Масса ионита, используемого для проведения эксперимента, составляла 4 г в сухом состоянии, рабочая обменная емкость этого количества катионита — около 15 ммоль эквивалентов. При проведении опытов в статическом режиме катионит заливали определенным объемом раствора, содержащего $ZnSO_4$, H_2SO_4 , Na_2SO_4 , и оставляли в контакте с раствором на сутки, периодически перемешивая, после чего раствор декантировали и определяли в нем концентрацию ионов цинка, натрия и pH. В опытах, выполненных в динамическом режиме, соответствующее количество раствора пропускали через колонку с ионитом со скоростью 2 мл/мин, после чего в фильтрате определяли общее содержание цинка. Отношение диаметра колонки к высоте слоя ионита в динамическом эксперименте равнялось 0,125. Линейная скорость движения фронта раствора составляла 2,2 см/мин.

Для проведения опытов брали такой объем раствора, чтобы в нем содержалось 5 ммоль (экв) всех катионов (Zn^{2+} , H^+ , Na^+), находящихся в растворе. Содержание цинка в растворах до и после опыта определяли трилонометрически по методике, изложенной в [1]. Величину pH измеряли на универсальном иономере ЭВ-74 с помощью стеклянного электрода. Тот же ионномер применяли и для оценки содержания ионов Na^+ с использованием натрий-селективного электрода в качестве индикаторного. В качестве электрода сравнения использовали хлорсеребряный электрод в насыщенном при 25 °С растворе KCl. Степень извлечения цинка α в статическом режиме определяли по формуле $\alpha = (C_{исх} - C) / C_{исх}$, где $C_{исх}$ и C — концентрации ионов Zn^{2+} до и после опыта соответственно, а в динамическом — по формуле $\alpha = (n_{исх} - n) / n_{исх}$, где $n_{исх}$ и n — количество моль (экв) ионов Zn^{2+} до и после опыта соответственно.

В настоящей работе для обозначения исходного состава растворов используются обозначения, принятые в теории планирования эксперимента: минимальная концентрация компонента обозначена знаком “-”, максимальная — знаком “+”. Для исследования процессов сорбции ионов цинка использовали растворы со следующими исходными концентрациями компонентов:

Zn^{2+} , г/л	H_2SO_4 , г/л	Na_2SO_4 , г/л
-(0,02)	-(0,2)	-(2)
+(0,15)	-(0,2)	-(2)
-(0,02)	+(2)	-(2)
-(0,02)	-(0,2)	+(6)
+(0,15)	+(2)	-(2)
+(0,15)	-(0,2)	+(6)
-(0,02)	+(2)	+(6)
+(0,15)	+(2)	+(6)

Статистическую обработку результатов эксперимента проводили по известным методикам [2,3]. Доверительные интервалы рассчитаны для 95%-го доверительно уровня.

Результаты и их обсуждение

Результаты изучения сорбции ионов цинка из растворов, содержащих $ZnSO_4$, H_2SO_4 и Na_2SO_4 , представлены в табл. 1–4 и на рисунке.

Как видно из данных, приведенных в табл. 1 и 2, при варьировании концентраций компонентов раствора в изучаемых пределах степень извлечения ионов цинка в статическом режиме практически не зависит от состава раствора. Значения степеней извлечения ионов цинка из растворов одинакового состава катионитами в H^+ - и Na^+ -формах отличаются друг от друга незначительно, с практической точки зрения эту разницу можно считать малосущественной. Близость величин степени извлечения цинка из растворов, имеющих различный состав, позволяет сделать вывод о наличии прямой зависимости остаточных концентраций ионов цинка в растворе от исходных концентраций. Как видно из табл. 1, остаточная концентрация ионов цинка заметно больше в том случае, когда исходное содержание цинка в растворе составляет около 150 мг/л. Аналогичная тенденция прослеживается, хотя и менее четко, при анализе результатов сорбции на катионите в H^+ -форме (см. табл. 2).

Остаточные концентрации ионов Zn^{2+} в растворах, находившихся в контакте с ионитом в статических условиях, являются по сути равновесными концентрациями и в принципе могут не совпадать со значениями остаточных концентраций в растворах, очистка которых проводилась в динамическом режиме. Следствием этого может быть различие в степени извлечения цинка. В табл. 3 приведены значения степени извлечения ионов Zn^{2+} из растворов в динамическом режиме на катионитах в H^+ - и Na^+ -формах. Сопоставление экспериментальных результатов, полученных в динамическом и статическом режимах, показывает, что при использовании катионита в H^+ -форме степень извлечения цинка практически не зависит от режима сорбции. При работе с катионитом в Na^+ -форме результаты отличаются: при очистке раствора состава $-++$ степень извлечения цинка составляет 0,77 в динамическом режиме и превышает 0,96 в статическом.

Таблица 1

Изменение концентраций и степень извлечения ионов Zn^{2+} при их сорбции на катионите в Na^+ -форме

Состав раствора	Концентрация ионов цинка, мг/л		Степень извлечения цинка
	до опыта	после опыта	
---	22 ± 1	< 1	> 0,95
+--	$153,5 \pm 1,4$	$4,8 \pm 1,4$	$0,97 \pm 0,01$
-+-	22 ± 1	< 1	> 0,95
--+	$17,8 \pm 1,2$	< 1	> 0,94
+-	151 ± 1	2 ± 1	$0,98 \pm 0,01$
++-	$153,5 \pm 1,3$	$3,4 \pm 1,3$	$0,98 \pm 0,01$
-++	$22,8 \pm 1,7$	< 1	> 0,96
+++	154 ± 2	4 ± 2	$0,97 \pm 0,01$

Была сделана попытка объяснить такое различие более медленной кинетикой сорбции ионов цинка катионитом в Na^+ -форме, т.е. большим временем установления равновесия между ионами Zn^{2+} в растворе и фазе ионита, который первоначально находился в Na^+ -форме, по сравнению с тем случаем, когда ионит первоначально находился в H^+ -форме. Проведенные исследования показали, однако, что кинетические закономерности процесса сорбции, изученные в статических условиях, одинаковы для обеих форм ионита, что свидетельствует об одном и том же времени, необходимом для наступления равновесия, независимо от исходной формы ионита.

Таблица 2

Изменение концентраций и степень извлечения ионов Zn^{2+} при их сорбции на катионите в H^+ -форме

Состав раствора	Концентрация ионов цинка, мг/л		Степень извлечения цинка
	до опыта	после опыта	
---	20 ± 1	< 1	> 0,95
+--	$152,5 \pm 1,4$	< 1	> 0,99
-+-	22 ± 1	< 1	> 0,95
--+	$19,0 \pm 1,2$	< 1	> 0,95
+-	151 ± 1	1	$0,99 \pm 0,01$
++-	$153,5 \pm 1,3$	$1,6 \pm 1,3$	$0,99 \pm 0,01$
-++	$22,8 \pm 1,7$	< 1	> 0,96
+++	154 ± 2	< 2	> 0,99

На рисунке представлена зависимость степени извлечения цинка в статическом режиме на катионитах в H^+ - и Na^+ -формах от времени. Проверка значимости различия величин степени извлечения цинка из растворов на катионитах в разных формах с использованием t-критерия показала, что для 95%-го доверительного уровня экспериментальные результаты, полученные при использовании ионитов в H^+ - и Na^+ -формах, почти не различаются. Доверительный ин-

тервал для каждого из значений степени извлечения цинка равен $\pm 0,5$. Как видно из рисунка, независимо от формы ионита степени извлечения цинка не ниже 0,95 в статических условиях удается достичь в течение 3 мин. Это время не превышает времени прохождения фронта раствора $-++$ через слой ионита в динамическом эксперименте (3,5 мин). Таким образом, предположение о различной скорости сорбции ионов цинка из растворов, имеющих состав $-++$, ионитами, которые вначале находятся в Na^+ - и H^+ -формах, не подтверждается экспериментально.

Таблица 3

Степень извлечения ионов Zn^{2+} из растворов в динамическом режиме

Состав раствора	Степень извлечения ионов цинка из раствора	
	на катионите в H^+ -форме	на катионите в Na^+ -форме
---	1	$0,98 \pm 0,02$
+--	$0,998 \pm 0,002$	$0,998 \pm 0,002$
-+-	$0,97 \pm 0,04$	$0,90 \pm 0,03$
--+	$0,97 \pm 0,03$	$0,96 \pm 0,03$
++-	1	$0,995 \pm 0,005$
+ - +	$0,997 \pm 0,006$	$0,965 \pm 0,006$
- + +	$0,95 \pm 0,04$	$0,77 \pm 0,04$
+ + +	$0,99 \pm 0,01$	$0,98 \pm 0,01$

Если при обсуждении процессов, протекающих при очистке кислых растворов от ионов цинка на катионитах в Na^+ -форме, пренебречь возможностью активного участия ионов водорода в процессах сорбции-десорбции, то результаты, полученные в статических условиях, могут показаться неожиданными по той причине, что ион Na^+ имеет несколько большее сродство к иониту, чем ион H^+ . Так, в работе [4] приводятся следующие значения коэффициентов обмена для реакций $\text{RH} + \text{A}^+ = \text{RA} + \text{H}^+$ и $2\text{RH} + \text{A}^{2+} = \text{R}_2\text{A} + 2\text{H}^+$ на сильнокислотных катионитах: $\text{Li}^+(0,8) < \text{H}^+ < \text{Na}^+(1,5) < \text{Mg}^{2+}(3) < \text{Zn}^{2+} < \text{Ca}^{2+}$ (4). Вследствие этого равновесная концентрация ионов цинка в растворе должна была бы быть большей (а степень извлечения меньшей), если сорбция проводится на ионите в Na^+ -форме, так как при одних и тех же прочих условиях равновесие процесса $2\text{RNa} + \text{Zn}^{2+} = \text{R}_2\text{Zn} + 2\text{Na}^+$ должно быть несколько больше смещено влево по сравнению с процессом $2\text{RH} + \text{Zn}^{2+} = \text{R}_2\text{Zn} + 2\text{H}^+$.

Близкие же величины степени извлечения ионов цинка при сорбции на катионитах в H^+ - и Na^+ -формах в статических условиях, очевидно, указывают на наличие параллельно протекающих процессов:



В результате протекания этих процессов ионит переходит в смешанную водородно-натриевую форму и независимо от исходной формы катионита сорбция ионов Zn^{2+} может происходить в результате замещения ими как ионов H^+ , так и ионов Na^+ в матрице ионита, что и приводит к одинаковым значениям степени извлечения.

Такое предположение подтверждается экспериментальными результатами. В табл. 4 представлены данные об изменении в ходе опыта pH растворов и концентраций ионов Na^+ , полученные из ионометрических измерений. Следует отметить, что концентрации ионов натрия не очень точны (особенно в области больших концентраций, где, по-видимому, возможен выход за пределы интервала линейной зависимости потенциала натрий-селективного электрода от pH) и требуют дополнительной проверки. Вместе с тем результаты этих изме-

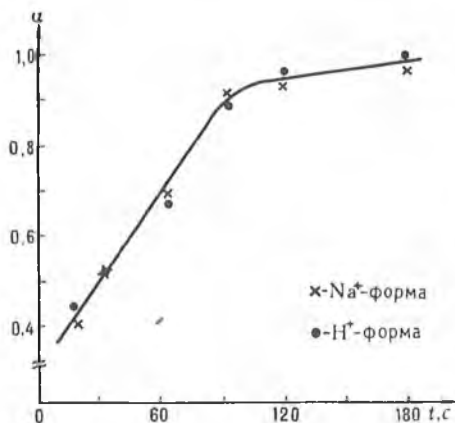
рений позволяют проследить за участием ионов H^+ и Na^+ в процессах сорбции– десорбции.

Таблица 4

Изменение рН и концентрации ионов Na^+ при контакте растворов с ионом в Na^+ -форме в статических условиях

Состав раствора	рН		Концентрация ионов натрия, моль/л	
	до опыта	после опыта	до опыта	после опыта
— — —	2,75	3,2	$0,019 \pm 0,002$	$0,019 \pm 0,002$
+ — —	2,75	3,2	$0,019 \pm 0,002$	$0,022 \pm 0,002$
— + —	1,7	2,1	$0,019 \pm 0,002$	$0,035 \pm 0,003$
— — +	2,9	3,3	$0,066 \pm 0,009$	$0,071 \pm 0,007$
+ + —	1,7	2,1	$0,020 \pm 0,003$	$0,041 \pm 0,004$
+ — +	2,9	3,25	$0,066 \pm 0,009$	$0,066 \pm 0,006$
— + +	1,8	2,15	$0,07 \pm 0,01$	$0,09 \pm 0,01$
+ + +	1,8	2,2	$0,063 \pm 0,009$	$0,097 \pm 0,009$

Анализ результатов измерений, приведенных в табл. 4, показывает, что в зависимости от состава раствора рН увеличивается на 0,35–0,45, что соответствует уменьшению концентрации ионов H^+ в 2,2–2,8 раза (или степени сорбции ионов водорода 40–55%). Таким образом, примерно половина ионов водорода от их первоначального количества сорбируется на катионите, вытесняя в раствор эквивалентное количество ионов натрия. Как свидетельствуют результаты, приведенные в табл. 4, при контактировании с ионом в Na^+ -форме раствора с исходной концентрацией H_2SO_4 200 мг/л концентрация ионов натрия в нем возрастает незначительно. Если же исходная концентрация серной кислоты в растворе достигает 2000 мг/л, то имеет место заметное увеличение концентрации ионов натрия.



Зависимость степени извлечения ионов цинка от времени в статическом режиме

Полученные результаты позволяют выдвинуть гипотезу для объяснения аномально низкого значения степени извлечения ионов цинка из раствора состава —++ на катионите в Na^+ -форме в динамическом режиме. При прохождении раствора —++ через слой катионита в Na^+ -форме преимущественно происходит сорбция ионов H^+ из-за их высокой концентрации и постепенное обогащение раствора ионами натрия при одновременном уменьшении кислотности. Как уже отмечалось, такие изменения должны приводить к уменьшению степени извлечения цинка из

раствора из-за более высокого сродства к иониту ионов Na^+ по сравнению с ионами H^+ . При движении фронта раствора через колонку с ионом фронтальный слой раствора находится в самых неблагоприятных условиях для сорбции ионов цинка: малая концентрация ионов Zn^{2+} , высокая концентрация ионов Na^+ в растворе, ионы натрия, сорбированные на поверхности ионита. Вероятно, “проскок” ионов цинка происходит именно при выходе из колонки первых порций раствора, поскольку последующие слои соприкасаются с ионом, который уже находится в смешанной водородно-натриевой форме, что создает более благоприятные условия для сорбции цинка.

Обращает на себя внимание также и сравнительно более низкая степень извлечения ионов цинка из раствора —+— на катионите в Na^+ -форме (см. табл. 3), что является еще одним подтверждением сделанного предположения о влиянии ионов водорода при их относительно высоких исходных концентрациях на эффективность сорбции ионов Zn^{2+} на катионите в Na^+ -форме.

При сорбции ионов цинка на катионите в H^+ -форме в статических условиях pH уменьшается на 0,3–1,5 единиц в зависимости от состава исходного раствора; степень извлечения цинка, как видно из табл. 2, в большинстве случаев приближается к 1. Степень извлечения из раствора ионов натрия достигает 80–90%.

1. Проведенные исследования позволяют сделать заключение о том, что при контакте с очищаемым раствором ионит независимо от его исходной формы переходит в смешанную водородно-натриевую форму, что является причиной близких значений степени извлечения цинка из растворов в статическом режиме ионитами, которые первоначально находятся как в Na^+ -, так и в H^+ -форме.

2. В реальных промышленных условиях при неконтролируемом изменении концентраций компонентов в стоке более предпочтительной является H^+ -форма ионита или смешанная водородно-натриевая форма. При очистке растворов с низкой концентрацией ионов цинка и высокой концентрацией сульфата натрия смешанная форма является особо предпочтительной.

3. Отработанный ионит находится в смешанной Zn^{2+} , Na^+ -форме. Раствор, образующийся при регенерации ионита в H^+ -форму серной кислотой и содержащий $ZnSO_4$, H_2SO_4 и Na_2SO_4 , может быть снова использован для коррекции состава осадительных ванн вискозного производства.

1. Анализ минерального сырья / Под общ. ред. Ю. Н. Книпович, Ю. В. Морачевского. 2 изд. Л., 1956.
2. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. 2 изд. М., 1986. Т. 1. С. 29.
3. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. М., 1984.
4. Вулих А. И. Ионообменный синтез. М., 1973.

УДК 628.356.628.336.511.512

Н.С. РУЧАЙ, Р.М. МАРКЕВИЧ, И.А. ГРЕБЕНЧИКОВА, В.Н. ГРИНЬКО, Н.В. ГРИЦ

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ИММОБИЛИЗОВАННОЙ МИКРОФЛОРОЙ

The process of biotechnological production waste water purification using immobilized on fibre carriers microorganisms was investigated. The highest level of chemical oxygen demand (COD) removal of 89,8% was obtained under anaerobic conditions.

Энергетические и экологические недостатки традиционных аэробных процессов очистки сточных вод [1] обуславливают необходимость исследований по разработке альтернативных бескислородных биологических процессов, имеющих ряд преимуществ: незначительные энергетические затраты; возможность одновременного получения биогаза; небольшой прирост биомассы активного ила и легкость его обезвоживания; возможность очистки концентрированных стоков.

Широкому распространению технологий анаэробной очистки сточных вод препятствует недостаточная изученность биологического процесса и его низкая скорость. Последний недостаток может быть в значительной степени нивелирован при использовании иммобилизованной микрофлоры.

В настоящей статье представлены результаты выполненного исследования процесса очистки сточных вод биотехнологического производства в анаэробных условиях иммобилизованной микрофлорой.

Материал и методика

В качестве носителей для иммобилизации микроорганизмов-деструкторов использованы полиакрилонитрильное (нитрон) и полиамидное (капрон) волокна. Выбор носителей, удовлетворяющих требованиям по механической прочности и химической стойкости, обусловлен результатами проведенных нами исследований, а также имеющимися в литературе данными. Сорбционная емкость волокнистых носителей по дрожжевым клеткам (*Saccharomycetes*) достигает 500 мг/г, по бактериальным (*Pseudomonas*) — 200 мг/г по сухой массе.

Объектом исследования являлись сточные воды Бобруйского гидролизного завода, нейтрализованные известковым молоком до pH 6,0–6,5. Уровень загрязненности исходных сточных вод и биологически очищенных вод (БОВ) оценивали по широкому спектру параметров. Химическое (ХПК) и биологическое (БПК) потребление кислорода, содержание взвешенных и растворенных органических и неорганических, а также редуцирующих веществ определяли согласно методикам [2]. Лигногуминовые вещества устанавливали путем адсорбции их на активированном угле при пониженной температуре с последующей экстракцией этанолом и гравиметрическим определением сухого остатка после удаления экстрагента [3]. Методики определения сульфатов и различных форм азота приведены в [4]. Содержание ионов хлора устанавливали методом ионометрии с помощью хлорселективного электрода. Для определения фосфора в минеральных и органических соединениях использовали метод, основанный на реакциях получения молибденовой сини. Фосфор в минеральных соединениях определяли после озонения сухого остатка пробы [2]. Содержание ионов меди, железа, свинца, кадмия, никеля устанавливали методом атомно-абсорбционной спектrophотометрии на приборе С-115М-1 в пламени смеси ацетилен-воздух.

Процесс очистки сточных вод моделировали на лабораторной установке, включающей 4 колонных биореактора объемом от 1 до 2,5 л. Технологическая обвязка биореакторов была выполнена таким образом, что каждый из аппаратов мог функционировать автономно, либо в составе 2-, 3- или 4-ступенчатой батареи. Три первых аппарата были оборудованы для ведения анаэробного процесса, в четвертый подавался воздух через барботер с расходом 0,15–0,20 объемов на объем аппарата в минуту. Требуемый температурный режим (29–33°C) поддерживался термостатированием. Подачу и дозировку жидкости осуществляли перистальтическими насосами. Скорость протока среды варьировалась в пределах 0,02–0,12 ч⁻¹. Для каждого биореактора была предусмотрена возможность циркуляции жидкости по замкнутому контуру через аппарат, что необходимо для осуществления иммобилизации микрофлоры на носителе. Носитель располагался в биореакторе линейно вертикальными слоями (волокно нитрон) или загружался в аппарат в виде бахромы (полиамидное волокно). Плотность загрузки носителя 15–18 г/л. Для накопления микроорганизмов-деструкторов в естественных условиях и закрепления их на носителе сточные воды рециркулировали через реактор, заполненный носителем, в течение 24–72 ч. При проведении многоступенчатой очистки биореакторы включали в работу последовательно, начиная с первого аппарата. Путем подачи свежей сточной воды вытесняли жидкость из первого аппарата во второй с циркулирующей жидкости в каждом аппарате и выдержкой в течение суток. Аналогично заполнялись последующие биореакторы. После заполнения всех аппаратов батарею переводили на непрерывный проток жидкости.

Такая установка позволяла испытывать различные методы периодической или непрерывной очистки сточных вод. Нами исследованы следующие варианты процесса очистки: 1) аэробная очистка свободной и иммобилизованной микрофлорой активного ила; 2) 1–3-ступенчатая анаэробная биологическая очистка стоков прикрепленными микроорганизмами; 3) доочистка анаэробно обработанных сточных вод свободноплавающей и иммобилизованной микрофлорой.

Результаты и их обсуждение

Установлено, что накопление и иммобилизация спонтанно развивающейся в сточной воде микрофлоры в анаэробных условиях протекает в 5–6 раз медленнее, чем в аэробных. Процесс очистки сточных вод начинает стабилизироваться в аэрируемых биореакторах через 5–6 сут, в неаэрируемых через 15–16 сут. Полная стабилизация процесса биологической очистки стоков в анаэробных условиях наблюдается через 35–40 сут. (рис. 1).

Для определения времени пребывания жидкости в неаэрируемом биореакторе, позволяющего максимально полно минерализовать загрязнители сточных вод, исследовали изменение ХПК очищаемой воды в условиях однократного заполнения выведенного на стабильный режим работы биореактора (рис. 2). При анаэробной очистке сточных вод Бобруйского гидролизного завода макси-

мальный уровень съема ХПК (93,5 %) достигнут при пребывании сточных вод в биореакторе 4–5 сут.

Таблица 1

Эффективность биологической очистки сточных вод гидролизного производства

Условия очистки сточных вод	Тип носителя	ХПК, мг/л		Скорость протока жидкости, ч ⁻¹	Съем загрязнений по ХПК, %
		исходные сточные воды	очищенные воды		
Аэробные условия, свободные клетки	—	6900	2400	0,05	65,2
Аэробные условия, иммобилизованные клетки	нитрон капрон	6900	1200	0,05	82,6
		6900	1000	0,05	85,5
Анаэробные условия, иммобилизованные клетки	нитрон капрон	7400	800	0,02	89,2
		7400	600	0,02	91,9
Иммобилизованные клетки, многоступенчатая очистка: 1) анаэробная 2) —" 3) —" 4) аэробная	капрон	10800	2200	0,05	—
		2200	1400	0,06	—
		1400	1100	0,12	89,8
		1100	300	—	97,2
Доочистка анаэробно очищенной воды свободной микрофлорой		1100	800	—	92,6

Таблица 2

Состав сточных вод Бобруйского гидролизного завода до и после анаэробной очистки

Показатели	Содержание анализируемых веществ	
	исходные сточные воды	БОВ после третьей ступени анаэробной очистки
ХПК, мг O ₂ /л	10800	1100
БПК, мг O ₂ /л	4220	335
Редуцирующие вещества, %	0,08	отсутствие
Лигноуминовые вещества, мг/л	600	450
pH	6,5	8,0
Взвешенные вещества, г/л,	2,13	0,08
в том числе		
органические	1,88	0,02
неорганические	0,25	0,06
Сухие вещества, г/л,	6,90	2,40
в том числе		
органические	4,34	0,91
неорганические	2,56	1,49
Фурфурол, мг/л	20,0	отсутствие
Сульфаты, мг/л	1750	140
Хлориды, мг/л	390	195
Фосфор (в пересчете на P ₂ O ₅), мг/л	100	10
Азот общий, мг/л	500,0	10,0
Азот аминокислот, мг/л	30,0	0,6
Аммиак, мг/л	2,7	отсутствие
Нитриты, мг/л	1,0	следы
Нитраты, мг/л	5,0	отсутствие

При использовании полиамидного волокна в качестве носителя обеспечилась большая окислительная способность анаэробного биореактора по ХПК (7,6 кг/м³·сут), чем при использовании полиакрилонитрильного носителя

(6,5 кг/м³·сут). Это обусловлено главным образом различием в сорбционной емкости данных носителей.

Как и предполагалось, иммобилизованная микрофлора существенно повышает эффективность процесса очистки стоков как в аэробных, так и в анаэробных условиях по сравнению со свободными клетками микроорганизмов (табл. 1). При очистке стоков в аэробных биореакторах иммобилизованными микроорганизмами-деструкторами при прочих равных условиях наблюдалось повышение эффективности очистки по ХПК с 65,2% до 85,5%. Съем загрязнений в анаэробном биореакторе составил 91,9% при скорости протока жидкости через неаэрируемый биотенк в 2,5–3,0 раза меньшей.

Разделение процесса анаэробной биологической очистки по ступеням позволяет осуществить "специализацию" микроорганизмов-деструкторов и разгра-

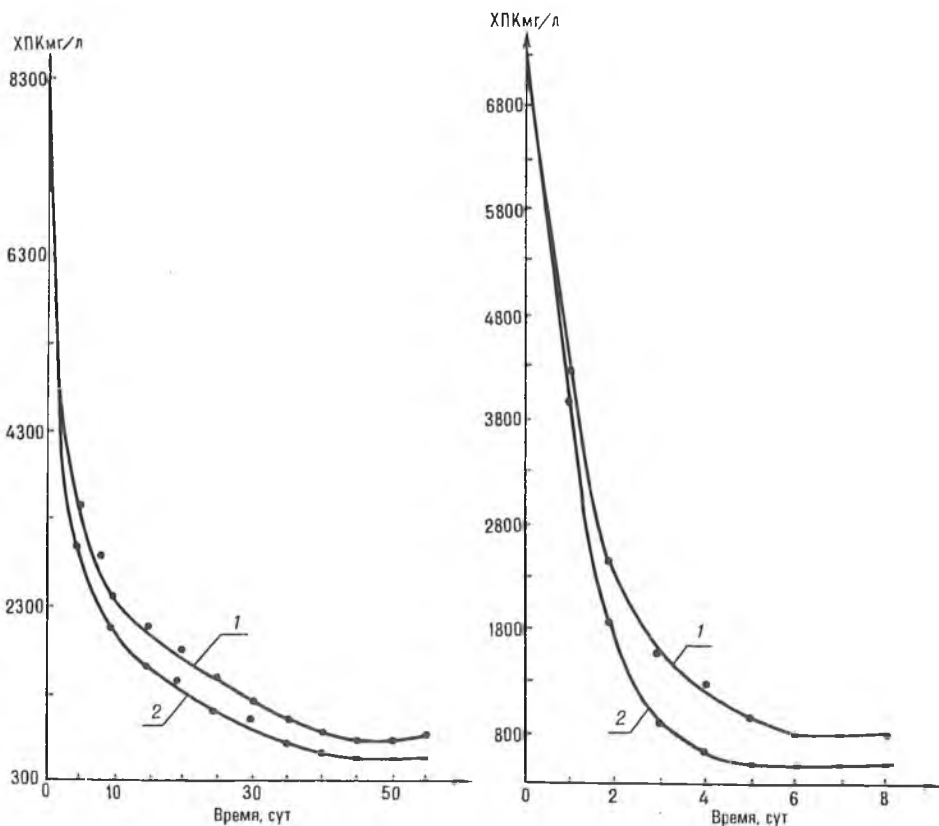


Рис.1. Стабилизация анаэробного процесса очистки сточных вод в проточном биореакторе с иммобилизованной микрофлорой:

1 – полиакрилонитрильный носитель, 2 – полиамидный носитель (скорость протока 0,2 ч)

Рис.2. Динамика съема ХПК в анаэробных условиях:

1 – полиакрилонитрильный носитель, 2 – полиамидный носитель

ничить сложный процесс биodeградации органических соединений в пространстве. В этом случае на каждой стадии биологической очистки в биореакторах создаются благоприятные условия для иммобилизации на носителе специфической микрофлоры, потребляющей продукты деструкции предыдущей стадии. Это повышает эффективность биodeградации загрязнений и, как следует из табл. 1, позволяет достичь требуемой степени очистки при большей скорости протока жидкости.

Следует отметить выявленные в ходе длительного эксперимента (85 сут) преимущества анаэробных биореакторов с иммобилизованной микрофлорой, в частности отмечена более низкая чувствительность к колебаниям температуры (18–35°С) и к изменению нагрузки по очищаемым стокам. Биореакторы способны быстро (в течение 1–3 сут) восстанавливать первоначальную работоспо-

способность после шоковой нагрузки или кратковременного (до суток) прекращения подачи свежей сточной воды.

Недостатком анаэробной биологической очистки сточных вод является то, что она не может обеспечить такое качество очищенных стоков, которое требуется по действующим нормам для их сброса в водоемы. Окончательное удаление остаточных загрязнений и продуктов анаэробного разложения возможно доочисткой БОВ аэробным окислением.

Известно, что в анаэробных условиях из сточных вод удаляются не только биогенные элементы, но и практически не деградируемые при аэробной обработке хлориды и сульфаты. Имеется возможность удаления и тяжелых металлов. В связи с этим исследовали состав сточных вод, подлежащих очистке, и состав БОВ (табл. 2).

Как видно из табл. 2, сухие и взвешенные вещества БОВ имеют высокую зольность, что свидетельствует о практически полном разложении органических веществ до минеральных. Степень удаления из сточных вод сульфатов и хлоридов при анаэробной обработке составила 92 и 50% соответственно.

В анаэробных условиях плохо поддаются деградации лишь лигногуминовые вещества. Содержание их уменьшилось на 24,5 %. Это объясняется тем, что основу лигногуминовых веществ составляют полигетероциклические соединения и соединения фенольной природы, плохо ассимилируемые микроорганизмами в анаэробных условиях.

Практически полная утилизация основных биогенных элементов вынуждает при аэробной доочистке БОВ использовать минеральную подпитку.

Особое внимание было обращено на эффективность удаления из сточных вод тяжелых металлов. В аэробных условиях ионы тяжелых металлов удаляются в малой степени за счет сорбции активным илом. При анаэробной очистке стоков снижение содержания тяжелых металлов достигается за счет двух факторов: 1) накопления их анаэробными бактериями внутри клеток и 2) образования в водной среде сульфидов металлов, не растворимых в воде и выпадающих в осадок.

Результаты анализа (табл. 3) свидетельствуют о высоком уровне удаления из сточных вод тяжелых металлов. Анаэробная обработка стоков позволила уменьшить содержание меди, железа, свинца, кадмия, никеля, кальция до величины, которая значительно ниже ПДК для вод водоемов санитарно-бытового использования.

Таблица 3

**Эффективность очистки сточных вод от тяжелых металлов
иммобилизованной микрофлорой**

Металлы	Содержание металлов, мг/л		
	исходные сточные воды	БОВ после анаэробной очистки	БОВ после анаэробно-аэробной очистки
Cu	0,171	0,037	0,011
Fe	7,429	0,810	0,038
Pb	0,007	отсутствие	отсутствие
Cd	0,028	0,005	0,004
Ni	0,009	отсутствие	отсутствие

Результаты выполненных исследований позволяют сделать вывод о том, что анаэробно-аэробная технология биологической очистки сточных вод биотехнологических производств с применением иммобилизованной микрофлоры дает возможность достичь высокой эффективности очистки при значительном снижении эксплуатационных затрат и одновременном повышении надежности работы очистных сооружений.

1. Экологическая биотехнология / Под ред. К.Ф. Форстера и Д.А.Дж. Вейза. Л., 1990.
2. Емельянова И.З. Химико-технологический контроль гидролизных производств. М., 1976.
3. Корольков И.И., Лихонос Е.Ф. и др. // Гидролизная и лесохимическая промышленность. 1967. №1.
4. Лурье Ю.Ю., Рыбникова А.И. Химический анализ производственных сточных вод. М., 1974.

**СЕНСОРНЫЕ СЛОИ ОРГАНИЧЕСКИХ И МЕТАЛЛОКСИДНЫХ
ПОЛУПРОВОДНИКОВ, ПОЛУЧЕННЫЕ И МОДИФИЦИРОВАННЫЕ
ВАКУУМНЫМИ МЕТОДАМИ**

It was demonstrated that the application of laser and magnetron evaporation for the formation and vacuum methods of doping in modifying thin sensor films allows to improve the sensitivity, selectivity, stability and longevity of chemical sensors based on metalphthalocyanines and tin oxide.

Решение любых экологических задач, связанных с атмосферой, требует получения информации о состоянии атмосферы, в частности о ее химическом составе. Такая информация должна быть достоверной, оперативной и легко обрабатываемой. В основе ее получения в настоящее время лежит использование химических сенсоров – первичных преобразователей химического состава газовой среды в электрический сигнал, дающих прямую и поддающуюся компьютерной обработке информацию о состоянии атмосферы. Совершенствование экологического законодательства в развитых странах привело к тому, что сенсорика, являясь ныне наиболее быстро развивающимся направлением аналитической техники, вышла на второе место после микроэлектроники [1].

Основной проблемой химической сенсорики является создание высокочувствительных, селективных, надежных и долговечных элементов датчиков газового анализа, наиболее перспективными среди которых считаются адсорбционно-резистивные твердотельные сенсоры, выполненные по технологии микроэлектроники [2]. Их перспективность обусловлена высоким качеством и миниатюрностью твердотельных сенсоров, исключительным удобством обработки считываемой с них информации, низкой себестоимостью, связанной с использованием методов и имеющегося оборудования микроэлектронных производств, а также возможностью вхождения в единый комплекс микросистемных технологий. Серийный выпуск микроэлектронных газовых сенсоров налажен такими фирмами, как "Riken-Keiki Fine Instruments" и "Nippon Monitors" (Япония), "General Monitors" (США), "Sensistor" (Швеция), "Thorn EMI Microsensors" (Великобритания), "R. Bosch Drager" и "MST" (Германия). Разработки в этом направлении ведутся и в Республике Беларусь [1,3–6].

Сенсорные анализаторы на базе твердотельных химических сенсоров без труда совмещаются с компьютером и, следовательно, могут включаться в локальные и глобальные компьютерные сети, что представляет особую ценность для национальных программ мониторинга атмосферы.

Основными типами материалов, используемых в твердотельных химических сенсорах, являются оксиды металлов [7] и металлокомплексы фталоцианинов [8,9]. Удельная проводимость этих материалов весьма чувствительна к концентрации молекул, сорбированных из окружающей газовой среды. Каждый из указанных материалов имеет свои достоинства и недостатки. Оксиды металлов, обладая высоким быстродействием и хорошей чувствительностью, неселективны и имеют высокие (свыше 200 °С) рабочие температуры [7]. Низкая селективность требует использования селективных фильтров или многокомпонентных чувствительных элементов с многоканальной обработкой информации, что увеличивает себестоимость сенсора, а большие рабочие температуры приводят к повышенному энергопотреблению. Металлфталоцианины, напротив, при очень высокой чувствительности отличаются селективностью сенсорного отклика, температурный пик которого лежит к тому же в пределах 80–120 °С [8,9], имея, однако, по сравнению с оксидами металлов худшие параметры по быстродействию, стабильности и воспроизводимости свойств.

Одним из путей совершенствования сенсорных материалов является использование современных методов микроэлектронных производств. В связи с этим целью данной работы заключается в исследовании сенсорных свойств тонких пленок металлфталоцианинов и оксида олова, полученных и модифицированных методами вакуумных технологий. Вакуумные методы позволяют получать пленки малой толщины, что способствует повышению чувствительности, селективности и быстродействия [10], и обеспечивают максимальную чистоту и воспроизводимость получаемых пленок.

Все образцы представляли собой пленки толщиной 20–50 нм, нанесенные в вакууме методами термического, лазерного либо магнетронного напыления на подложки из поликора, слюды либо кремния с диэлектрическим слоем диоксида кремния, снабженные растровой системой никелевых либо платиновых электродов. Для модифицирования свойств использовалось внедрение примесей: в металлфталоцианины — методом ионной имплантации, а в оксид олова — непосредственно в процессе магнетронного распыления.

Нами была исследована возможность улучшения метрологических характеристик сенсоров на базе металлфталоцианинов из опытных партий НКТБ "Импульс" (Нижний Новгород, Россия). Исследовались термонапыленные сенсорные слои фталоцианина свинца (PcPb), фталоцианина индия (PcIn) и хлорзамещенного фталоцианина меди (CIPcCu), чувствительных к диоксиду азота, аммиаку и сероводороду соответственно. В качестве имплантируемой примеси использовались ионы кислорода, железа и платины энергией 1–20 кэВ. Имплантация ионов платины и железа осуществлялась на установке с контактно-искровым источником ионов [11], а положительных атомарных ионов кислорода — на установке с высокочастотным ионным источником [12]. Величина энергии имплантируемых ионов определялась на основании расчетов параметров пробегов в исследуемых материалах по методике, описанной в [13], с тем, чтобы значение среднего проецированного пробега составляло половину толщины сенсорного слоя. Интервал допустимых доз облучения оценивался на основании анализа электронных оптических спектров поглощения, полученных на спектрофотометре СПЕКОРД М40 для сенсорных пленок, напыленных на кварцевые подложки. Изменение спектров поглощения с увеличением дозы облучения имеет тенденции, типичные для фталоцианинов [14], а особенности этого изменения связаны с использованием нами небольших энергий имплантируемых ионов. Определенный таким образом интервал допустимых доз облучения составляет 10^{16} – $5 \cdot 10^{19}$ м².

Анализ элементного состава модифицированных сенсорных слоев осуществлялся методами рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС) и обратного резерфордского рассеяния легких ионов (ОРР). Для получения спектров РФЭС и ОРР сенсорные пленки не содержащие водород хлорзамещенного фталоцианина меди напылялись на бериллиевые подложки. Спектры РФЭС были получены на электронном спектрометре ЭС-2401, спектры ОРР — на ускорителе Института ядерной физики РАН. В спектре ОРР пленки CIPcCu, легированной платиной, обнаруживается пик, соответствующий ионно-имплантированной примеси, причем значение определенной по спектру глубины слоя с максимальной концентрацией платины согласуется с расчетным значением среднего проецированного пробега. В спектре РФЭС ионно-легированного платиной CIPcCu присутствует пик, соответствующий внедренной примеси, а совместный анализ спектров исходной и легированной пленки показывает, что при ионной имплантации платины, во-первых, растет содержание кислорода, а во-вторых, уменьшается как содержание азота, так и, в особенности, периферийных атомов хлора, т.е. наблюдается некоторая карбонизация фталоцианина. Аналогичный эффект карбонизации проявляется и при имплантации других ионов.

Измерения чувствительности к H₂S исходных и модифицированных пленок CIPcCu проводились в статическом режиме при концентрации H₂S 10 ppm, постоянном напряжении 30 В и температуре 125 °С. Определялись абсолютная чувствительность (разность величин токов, протекающих через пленку в присутствии и в отсутствие H₂S) и относительная чувствительность (отношение указанных токов). Установлено, что ионное внедрение кислорода в CIPcCu при оптимальной дозе облучения повышает абсолютную чувствительность к H₂S в 50 раз, внедрение железа и платины — на 4 порядка величины. Ионно-лучевое модифицирование позволяет увеличить и относительную чувствительность CIPcCu к H₂S. Так, оптимизация дозы и энергии имплантируемых ионов железа приводит к увеличению указанного параметра в 30 раз. Наряду с этим ионное легирование стабилизирует электрофизические параметры сенсорного слоя. Стабилизирующее воздействие повышается по мере увеличения энергии и дозы имплантируемых ионов. При максимальных значениях энергии и дозы из использованных диапазонов временной разброс проводимости, который у немодифицированных пленок составляет 30–80%, снижается до 10%.

Измерения чувствительности к NO_2 сенсорных слоев PcPb осуществлялись в динамическом режиме с использованием диффузионного источника газа при скорости диффузии 1 мгл/мин, скорости прокачки газовой смеси (воздуха с NO_2) через измерительную камеру 0,5 л/мин, постоянном напряжении 10 В и температуре образца 150 °С. Оптимальный подбор дозы и энергии ионов железа и платины позволяет увеличить относительную чувствительность в 3–5 раз. При этом временной разброс проводимости, который у немодифицированных слоев составляет 15–30%, снижается до 10%. Использование максимальных значений энергий и доз из исследованных диапазонов снижает указанный параметр до 2%. На рис. 1 изображены типичные кинетические кривые откликов на NO_2 сенсорных слоев PcPb . Видно, что кривая отклика одного и того же немодифицированного образца воспроизводится неточно, проводимость образца до взаимодействия с газом нестабильна. Модифицирование сенсорного слоя повышает чувствительность, воспроизводимость кривых отклика, степень восстановления начального значения тока по окончании воздействия газа.

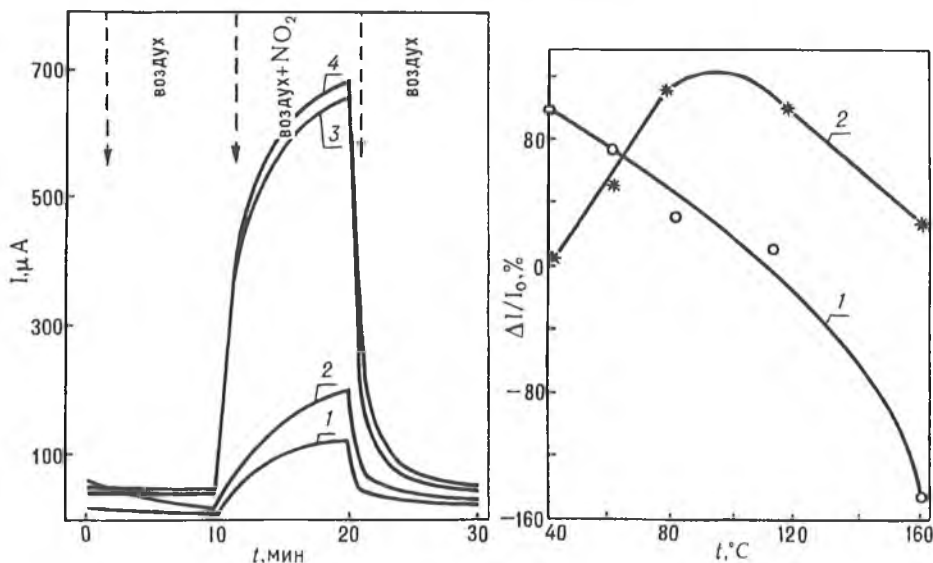


Рис. 1. Кинетические кривые сенсорного отклика (тока в сенсорном слое) на NO_2 исходного (кривые 1, 2) и ионно-легированного платиной (кривые 3, 4) фталоцианина свинца.

Рис. 2. Температурная зависимость относительного изменения тока в присутствии NH_3 исходного (кривая 1) и ионно-легированного кислородом (кривая 2) фталоцианина свинца.

Установлено, что ионное легирование стабилизирует сенсорные свойства металлфталоцианинов. Так, повышенное значение относительной чувствительности PcPb к NO_2 сохраняется в течение 200 сут, а для контрольной группы образцов – в течение 1,5 лет.

Имплантация ионов кислорода резко сужает температурный пик чувствительности PcIn к NH_3 . На рис. 2 представлены экспериментальные данные, иллюстрирующие этот факт. По вертикальной оси отложено относительное изменение тока в пленке, т.е. отношение разности токов в присутствии и в отсутствие газа к току в отсутствие газа. Сужение температурного пика чувствительности свидетельствует о том, что ионная имплантация улучшает селективность сенсорного слоя.

Таким образом, ионно-лучевое модифицирование улучшает сенсоры на основе органических полупроводников, повышая, в зависимости от поставленной задачи, их чувствительность, селективность, стабильность и долговечность.

В проведенных исследованиях обнаружена плохая воспроизводимость от образца к образцу термонапыленных пленок металлфталоцианинов. Одним из путей устранения подобного недостатка является использование лазерного напыления, повышающего качество вакуумнонапыленных органических пленок [15]. Для получения сенсорных слоев металлфталоцианинов нами создана установка для лазерного напыления органических материалов, собранная на ба-

зе универсального вакуумного поста ВУП-5М. Источником излучения является газовый CO_2 -лазер ЛГН-703 с длиной волны излучения 10,6 мкм и выходной мощностью от 30 до 40 Вт. Излучение лазера вводится горизонтально в объем вакуумной камеры через германиевое окно. Скорость испарения органического материала регулируется посредством изменения скорости подачи испаряемого вещества в зону действия лазерного излучения. Для контроля скорости напыления и измерения толщины напыленных органических пленок используется кварцевый резонатор, калибровка которого осуществлялась путем измерения толщины контрольных пленок на сколе ситалловой подложки с помощью растрового электронного микроскопа РЭМ-100. Для нагревания подложек в процессе напыления используются галогеновые лампы, а для контроля температуры — медный терморезистор.

С использованием описанной установки получены и исследованы тонкие пленки фталоцианина меди (PcCu). Анализ на просвечивающем электронном микроскопе пленок, напыленных на свежий скол кристалла NaCl и отделенных затем от кристалла протравливанием в дистиллированной воде, показал, что напыляемые пленки имеют поликристаллическую структуру без какой-либо преимущественной ориентации.

Спектроскопические исследования в инфракрасной области спектра пленок, напыленных на подложки из KBr , и в видимой области спектра пленок, напыленных на стекло, кварц и KBr , показали, что полученные при лазерном распылении пленки PcCu кристаллизуются в α -фазе, что характерно и для пленок, получаемых контактным термическим распылением. Все пики были идентифицированы, и не было найдено ни одного пика, не соответствующего PcCu , что указывает на отсутствие побочных продуктов в напыленной пленке.

Для изучения электрофизических и сенсорных свойств были получены образцы пленок PcCu толщиной 20–30 нм на подложках со встречно-штыревой системой электродов. Изучались кривые отклика лазерно-напыленных пленок на аммиак и диоксид азота. В присутствии NO_2 проводимость пленок возрастала, а в присутствии NH_3 уменьшалась. Учитывая, что NO_2 проявляет акцепторные свойства, а NH_3 — донорные, можно сделать вывод, что лазерно-напыленный фталоцианин меди — это полупроводник p -типа. Была отслежена зависимость относительной чувствительности пленок от температуры, и в результате определена оптимальная температура пленки для детектирования NO_2 и NH_3 (80 °C и 100 °C соответственно). Величины сенсорных откликов лазерно-напыленных пленок того же порядка, что приводившиеся в литературе [16] и полученные нами для термонапыленных пленок. Установлено, что кинетические кривые сенсорного отклика соответствуют кинетической изотерме Рогинского–Зельдовича–Еловича [17]. В эксперименте по изучению дозовой зависимости проводимости при ионной имплантации кислорода выявлено, что механизм проводимости лазерно-напыленного фталоцианина меди — прыжковый.

Изучение воспроизводимости свойств лазерно-напыленных пленок показало, что разброс электрофизических свойств от образца к образцу существенно ниже, чем в случае пленок, полученных контактным термическим напылением, и фактически определяется разбросом параметров используемых подложек.

Таким образом, созданная установка и разработанная методика лазерного напыления позволяют получать тонкие пленки фталоцианинов, структура и электрофизические свойства которых аналогичны, сенсорные свойства не уступают, а воспроизводимости свойств существенно превышает соответствующие характеристики пленок, получаемых другими способами.

Для получения пленок оксида олова был выбран метод магнетронного распыления олова в атмосфере аргона [18] с последующим окислением полученной металлической пленки.

Непосредственно в процессе напыления на установке ВУП-5М при давлении аргона 0,1–1 Па осуществлялось легирование формируемой пленки олова. В качестве легирующих добавок использовались Pd , Ag , Mo , Ta , Cu , Ti , V , Cd , Bi , Sb . Каждая из легирующих примесей вводилась в диапазоне концентраций 0,5–5 ат.%. Сенсорные свойства полученных пленок были исследованы по отношению к CO и NO_2 .

Наилучших результатов при детектировании СО можно достичь, используя в качестве легирующей добавки палладий. Объемное легирование палладием приводит к повышению чувствительности и быстродействия пленок при детектировании СО за счет каталитического воздействия Pd. Исследованы пленки с содержанием Pd: 0,5; 0,7; 1; 2; 3 ат.% по отношению к Sn. Введение Pd приводит к резкому уменьшению проводимости пленок оксида олова за счет уменьшения концентрации кислородных вакансий, т.е. за счет приближения состава пленки к стехиометрии при термическом окислении. Максимальной чувствительностью к СО обладают пленки с содержанием Pd 0,7 ат.%. Температурная зависимость относительной чувствительности к СО этих пленок имеет вид кривой с максимумом при 300 °С (рис. 3). Изучение воздействия на сенсорные пленки СО в воздухе в интервале концентраций 0,0048–1,155 об.% показало, что проводимость пленок является степенной функцией концентрации СО с показателем степени 0,25 (рис. 4). Легирование пленок Pd с концентрацией 2 ат.% приводит к повышению быстродействия пленок в 1,5 раза и снижению рабочей температуры до 250 °С, однако у этих пленок уменьшается чувствительность по сравнению с пленками, содержащими 0,7% Pd. Концентрационная зависимость проводимости описывается степенной функцией с показателем степени 0,21.

Все полученные пленки оксида олова, легированного палладием, обладают очень малой чувствительностью к NO₂ и изменению относительной влажности, что позволяет селективно детектировать СО в смесях, содержащих NO₂.

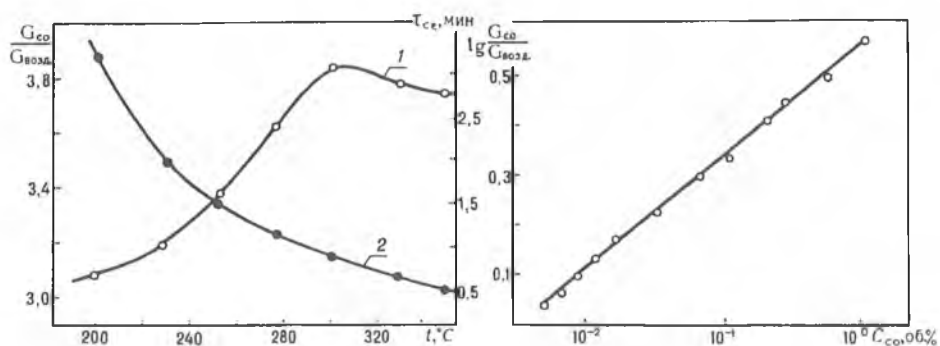


Рис. 3. Температурная зависимость относительной чувствительности к СО (кривая 1) и времени срабатывания сенсора (кривая 2) оксида олова, легированного палладием.

Рис. 4. Зависимость относительной чувствительности оксида олова, легированного палладием, от концентрации СО в воздухе.

В качестве чувствительных элементов при детектировании NO₂ оптимальными параметрами обладают пленки нелегированного оксида олова. Они проявляют высокую чувствительность к низким концентрациям NO₂ в газовых смесях при температурах 100–130 °С, что значительно ниже рабочих температур оксидных пленок, полученных другими методами (200–300 °С). Полученные пленки обладают высоким быстродействием, время срабатывания при температурах 110–130 °С составляет 20–10 с. Максимальная чувствительность к NO₂ в интервале температур 100–130 °С соответствует 100 °С, однако при этой температуре время срабатывания составляет 4,6 мин. Повышение температуры пленки на 10 °С приводит к уменьшению относительной чувствительности от 10 до 6,9, но с резким увеличением быстродействия.

Пленки чистого оксида олова обладают очень слабой чувствительностью к СО и СН₄ при низких температурах детектирования, что позволяет селективно определять NO₂ в присутствии СО и СН₄.

Таким образом, предложенные методы создания и модифицирования сенсорных слоев позволяют существенно улучшить такие характеристики адсорбционно-резистивных твердотельных химических сенсоров, как чувствительность, селективность, стабильность и долговечность. Все используемые нами методы формирования и модифицирования сенсоров относятся к методам вакуумных технологий, могут быть осуществлены на одной установке в едином

вакуумном цикле, полностью совместимы с технологией микроразноэлектронных производств, имеют перспективы развития в области микросистемных технологий и являются экологически чистыми.

1. Вечер А.А., Жук П.П. Химические сенсоры. Мн. 1990.
2. Techn. Dig. of the 4-th Int. Meeting on Chemical Sensors. Tokyo, 1992.
3. Ильюшонок И.П., Пахомов Л.Г., Почтенный А.Е., Фель Я.А. Физика и технология тонкопленочных полимерных систем: Матер. Всесоюз. научно-техн. конф. Ташкент, 1991. Т.2. С.30.
4. Мальченко С.Н. Электромеханические микросистемы. Сенсорные системы и компоненты. Акусто-электронные системы и компоненты: Тез. докл. СПб, 1993. С.257.
5. Юшкевич А.Т., Федоров А.Н., Луневич А.Я., Шеремет И.М. // Там же. С.349.
6. Емельянов Ю.Л., Хатько В.В. Физика и технология тонкопленочных полимерных систем: Матер. II научно-техн. конф. Пружаны, 1993. С.147.
7. Мясников И.А., Сухарев В.Я., Куприянов Л.Ю., Завьялов С.А. Полупроводниковые сенсоры в физико-химических исследованиях. М. 1991.
8. Wright J.D. // Progr. in Surface Sci. 1989. V.32. № 1-2. P. 1.
9. Heilmann A., Lantto V., Muller M., Hamann C. // Sensors and Actuators. 1992. B7. P. 522.
10. Schierbaum K., Schindler K., Gopel W. 2 Int. Meet. Chem. Sensors. Bordeaux, 1986. P. 195.
11. А.с. №1625258 (СССР). Источник ионов металлов / Белый И.М., Бочаров В.Ф., Поплавский В.В., Почтенный А.Е., Ратников Э.В.
12. Винокуров В.В., Почтенный А.Е., Ратников Э.В. Взаимодействие атомных частиц с твердым телом: Тез. докл. Всесоюзн. конф. Мн., 1979. Ч.3. С. 43.
13. Буренков А.Ф., Ильюшонок И.П., Почтенный А.Е. // Поверхность. Физика, химия, механика. 1990. №6. С. 123.
14. Robinet S., Salvi M., Clarisse C. // Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res. 1991. V. B53. P.46.
15. Красовский А.М., Толстопятов Е.М. Получение тонких пленок распылением полимеров в вакууме. Мн. 1989.
16. Enomoto K.M.H., Nakamura V. Techn. Dig. of the 4th Int. Meeting on Chemical Sensors. Tokyo, 1992. P. 478.
17. Елович С.Ю., Жаброва Г.М. // Журн. физ.хим. 1939. Т. 13, №12. С. 1761.
18. Данилин Б.С. Магнетронные распылительные системы. М., 1982.

УДК 541.64.532.72:546.56

Т.Н. ВОРОБЬЕВА, В.В. СВИРИДОВ

ПРИРОДА АДГЕЗИИ В СИСТЕМЕ ПОЛИМЕР – МЕТАЛЛИЧЕСКОЕ ПОКРЫТИЕ, ОСАЖДЕННОЕ ИЗ РАСТВОРА

The investigation of composition and micro structure of interface in film system copper-polyimide formed in the process of electroless copper plating on the surface activated by tin and palladium compounds has shown that the near surface layer of metallized substrate 30 nm in thickness includes fine particles of Cu, Pd, their oxides, Sn(II) and Sn(IV) oxo and hydroxo compounds. A sufficient part of Cu, Sn and Pd atoms form C-O-Me and C-N-Me bonds in the result of metal ion interaction with carboxyl and amido groups.

Осаждение металлов из растворов на поверхность полимеров находит широкое применение в производстве электрорадиоаппаратуры, различных приборов и при декоративной отделке пластмасс. Металлизированные пластмассы в отличие от изделий из металла характеризуются легкостью и дешевизной, а в отличие от изделий из пластмасс — уменьшенной газопроницаемостью, горючестью, повышенной износо- и светостойкостью, тепло- и электропроводностью. Альтернативными путями получения металлизированных диэлектриков, помимо осаждения металлических покрытий из растворов, являются процессы вакуумной металлизации или прикрепления тем или иным способом готовой металлической фольги. По сравнению с этими путями химико-гальваническая металлизация является более материал- и энергосберегающей, экологически чистой технологией, позволяющей в широких пределах варьировать толщину покрытий, природу осаждаемых металлов и сплавов, а также обеспечивающей локальное осаждение металлических рисунков. Указанные достоинства связаны с тем, что при осаждении из растворов металлических покрытий сберегается электроэнергия, необходимая для плавления или испарения металла при его литье или вакуумной металлизации, а также для проката металла в фольгу. Кроме того, в случае получения металлических рисунков локальное осаждение металла устраняет необходимость в применении экологически небезопасных и

материалоемких процессов фотолитографии и травли значительной части металла в отходы.

Указанные отличительные особенности процессов осаждения металлических покрытий и рисунков из растворов обуславливают актуальность разработки широкого спектра технологий химико-гальванической металлизации пластмасс. Одной из наиболее трудно решаемых проблем в таких разработках является обеспечение хорошего сцепления металла с подложкой. Успех в решении этой проблемы определяет качество изделий. Наиболее часто высокую адгезионную прочность достигают за счет механического "замкового" сцепления контактирующих поверхностей. Оно обеспечивается путем создания развитого рельефа поверхности полимера с помощью механических, физических, химических обработок. Легко придать шероховатость поверхности без существенного снижения когезионной прочности приповерхностного слоя диэлектрикам или композиционным материалам за счет удаления одной из фаз, которая находится в матрице другой фазы в мелкодисперсном состоянии. Однако увеличение шероховатости поверхности в случае однофазных диэлектриков с гладкой поверхностью приводит к ухудшению электрических параметров, когезионной прочности приповерхностного слоя и делает невозможным получение металлических рисунков с малыми размерами элементов.

Известно, что адгезионное взаимодействие в системе полимер–металл может иметь химическую природу. Например, в работах [1–4] установлено, что высокая адгезионная прочность реализуется при наличии на поверхности полимера функциональных кислородсодержащих групп типа $-\text{COOH}$, $-\text{CH}_2\text{OH}$, в которых ионы H^+ могут обмениваться на катионы осаждаемого металла. Отмечается, что внутренняя поверхность металлических покрытий, осажденных на полимеры, часто бывает окисленной [5–7].

Особенно важными при рассмотрении природы адгезии являются вопросы о том, происходит ли проникновение осаждаемого из раствора металла в приповерхностный слой диэлектрика с очень гладкой поверхностью, какова реальная площадь контакта пленки металла с такой подложкой. Имеющиеся в литературе данные по этой проблеме немногочисленны. Например, в работе [8] с использованием метода резерфордского рассеяния установлено, что глубина проникновения никеля в полиимидную пленку (ПП) при его химическом осаждении из раствора составляет 60 нм, а в подложке на основе Al_2O_3 или графита — до 140 нм и более. В первом случае адгезия пленки Ni-P значительно ниже, чем для подложек на основе Al_2O_3 . Однако неясно, каковы микроструктура и состав образующейся границы контакта.

В настоящее время понимание природы адгезионного взаимодействия между полимерной подложкой и металлическим покрытием, осаждаемым из раствора в условиях, когда исключена возможность термостимулируемой диффузии в полимер, крайне недостаточно для прогнозирования и управления адгезией. В данной работе обобщаются результаты исследований проблемы адгезионного взаимодействия в системе полимер – осаждаемое на его поверхность из раствора металлическое покрытие. В качестве исследуемого полимера выбрана полиимидная пленка. Выбор объекта обусловлен уникальностью практических свойств ПП (термостойкостью, механической прочностью, хорошими диэлектрическими параметрами), а также трудностью в достижении хорошей адгезии металлических пленок к гладкой и химически инертной подложке.

Химическое осаждение меди на ПП осуществляли по методике, описанной в ряде работ [7, 9–11], путем последовательного проведения операций травления ПП в щелочном растворе, обработки ее в подкисленном растворе SnCl_2 , промывки в воде, обеспечивающей гидролиз адсорбированных соединений Sn(II) и химического осаждения пленки меди толщиной около 100 нм из формальдегидного раствора. Доразивание медных покрытий осуществляли гальваническим путем из сернокислого электролита.

Исследование природы и протяженности границы раздела металл–полимер проводили с использованием методов электронной микроскопии (ЭМ), электронографии, рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС), атомно-абсорбционной спектроскопии (ААС).

Исследование влияния различных факторов на прочность адгезионного взаимодействия в системе медь–полиимид показало, что каждая из последовательных стадий обработки подложки и осаждения на нее меди вносит свой

вклад в это взаимодействие. Наиболее важной является операция травления поверхности ПП.

Нами установлено, что высокая адгезия пленки осаждаемого металла (700 Н/м) достигается при условии, когда в процессе травления происходит полное и равномерное удаление поверхностного слоя ПП толщиной 0,5 мкм, а новый обнажаемый слой имеет однородный мелкозернистый рельеф, сформированный прилегающими друг к другу полусферами — вершущками глобул полиимида. ЭМ исследование свидетельствует, что в случаях, когда обеспечивается максимальная адгезия, размеры зерен колеблются от 20 до 80 нм, их концентрация составляет 300 мкм^{-2} , основная масса зерен имеет размеры 20–30 нм. По данным ЭМ исследования углеродных реплик поверхности ПП до и после травления, реальная площадь поверхности соприкасающихся куполов превы-

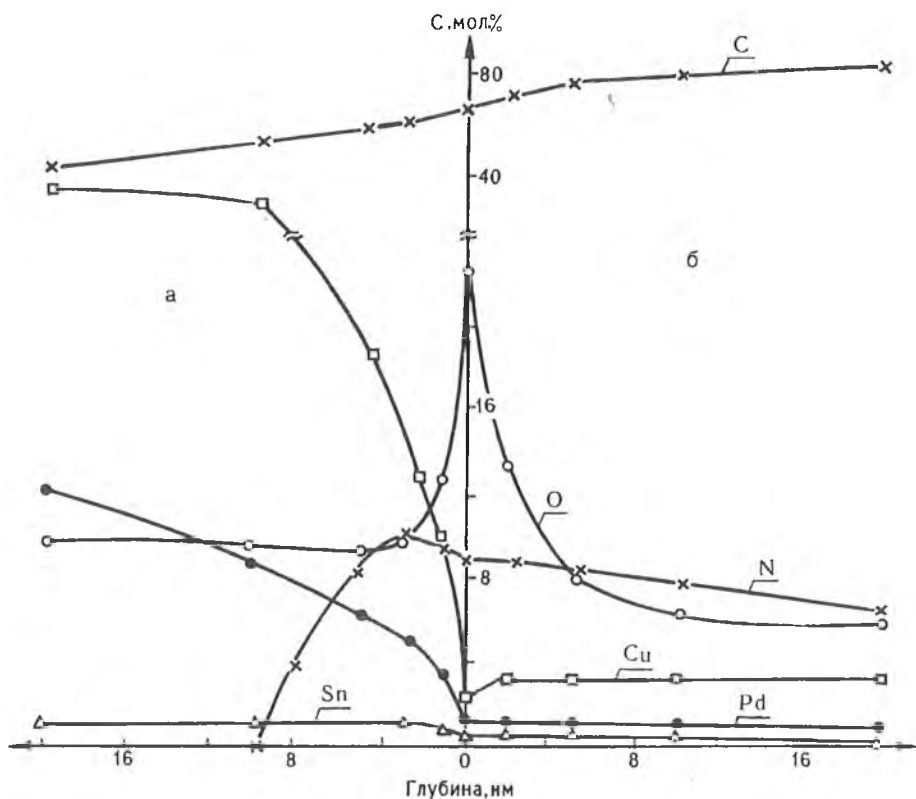


Рис. 1. Кривые распределения атомов углерода, кислорода, азота, олова, палладия и меди по глубине пленки меди (а) и полиимидной пленки (б) со стороны границы раздела.

шает исходную площадь поверхности не менее чем в 1,5 раза.

Ранее с использованием метода многократно нарушенного полного внутреннего отражения в ИК области нами было установлено, что в результате взаимодействия полиимида со щелочью происходит раскрытие имидных циклов с образованием карбоксильных групп и аминогрупп [10]. В этой же работе на основе данных атомно-абсорбционной спектроскопии показано, что после травления в оптимальных условиях поверхность ПП содержит $28 \cdot 10^{-3}$ ммоль/м² функциональных групп, способных к обмену с ионами металлов из растворов. В связи с этими данными особый интерес представляло проследить поведение образующихся карбоксильных и аминогрупп при обработке ПП в растворах хлоридов олова, палладия и химического осаждения меди.

На рис. 1 представлены профили распределения атомов различных элементов в приповерхностных слоях ПП, прошедшей обработку в растворах травления, хлоридов олова и палладия и химического осаждения пленки меди до толщины 100 нм. Данные получены методом РФЭС в результате исследования системы ПП – покрытие из меди после ее расслаивания и затем после-

довательного ионного травления приповерхностной зоны пленок меди и полиимида. Аналогичны профили распределения атомов в приповерхностной зоне ПП, содержащей тонкую (10 нм толщиной) пленку химически осажденной меди.

Результаты свидетельствуют о том, что глубина проникновения атомов металла в ПП составляет 20–30 нм и более. Состав приповерхностного слоя ПП глубиной до 20 нм сильно отличается от такового в объеме ПП. Приповерхностная зона полимера включает атомы олова, палладия, меди, а содержание кислорода в ней намного выше, чем в исходном полиимиде. По-видимому, после обработки в щелочном травителе стыки между глобулами полиимида играют роль капилляров, по которым обрабатывающие растворы проникают в приповерхностный слой ПП на глубину, сопоставимую с размерами зерен. При этом формируется зона, которая после обработок в соответствующих растворах может содержать атомы олова, палладия и меди.

Исследование с использованием электронной микроскопии следующей стадии подготовки ПП к металлизации показало, что в результате обработки травленной поверхности полимера в подкисленном растворе SnCl_2 и последующего гидролиза соединений Sn(II) при промывке водой на поверхности ПП образуется островковая пленка из мельчайших частиц соединений олова нанометровых размеров [3]. Островки повторяют рельеф поверхности травленной ПП. Размеры островков в зависимости от состава раствора SnCl_2 колеблются в пределах 8–160 нм, их концентрация составляет 300–620 на 1 мкм^2 . Островки покрывают около 40% поверхности. Эти островки состоят из более мелких частиц с размерами до 2 нм [12, 13]. Методом электронографии найдено, что в состав наблюдаемых частиц входят оксо- и гидроксосоединения Sn(II) , Sn(IV) и в небольшом количестве — хлориды, такие как $\text{Sn}_4(\text{OH})_6\text{Cl}_2$, $\text{Sn}_{21}\text{Cl}_{16}(\text{OH})_{14}\text{O}_6$, $\text{Sn}_3\text{O}_2(\text{OH})_2$, SnO_2 , $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. В случае большого содержания соединений олова на подложке островки накладываются друг на друга, плоские островки превращаются в объемные зерна. Адгезия осаждаемого на таких островках медного покрытия невысока. Пленка меди ослабляется из-за разрушения слоя соединений олова. Химический иодометрический анализ соединений олова (II) и (IV), специально десорбированных с поверхности ПП, показал, что в образцах, для которых достигается максимальная адгезия покрытий, суммарное содержание соединений Sn(II) и Sn(IV) составляет 0,3–0,6 ммоль/ м^2 при соотношении $\text{Sn(II)}:\text{Sn(IV)}$, равном 4:1.

Исследование методом РФЭС поверхности ПП, содержащей адсорбированные соединения олова, свидетельствует, что эти соединения находятся не только на поверхности, но и проникают в глубь подложки на расстояние до 35 нм. Профиль распределения атомов олова в приповерхностном слое ПП на этой стадии обработки имеет четыре участка (рис. 2), соответствующие зонам: 1) наибольшего содержания – 0–2 нм, 2) быстрого его уменьшения – 2–4 нм, 3) постоянного содержания – 4–20 нм, 4) постепенной убыли после 20 нм. Протяженность зоны наибольшей концентрации соединений олова толщиной 2 нм соответствует размерам частиц гидроксосоединений олова.

Пик $\text{Sn } 3d_{5/2}$ в РФЭС спектре атомов олова, расположенных на поверхности и в приповерхностной зоне ПП, имеет энергию связи 486,0–486,3 эВ. Сопоставление этих значений со справочными данными [14, 15] показывает, что атомы олова входят в состав гидроксосоединений. По мере увеличения глубины расположения атомов олова максимум пика оказывается сдвинутым в область больших энергий связи, что соответствует изменению соотношения $\text{Sn(II)}:\text{Sn(IV)}$ в пользу атомов олова в большей степени окисления (рис. 3,а).

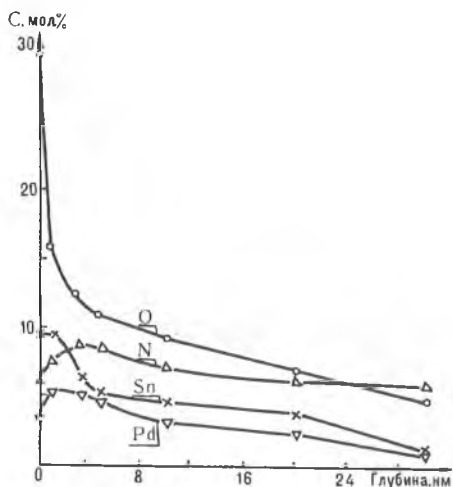


Рис. 2. Профиль распределения атомов олова в полиимидной пленке после ее обработки в растворах SnCl_2 и PdCl_2

Анализ данных об относительном содержании атомов металлов и кислорода в приповерхностном слое металлизированной ПП свидетельствует, что атомы кислорода одновременно входят в состав полиимида и кислородсодержащих соединений олова, образуя цепочки типа C-O-Sn. Такие цепочки могут возникать в результате ионного обмена с атомами водорода карбоксильных групп.

ЭМ исследование свидетельствует, что после обработки ПП раствором PdCl₂ на поверхности, занятой островками соединений олова, появляются

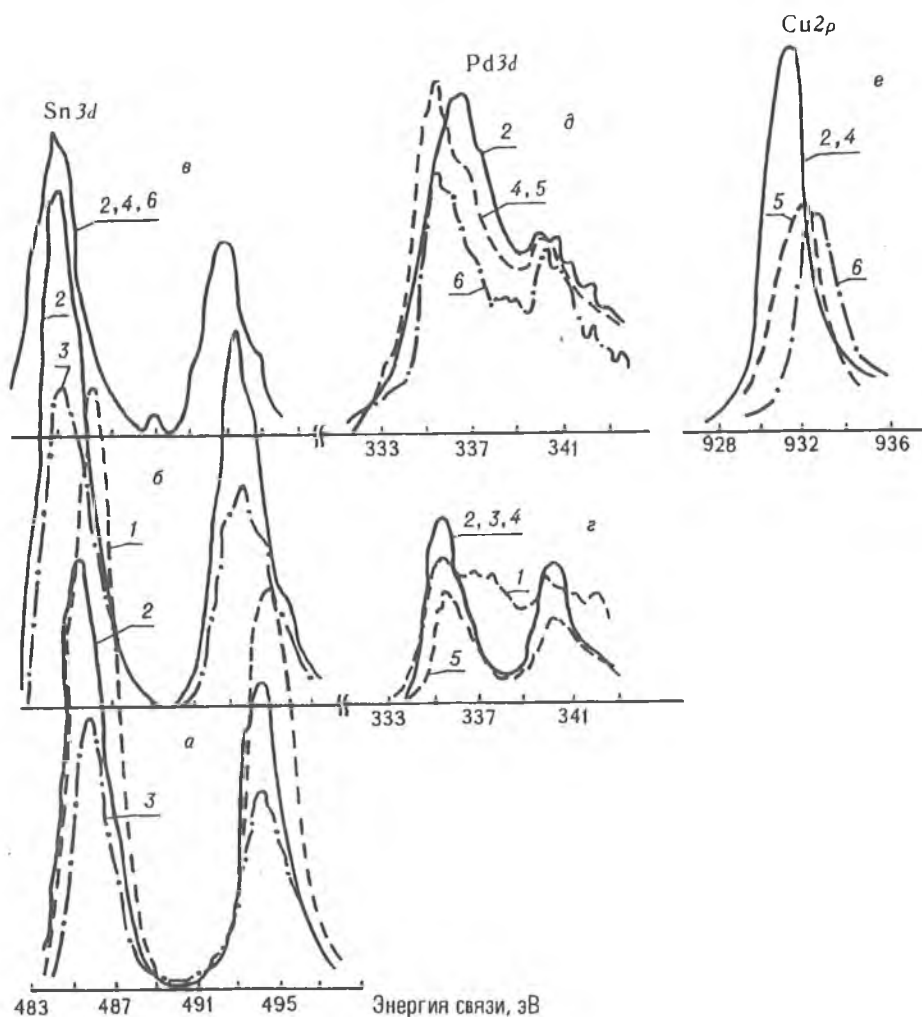


Рис. 3. Рентгенофотоэлектронные спектры, соответствующие атомам олова, палладия и меди в приповерхностной зоне полиимидной пленки. Глубина анализируемого слоя 0, 1, 2, 3, 5, 10, 30 нм соответствует кривым 1, 2, 3, 4, 5, 6:

а — после обработки пленки в растворе SnCl₂; б, г — в растворах SnCl₂; затем PdCl₂; в, д, е — в растворах SnCl₂, PdCl₂ и химического меднения

мельчайшие частицы палладия с размерами 1–4 нм. Идентификация их природы проведена методом электронографии. Наличие на поверхности ПП, активированной растворами SnCl₂ и PdCl₂, металлического палладия подтверждается также данными РФЭС. В спектрах имеется пик Pd 3d_{5/2}, максимум которого соответствует 335,5 эВ (рис. 3, д).

Размеры, концентрация и характер расположения по поверхности подложки частиц соединений олова и металлического палладия зависят не только от концентрации растворов SnCl₂ и PdCl₂, времени их хранения, но и от условий травления подложки [12, 13]. В тех случаях, когда осаждаются равномерные мало-пористые, с высокой адгезией пленки меди, соединения олова в виде плоских островков в один слой покрывают поверхность ПП, концентрация частиц палладия составляет 10⁴ мкм⁻². Эти частицы распределены либо равномерно, либо в

виде небольших островков, повторяющих микронеровности травленной поверхности и островки соединений олова. Изучение профиля распределения атомов олова, палладия и углерода после послойного травливания системы Cu-ПП как со стороны химически осажденной пленки металла, так и после расслаивания системы Cu-ПП показало, что основная масса частиц палладия сосредоточена на границе их контакта с ПП, а не с поверхностью островков соединений олова.

Методом атомно-абсорбционной спектроскопии нами ранее было установлено, что количество соединений палладия, прочно связанных с ПП, последовательно обработанной в растворах SnCl_2 и PdCl_2 оптимального состава, сопоставимо с количеством карбоксильных групп на поверхности травленной ПП [10].

В результате обработки активированной поверхности ПП в растворе химического осаждения меди в течение 5–10 с происходит небольшое увеличение размеров наблюдаемых на предыдущей стадии частиц. Уже незначительное увеличение размеров приводит к соприкосновению частиц друг с другом и срастанию их в плоские островки, что оказывается возможным благодаря высоким концентрациям активных центров. Количество адсорбированных к концу индукционного периода осаждения ионов меди сопоставимо с концентрацией карбоксильных групп на поверхности ПП [10]. При более длительной обработке содержание меди на поверхности ПП быстро растет, при этом увеличивается толщина островков первичных зародышей, они превращаются в зерна меди, декорирующие рельеф поверхности ПП.

Спектр $\text{Cu } 2p_{3/2}$ довольно широк, его максимум приходится на 932,4 эВ, а форма свидетельствует о наличии других пиков со стороны более высокой энергии связи, что может указывать на присутствие кислородсодержащих соединений меди. Последний факт коррелирует с данными о повышенном по сравнению с неметаллизированной ПП содержании кислорода в приповерхностной зоне ПП с нанесенной пленкой меди.

Пики $\text{C } 1s$ и $\text{N } 1s$ в РФЭ спектрах образцов полиимида как с нанесенной пленкой меди на границе раздела Cu-ПП, так и после отслаивания осажденного на подложку медного покрытия смещены в сторону более высоких энергий связи, чем соответствующие пики образцов ПП до металлизации, что свидетельствует о большей степени ионности по сравнению со связями атомов углерода и азота в составе исходной ПП. Так, максимум пика $\text{N } 1s$ для образцов ПП после травления приходится на 399,3 эВ, а в случае ПП после отслаивания медного покрытия – на 400,3 эВ.

Результаты исследования природы адгезионного взаимодействия в пленочной системе полиимид – осажденная из раствора медь свидетельствуют о формировании в приповерхностном слое полиимидной пленки переходной зоны толщиной до 20–30 и более нанометров, которая представляет собой композиционный материал, включающий медь, палладий, гидроксо- и оксосоединения Sn(II) и Sn(IV) , Cu(I) и Cu(II) в виде частиц нанометровых размеров. Эта зона формируется в результате последовательно протекающих процессов диффузии обрабатываемых растворов по порам и капиллярам набухшего приповерхностного слоя ПП, ионного обмена и донорно-акцепторного взаимодействия с функциональными группами модифицированного при травлении полиимида, окислительно-восстановительных реакций с участием соединений Sn(II) , Pd(II) , Cu(II) и процессов формирования зародышей твердой фазы нанометровых размеров.

Большую роль в адгезионном взаимодействии играет формирование связей атомов металла с атомами кислорода и азота, входящими в состав карбоксильных и амидогрупп, образующихся на поверхности ПП при ее травлении.

Полученные результаты углубляют знания о природе адгезионного взаимодействия осаждаемого металла с поверхностью полимера и могут служить основанием для прогнозирования адгезионной прочности в системах полимер – осажденное из раствора металлическое покрытие и управления ею. Результаты могут быть полезными при разработке практических рекомендаций в области металлизации полимерных материалов и способствовать внедрению материало- и энергосберегающих экологически безопасных технологий.

1. Burkstand J.M. // J.Appl.Phys. 1981. V.52. P.4795.
2. Watts J.F., Castle J.E. // J.Mater.Sci. 1983. V.18. P.2987.
3. Зильберман А.Б., Фридман Б.С., Гусева М.С. // Пластические массы. 1989. №2. С.52.
4. Jackson R.L. // J.Electrochem.Soc. 1990. V.137. P.95.
5. Егоренков Н.И., Лин Д.Г., Цыганок В.Н., Белый В.А. // Весці АН БССР. Сер. фіз.-тех. навук. 1974. №2. С.105.
6. Калнинь М.М., Озолиньш Ю.Л., Малерс Ю.Я. // Изв.АН Латв.ССР. Сер. хим. наук. 1984. №6. С.97.
7. Свиридов В.В., Рухля В.А., Воробьева Т.Н. // Весці АН БССР. Сер. хим. наук. 1984. №4. С.435.
8. Svendsen L.G., Osaka T., Koiwa I., Sawai H. // J.Electrochem. Soc. 1983. V.130. P.2255.
9. Свиридов В.В., Воробьева Т.Н., Гаевская Т.В., Степанова Л.И. Химическое осаждение металлов из растворов. Мн., 1987. С.192.
10. Рухля В.А., Воробьева Т.Н., Свиридов В.В., Ласточкина В.А. // Журн. прикл. хим. 1988. Т.61. С.655.
11. Свиридов В.В., Воробьева Т.Н., Степанова Л.И. и др. Адгезионное взаимодействие металл-диэлектрик при химико-гальванической металлизации диэлектриков разных типов. Минск, 1989. 25 с. Деп.ВИНИТИ АН СССР 10.04.89. N 2731-B89. // Весці АН БССР. Сер. хим. наук. 1989. №4. С.118.
12. Воробьева Т.Н., Рухля В.А., Бодрых Т.И., Свиридов В.В. // Весці АН БССР. Сер. хим. наук. 1986. №2. С.104.
13. Воробьева Т.Н., Барковская Л.В., Степанова Л.И., Рухля В.А. // Весці АН БССР. Сер. хим. наук. 1991. №6. С.49.
14. Нефедов В.И. Рентгеноэлектронная спектроскопия химических соединений. Справ. М., 1984. С.256.
15. Анализ поверхности методами Оже- и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии / Под ред. Бриггса Д., Сиха М.П. М., 1987. С.600.
16. Шалкаускас М., Вашкялис А. Химическая металлизация пластмасс. Л., 1985.



УДК 616-006:612.015.348

В.В. СЕНЧУК

БЕЛКИ СОКРАТИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ КАК ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ МАРКЕРЫ ЗЛОКАЧЕСТВЕННЫХ ОПУХОЛЕЙ

The major components of cytoskeletal and contractile systems (actin and myosin) are involved in a broad range of cellular events – cytokinesis, secretion, motility. Malignization results in dramatic alteration of the cellular molecular biology, including organization of the cytoskeletal and contractile elements.

In this review, we explore the role of actin and myosin in the expression of transformed phenotype, analyze experimental data concerning biochemical properties of actin and myosin, regulatory mechanisms of actin-myosin interaction, expression of actin isoforms and myosin subunits in malignant tumors of different origin. Taken together, the existing data seem to confirm diagnostic value of actin and myosin isoforms analysis and provide new information on the histogenetic origin and the degree of differentiation of malignant tumors.

Введение

Одним из важнейших направлений в исследовании злокачественных опухолей является поиск биохимических маркеров опухолевых клеток, позволяющих выявить в организме человека очаги патологического процесса и с высокой точностью диагностировать гистогенез и метастатический потенциал раковых клеток, что в значительной степени определяет выбор адекватных методов и режимов терапии. Многочисленными исследованиями установлено [1, 2], что происходящая при канцерогенезе и опухолевом росте глубокая перестройка метаболических процессов в клетках выражается в изменении уровней экспрессии и состава изоформ многих белков. Это явление используется для поиска и выбора маркеров неоплазм. Вместе с тем, несмотря на определенные успехи, достигнутые в этой области, число маркерных белков, используемых для клинической диагностики опухолей, относительно невелико.

В последние годы интересы многих исследователей рака были направлены на поиск высокоинформативных маркеров злокачественного состояния среди цитоскелетных белков, которые представлены рядом изоформ, экспрессирующихся тканеспецифически и в зависимости от степени цитодифференцировки. Относящиеся к этой группе белки промежуточных филаментов получили широкое применение для диагностики ряда злокачественных опухолей человека. Многочисленные публикации по этому вопросу собраны и проанализированы в ряде обзоров и монографий и не будут рассматриваться в настоящей работе. Мы акцентируем внимание на других белковых компонентах цитоскелета, так называемых сократительных белках. Интерес к сократительным системам, представляющим собой динамичный комплекс белков актина и миозина, а также группы ассоциированных с ними белков в связи с проблемой злокачественного роста, обусловлен тем, что сократительные белки выполняют чрезвычайно важные функции в жизнедеятельности клеток и многоклеточных организмов, к числу которых относятся мышечная деятельность, движение, формообразование и деление клеток, секреция, рецепция и другие [3, 4]. Наряду с этим изоформы актина и миозина экспрессируются тканеспецифически и в зависимости от стадии дифференцировки клеток [5]. Последнее обстоятельство дает основание предполагать, что исследование сократительных белков клеток злокачественных опухолей различного гистогенеза и уровня дифференцировки позволит установить ценные в диагностическом отношении закономерности экспрессии изоформ актина и миозина.

Отмеченные вопросы нашли отражение в настоящем обзоре, который является обобщением имеющихся в литературе данных и собственного экспериментального материала, охватывающих состояние проблемы экспрессии, физико-химических и функциональных свойств актина и миозина в клетках злокачественных опухолей и использования белков сократительных систем в качестве диагностических маркеров злокачественных опухолей.

Экспрессия, физико-химические и функциональные свойства миозина в клетках злокачественных опухолей

Прогресс в изучении структуры и биохимических свойств мышечных и немuscular миозинов и их субъединиц послужил основой для исследования характера экспрессии миозина, его участия в формировании сократительных структур раковых клеток и роли миозина в поддержании злокачественного состояния.

В первой работе о свойствах миозина из саркоматозных клеток было показано, что сократительный белок обладает заметной, хотя и менее выраженной, чем у мышечного миозина, Mg-зависимой АТФазной активностью [6]. В последующие годы предметом пристального исследования явились рабдомиосаркомы — злокачественные опухоли скелетно-мышечного происхождения, которые являются наиболее распространенным видом сарком мягких тканей у детей и составляют около 7% всех опухолей детского возраста [7]. Необходимость поиска маркеров рабдомиосарком обусловлена отсутствием надежных методов идентификации различного типа рабдомиосарком, в особенности мало- и недифференцированных, что является существенным препятствием для эффективной терапии [8]. Установлено, что в ряде случаев клетки этих опухолей содержат миозин или некоторые его субъединицы скелетно-мышечного типа [9]. Было обнаружено, что аномальность сократительного аппарата Ni_3S_2 -индуцированных рабдомиосарком коррелирует с изменением свойств опухолевого миозина, который обладает биохимическим сходством с эмбриональным миозином [10]. Иммуногистохимически миозин выявлен в 80% рабдомиосарком, индуцированных сульфидом никеля, что позволяет отнести его к числу хороших маркеров рабдомиосарком [11]. В клетках низкодифференцированной опухоли мышечной рабдомиосаркома А7, индуцированной метилхолантеном, экспрессируется смесь изоформ субъединиц дефинитивного и эмбрионального мышечных миозинов [12].

Проведенные нами исследования на клетках рабдомиосаркомы крыс РА-2 с различной способностью метастазировать в легкие показали, что миозины из исходной опухоли и метастатических образований отличаются по каталитическим свойствам, содержанию в раковых клетках и составу субъединиц [13]. Методом иммуноблоттинга показано, что миозин из рабдомиосаркомы РА-2 содержит тяжелые цепи миозина эмбрионального и дефинитивного скелетно-мышечных типов, причем в метастазах обнаружено увеличение содержания эмбриональной изоформы тяжелых цепей миозина по сравнению с клетками опухоли. Эти данные свидетельствуют не только о нарушении дифференцировочных механизмов в клетках злокачественной опухоли рабдомиосаркома РА-2 и появлении субъединиц миозина, характерных для эмбриональной стадии развития, но и указывают на существование зависимости экспрессии индивидуальных изоформ субъединиц миозина от метастатического потенциала клеток рабдомиосаркомы.

С помощью моноклональных антител против миозина из эмбриональных скелетных мышц показана экспрессия миозина эмбрионального типа в рабдомиосаркомах взрослых и детей [14], в клетках альвеолярной рабдомиосаркомы человека [15] и рабдомиосаркомы крыс, индуцированной вирусом саркомы Молони [16]. Детальное исследование состава тяжелых цепей миозина в рабдомиосаркомах крыс, индуцированных соединениями никеля, позволило обнаружить, что в этих опухолях выявляется несколько вариантов сочетаний различных типов изоформ тяжелых цепей миозина, за исключением тяжелых цепей миозина неонатальных мышц [17]. В результате клинического исследования 21 рабдомиосаркомы человека в 81% случаев получена положительная реакция на присутствие эмбрионального миозина в клетках опухолей, а в 38% — на при-

сутствие тяжелых цепей миозина, характерных для скелетных мышц медленного типа [18].

В опубликованных работах прослеживается взаимосвязь между дифференцировочным статусом клеток рабдомиосарком, степенью сохранения структуры сократительного аппарата клеток, характерного для миофибрилл, и типом экспрессируемых субъединиц миозина. Попытки выявить соответствие между структурно-функциональным состоянием сократительных элементов клеток рабдомиосарком и типом экспрессируемых субъединиц миозина свидетельствуют о том, что в клетках злокачественных опухолей человека и животных скелетно-мышечного происхождения наблюдается блок дифференцировочной программы, что выражается в фенотипической дедифференцировке злокачественных клеток, дезорганизации или полной утрате типичного мышечного сократительного аппарата и экспрессии субъединиц миозина, характерных для ранних стадий развития организма [12, 14, 15, 17]. Таким образом, совокупность этих данных создает предпосылки для использования изоформ тяжелых цепей миозина эмбрионального типа в качестве специфического диагностического маркера для клинической идентификации рабдомиосарком человека.

В связи с проблемой поиска маркеров злокачественных опухолей особый интерес представляет исследование свойств миозина из низкодифференцированных злокачественных опухолей, поскольку точная идентификация подобных неоплазм крайне затруднена. Наши исследования миозина из низкодифференцированной злокачественной опухоли крыс саркома-45 показали, что содержание миозина в клетках опухоли составляет около 2,4% от общего количества белка и эта величина соответствует содержанию миозина в немышечных клетках [19]. Каталитические свойства миозина из саркомы-45 в основном типичны для дефинитивного скелетно-мышечного миозина [19, 20]. В его составе обнаружены тяжелые цепи с молекулярной массой 200 кДа и три типа легких цепей с молекулярными массами 25, 18 и 16,5 кДа [19]. Результаты исследования первичной структуры методом пептидного картирования и анализа антигенной специфичности тяжелых цепей миозина из саркомы-45, особенностей ферментативных свойств миозина, количественного и качественного состава легких цепей миозина по сравнению с эмбриональным и дефинитивным скелетно-мышечным миозином показывают, что миозин из саркомы-45 содержит смесь изоформ субъединиц, характерных для дефинитивного и эмбрионального скелетно-мышечных миозинов [21]. Таким образом, дискоординация экспрессии изоформ субъединиц миозина в недифференцированных клетках злокачественной опухоли крыс саркома-45 и появление изоформы миозина эмбрионального типа свидетельствуют о глубоком изменении молекулярных механизмов, контролирующих в нормальных клетках экспрессию генов субъединиц миозина.

Важнейшее значение имеет изучение состава субъединиц и биохимических свойств миозинов из клеток злокачественных опухолей немышечного происхождения. С этой точки зрения были проанализированы культивируемые клетки ХеЛа, гепатомы крыс, хориокарциномы человека, меланомы мышей, лейкемические клетки человека [22], злокачественные клетки глиомы крыс и нейробластомы мышей [23]. Миозины из этих клеток содержат субъединицы, сходные по молекулярной массе с легкими цепями миозина из гладких мышц, и обладают свойствами, которые в основном типичны для миозина: Mg ингибирует, а Ca активирует АТФазную активность; АТФ и Mg регулируют связывание миозина с фибриллярным актином. Изучение распределения миозина иммунохимическим методом в микрокарциномах и карциномах щитовидной железы выявило наличие миозина во всех клетках опухолей и отсутствие принципиальных различий в характере его распределения [24]. Дальнейшие исследования, направленные на выяснение характера взаимодействия миозинов из злокачественных клеток с актинами, показали, что фосфорилирование легких цепей миозина из клеток асцитного рака Эрлиха киназой легких цепей миозина значительно увеличивает степень активации актином Mg-АТФазы миозина по сравнению с миозином с полностью дефосфорилированными легкими цепями [25]. Другие авторы, исследуя роль фосфорилирования легких цепей миозина во взаимодействии миозина из лейкемических миелобластов [26] и миозина из клеток панкреатической карциномы [27] с фибриллярным актином, обнаружили ферментативную систему регуляции связывания актина и миозина путем фосфорилирования субъединиц миозина, как это имеет место в нормальных гладко-мышечных и

немышечных клетках. Взаимодействие актина и миозина из клеток саркома-45 с образованием функционально активного сократительного комплекса регулируется Са-кальмодулин-зависимым фосфорилированием легких цепей миозина киназой легких цепей миозина [28].

Согласно нашим данным, такой же механизм регуляции взаимодействия актина и миозина функционирует в злокачественных клетках немышечного происхождения карциносаркомы Уокера 256 и саркомы М-1 [29]. При этом было установлено, что состав тяжелых и легких цепей миозинов из клеток немышечных опухолей (карциносаркома Уокера 256, саркома М-1) и каталитические свойства миозинов соответствуют немышечному миозину нормальных клеток. Результаты работы дали основание высказать предположение о том, что в клетках злокачественных опухолей немышечного происхождения возможно сохранение стабильного функционирования молекулярных механизмов, контролирующих экспрессию изоформ субъединиц миозина.

Таким образом, имеющиеся к настоящему времени данные позволяют заключить, что исследованные злокачественные клетки немышечного происхождения содержат субъединицы миозина немышечного типа и обладают системой регуляции активности миозина и его взаимодействия с актином посредством ферментативного фосфорилирования субъединиц, как это имеет место в нормальных гладкомышечных и немышечных клетках [30]. В то же время экспрессия изоформ миозина в клетках опухолей различной степени злокачественности и метастатического потенциала исследована явно недостаточно. Несомненный теоретический и практический интерес этого направления исследований определяется тем обстоятельством, что изменение степени злокачественности и метастазирования связано с радикальными структурными перестройками компонентов цитоскелета, которые в значительной степени определяют структурно-функциональным состоянием белков сократительных систем клетки [2, 3, 4].

Экспрессия, физико-химические и функциональные свойства актина в клетках злокачественных опухолей

Утверждение представлений о том, что для злокачественных клеток характерно существенное нарушение структуры актиновых микрофиламентов, являющееся важным фактором экспрессии трансформированного фенотипа [31], привело к пониманию необходимости исследования молекулярных основ этого явления, т.е. к изучению структурно-функциональных свойств актина, присутствующего в злокачественных клетках.

Первые работы, проведенные в этом направлении, показали, что в немышечных злокачественных клетках наряду с обычными немышечными формами актина выявляется аномальная изоформа. Хамада и соавторы впервые сообщили об обнаружении мутантного β -актина в культивируемых клетках человека, трансформированных химическим канцерогеном [32].

Аналогичные результаты были получены при исследовании актина в фибробластах человека, трансформированных 4-нитрохинолин-1-оксидом [33]. Итогом этой работы явилось установление полной аминокислотной последовательности мутантного актина, которая оказалась идентична первичной структуре немышечного β -актина, за единственным исключением — в положении 244 глицин в нормальном актине заменен на аспарагиновую кислоту в мутантном актине. Селекция клеток с увеличенной туморогенностью и независимостью роста от субстрата вела к появлению еще одной мутантной изоформы β -актина. Интересно, что параллельно возрастанию туморогенности клеток наблюдалось увеличение количественного отношения — мутантные β -актины / нормальный β -актин в растворимой фракции фибробластов и уменьшение этого отношения в цитоскелетной фракции и в ядерном матриксе. По-видимому, в основе редуцированного свойства мутантного актина встраиваться в цитоскелет лежит дефект в способности к полимеризации *in vitro* и *in vivo* [34], что в конечном итоге проявляется в радикальном изменении структуры цитоскелета злокачественных клеток по сравнению с нормальными клетками.

Дальнейшее развитие исследований актина в злокачественных клетках привело к формированию представлений о том, что мутантный β -актин является

неотъемлемым фактором экспрессии трансформированного фенотипа [35]. Трансфекция гена мутантного актина в нормальные фибробласты человека приводила к появлению признаков трансформации — анеуплоидии, разрушения системы актиновых микрофиламентов, иммортализации и др. При этом оказалось, что подштаммы клеток с повышенной злокачественностью характеризуются более высоким уровнем экспрессии гена мутантного актина по сравнению с подштаммами с пониженной экспрессией мутантного актина. Несомненно, эти данные являются существенным вкладом в развитие представлений о роли мутантной изоформы актина и возникающих цитоархитектурных дефектах в стимуляции опухолеобразования.

Есть сведения об обнаружении мутантных изоформ актина и в ряде других злокачественных клеток. Так, показано, что мутантный актин присутствует в лейкоэмических Т-лимфоцитах человека [36], в клетках мышинной саркомы-180 [37] и лейкемии L5178И мышей, где он преимущественно ассоциирован с ядерным матриксом [38]. Экспрессия мутантного актина в клетках мышинной меланомы В-16 коррелирует с увеличением степени злокачественности клеток В-16 и с формированием стресс-фибрилл в клетках меланомы [39]. Было установлено, что мутантный актин клеток В-16 весьма близок по первичной структуре β -актину, за исключением положения 28, где аргинин β -актина заменен на лейцин в мутантном актине [40].

В результате проведенного нами исследования физико-химических и функциональных свойств актина из клеток низкодифференцированной злокачественной опухоли крыс саркома-45, установлено, что в этих клетках присутствуют β - и γ -изоформы немышечного актина, а также аномальная кислая изоформа актина [41]. Мутантная изоформа актина и немышечные изоформы актина присутствуют в растворимой и цитоскелетной фракциях, причем около 50% актина находится в глобулярной форме, а остальной актин представлен полимеризованной фибриллярной формой [41, 42]. Актин является одним из доминирующих белковых компонентов клеток саркомы-45: его содержание достигает 12% от общего белка [43]. Актин из саркомы-45 проявляет ряд характерных свойств: специфически и с высоким сродством связывается с панкреатической ДНКазой 1 и ингибирует ее активность; обратимо полимеризуется с образованием фибриллярного актина; в полимеризованном состоянии связывается с миозином и специфически активизирует его ферментативную активность [43]. Наряду с актином в состав цитоскелетной фракции саркомы-45 входят миозин, тубулин, группа актин-связывающих белков, среди которых выделяется модифицированная форма сывороточного альбумина [44]. Результаты наших исследований свидетельствуют о том, что актин из саркомы-45 по ряду свойств идентичен актину нормальных немышечных клеток. Вместе с тем выявлены и существенные отличия функциональных свойств актина из саркомы-45 от актина нормальных клеток. Главным образом это касается характера взаимодействия актина и миозина [42, 43]. Опухолевый актин участвует в формировании сократительных комплексов с миозинами из скелетных мышц и саркомы-45, функциональная активность которых значительно ниже, чем у актомиозиновых комплексов нормальных клеток. Эти различия обусловлены тем, что в клетках саркомы-45 образуются необычные по составу изоформ актина и субъединиц миозина актомиозиновые сократительные комплексы, содержащие смесь изоформ субъединиц миозина дефинитивного скелетно-мышечного и эмбрионального типов, немышечные изоформы актина и мутантный актин [45]. Исследования актина в других злокачественных опухолях показали, что актины из клеток карциносаркомы Уокера 256 и саркомы М-1, по данным изоэлектрофокусирования и иммуноблоттинга, содержат β - и γ -изоформы немышечного актина, способны полимеризоваться и активировать миозин [13]. При этом мутантные изоформы актина в клетках карциносаркомы Уокера 256 и саркомы М-1 не были обнаружены.

Учитывая то, что за последние годы после аварии на Чернобыльской АЭС в Республике Беларусь зарегистрирован значительный рост заболеваемости раком щитовидной железы, нами проведено исследование состояния актиновых микрофиламентов, содержания изоформ актина в послеоперационных гистологически классифицированных образцах аденом (12 случаев), папиллярных карцином (21 случай) и в нормальных тканях (26 случаев) щитовидной железы пациентов, проходивших лечение в Республиканском центре опухолей щитовид-

ной железы [46]. Результаты анализа актина показывают, что в папиллярной карциноме щитовидной железы общее содержание актина и отношение [β -актин]/[γ -актин] существенно повышены. Эти данные свидетельствуют о значительном изменении экспрессии генов актина в клетках папиллярного рака щитовидной железы. Равновесие между полимерной и мономерной формами актина в злокачественных опухолях сдвигается в сторону накопления фибриллярного актина, в то время как в нормальной ткани преобладает глобулярный актин, что позволяет сделать вывод о дезорганизации сети актиновых микрофиламентов в злокачественных клетках щитовидной железы. Наши исследования показывают, что состояние актина в клетках аденомы и состояние актина в нормальной щитовидной железе оказались очень близкими. В результате установлена корреляция между гистопатологическими и биохимическими аномалиями папиллярного рака щитовидной железы и показана диагностическая ценность анализа изоформ актина для получения полезной информации о гистопатологических особенностях папиллярного рака.

К настоящему времени установлено, что актин может изменяться в злокачественных клетках не только качественно, но и количественно. В фибробластах из остеосаркомы человека экспрессируются β - и γ -изоактины в соотношении 2:1, в то время как в этих же клетках, трансформированных N-метил-N-нитро-N-нитрозогуанидином синтезируется на 50% меньше β -изоформы ($\beta:\gamma = 1:1$), что связано с инактивацией одного из двух функционально активных генов β -актина в результате мутации в структурном или регуляторном генах [47]. В культивируемых фибробластах куриного эмбриона после трансформации вирусом саркомы Рауса снижается содержание α -актина, а содержание β - и γ -актинов не изменяется [48]. Сходные результаты [49] свидетельствуют о том, что в фибробластах мышей и крыс выявляются α -, β - и γ -изоформы актина, а в соответствующих злокачественных клетках экспрессируются только β - и γ -изоактины. Исследование структурного состояния цитоскелетного актина злокачественных опухолей крыс карциносаркома Уокера 256 и саркома-45 в процессе опухолевой прогрессии показывает, что при опухолевом росте происходит значительная реорганизация цитоскелета злокачественных клеток, изменяется внутриклеточное распределение компонентов цитоскелета, возрастает ассоциация актина с плазматическими мембранами неопластических клеток, увеличивается содержание полимерных форм актина в составе цитоскелета [50].

В злокачественных опухолях человека гладкомышечного происхождения – лейомиосаркомах – экспрессия α -изоформы гладкомышечного актина коррелирует со степенью цитодифференцировки [51] и является высокоинформативным маркером для диагностирования опухолей, образующихся из гладкомышечных клеток и клеток соединительной ткани, так как в последних эта изоформа актина не синтезируется [52]. Наряду с этим для некоторых типов лейомиосарком характерна утрата одного из маркеров нормальной дифференцировки гладких мышц – гладкомышечной γ -изоформы актина [53], что свидетельствует о блокировании нормальной дифференцировочной программы в этих клетках. Показана экспрессия гладкомышечного α -актина в участках десмопластической реакции в строме 11 раков молочной железы человека, в то время как в клетках стромы 7 желез без патологических процессов α -актин не выявлен [54].

В яичниках человека с эпителиальными злокачественными опухолями гладкомышечный α -актин экспрессируется в строме, а в яичниках со стромальной гиперплазией α -актин практически не обнаруживается [55]. Клетки альвеолярных сарком мягких тканей экспрессируют α -актин скелетных мышц и не содержат α -актин гладких мышц, эмбриональный миозин и медленный скелетно-мышечный миозин, что свидетельствует о рабдомиобластной дифференцировке [56]. Установлено, что в рабдомиосаркомах экспрессируется, помимо немышечных β - и γ -изоформ актина, значительное количество α -актина скелетно-мышечного типа, относительное содержание которого составляет в опухолях человека 20–30% от общего количества актина, а в опухолях крыс – 70–85%, что является отражением более высокой степени дифференцировки опухолей крыс [57]. Изучение экспрессии изоформ актина в клетках 14 рабдомиосарком детей показало, что α -изоформа скелетно-мышечного актина может быть полезной для диагностики рабдомиосарком глазницы [58], а также менингеальных

рабдомиосарком [59]. Вместе с тем в клетках рабдомиосарком гладкомышечные изоформы актина не экспрессируются [57, 58].

Таким образом, многочисленные данные, полученные за последние годы, убедительно свидетельствуют о возможности использования методов анализа экспрессии изоформ актина в качестве ценного диагностического маркера для клинической идентификации злокачественных опухолей различного гистогенеза.

Заключение

Анализ структурно-функциональных свойств основных компонентов сократительных систем злокачественных клеток (актина и миозина) убедительно свидетельствует о том, что характер экспрессии определенных изоформ сократительных белков является важным фактором поддержания злокачественного состояния.

Одним из наиболее общих проявлений злокачественного состояния является нарушение нормального протекания процесса дифференцировки клеток, зачастую выражающееся в их дедифференцировке, т.е. в приобретении некоторых элементов фенотипа, характерного для ранних этапов развития организма. В миогенных злокачественных опухолях дедифференцировка выражается в упрощении организации или в разрушении сократительного аппарата. В основе этого явления лежит изменение экспрессии изоформ сократительных белков: в рабдомиосаркомах появляются тяжелые цепи миозина эмбрионального типа, снижается содержание изоформы миозина дефинитивного скелетно-мышечного типа и α -изоформы скелетно-мышечного актина, а также увеличивается содержание немышечных изоформ актина; в лейомиосаркомах снижается относительное содержание γ -изоформы гладкомышечного актина.

Исследования, выполненные на клиническом материале, показывают значительную диагностическую ценность выявления тяжелых цепей миозина эмбрионального типа, α -актина скелетных мышц, гладкомышечных α - и γ -изоформ актина для идентификации рабдо- и лейомиосарком. Это весьма важно для клинического анализа недифференцированных сарком, особенно в тех случаях, когда отсутствуют надежные диагностические маркеры опухолевых клеток. Установлено, что в клетках низкодифференцированных злокачественных опухолей происходят глубокие изменения характера экспрессии изоформ актина и субъединиц миозина, приводящие к формированию необычного по белковому составу и свойствам актомиозинового сократительного комплекса. Стабильность экспрессии изоформ сократительных белков, сопровождающая реализацию дифференцировочных программ нормальных клеток, нарушается при злокачественном перерождении. По-видимому, дискоординация молекулярных механизмов, контролирующей экспрессию изоформ актина и субъединиц миозина, является следствием чрезвычайно высокой генетической нестабильности клеток злокачественных опухолей [60]. В этом отношении особый интерес представляет обнаружение в ряде злокачественных клеток мутантных изоформ актина, уровень экспрессии которых коррелирует со степенью злокачественности, способностью к метастазированию. Эти данные создают предпосылки для использования мутантного актина в качестве диагностического маркера.

В связи с этим представляется актуальным развитие исследований в направлении поиска в культивируемых клетках злокачественных опухолей человека, в биопсийном и клиническом материале не только мутантных форм актина, но и мутантных изоформ субъединиц миозина. Результаты исследования опухолей немышечного происхождения показывают, что в некоторых подобных злокачественных опухолях экспрессируются только немышечные изоформы сократительных белков, а количественные изменения их экспрессии могут иметь определенное диагностическое значение в клинической и экспериментальной онкологии.

Таким образом, подводя итог анализа структурно-функционального состояния белков сократительных систем злокачественных опухолей, можно заключить, что результаты исследований создают реальную основу практического использования белков сократительных систем в качестве высокоинформативных маркеров злокачественных опухолей человека, не только дополняющих дан-

ные иммунофлуоресцентного и ультраструктурного электронно-микроскопического анализов, но и имеющих самостоятельную диагностическую ценность.

1. Ходосова И. А. Ферменты опухолевых клеток. Л., 1988.
2. Rao K. M., Cohen H. J. // *Mutat-Res.* 1991. V. 256. № 2-6. P. 139.
3. Mori N., Asai J. // *Rinsho-Byori.* 1993. Suppl 94. P.175.
4. Jagla K., Safiejko-Mrocicka B., Domaniewski J. // *Postepy-Biochem.* 1991. V. 37. № 1. P. 34.
5. Emerson C. P., Bernstein S. I. // *Ann. Rev. Biochem.* 1987. V. 115. P. 43.
6. Иванов И. И., Юрьев В. А. Биохимия и патобиохимия мышц. Л., 1961. С. 143.
7. Противоопухолевая химиотерапия: (Справ.). М., 1986. С. 136.
8. Erlandson R. A. // *Ultrastruct. Pathol.* 1987. V.11. N2-3. P.83.
9. Whalen R. G. // *J. Exp. Biol.* 1985. V. 115. P. 43.
10. Hildebrand H. F., Kerchaert J. P., Biserte G. et al. // *Europ. J. Cell. Biol.* 1980. V. 20. P. 240.
11. Roy R., Sretar F., Sarbar S. // *Develop. Biol.* 1979. V.69. № 1. P. 15.
12. Матвеев Вл. Вл. // *Цитология.* 1986. Т. 28. № 2. С. 186.
13. Lastovskaya L. A., Dashkevich I. N., Senchuk V. V. // *Int. Symp. "Biological Motility"*. Puschino. Russia. 1994. P. 126.
14. Narusava M., Fitzsimons R. B., Izumo S. et al. // *J. Cell. Biol.* 1987. V. 104. № 3. P. 447.
15. Nanni R., Schiaffino S., De Nicoletti G. et al. // *Brit. J. Cancer.* 1986. V. 54. № 6. P. 1009.
16. Azarello G., Sartore S., Saggin L. et al. // *J. Cancer Res. Clin. Oncol.* 1987. V. 113. № 5. P. 417.
17. Schiaffino S., Gorza L., Sartore S. et al. // *Exp. Cell. Res.* 1986. V. 163. № 1. P. 211.
18. Caplan A. I., Fiszman M. Y., Eppenberger H. M. // *Science.* 1983. V. 221. P. 921.
19. Pikulev A. T., Senchuk V. V., Sholukh M. V., Taborsky O. / In *Abstracts of 14th IUB Congress. Prague.* 1988. V. 1. P. 134.
20. Сенчук В. В., Пикулев А. Т., Шолух М. В. // *Биохимия.* 1989. Т. 54. № 12. С. 1939.
21. Senchuk V. V., Pikulev A. T., Dashkevich I. N. / In *Abstracts of 20th FEBS Meeting.* Budapest. Hungary. 1990. P. 134.
22. Ostlund R. E., Pastan I. // *Biochim. et biophys. acta.* 1976. V. 453. № 1. P. 37.
23. Miller C., Kuehl W. M. // *Brain Res.* 1976. V. 108. N1. P. 115.
24. Demeure M. J., Hughes-Fulford M., Goretzki P. E. et al. // *Surgery.* 1990. V. 108. № 6. P. 986.
25. Kuznicki J., Filipek A. // *Int. J. Biochem.* 1988. V. 20. N. 11. P. 1203.
26. Sagara J., Nagata K., Ichikawa Y. // *Biochem. J.* 1983. V. 214. № 4. P. 839.
27. Watanabe T. K., Kuczmarsky E. R., Reddy J. K. // *Biochem. J.* 1987. V. 247. N. 3. P. 513.
28. Сенчук В. В., Пикулев А. Т., Шолух М. В. / Тез. докл. VI Всесоюз. симпозиума. Петрозаводск, 1988. С. 89.
29. Silvanovich S. F., Senchuk V. V. / *Int. Symp. "Biological Motility"*. Puschino. Russia. 1994. P. 137.
30. Kuznicki J., Barylko B. // *Int. J. Biochem.* 1988. V. 20. N. 6. P. 559.
31. Holme T. C. // *Eur. J. Surg. Oncol.* 1990. V. 16. № 2. P. 161.
32. Hamada H., Kakunaga T., Leavitt J. // *Proc. Nat. Acad. Sci. USA.* 1981. V. 78. P. 3634.
33. Leavitt J., Ng S.-Y., Verma M. et al. // *Mol. Cell Biol.* 1987. V. 7. № 7. P. 2467.
34. Kakunaga T., Leavitt J., Hamada H. // *Fed. Proc.* 1984. V. 43. P. 2275.
35. Kakunaga T., Leavitt J., Hirakawa T., Taniguchi S. // *Transformed Phenotype.* 1984. P. 67.
36. Leavitt J., Leavitt A., Attalah A. M. // *J. Biol. Chem.* 1980. V. 255. N11. P. 4984.
37. Bravo R., Fey S. V., Larsen P. M., Celis J. E. // *Cell.* 1981. V. 25. N1. P. 195.
38. Nakayasu H., Ueda K. // *Exp. Cell. Res.* 1986. V. 163. N2. P. 327.
39. Sadano H., Taniguchi S., Kakunaga T., Baba T. // *J. Biol. Chem.* 1988. V. 263. № 31. P. 15868.
40. Taniguchi S., Sadano H., Kakunaga T., Baba T. // *Jap. J. Cancer Res.* 1989. V. 80. N1. P. 31.
41. Сенчук В. В., Пикулев А. Т., Дашкевич И. Н. // *Метаболические нарушения и их коррекция в онкологии: Сб. докл. Всесоюз. конф. М., 1991. С. 22.*
42. Сенчук В. В., Пикулев А. Т., Дашкевич И. Н. // *Биохимия.* 1991. Т. 56. № 12. С. 2235.
43. Сенчук В. В., Дашкевич И. Н. // *Биофизика и биохимия биологической подвижности: Тез. докл. 9-го Всесоюз. симпозиума. Тбилиси, 1990. С. 127.*
44. Сенчук В. В., Дашкевич И. Н. // *Там же. С. 114.*
45. Senchuk V. V., Pikulev A. T. // *Int. Symp. "Biological Motility"*. Puschino. Russia, 1994. P. 53.
46. Senchuk V., Stozharov A., Demidchuk E. // *9th International Conference on Diagnostic Quantitative Pathology.* Heidelberg. German Cancer Research Center, 1995.
47. Goldstein D., Leavitt J. // *Cancer Res.* 1985. V. 45. N7. P. 3256.
48. Witt D. P., Brown D. J., Gordon J. A. // *J. Cell. Biol.* 1983. V. 96. N6. P. 1766.
49. Leavitt J., Gunning P., Kedes L., Sariwara R. // *Nature.* 1985. V. 316. N4. P. 840.
50. Сенчук В. В., Ластовская Л. А. // *Вестн. Белорус. ун-та. Сер. 2.* 1994. № 2. С. 25.

51. Eyden B.P., Hale R.J., Richmond I., Buckley C.H. // *Virchows Arch. Pathol. Anat. Histopathol.* 1992. V. 420. P. 51.
52. Schurch W., Skalli O., Lagace R. et al. // *Am.J.Pathol.* 1990. V. 136. № 4. P. 771.
53. Skalli O., Gabbiani G. // *Differentiation.* 1987. V.33. N3. P. 232.
54. Schurch W., Skalli O., Seemayer T.A., Gabbiani G. // *Am.J. Pathol.* 1990. V. 136. N4. P. 771.
55. Czernobilsky B., Shezen E., Fogel M. et al. // *Virchows Arch. B.* 1989. V.57. N1. P.55.
56. Jones H., Steart P., Du-Boulay C., Roche W. // *J.Pathol.* 1990. V. 162. № 1. P. 29.
57. Vandekerckhove J., Osborn M., Altmannsberger M., Weber K. // *Differentiation.* 1987. V.35. N2. P.126.
58. Cintonino M., Vindigni C., Del Vecchio M. et al. // *J.Subm. Cytol.Pathol.* 1989. V.21. N3. P.409.
59. Ferracini R., Poggi S., Frank G. et al. // *Neurosurgery.* 1992. V. 30. № 5. P. 782.
60. Лобко Г.Н., Порубова Г.М. Резистентность опухолей. Мн., 1989.

УДК 612.278

А.П. МАЛЫХИНА, Н.Н. ПЕТРАШЕВСКАЯ, Л.М. ЛОБАНОВ

МОДИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МИОЦИТОВ ПРАВОГО ПРЕДСЕРДИЯ ПРИ ГИПОКСИИ И РЕОКСИГЕНАЦИИ

Were studied the electrophysiology characteristics of right auricle rat myocytes during hypoxia and reoxygenation. Had been shown, that hypoxia considerably reduces the action potential duration and causes the modification of the relation between frequency of cardiac stimulation and the action potential duration. Reoxygenation restores the ability of myocard cells to react on the shortening of interstimulation interval.

Исследование электрофизиологических эффектов гипоксии необходимо для познания механизмов и природы аритмий, возникающих при ишемии сердца. Одним из основных методических подходов изучения клеточных механизмов ишемического повреждения миокарда является его моделирование путем перфузии изолированного сердца гипоксическими растворами [1]. К настоящему времени основные электрофизиологические проявления гипоксических повреждений клеток миокарда установлены на желудочковых кардиомиоцитах и клетках проводящей системы [2]. С учетом особенности ионных механизмов возникновения потенциалов действия в различных клетках сердца представляется необходимым изучить влияние гипоксии на электрогенез кардиомиоцитов предсердий.

Материал и методика

Опыты проведены на крысах-самках линии Вистар массой 180–200 г. Животных наркотизировали тиопенталом натрия (50 мг/кг массы тела) внутривенно. Выделяли сердце и отделяли правое предсердие, отсекая зону синусового узла. Выделенные фрагменты правого предсердия помещали в камеру с раствором Кребса — Хензелейта следующего состава: 120 мМ NaCl, 4,8 мМ KCl, 20 мМ NaHCO₃, 1,2 мМ KH₂PO₄, 1,25 мМ MgSO₄, 1,25 мМ CaCl₂ и 8,6 мМ C₆H₁₂O₆, который насыщали карбогеном при температуре 37 °С.

Регистрацию внутриклеточной активности осуществляли “плавающими” микроэлектродами с сопротивлением 20–40 МОм, которые заполняли 3-х молярным раствором KCl. Микроэлектроды изготавливались из заготовок со стекловолокном внутри на микроулице МЭ-4. Биоэлектрическую активность кардиомиоцитов регистрировали с помощью микроэлектродного усилителя “EXPERIMETRIA” (Венгрия) и осциллографа VM-42. Измеряли потенциал покоя (ПП, мВ), амплитуду потенциала действия (АПД) и длительность ПД (ДПД) на уровне 10, 25, 50, 75 и 90% реполяризации.

Стимуляцию препаратов проводили программируемым электростимулятором “EXPERIMETRIA” (Венгрия), частоту стимуляции повышали от 1 до 3 Гц, длительность стимуляции на каждой частоте составляла 100 мс. Измерение электрофизиологических параметров проводили на каждой частоте стимуляции для выявления зависимости частота–длительность, причем для выяснения данной зависимости в каждом из препаратов исследовалось 5 различных клеток. Параметры биоэлектрической активности при ступенчатом повышении частоты стимуляции (1, 2 и 3 Гц) регистрировали в контроле, при перфузии гипок-

сическим раствором и в период реоксигенации. Гипоксические условия создавались перфузией препарата изолированного правого предсердия неоксигенированным раствором. Продолжительность как гипоксической перфузии, так и реоксигенационного периода 20 мин. Результаты обработаны статистически и проверены на достоверность с использованием критерия Стьюдента.

Результаты и их обсуждение

Распределение потенциалов действия (ПД) по их временным характеристикам было довольно однородно, что свидетельствовало о хорошем состоянии миокардиальной клетки после введения микроэлектрода. ПД имели небольшую длительность ($ДПД_{90} = 78,5 \pm 3,8$ мс) из-за быстрого развития реполяризации и очень слабо выраженной фазы плато ($ДПД_{50} = 37,4 \pm 1,5$ мс). Причиной этого, очевидно, является установленное в экспериментах на изолированных кардиомиоцитах крыс наличие быстрого выходящего калиевого тока [3]. Известно, что фармакологическое его подавление приводит примерно к 20–50%-му удлинению потенциала действия и к возникновению выраженной фазы плато в потенциале действия одиночных желудочковых миоцитов крысы [4]. В предсердных клетках млекопитающих быстрый выходящий ток выражен гораздо сильнее, чем в желудочках, что в значительной мере обуславливает меньшую длительность их потенциала действия [5].

**Электрофизиологические параметры кардиомиоцитов
правого предсердия крыс в условиях гипоксии и реоксигенации ($\bar{x} \pm S_x$)**

Опытные группы	Потенциал покоя, мВ	АПД, мВ	ДПД ₁₀ , мс	ДПД ₂₅ , мс	ДПД ₅₀ , мс	ДПД ₇₅ , мс	ДПД ₉₀ , мс
Контроль (n=10)	80,9±1,2	94,8±0,7	13,6±1,2	25,0±1,3	37,4±1,5	57,4±3,1	78,5±3,8
Гипоксия (n=7)	74,4±1,5*	89,4±1,9*	6,3±0,6*	10,8±1,2*	16,3±1,7*	22,3±1,8*	30,4±2,4*
Реоксигенация (n=7)	77,5±2,1	84,8±0,6	6,3±0,8*	18,0±1,2*	25,8±0,8	44,3±0,5	63,8±0,5*

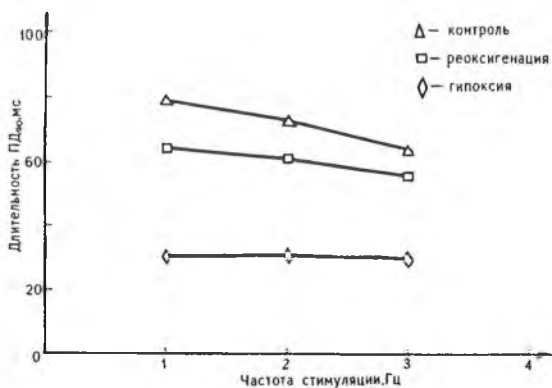
Примечание: * – отличия достоверны только по отношению к контролю.

Наиболее значительным электрофизиологическим феноменом, развивающимся в предсердных кардиомиоцитах после 20 мин гипоксической перфузии, является уменьшение длительности ПД, которое происходит за счет укорочения не только медленной поздней фазы ($ДПД_{90}$), но и длительности ПД на уровнях 10, 25, 50 и 75% реполяризации (таблица). Известно, что острая ишемия вызывает аналогичный эффект. Более того, при ишемии *in vivo* требуется значительно меньше времени (порядка нескольких минут), чтобы зарегистрировать уменьшение длительности ПД [6]. В основе укорочения ПД, по-видимому, лежит повышение цитоплазматической концентрации свободного кальция, что стимулирует Ca^{2+} -зависимую калиевую проводимость [7]. Кроме того, увеличение калиевой проводимости при гипоксии может быть обусловлено и другой популяцией калиевых каналов, активация которых регулируется цитоплазматическим АТФ [8]. Следует отметить, что этот процесс происходит при истощении внутриклеточного пула АТФ [9].

Как видно из таблицы, 20-минутная гипоксическая перфузия не приводила к значительным изменениям уровня потенциала покоя и амплитуды потенциала действия. Это вполне согласуется с имеющимися в литературе данными. Известно, что 30-минутная гипоксия, вызываемая заменой кислорода в газовой смеси на азот, приводит к укорочению ПД (на 10 мс) в папиллярной мышце без изменения потенциала покоя и максимальной скорости деполяризации [10]. В наших экспериментах в условиях гипоксии происходило гораздо более выраженное укорочение ПД. Вероятно, это обусловлено значительным увеличением калиевой проводимости под влиянием цитоплазматического кальция в клетках предсердий по сравнению с желудочковыми кардиомиоцитами. Реоксигенация препаратов приводила к частичному восстановлению параметров биоэлектрической активности.

Повышение частоты стимуляции от 1 до 3 Гц вызывало уменьшение длительности потенциала действия, причем достоверное изменение длительности ПД наступало только при 3 Гц ($P < 0,05$). Данный феномен по-разному выражен в функционально различных клетках миокарда и, очевидно, обусловлен факто-

рами, важнейшими из которых являются повышение $[Ca^{2+}]_i$, вызывающее увеличение калиевого тока в покое, а также неполное восстановление (реактивация) медленных каналов, приводящее к угнетению медленно входящего кальциевого тока [11]. В кардиомиоцитах, подвергнутых гипоксической перфузии, данной зависимости не обнаружено (рисунок). Гипоксические кардиомиоциты, вероятно, имеют постоянный высокий уровень цитоплазматического Ca^{2+} , который, очевидно, утрачивает способность к циклическим изменениям вследствие низкой активности своих переносчиков в саркоплазматическом ретикулуме, а также в результате снижения активности Na-Ca-механизма [2]. Реоксигенация



Изменение деятельности ПД₉₀ при нарастающей частоте стимуляции от 1 до 3 Гц в условиях гипоксии и реоксигенации

восстанавливает способность клеток реагировать на укорочение межстимуляционного интервала. Это подтверждает тот факт, что моделирование ишемического поражения миокарда выбранным нами способом не приводит к нарушению селективной проницаемости сарколеммы и кардиомиоциты способны нейтрализовать усиление поступления Ca^{2+} , которое, как известно, значительно активизируется именно в период реоксигенации.

В заключение отметим, что кардиомиоциты правого предсердия крыс в условиях отсутствия кислорода без других сопутствующих ишемии факторов (ацидоз, повышение концентрации K^+) изменяют свои электрофизиологические характеристики, что может быть использовано для оценки клеточных механизмов повреждения миокарда и разработки методов его защиты.

1. McDonought K.H., Spitzer J.J. // Proc. Soc. Exp. Biol. and Med. 1983. V.173. №4. P.519.
2. Mocena H., Janase M., Fiolet J. // Circ. Res. 1980. V.46. №3. P.634.
3. Zhenthai Y., Caverro I., Gross G.J. // Amer. J. Physiology. 1993. V.264. №2. Part 2. P.H495.
4. Josephson F., Jancer-Chapula Y. // Biophys. J. 1987. V.37. №6. P.238.
5. Toijama J., Furuta T., Anno T. // J. Mol. and Cell. Cardiol. 1983. V.5. Suppl. 2. P.123.
6. Allen D.G., Orchard C.H. // Circ. Res. 1987. V.60. №2. P.153.
7. Deutsch H., Klitzner T.S., Lamp S.T., Weiss J.N. // Amer. J. Physiol. 1991. V.261. Part 2. P. H671.
8. Cole W.S., McPherson C.D., Sontag D. // Circ. Res. 1991. V.69. №3. P.571.
9. Bennoloef K., Friedrich M., Hirche H. // Aplug. Arch. 1991. V.419. №1. P.108.
10. Burtsev S.P., Ivanov A.I., Ivanova T.I., Koloskov Iu.V. // Patol. Fisiol. Eksp. Ter. 1991. V.1. P.13.
11. Stern M.D., Silverman H.S., Houser S.R. et al. // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 1983. V.85. P.6954.

УДК 581.9(471.1)

М.А. ДЖУС

ФЛОРИСТИЧЕСКИЕ НАХОДКИ В МИНСКОЙ ОБЛАСТИ

A new floristic finds of the rare, aboriginal and adventiv plant species in Minsk region are being described. Short data on biotopes, the state of the populations are given.

В ходе изучения флористических комплексов Минской области нами был собран ряд редких для республики аборигенных и заносных видов сосудистых растений.

Saxifraga granulata L.

Очень редкий атлантическо-европейский реликтовый вид, находящийся в Беларуси в отдельных локалитетах за юго-восточной границей ареала, встречающийся в небольшом количестве на ограниченных территориях в основном в центральной части республики [1—3]. Декоративное растение. Обнаружен в Столбцовском районе в окрестностях д. Каролина (2—2,5 км к СВ) на правобережье р. Неман, на злаково-разнотравном лугу с разреженным древостоем из дуба и березы, в центральной части поймы реки (10.06.95, плод.).

Botrychium matricariifolium A.Br. ex Koch

Редкий европейско-североамериканский бореально-лесной вид, находящийся на территории республики в изолированных локалитетах за юго-восточной границей ареала [4]. В Беларуси встречается очень редко, известен только из 3 пунктов, находящихся в Докшицком, Чашникском, Петриковском районах [2]. Новое местопроизрастание вида обнаружено на границе Минской и Могилевской областей в Пуховичском районе в окрестностях д. Великое Поле (1 км к ЮЗ) на правом берегу р. Свислочь в ельнике дубняково-кленово-кисличном, обнаружено 3 спороносящих экземпляра на площади 10 м (11.06.94).

Senecio fluviatile Wallr.

Евразийский долинно-речной реликтовый вид, находящийся в Беларуси в отдельных локалитетах и островных местообитаниях на северо-восточной границе ареала. Декоративное и медоносное растение. Отмечен в Воложинском, Дятловском, Каменецком, Логойском, Столбцовском, Чериковском, Борисовском районах [2]. Обнаружен в Пуховичском районе Минской области в окрестностях д. Теребуты (в 500 м к СВВ) на правобережье р. Свислочь в зарослях кустарников у воды (07.08.94, цв., группа из 5 растений на площади 15 м).

Spergula morisonii Boreau

Псаммофильный вид, встречающийся в республике на восточном пределе распространения [1, 3] и известный в Беларуси преимущественно в юго-западной части. В центральной части республики встречается изредка, произрастание в северной части (Витебская область) требует подтверждения. Обнаружен в Столбцовском районе в окрестностях д. Новый Свержень (в 1 км к СВ) в прирусловой части поймы р. Неман на песчаной высокой гриве (10.06.95, плод., цв.).

Orobanche coerulescens Steph.

В окрестностях ж.-д. станции Столбцы (в 1,5 км к ЮЗ) на остепненной луговине по склону ж.-д. насыпи обнаружен вид из рода *Orobanche*, предварительно отнесенный нами к *O. coerulescens* Steph. Обнаружено 2 цветущих растения, паразитирующих на корнях *Artemisia campestris*. Сопутствующие виды: *Artemisia austriaca*, *Arenaria serpyllifolia* L., *Echium vulgare* L., *Sedum acre* L., *Veronica arvensis* L., *Convolvulus arvensis* L., *Erodium cicutarium* (L.) L'Her., *Trifolium arvense* L., *T. repens* L., *Potentilla argentea* L., *Astragalus arenarius* L., *Carex praecox* Schreb., *Allyssum calycinum* L., *Viola arvensis* Murr., *Equisetum arvense* L., *Melandrium album* (Mill.) Garcke, *Oberna behen* (L.) Ikonn., *Medicago lupulina* L., *Lactuca serriola* L.

Orobanche coerulescens впервые был обнаружен в 1988 г. в окрестностях ж.-д. станции М. Лётцы в Витебском районе [5]. Без сомнения, заносный вид.

Lilium martagon L.

Довольно редкий, евросибирский реликтовый вид, находящийся в республике на северной границе ареала. Встречается по всей территории Беларуси кроме северных районов. Декоративное, медоносное и техническое растение

[1—3]. Еще одно местообитание вида обнаружено в окрестностях ж.-д. станции Станьково (700 м к З) вблизи ж.-д. полотна в ельнике лещиново-киспичном (30.05.95. вег.).

Trifolium litwinowii Iljin.

Редкий евразиатский реликтовый вид, находящийся в Беларуси в отдельном эксклаве на северной и вблизи западной границы ареала [1—4]. Встречается изредка, преимущественно в центральной части республики. Найден нами в окрестностях ж.-д. станции Станьково Столбцовского района (в 300 м к З), где встречается небольшими группами на опушке сосняка березово-орлякового (30.05.95. цв.).

Aegilops cylindrica Host.

Редкий заносный вид, известный из Гродненской и Минской областей [6]. Найден в Минске на ж.-д. путях между ж.-д. станциями Больница и Курасовщина (29.06.94, плод., единично) и в окрестностях ж.-д. станции Институт культуры также на ж.-д. полотне (22.06.95, плод., группа из 15 растений на площади 20 м).

Reseda lutea L.

Довольно редкий заносный вид, встречающийся по сухим склонам, железно-дорожным и шоссейным насыпям по всей территории республики. Обнаружен в Минске в окрестностях ж.-д. станции Роца (08.07.95, собр. И.А. Бойко, единично, цв., опр. М.А. Джус) близ ж.-д. полотна и в окрестностях ж.-д. станции Минск-Восточный также среди ж.-д. путей (30.06.95, единично, цв.).

Chorispora tenella (Pall.) DC

Очень редкий заносный вид, встречающийся на обочинах дорог, на ж.-д. полотне, вблизи ж.-д. станций и известный в республике из Гомельской, Гродненской и Минской (Минск) областей. Найден в Минске в окрестностях ж.-д. станции Тракторный (в 1 км к ЮЗ) на ж.-д. полотне (17.05.95, собр. М.А. Джус, два цветущих растения, опр. А.Н. Скуратович).

Lepidium campestre (L.) R. Br.

Редкий заносный вид, встречающийся на склонах железнодорожных и шоссейных насыпей преимущественно в южной части республики. Обнаружен в окрестностях ж.-д. станции Колодищи (в 1 км к ЮЮЗ) среди ж.-д. путей (27.05.95, часто на площади 30 м, цв., плод.).

Consolida orientalis (J.Gay) Schrodinger

Очень редкий заносный вид. Обнаружен в окрестностях ж.-д. станции Минск-Восточный под мостом через ж.-д. пути (30.05.95, собр. М.А. Джус, 2 цветущих растения совместно с *Consolida regalis*, опр. Д.И. Третьяков).

Gypsophila paniculata L.

В дикорастущем состоянии вид встречается в южных районах Беларуси и редко как заносный или дичающий (разводится как декоративное растение) в Минской и Витебской областях. Найден в окрестностях ж.-д. станции Минск-Восточный (12.06.95, единично, цв.).

Geranium molle L.

Очень редкий вид, встречающийся по сухим луговинам и достоверно известный из Брестской и Минской (Мядельский район) областей. Найден в окрестностях ж.-д. станции Степянка (в 1,3 км к СВ) у пересечения ж.-д. путей с Минской кольцевой дорогой (27.05.95, собр. А.А. Романюк, М.А. Джус, около

15 цветущих растений на площади 10 м, опр. М.А. Джус).

Sedum sexangulare L.

Редкий вид, в республике отмечен за восточным пределом ареала в островных местообитаниях. Произрастает на песках по обочинам дорог в Гомельской, Минской и Брестской областях [1, 3]. Найден в окрестностях ж.-д. станции Озерище (в 1,5 км к СВВ) на склонах у ж.-д. полотна (17.05.95, часто на площади 200 м).

Vaccaria hispanica (Mill.) Rauschert

Редкий заносный вид, встречающийся преимущественно в южных районах республики. Единичные экземпляры найдены в окрестностях ж.-д. станции Минск-Восточный (12.06.95, цв.) и в окрестности ж.-д. станции Институт культуры (22.06.95, цв.) среди ж.-д. путей.

Turgenia latifolia (L.) Hoff.

Редкий заносный вид, произрастающий на ж.-д. полотне или вблизи. Найден в окрестностях ж.-д. станции Минск-Восточный (12.06.95, одиночное растение, цв.).

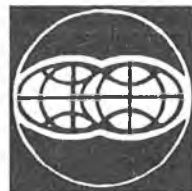
Anthriscus caucalis Bieb.

Очень редкий заносный вид, известный в республике из Витебской области, встречающийся на ж.-д. насыпях, обочинах дорог. Найден в Минске в окрестностях ж.-д. станции Тракторный (в 1 км к ЮЗ) на ж.-д. полотне у пересечения с улицей Долгобродской (около 20 растений на площади 10 м, 17.05.95, цв.).

Из других интересных заносных растений в Минске обнаружены *Ononis arvensis L.*, *Coronilla varia L.*, *Impatiens parviflora DC.*, *Potentilla supina L.*, *Euphorbia lucida Waldst. et Kit.*, *Plantago scabra Moench.* и др.

Гербарный материал, подтверждающий эти находки, хранится в гербариях Института экспериментальной ботаники им. В.Ф. Купревича АН РБ (MSK) и БГУ.

1. Козловская Н.В., Парфенов В.И. Хорология флоры Белоруссии. Мн., 1972.
2. Чырвоная Кніга Рэспублікі Беларусь: Рэдкія і тыя, што знаходзяцца пад пагрозай знікнення віды жывёл і раслін. Мн., 1993.
3. Парфенов В.И. Флора Белорусского Полесья: Современное состояние и тенденции развития. Мн., 1983.
4. Парфенов В.И., Лякавичус А.А. и др. Редкие и исчезающие виды растений Белоруссии и Литвы. Мн., 1987.
5. Сяборова С.Ф., Скуратович А.Н., Мерзвинский Л.М., Шимко И.И. // Ботаника: Сб. Мн. 1992. Вып. XXXI.
6. Третьяков Д.И. // Бот. журн. 1990. Т. 75. № 2.
7. Флора БССР. Мн., 1959. Т. 5.



УДК 631.878

Р.А. ЖМОЙДЯК, Л.Ф. ВАШКЕВИЧ, А.В. ГОРЕБЛЮК

МИКРОЭЛЕМЕНТНЫЙ РЕЖИМ ПОЧВ ЛЕГКОГО МЕХАНИЧЕСКОГО СОСТАВА, ОКУЛЬТУРЕННЫХ ВЫСОКИМИ ДОЗАМИ САПРОПЕЛЕВЫХ УДОБРЕНИЙ

The results of research for annual and seasonal dynamics in mobile forms of manganese, cobalt and molybdenum in the course of on the farm tests of soddy podzolic and soddy gley light texture soils cultivated with heavy doses of sapropel fertilizers have been expounded.

В работе изложены результаты исследований годичной и сезонной динамики подвижных форм марганца, кобальта и молибдена в производственных опытах на почвах легкого механического состава, окультуренных высокими дозами сапропелевых удобрений (СУ) с целью определения степени их влияния на содержание микроэлементов в этих почвах. Исследования проводились в колхозе им. Ленина Житковичского района Гомельской области [1].

Одноразовое внесение высоких доз СУ в условиях многолетнего производственного опыта ставило задачу выявить такую дозу СУ, которая способствовала бы окультуриванию или оптимизации гумусного состояния, а также значительному улучшению гранулометрического состава, водно-физических, агрохимических свойств и микроэlementного режима бросовых земель. За оптимальные параметры принимали показатели хорошей обеспеченности почв макро- и микроэлементами согласно существующим в агрохимии традициям для исследуемых почв Беларуси [2,3].

Опытный участок расположен на повышении в 1,5 км от оз. Червоное. В 70-е гг. на этой территории были проведены осушительные работы, которые оказали значительное влияние на уровень грунтовых вод и плодородие почв. В результате проведения культуртехнических мероприятий был нарушен верхний гумусированный горизонт, в частности, на участке с дерново-подзолистыми почвами. Это способствовало усилению ветровой эрозии, в результате чего в отдельных местах на территории в несколько десятков гектаров был полностью разрушен верхний гумусированный горизонт. Из-за низкого плодородия эти почвы не вовлекались в севооборот и считались бросовыми.

Сапропелевые удобрения вносили на два участка, исключенные из сельскохозяйственного оборота, с дерново-подзолистой и дерново-глеевой почвами, где подстилающими породами в обоих случаях были мощные мелкозернистые пески. На первом участке уровень грунтовых вод за вегетационный период колебался от 1,5 до 2,2 м, на втором – от 0,5 до 1,5 м. На первом участке закладывали 5 вариантов опыта (100, 200, 300, 400 и 800 т/га СУ в расчете на сухое вещество), на втором – 4 (100, 200, 300 и 400 т/га СУ). Размер делянки 0,35 га. Перед закладкой опытов проводились агротехнические мероприятия (дискование, вспашка на глубину 22–26 см и др.). СУ вносили обычными навесоразбрасывателями типа РПТУ-2 и равномерно заделывали в почву. Влажность СУ составляла 45–50%. Одновременно с внесением минеральных удобрений $N_{60}P_{90}K_{90}$ на первом участке проводили и известкование из расчета 3 т извести на 1 га.

В опытах были использованы сапропели из оз. Червоное, относящиеся к органо-минеральным кремнеземистым, которые характеризуются наличием целого ряда компонентов, определяющих их положительный эффект при использо-

вании в качестве удобрения: содержание органического вещества 40–50% в расчете на сухое вещество; азота – 2,4; P_2O_5 – 0,5; K_2O – 0,5; CaO – 2,5; pH в KCl – 5,4–5,6; подвижных форм P_2O_5 – 30–40; K_2O – 15–20 мг/100г; аммиачного азота – 1% от общего; гуминовых кислот – 14,5%. Присутствуют и другие биологически активные вещества. Выявлено невысокое содержание валовых форм микроэлементов: кобальта (1,3–5,6 мг/кг), марганца (37–1420), молибдена (1,6–7,2 мг/кг), меди, ванадия, хрома, никеля и др. [4,5]. Основными факторами, обуславливающими накопление микроэлементов в органических отложениях водоемов, являются наличие в составе сапротелеобразователей многочисленных животных и растительных организмов – концентраторов отдельных элементов, а также способность коллоидной фракции органического вещества адсорбировать элементы, приносимые в водоем питающими озером водами.

Изучение влияния СУ на изменение свойств оптимизированных песчаных почв проводили путем закладки стационарных разрезов по каждому варианту опыта с отбором образцов из генетических горизонтов. Содержание подвижных форм микроэлементов определялось также и в смешанных почвенных образцах, отобранных в вегетационный период из верхних горизонтов в апреле, июне и сентябре (с 20 по 25) на протяжении трех лет. За весь период исследований микроудобрения в почвы не вносились.

Полученные результаты опытов свидетельствуют об эффективном действии высоких доз сапротелей на урожай сельскохозяйственных культур на дерново-подзолистой и дерново-глеевой песчаных почвах. Внесение СУ повысило урожай горохово-овсяной смеси и гречихи (первый год исследований), картофеля и кукурузы (второй год исследований) в 1,5–2,5 раза. На третий год прибавка зеленой массы ячменя была в 1,4–1,7 раза выше по сравнению с контролем, несмотря на засушливый вегетационный период. Этот комплексный мелиоративный прием, оказывающий положительное воздействие на пищевой и водный режим почв, позволяет создать высокопродуктивный пахотный слой с улучшенными свойствами [1].

Произошли значительные изменения морфологического строения почв. Увеличилась мощность гумусового горизонта и изменилась его окраска: из серовато-желтоватого или светло-серого она стала темно-серого и черного цвета в свежем состоянии. Под пахотным горизонтом начали образовываться гумусированные потеки. Улучшилась структура и плотность пахотного горизонта. Внесение СУ способствовало повышению баллов бонитета почв, а также положительному изменению их агрохимических свойств: снижению кислотности, увеличению суммы обменных оснований, степени насыщенности основаниями, подвижных форм фосфора и калия, содержания гумуса, углерода, азота. Высокие дозы СУ существенно улучшили водообеспеченность песчаной почвы: в течение всего вегетационного периода содержание влаги в почве было в 1,5 раза больше, чем в контроле.

Однако разработка системы повышения плодородия почв и применения минеральных удобрений для получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур должна быть связана со сбалансированным обеспечением растений не только основными элементами питания – NPK, которые применяются широко и в значительных дозах, но и микроэлементами. Уровень почвенного плодородия окультуренных почв не является стабильным. Он меняется в зависимости от степени трансформации почвы, интенсивности применения удобрений, возделываемых культур, повышения культуры земледелия. Поэтому возникает необходимость выявления изменений свойств почв, которые происходят в процессе землепользования.

Количество подвижных форм микроэлементов в почвах определяли общепринятым методом Г. Я. Ринькиса с фотоколориметрическим окончанием [6]. Воспроизводимость определения подвижных форм микроэлементов в почвах была относительно высокой для марганца и кобальта и составляла 1–8%, но уменьшалась при определении молибдена до 10–16%. Для покрытия потребностей растений в молибдене содержание его в почве, по имеющимся в литературе данным, не должно быть ниже 0,05 мг/кг, кобальта – 0,3 и марганца – 15 мг/кг [7].

Согласно нашим исследованиям [8], среднее содержание подвижного молибдена в верхних горизонтах дерново-подзолистых песчаных почв Беларуси составляет 0,06 мг/кг ($n = 56$), в дерново-болотных почвах 0,10 ($n = 47$), кобаль-

та соответственно 0,33 (n = 200) и 0,39 (n = 56), а марганца – 33,0 (n = 248) и 21,2 мг/кг (n = 56).

Использованные в опытах сапропели из оз. Червоное содержали 0,20 мг/кг подвижной формы молибдена, 0,48 мг/кг кобальта и 43,0 мг/кг марганца.

Дерново-подзолистая песчаная почва, развивающаяся на связных песках, переходящих на глубине 20 см в мощные мелкозернистые рыхлые пески, окультуренная сапропелевыми удобрениями, содержала (с учетом колебаний по сезонам и годам) 0,13–0,17 мг/кг подвижной формы молибдена, 0,19–0,22 мг/кг кобальта и 18–27 мг/кг марганца при среднем их содержании соответственно 0,15, 0,21, 22,6 мг/кг.

Выявленное содержание микроэлементов показывает низкую обеспеченность этих почв молибденом и кобальтом и среднюю — марганцем, согласно градации П.И. Ансποка [9].

Таблица 1

Изменение содержания подвижных форм микроэлементов в почвах опытных участков, мг/кг

Вариант	1-й год			2-й год			3-й год			Среднее за 3 года		
	Mo	Co	Mn	Mo	Co	Mn	Mo	Co	Mn	Mo	Co	Mn
Дерново-подзолистая песчаная почва												
Фон ^{*)}	0,17	0,19	18,2	0,15	0,22	22,7	0,13	0,22	26,8	0,15±0,01	0,21±0,01	22,6±2,5
Фон+100 ^{*)}	0,20	0,22	15,8	0,19	0,30	17,9	0,12	0,28	20,0	0,17±0,01	0,27±0,02	17,9±1,2
Фон+200	0,20	0,22	20,7	0,17	0,31	26,3	0,15	0,26	31,3	0,17±0,01	0,26±0,01	26,1±3,1
Фон+300	0,22	0,46	22,2	0,21	0,40	26,6	0,17	0,36	33,4	0,20±0,01	0,41±0,01	27,4±3,3
Фон+400	0,21	0,47	17,8	0,22	0,38	19,8	0,16	0,52	20,0	0,20±0,02	0,46±0,01	19,2±0,7
Фон+800	0,23	0,64	42,3	0,24	0,80	47,3	0,20	0,79	50,8	0,22±0,01	0,74±0,01	46,8±2,5
Дерново-глеявая песчаная почва												
Фон ^{***)}	0,17	0,44	11,6	0,17	0,48	9,8	0,16	0,50	14,9	0,17±0,01	0,47±0,01	12,1±1,5
Фон+100	0,16	0,43	15,8	0,18	0,49	16,3	0,18	0,49	20,3	0,17±0,01	0,47±0,01	17,4±1,5
Фон+200	0,20	0,56	11,4	0,18	0,67	16,8	0,18	0,41	20,7	0,19±0,01	0,55±0,01	16,3±2,7
Фон+300	0,21	0,54	18,6	0,23	0,64	16,8	0,20	0,56	15,8	0,21±0,01	0,58±0,01	17,1±0,7
Фон+400	0,23	0,64	18,2	0,22	0,65	21,4	0,23	0,63	21,8	0,23±0,02	0,64±0,01	20,5±1,2

Примечание: *) $N_{60}P_{90}K_{90} + 3$ т/га извести; **) здесь и в табл. 2 количество вносимых СУ выражается в т/га; ***) $N_{60}P_{90}K_{90}$

На втором участке, где закладывались опыты на осушенных дерново-глеявых песчаных почвах, развивающихся на связных песках, переходящих на глубине 35 см в мощные мелкозернистые рыхлые пески, содержание микроэлементов было также невысоким и составляло в среднем: молибдена 0,17 мг/кг, кобальта 0,47 и марганца 12,1 мг/кг.

Трехлетний период наблюдений за окультуренной дерново-подзолистой почвой выявил незначительное увеличение кобальта (среднее по всем вариантам) с 0,36 до 0,41 мг/кг, марганца с 22,8 до 30,4 мг/кг и уменьшение молибдена с 0,21 до 0,16 мг/кг. В опыте с дерново-глеявыми почвами отмечается увеличение марганца с 15,1 до 18,7 мг/кг, почти одинаковое содержание по всем годам молибдена (0,19 мг/кг) и слабое (с 0,52 до 0,59 мг/кг) увеличение кобальта на второй год исследований.

С увеличением дозы сапропелевых удобрений по всем вариантам в обоих опытах содержание исследуемых микроэлементов в основном возрастало. Эта зависимость сохраняется на протяжении всех лет наблюдений. Максимальное содержание исследуемых элементов в оптимизированных почвах отмечается в вариантах с наибольшим внесением СУ (табл. 1).

Однако незначительное улучшение микроэлементного состава окультуренных почв наряду с другими факторами является недостаточным для получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур с полноценным качественным их составом. Анализ полученного материала свидетельствует о недостатке микроэлементов в оптимизированных почвах и о необходимости систематического их внесения в виде удобрений. Предполагаемая эффективность почв

Таблица 2

Изменение содержания подвижных форм микроэлементов (среднее за 3 года) в производственных опытах по окультуриванию легких почв СУ, мг/кг

Вариант	Молибден			Кобальт			Марганец		
	Апрель	Июнь	Сентябрь	Апрель	Июнь	Сентябрь	Апрель	Июнь	Сентябрь
Дерново-подзолистая песчаная почва									
Фон	0,13±0,01	0,15±0,03	0,17±0,03	0,22±0,01	0,19±0,01	0,22±0,01	22,8±1,40	21,3±3,31	25,2±2,48
Фон +100	0,19±0,03	0,17±0,04	0,34±0,04	0,34±0,03*	0,22±0,03	0,24±0,01*	17,6±1,08	16,5±2,38	20,3±0,43
Фон +200	0,16±0,02	0,19±0,03	0,17±0,02	0,28±0,04	0,24±0,02*	0,27±0,02	24,4±0,64	26,4±4,94	28,8±3,79
Фон +300	0,21±0,02*	0,20±0,01	0,18±0,02	0,51±0,16	0,41±0,06*	0,32±0,02*	26,0±0,57*	23,1±1,51	30,9±4,64*
Фон +400	0,20±0,02*	0,20±0,02	0,18±0,02	0,57±0,13*	0,39±0,06*	0,44±0,05*	19,9±3,25	18,0±3,05	20,4±1,30
Фон +800	0,22±0,02*	0,23±0,03	0,23±0,02	0,81±0,10*	0,74±0,08*	0,65±0,14*	47,3±0,07*	45,4±3,10	49,3±2,89*
Дерново-глиевая песчаная почва									
Фон	0,16±0,02	0,18±0,01	0,16±0,01	0,45±0,01	0,45±0,02	0,51±0,02	13,8±0,79	9,3±1,44	13,9±2,26
Фон +100	0,18±0,02	0,18±0,02	0,15±0,01	0,47±0,01	0,45±0,05	0,48±0,01	18,3±2,70	13,2±2,73	21,8±4,12
Фон +200	0,18±0,01	0,22±0,01*	0,17±0,01	0,49±0,01	0,57±0,06	0,56±0,06	22,7±0,80*	13,1±3,38	16,8±2,54
Фон +300	0,23±0,02*	0,23±0,04	0,19±0,03	0,56±0,01*	0,59±0,03*	0,58±0,04	16,3±2,02	16,3±0,29*	17,8±2,24
Фон +400	0,21±0,02*	0,25±0,02*	0,22±0,01*	0,64±0,01*	0,62±0,01*	0,66±0,02*	26,9±4,11*	14,7±3,10	22,8±2,25*

Примечание: приведены среднее арифметическое значение, ошибка средней арифметической.

* Достоверные различия между фоном и вариантом опыта обозначены звездочкой.

будет высокой, если содержание молибдена поддерживать на уровне не ниже 0,3–0,5 мг/кг, кобальта – 3–6 и марганца 100–1500 мг/кг почвы [7,9].

За три года наблюдений амплитуда колебаний содержания микроэлементов между вариантами окультуренных почв и фоном в опыте с дерново-подзолистой песчаной почвой составляла для молибдена 1,4 раза, кобальта – 3,5 и марганца – 2,1 раза, кобальта – 2,5 и марганца – 2,1 раза. В опыте с дерново-глеевой песчаной почвой эта разница значительно меньше и составила для всех элементов 1,3–1,7 раза (см. табл. 1).

Выявлены сезонные изменения содержания микроэлементов оптимизированных почв и колебания их в течение вегетационного периода (табл. 2). Однако различия в содержании микроэлементов в течение периода наблюдений по месяцам невелики: у молибдена 0,01–0,05 мг/кг, кобальта 0,02–0,19 и марганца 1,5–12,2 мг/кг. Разница между величинами микроэлементов в различные сроки наблюдений в основном не выходит за пределы граничных чисел группировок почв по содержанию микроэлементов. Отсюда видно, что скорость изменений подвижных форм микроэлементов в течение вегетационного периода у оптимизированных почв невелика.

Математическая обработка полученного материала свидетельствует об увеличении содержания микроэлементов в почвах по мере увеличения доз СУ, однако эти различия не во всех случаях достоверны (см. табл. 2). При сопоставлении данных количества микроэлементов в верхнем горизонте почв по всем вариантам двух опытов можно отметить, что наибольшее содержание молибдена наблюдалось в летний период, кобальта – в весенний, а марганца – в весенний и осенний периоды.

Изменение и распределение содержания микроэлементов на примере подвижного кобальта проводилось по генетическим горизонтам почвенных разрезов. Эти исследования проводили в первый и третий годы по всем вариантам.

Максимальное содержание кобальта отмечается в верхних горизонтах дерново-подзолистых почв; вниз по профилю количество его уменьшается и на глубине 80–90 см обнаруживается вторая область накопления этого элемента. В материнской породе колебание содержания подвижного кобальта не выходило за пределы 0,30–0,33 мг/кг. Одновременно, по сравнению с первоначальным наблюдением, в окультуренных почвах выявлено незначительное, но довольно четкое увеличение количества кобальта во всех вариантах по генетическим горизонтам.

Дерново-глеевые почвы, значительно обогащенные органическим веществом еще до их окультуривания СУ, весьма активно аккумулируют и задерживают вымывание химических элементов (в том числе и микроэлементов) в нижние горизонты, о чем свидетельствуют данные табл. 3. Исследования показали, что дерново-глеевые почвы по сравнению с дерново-подзолистыми песчаными содержат в 1,6 раза больше подвижного кобальта в пахотном горизонте (A_n) фонового варианта. Та же закономерность выявляется и в вариантах рассматриваемых почв, окультуренных высокими дозами СУ, где разница в содержании подвижного кобальта составляет 1,3–1,8 раза. В подпахотном горизонте (B_1d), представленном оглеенными мелкозернистыми рыхлыми песками, на глубине 40–50 см содержание этого элемента уменьшается до двух раз во всех вариантах. Окультуренная дерново-глеевая почва увеличивает содержание подвижного кобальта по мере увеличения доз СУ во всех генетических горизонтах, но это увеличение не превышает его двукратного фонового содержания.

Нами анализировались данные содержания валовых форм некоторых микроэлементов в оптимизированных почвах по генетическим горизонтам, полученные спектральным методом. Однако данным методом содержание в почвах ряда химических элементов, представляющих интерес (например, молибден, цинк), выявить невозможно.

Распределение валовых форм (кобальта, марганца, меди, ванадия, титана, циркония, бария, хрома, свинца) в профиле оптимизированных дерново-подзолистых и дерново-глеевых песчаных почв соответствует их генетическим особенностям. Отмечается незначительная биогенная аккумуляция большинства микроэлементов в перегнойных горизонтах оптимизированных почв.

Содержание их как в верхнем горизонте, так и по генетическим горизонтам в основном увеличивается с возрастанием дозы СУ как в опытных делянках с

дерново-подзолистыми, так и с дерново-глеевыми почвами. Причем в последних накопление этих элементов несколько выше.

Таблица 3

Содержание подвижного кобальта (мг/кг) на третий год исследования после внесения СУ (т/га) по генетическим горизонтам и вариантам в почвах опытных участков

Горизонт, глубина отбора образца, см	Фон	Фон +100	Фон +200	Фон +300	Фон +400	Фон +600
Дерново-подзолистая песчаная почва						
A _n 5-15	0,21	0,28	0,29	0,40	0,49	0,72
A ₁ A ₂ 30-40	0,22	0,27	0,30	0,59	0,51	0,67
A ₂ B ₁ 60-70	0,14	0,20	0,29	0,34	0,48	0,53
B ₂ 80-90	0,21	0,51	0,45	0,84	0,52	0,79
B ₃ 125-135	0,28	0,30	0,36	0,41	0,40	0,49
C _a 160-170	0,32	0,30	0,33	0,32	0,31	0,33
Дерново-глеевая песчаная почва						
A _n 5-15	0,36	0,46	0,52	0,60	0,66	—
A ₁ 25-35	0,33	0,58	0,60	0,68	0,61	—
B ₁ 40-50	0,20	0,19	0,12	0,28	0,30	—
B ₂ 60-70	0,16	0,18	0,10	0,15	0,33	—
G 90-100	0,13	0,13	0,15	0,17	0,20	—

Таким образом, в производственных опытах с дерново-подзолистой и дерново-глеевой песчаными почвами, окультуренных высокими дозами СУ, содержание подвижных форм молибдена, кобальта и марганца в почвах возрастало по мере увеличения внесенного удобрения. По сравнению с фоном содержание микроэлементов в вариантах опытов с внесением высоких доз СУ увеличилось в 1,3-3,5 раза. Однако это не оптимизировало микроэлементный состав исследуемых почв, а только незначительно их улучшало, что также является недостаточным для нормального развития растительности. Плодородие этих почв возрастает лишь при условии систематического внесения удобрений.

Содержание микроэлементов в окультуренных почвах подвержено изменениям как в течение вегетационного периода, так и по годам.

1. Горблюк А.В., Вашкевич Л.Ф., Свирновский Л.Я. // Торфяная промышленность. 1986. №7. С.49.
2. Кулаковская Т.Н. Почвенно-агрохимические основы получения высоких урожаев. Мн., 1978. С.48.
3. Справочник агрохимика / Под ред. Т.Н. Кулаковской, И.М. Богдевича. Мн., 1985. С.86, 108.
4. Лопотко М.З., Евдокимова Г.А., Кузьмицкий П.Л., Букач О.М. Сапропелевые удобрения. Мн., 1983. С.41.
5. Лопотко М.З., Евдокимова Г.А. Сапропели и продукты на их основе. Мн., 1986. С.67.
6. Ринькис Г.Я. Методы ускоренного колориметрического определения микроэлементов в биологических объектах. Рига, 1963. С.84.
7. Методические указания по агрохимическому обследованию и картографированию почв на содержание микроэлементов. М., 1976. С.48.
8. Вашкевич Л.Ф., Свирновский Л.Я. // Вестн. Белорус. ун-та. Сер.2. 1974. №1. С.62.
9. Анспок П.И. Микроудобрения. Л., 1978. С.256.

УДК 911.52:528.7

В.Н. ГУБИН, Г.И. МАРЦИНКЕВИЧ

ПРОБЛЕМЫ КОСМИЧЕСКОГО ЛАНДШАФТОВЕДЕНИЯ

The outlook development of cosmic methods in regional landscape research of Belarus is considered. The opportunity of the natural complexes studing and mapping as well as their indicational features elucidation and landscapes ecology cosmophoto identification is shown.

Съемки земной поверхности из космоса являются важнейшим источником информации для современного ландшафтоведения. Благодаря космическим снимкам (КС) стало возможным получение объективных высокоточных сведений о природных территориальных комплексах (ПТК) различных иерархических уровней как пространственно-временных системах, закономерностях их распространения, границах, характере природных и техногенных процессов, степени антропогенной трансформации. Все это послужило фундаментом для формирования нового научного направления — космического ландшафтоведения [1–4], важнейшей методологической основой которого выступает геосистемная концепция.

Региональные ландшафтные исследования базируются на комплексном дешифровании КС — дистанционных многоярусных моделей ПТК. Для всей территории Беларуси имеются КС, полученные сканерными и фотографическими системами с орбитальных космических аппаратов "Метеор-Природа", "Космос", "Салют", "Мир" и др. Эти материалы различаются по уровням оптической генерализации (континентальный, региональный и локальный), каждый из которых характеризуется определенным масштабом, степенью разрешения на местности и объемом ландшафтной информации. Для считывания последней используются визуальные методы ландшафтного дешифрирования либо автоматизированные технологии обработки КС.

На территории Беларуси космическое ландшафтоведение успешно развивается в двух основных направлениях: картографическом и индикационном [4]. При картографическом моделировании ПТК наиболее информативны КС регионального и локального уровней генерализации. Региональные КС масштаба 1:2 500 000 позволяют обнаружить структурные различия подтаежного и полесского подтипов ландшафтов, наметить главнейшие высотно-ландшафтные ступени, обосновывающие выделение ПТК в ранге родов ландшафтов и их групп, выявить природные рубежи зонального и азонального характера. Особенно хорошо заметны на КС линеаменты — индикаторы проявлений на земной поверхности тектонических нарушений. Именно с ними чаще всего связаны границы ПТК крупного таксономического ранга. Так, раздел подтаежного и полесского подтипов ландшафтов трассируется вдоль зоны неотектонически активного Северо-Припятского суперрегионального разлома. Рубежи групп родов тяготеют к крупным блокам земной коры, различающимся размахом тектонических движений в позднеантропогенное время (рис. 1).

Локальный уровень генерализации КС (масштабы 1:1 000 000 — 1:200 000) содержит информацию о новейшей геодинамике, обусловленной гляциоморфогенезом и проявлением эндогенных процессов в антропогене. Эти особенности положены в основу выделения родов ландшафтов на составленной в БелНИГРИ космоландшафтной карте Беларуси масштаба 1:1 000 000.

Анализ рисунка контуров ПТК в ранге родов позволил наметить несколько их систем. Замечено, что на ландшафтной карте Беларуси в южной ее части доминируют широтные и субширотные контуры ПТК, обусловленные неотектонической активизацией герцинских дизъюнктивов Припятского прогиба. С отражением линейных структур фундамента и поверхности доантропогенных отложений связаны северо-западное и субмеридиональное направления ландшафтных контуров на территории Белорусской антеклизы.

В центральной Беларуси смена родов ландшафтов с запада на восток контролируется Клецко-Велижской линеаментной зоной, которая в плейстоцене отличалась повышенной тектонической активностью и тем самым повлияла на развитие ледниковых комплексов и формирование литогенной основы ПТК. Типичные для западной части рассматриваемой территории холмисто-моренно-эрозионные ландшафты сменяются к востоку от линеаментной зоны водно-ледниковыми и вторично-моренными ПТК.

Важную роль космическая информация играет при мелко- и среднемасштабном ландшафтном картографировании в связи с геоэкологическими исследованиями в Беларуси. Визуальные возможности и оперативность КС позволяют эффективно оценить состояние окружающей среды, прогнозировать ее изменения в будущем под влиянием природных и техногенных факторов. Результаты ландшафтного дешифрирования КС локального уровня генерализации серии снимков с аппаратов "Ландсат" и "Космос" служили базовым картографическим материалом для создания эколого-геологической карты Беларуси

масштаба 1:1 000 000 и среднемасштабных эколого-ландшафтных моделей отдельных агропромышленных районов (рис. 2). Для условий ледниковой формации, затронутой техногенезом, на основе КС построены ландшафтно-индикационные таблицы, отражающие основные параметры состояния природной среды.

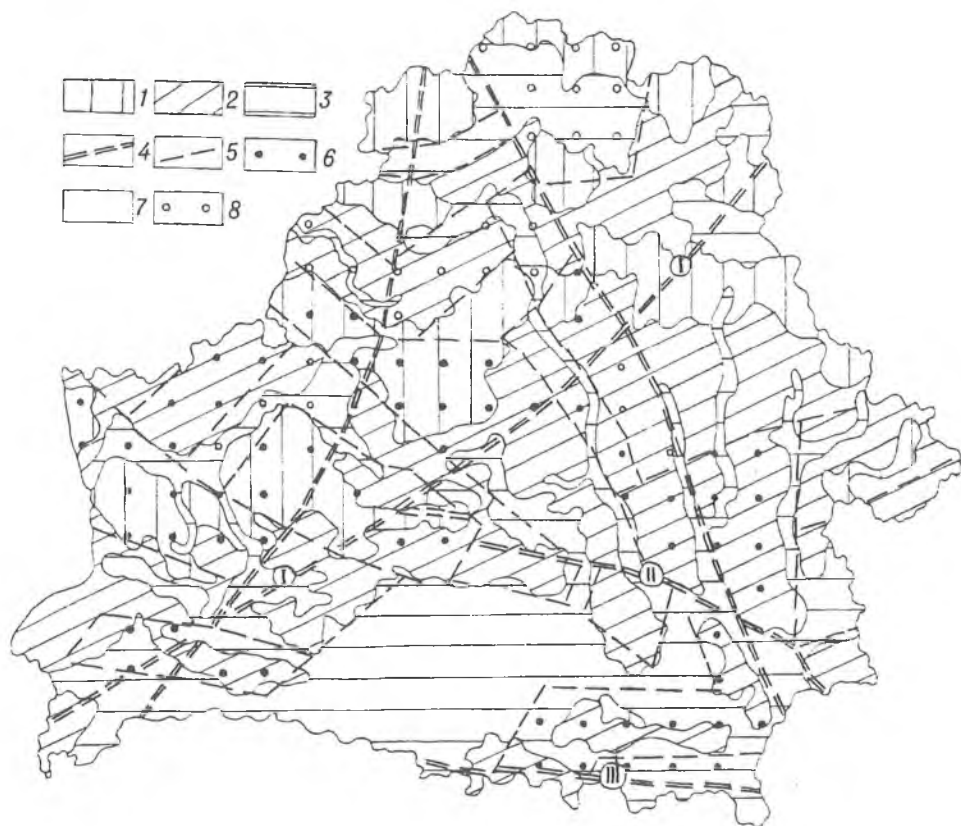


Рис. 1. Соотношение ландшафтов ранга групп родов с неотектоническими блоками:

1-3 — группы родов ландшафтов: возвышенные (1), средневысотные (2), низменные (3); 4, 5 — линейные структуры: суперрегиональные (4), региональные и локальные (5); 6-8 — неотектонические блоки, испытывающие умеренные поднятия (6), относительно стабильный режим (7), слабые опускания (8); I — Ключко-Велижская линейментная зона, II — Северо-Притяцкий и III — Южно-Притяцкий разломы

Высокой информативностью в эколого-ландшафтных исследованиях Беларуси обладает прицельная космическая сканерная съемка. Она позволяет осуществлять неоднократную фиксацию природных и техногенных процессов в ПТК, вести полноценный экологический мониторинг, а также обеспечивает регистрацию с одного витка трассы космического аппарата множества участков земной поверхности, причем каждый из них может быть снят в течение одного периода глобального обзора не с одного, а с нескольких витков.

В БелНИГРИ разработана технологическая схема анализа цифровой космической информации на базе персональных ЭВМ. Создан алгоритм и программа считывания космоизображений и преобразования их до необходимого формата. Построены цифровые ландшафтные модели, являющиеся базовыми для картографического моделирования ПТК в автоматизированном режиме.

Практическое значение для космического ландшафтоведения приобретает индикационное направление. В области древнематерикового оледенения индикация новейшей геодинамики и глубинного строения земной коры тесно связана с анализом геодинамических свойств ландшафтной структуры [5]. Наиболее достоверными геоиндикаторами на КС являются роды ландшафтов и их группы, литогенная основа которых сформировалась под воздействием экзарационно-аккумулятивной деятельности плейстоценовых ледников, контролируемой тектогенезом. На основе космической ландшафтной геоиндикации впервые создана неогеодинимическая карта территории Беларуси масштаба 1:500 000, на

которой отражены неотектонические и гляциодинамические показатели новейшего этапа морфогенеза.

Ландшафтная индикация покровных (четвертичных) отложений — одна из

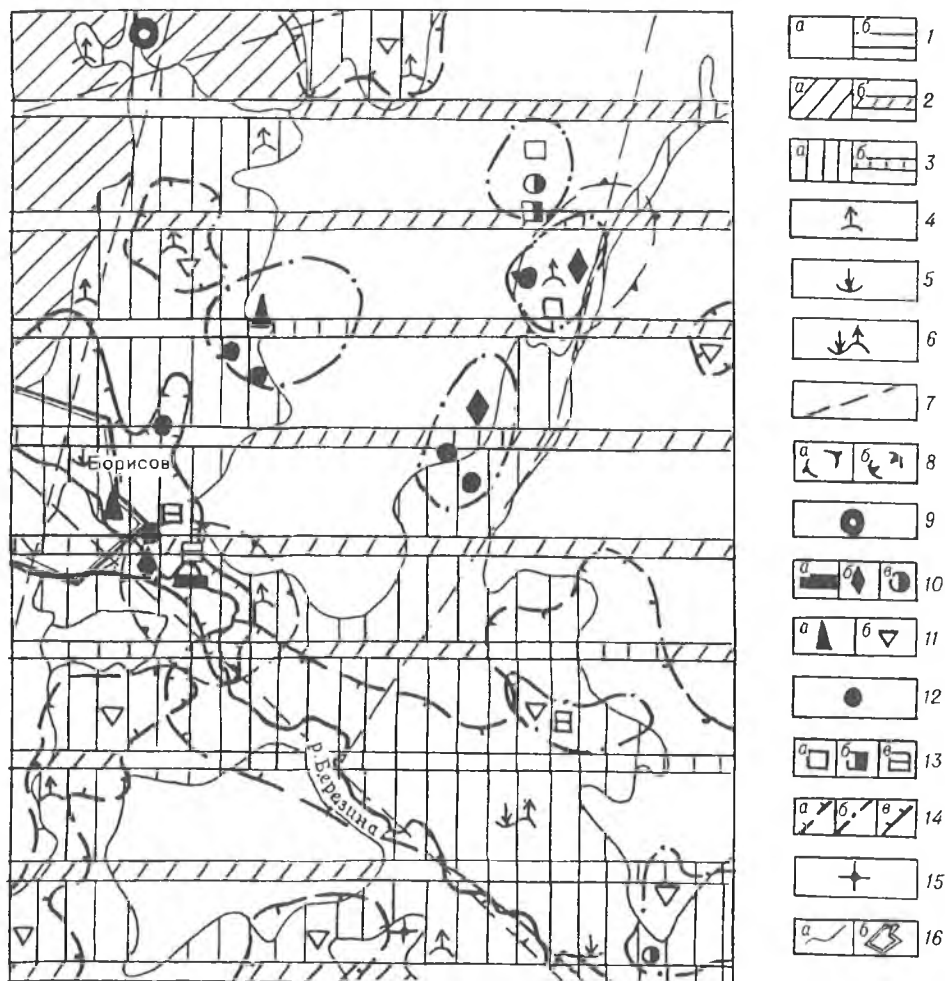


Рис.2. Эколого-ландшафтная карта Борисовского агропромышленного района (фрагмент, масштаб 1:200000):

1–3 — эколого-ландшафтная обстановка по природным (а) и техногенным (б) факторам: 1 — благоприятная, 2 — умеренно благоприятная, 3 — неблагоприятная; 4–6 — проявления экзодинамических процессов: 4 — денудационных, 5 — аккумулятивных, 6 — денудационно-аккумулятивных; 7–9 — проявления новейшей эндодинамики: 7 — зоны активных разломов, 8 — локальные структуры: положительные (а), отрицательные (б), 9 — эпицентр землетрясения; 10–13 — проявления техногенеза: 10 — загрязнение почв, пород зоны аэрации и подземных вод в местах свалок (а), полей фильтрации (б), накопителей отходов животноводческих комплексов (в); 11 — нарушение уровня режима поверхностных и подземных вод под влиянием групповых городских водозаборов (а), мелиорации (б); 12 — изменение качества поверхностных и подземных вод выше ПДК; 13 — трансформация ландшафтов при разработке карьеров (а), складировании в карьерах отходов (б), торфоразработках (в); 14 — ареалы геоэкологических ситуаций: простые (а), сложные (б), весьма сложные (в); 15 — памятники природы; 16 — границы геоэкологических районов (а), городской агломерации (б)

важнейших проблем, решаемых на основе космической информации. КС локального уровня генерализации позволяют изучать укрупненные стратиграфо-генетические комплексы четвертичных образований и режим их обводненности. Индикация грунтов и гидрогеологических условий уверенно осуществляется в пределах вторичных водно-ледниковых, моренно-зандровых, аллювиально-террасированных и пойменных ландшафтов. Менее достоверна индикация по КС литологического состава пород в пределах развития холмисто-моренно-эрозионных и вторично-моренных ландшафтов вследствие значительной изменчивости ледниковых образований и высокой хозяйственной освоенности территории [4].

Дальнейшее развитие космического ландшафтоведения в условиях Беларуси должно базироваться на современных методах дистанционного зондирования, повышающих в сочетании с традиционными видами исследований объек-

тивность знаний о региональной структуре ландшафтов, индикационных свойствах ПТК, ландшафтной экологии.

Прогрессивным направлением является космоландшафтное картографирование, цель которого заключается в создании оперативных ландшафтных моделей на базе космической информации и данных, полученных другими методами. Этот специализированный вид исследований должен проводиться в слабо изученных в ландшафтном отношении районах Беларуси, преимущественно в масштабе 1:200 000, а в отдельных случаях — 1:100 000. В результате подобного картографирования достигается возможность составить качественно новые, существенно дополняющие, а иногда и изменяющие представления о ландшафтном строении территории геоинформационные модели, полученные в ходе традиционных наземных исследований. Картографические модели ландшафтного содержания являются многоцелевыми и могут служить региональной основой для ландшафтно-индикационных, геодинамических, инженерно-геологических, эколого-ландшафтных и иных построений.

На современном этапе состояния окружающей среды важное значение приобретают космические методы эколого-ландшафтных исследований. Основными объектами их изучения выступают изменяющиеся компоненты природной среды и воздействующие на нее техногенные факторы, которые отражаются на КС. В задачи таких исследований входит: оперативный анализ, картографирование состояния природной среды и прогноз изменения ПТК, особенно территорий с негативной экологической ситуацией (районы разработки Старобинского месторождения калийных солей, добычи нефти в Припятском прогибе и др.), обеспечение природоохранных мероприятий в городских агломерациях (Минск, Витебск и др.), изучение динамики и разработка прогнозов развития негативных процессов и явлений (подтопление, осушение, оврагообразование, загрязнение почв и подземных вод и т.п.) в условиях активного техногенеза.

Для решения проблем ландшафтной экологии перспективным является создание системы регламентированных периодических дистанционных наблюдений техногенных трансформаций ПТК — космического ландшафтного мониторинга. Проведение подобных исследований особенно важно для территорий горно- и нефтегазодобывающих комплексов, городских агломераций, мест размещения крупных инженерных сооружений и др.

Приоритетной представляется также разработка новых теоретико-методических подходов к дешифрированию космической информации на основе современных компьютерных технологий. Дальнейшее развитие должны получить ландшафтно-индикационные космические методы. Существенно повысит достоверность ландшафтного дешифрирования и индикации выбор высокоинформативных КС, полученных в узких спектральных интервалах с высоким пространственным разрешением. Большие перспективы в дистанционных исследованиях ПТК связаны с использованием новых видов космосъемок: радарной, лидарной, лазерной и др.

Космическое ландшафтоведение открывает широкие возможности регионального изучения и картографирования многоярусной структурированности ландшафтного пространства, выяснения индикационных свойств ПТК, их экологического состояния и динамики в условиях техногенеза.

1. Глушко Е. В. Космические методы изучения современных ландшафтов материков. М., 1988.
2. Григорьев А. А. Космическая индикация ландшафтов Земли. Л., 1975.
3. Николаев В. А. Космическое ландшафтоведение. М., 1993.
4. Обуховский Ю. М., Губин В. Н., Марцинкевич Г. И. Аэрокосмические исследования ландшафтов Беларуси. Мн., 1994.
5. Губин В. Н., Марцинкевич Г. И. // Изв. ВГО. 1990. Т.122. Вып. 6. С.560.

УДК 552.143.551.734.5(476-13)

С.М. ОБРОВЕЦ, Л.А. ДЕМИДОВИЧ, Л.А. КОРОБЧУК

ПАЛЕОРЕЛЬЕФ ДНА БАССЕЙНА КУЗЬМИЧЕВСКОГО ВОЗРАСТА ЮЖНОЙ ЧАСТИ ПРИПЯТСКОГО ПАЛЕОРИФТА

Nine lithological and facial fields are distinguished in the Upper Famenian Kusmichevian deposits according to the changes in the thicknesses, lithological compositions, structural and textural features of rocks.

Positive and negative forms of bottom paleorelief were recognized from investigations carried out. There are islands, island slopes, submarine rises and submarine ridges deltaic paleotracts. Paleovalleys were the main negative forms of the paleorelief.

Литолого-фациальный анализ является одним из качественных методов изучения палеорельефа и широко используется в практике палеогеоморфологических исследований. Общеизвестно, что рельеф запечатлевается в фациях слагающих и перекрывающих его осадков. Значение изучения фациальных особенностей разрезов при палеогеоморфологических исследованиях заложено в самом понятии фации, которая представляет собой продукт определенных физико-географических условий. Рельеф как наиболее устойчивый элемент этих условий наложил отпечаток на формирование фаций. На основании анализа изменчивости состава и структурно-текстурных особенностей осадочных отложений на тектонических структурах представляется возможным выявлять древние формы, а следовательно, и решать обратную задачу — по характеру отложений восстанавливать палеорельеф.

В основу литолого-фациального районирования девонских отложений кузьмичевского возраста южной части Припятского прогиба положен принцип различного литологического состава и текстурно-структурных особенностей пород кузьмичевских отложений. По геофизическим данным скважин южной части Припятского прогиба с привлечением описания кернового материала было подсчитано (в процентном соотношении) количество основных разновидностей пород глины, мергеля, известняка, ангидрита, песчаника.

На карте (см. рисунок) литологические поля отделяются друг от друга сплошной линией. Прогнозируемые литологические поля, по которым недостаточно материала, обозначены штриховой линией. При проведении границ полей, кроме основного литологического критерия, учитывалось направление линий равных мощностей кузьмичевских отложений, структурные построения по подошве межсолевых отложений.

В результате проведенных исследований было выделено девять литологических полей, характеризующихся определенными качествами и количественными наборами пород.

Литологическое поле I располагается на западе исследуемой территории и включает Лельчицкую, Западно-Софиевскую и Валавскую площади. Мощности кузьмичевских отложений изменяются от 23 м (Лельчицкая площадь, скв. 1) до 67 м (Валавская площадь, скв. 3), в разрезе преобладают глины (44%), в подчиненном количестве отмечаются известняки (39%), мергели, песчаники.

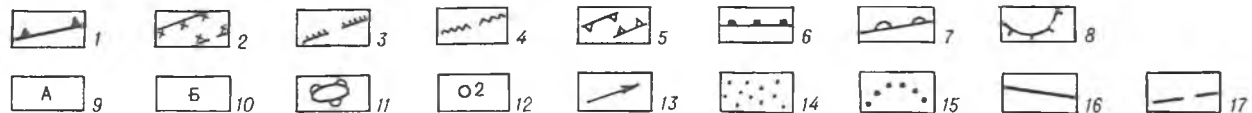
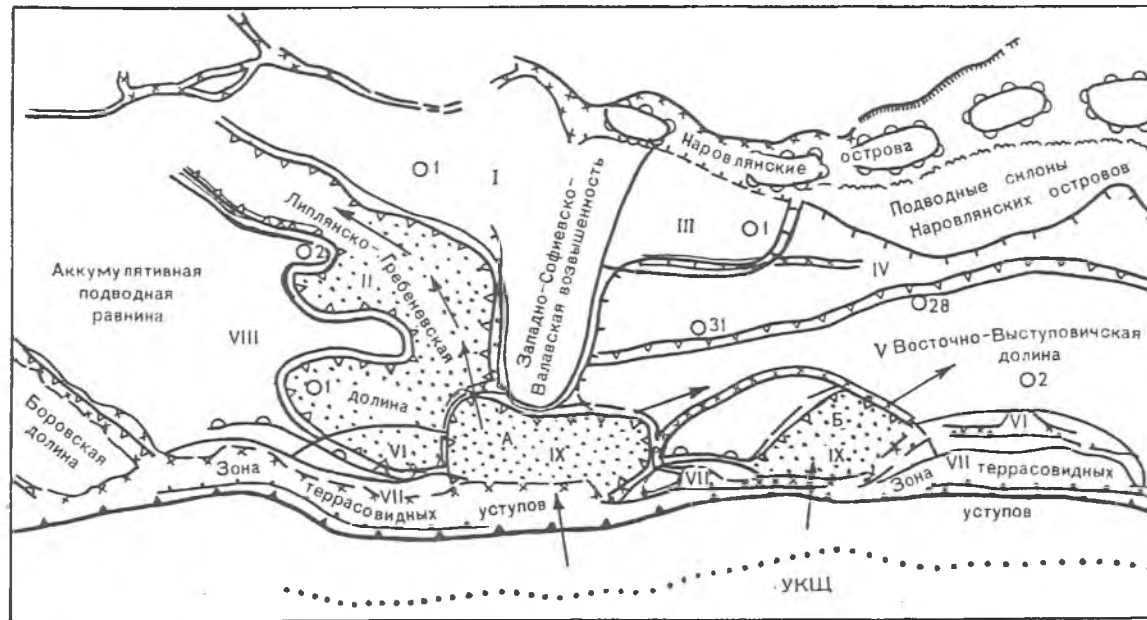
Литологическое поле II включает территории Великопольской, Дубницкой, Липлянской, Западно-Валавской и Гребеневской площадей. В разрезе отложений преобладают глины (34%) и известняки (34%), в подчиненном количестве находятся песчаники и мергели, мощности отложений изменяются от 66 м (Великопольская площадь) до 110 м (Гребеневская площадь, скв. 1).

Литологическое поле III охватывает территорию Николаевской площади. Среди пород преобладают известняки (46%), встречаются и мергель (27%), глина (25%), песчаник (2%), мощности отложений относительно равные по всему полю — 37–40 м.

Литологическое поле IV объединяет Ново-Рудненскую, Южно-Николаевскую, Ельскую и Восточно-Ельскую площади. Отмечается преобладание известняков (50%), в меньшем количестве присутствуют глины (38%), мергели, песчаники, мощности отложений изменяются от 31 м (Ново-Рудненская площадь, скв. 31) до 53 м (Восточно-Ельская площадь).

Литологическое поле V охватывает частично территорию Ельской и Восточно-Выступовичской площадей. Мощности отложений изменяются от 49 м (Ельская площадь, скв. 28) до 66 м (Восточно-Выступовичская площадь, скв. 2), преобладают известняки (41%), далее идут глина (30%), мергели (24%) и песчаники.

Литологическое поле VI включает территории Южно-Валавской и Восточно-Выступовичской площадей. В разрезе присутствуют глины (39%), в подчиненном количестве отмечаются известняки (16%), песчаники и мергели. Кузьмичевские отложения отличаются самой большой мощностью (до 135 м).



Схематическая палеогеоморфологическая карта южной части Припятского прогиба кузьмичевского возраста:

1 — разломы, ограничивающие Припятский прогиб; 2 — зоны разрывных нарушений; 3 — границы прекращения прослеживания межселевых отложений; 4 — границы отсутствия межселевых отложений; 5 — границы подводной долины; 6 — уступ тектонический (флексура); 7 — уступ седиментационный; 8 — граница подводной возвышенности; 9 — дельта Валавского конуса выноса; 10 — дельта Восточно-Выступовичского конуса выноса; 11 — границы острова; 12 — номер скважины; 13 — основные направления перемещения песчаного материала в бассейне; 14 — песчаники, алевролиты; 15 — береговая линия; 16 — границы литологических полей; 17 — границы предполагаемых литологических полей

Литологическое поле VII выделено на основе анализа истории развития данной территории в кузьмичевское время и объединяет территории Демидовской, Скороднинской и Ново-Хуторской площадей.

Литологическое поле VIII включает Ольховскую, Западно-Валавскую площади. В разрезе отложений по Западно-Валавской площади преобладают известняки (36%), глины (33%), меньшее содержание мергелей и песчаников.

Литологическое поле IX выделяется как прогнозируемое и включает Выступовичскую площадь и территорию, расположенную южнее первого литологического поля. Отличается максимальными мощностями и преобладанием в разрезе песчаников.

При восстановлении палеогеоморфологических обстановок в пределах изучаемой территории нами из обширного полигенетического ряда геоморфологических обстановок, по существу, рассматривались только формы рельефа собственно морского дна (в основном в пределах шельфа) и формы рельефа переходной прибрежно-морской зоны.

В результате анализа и построения палеогеоморфологической карты кузьмичевских отложений южной части Припятского прогиба выделяются положительные и отрицательные формы рельефа: острова, подводные склоны островов, подводные возвышенности, террасы, долины, дельты конусов выноса временных водных потоков.

Наиболее крупным элементом рельефа в кузьмичевское время является группа Наровлянских островов, которая отделила южную часть Припятского прогиба от центральной. Острова как морфологические формы древнего рельефа представляли собой наиболее приподнятые участки, возвышающиеся над зеркалом бассейновых вод, на которых не происходило образование осадков в кузьмичевское время.

Береговая линия не совпадала с границей современного распространения кузьмичевских слоев, а проходила гораздо южнее современной границы Припятского прогиба. Рельеф дна суббассейна не был однообразным, а расчленялся на отдельные участки, которые, исходя из анализа литологических особенностей и мощностей, отличались по строению. В палеорельефе выделялась Западно-Софиевско-Валавская подводная возвышенность субмеридионального направления, разделявшая Восточно-Выступовичскую и Липлянско-Гребеневскую долины. Западно-Софиевско-Валавская возвышенность отличается литологическим карбонатно-глинистым составом (литолого-фациальное поле I) и направлением, которое вырисовывается по линиям равных мощностей кузьмичевских отложений.

Крупным отрицательным топографическим элементом в рельефе дна кузьмичевского бассейна являлась Восточно-Выступовичская долина, простиравшаяся на западе от Валавской площади до Карповичской на востоке. Эта долина была наиболее глубоководной частью в пределах южной области бассейна. Здесь накапливались преимущественно темно-серые глинистые и карбонатно-глинистые илы (литолого-фациальное поле V), а временами кластогенные осадки песчаной и алевроитовой размерности. Об относительной глубоководности свидетельствуют ритмичность отложений, тонкослоистые текстуры пород, преобладание восстановительных условий осадконакопления.

С юга к Западно-Софиевско-Валавской подводной возвышенности примыкали предполагаемые дельты Валавского и Выступовичского конусов выноса, которые формировались на протяжении кузьмичевского времени. Образование дельт конусов выноса связано с деятельностью временных или постоянных водных потоков. Они представляют собой сложные палеогеоморфологические объекты. С ними генетически связаны Восточно-Выступовичская и Липлянско-Гребеневская долины, служившие своеобразными артериями, обеспечивающими перенос терригенного материала посредством палеотечений.

В цепочке Наровлянских островов выделяется их Ельско-Николаевский склон. Эта часть бассейна по батиметрическим характеристикам представляла собой переходную территорию от мелководных до субазральных (цепь Наровлянских островов) к относительно глубоководным условиям (Восточно-Выступовичская долина). Об этом свидетельствует (литолого-фациальное поле IV) относительное разнообразие текстур пород (слоистые, волнисто-слоистые, линзовидно-слоистые, комковатые, брекчиевидные и др.), а также окаменевшие остатки грубостенных створок бентоносной фауны.

Во время формирования кузьмичевских отложений к северу от предполагаемой береговой линии выделяется протяженная зона (см. рисунок), представленная двумя террасами, спускающимися к северу. Осадконакопление на этих террасах происходило в мелководных условиях. Таким образом формировались карбонатно-глинистые отложения Демидовской, Ново-Хуторской, Южно-Валавской, Восточно-Выступовичской и Скороднинской площадей (лито-фациальное поле VII). Особо следует отметить условия образования отложений в районе Демидовской площади. На этой территории подстилающие ливенско-домановичские отложения представлены несолевой фацией, состоящей из пород смешанного сульфатно-карбонатного состава с линзовидно-слоистыми текстурами. Среди них отмечаются отложения субаэральных себкховых фаций. В кузьмичевских отложениях также присутствуют единичные прослои субаэральных сульфатных отложений. Поэтому можно предположить, что терраса, на которой расположена Демидовская площадь, начиная с домановичского времени, была приподнята и мелководна. В аналогичных условиях находились и участки Скороднинской и Ново-Хуторской площадей.

Выделенные формы рельефа кузьмичевского времени, оказывавшие влияние на характер осадконакопления, его скорость, литологический состав пород, учитываются при проведении сейсморазведки в поисковых работах на нефть.

УДК 910.1:911.2

А.Г. ГРИНЕВИЧ, Ю.Н. ЕМЕЛЬЯНОВ

ВОПРОСЫ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА РЕКАХ БЕЛАРУСИ

On the example of several rivers of Belarus the possibility of accidental pollution of the surface waters was considered and the analyses of some informational streames was held.

В настоящее время практически повсеместно отмечается интенсификация освоения территорий речных бассейнов: промышленное строительство, расширение сельскохозяйственного производства, увеличение транспортных артерий и т.п. Целенаправленное освоение речных бассейнов помимо общего расширения урбанизации территорий может включать в себя строительство сооружений по использованию водных ресурсов, изменение речных систем и т.п.

В связи с общим усложнением структуры систем, направленных на жизнеобеспечение населения, в том числе водохозяйственных, необходимо учитывать такие понятия и свойства, как надежность и живучесть этих систем*. Особенно актуальны эти вопросы при нарушении нормальной работы систем в связи с различными чрезвычайными ситуациями антропогенного происхождения, интенсивность возникновения которых соответствует интенсивности освоения территорий.

При разработке и осуществлении мероприятий, позволяющих сохранить функционирование водохозяйственной системы в случае аварийной ситуации на реках, необходимо повышать живучесть этих систем.

При анализе аварийных загрязнений поверхностных вод целесообразно использование ситуационного типа управления [2, 3], который заключается, прежде всего, в отработке различных вариантов решений с учетом возможных сочетаний места, вида и других исходных параметров аварий, независимо от вероятности наступления того или иного события.

В США, например, в корпорациях, располагавших планами смягчения и урегулирования возможных аварийных ситуаций, продолжительность стадии затухания аварийной ситуации была в 2,5 раза короче, чем в тех фирмах, которые не имели таких планов [2, 4].

Причинами аварийного загрязнения поверхностных вод могут быть: прорыв коллекторов, дамб различных накопителей (в том числе сточных вод), подземных и наземных трубопроводов, аварий на нефтепроводах, технологические

* Под живучестью системы понимается "свойство системы активно, при помощи соответствующим образом организованной структуры и поведения, противостоять отклоняющим воздействиям внешней среды и выполнять свои функции в заданных условиях" [1].

сбросы загрязненных вод, нарушения на складах с хлором и аммиаком, а также попадание загрязняющих веществ в результате выбросов в атмосферу, таяния загрязненного снега и т.п.

Нами проанализированы все случаи зарегистрированных за пять лет (1988–1992) аварийных ситуаций на водных объектах Республики Беларусь. По существующим классификациям [5, 6] они относятся либо к локальным (в основной массе), либо к региональным (в 1990 г. на р. Западная Двина).

Причины аварийных ситуаций на реках распределены следующим образом. Почти половина (47%) была вызвана аварийными сбросами сточных вод, которые произошли из-за прорыва канализационной системы, отказа насосной станции, размыва дамбы полей фильтрации, отключения оборудования из-за аварии в электросетях. Следующей причиной (32% всех случаев) является разлив, например, мазута, солянки, масла, нефти при переливе из емкостей. Другими причинами аварийного загрязнения поверхностных вод являются: прорывы дюкеров, нефтепроводов, продуктопроводов (5%), разлив аммиачной воды при переливе из емкостей (5%), аварии на дорогах — переворачивание цистерн, пожары и т.п. (5%), сброс навозной жижи из накопителей (3%), сброс промышленных стоков из-за технологических сбоев (3%).

Последняя причина хотя и возникает не очень часто, но приводит к наиболее опасным ситуациям, так как в этих случаях в речные воды попадают такие вещества, как цинк, аммиак, соляная кислота, цианиды и ацетонциангидрид. Кроме этого, по опасности последствий и трудности предсказаний выделяются ситуации в связи с авариями на дорогах. В этих случаях в речные воды попал бензин, толуол, параксимол и др.

Таким образом, можно считать, что наиболее опасными объектами в плане загрязнения окружающей среды после АЭС являются химические предприятия (особенно выпускающие пестициды, гербициды и минеральные удобрения, полихлорполициклическую продукцию), затем транспорт (аварии при транспортировке опасных грузов), что соответствует статистике и по другим регионам [7, 8].

Основная масса аварийных ситуаций возникла из-за отсутствия надлежащего контроля за технологией выполнения работ и, в принципе, опасность таких аварийных ситуаций может быть значительно снижена за счет повышения технологической дисциплины, ответственности и профессионализма обслуживающего персонала. До 1988 г. наиболее "опасным" был бассейн р.Березина. А с 1989 г. участились аварийные ситуации в бассейне р.Западная Двина, и в настоящее время большая часть аварийных загрязнений речных вод приходится на реки этого бассейна (в том числе наиболее значительная авария на Западной Двине в 1990 г.). Остальные речные бассейны по количеству возникающих аварийных ситуаций располагаются в следующем порядке: Березина, Припять, Днепр, Сож, Неман, Вилия, Западный Буг.

Естественно, большое значение имеет гидрохимический фон реки в момент аварийного загрязнения. Общая картина свойств и качества речных вод по основным речным бассейнам республики следующая.

По Западной Двине в целом отмечается пониженная минерализация, которая несколько возрастает ближе к Витебску. Часто отмечается кислородный дефицит (иногда до 3,5 мг/л). Максимальная жесткость воды отмечается в районе Суража. Основные источники загрязнения речных вод — города Витебск и Полоцк. В результате сброса сточных вод отмечаются случаи превышения ПДК в несколько раз по содержанию в воде фенолов, соединений меди и нефтепродуктов в районе городов Сураж, Витебск, Полоцк, Новополоцк и Верхнедвинск.

Для р.Неман характерна значительная изменчивость минерализации. Во время весеннего половодья она в среднем составляет 75 мг/л, а в межень возрастает в 5 и более раз. Максимальная минерализация отмечается в районе Гродно. Загрязненные сточные воды регулярно сбрасываются в реку у городов Столбцы, Мосты и Гродно. Здесь отмечается повышенное содержание азота аммонийного, азота нитритного, соединений меди и нефтепродуктов (особенно в районе Мостов и Гродно).

По Днепру отмечается заметное уменьшение минерализации вниз по течению вплоть до Могилева. Максимальное значение жесткости воды приходится на зимнюю межень. В течение года значительно изменяется содержание в воде растворенного кислорода: от 100% летом до 25 в отдельные зимы, обычный показатель не превышает 55%. Река испытывает значительную нагрузку по

сточным водам: непосредственно в Днепр попадает более 350 тыс.м³/сут. Фиксируются обычно следующие загрязнители — нефтепродукты, азот аммонийный, азот нитритный, фосфаты, соединения меди и цинка, фенолы. Значительная доля загрязнений поступает в Днепр из правого притока — р.Березины. Ниже Светлогорска зимой минерализация может составлять до 1200 мг/л, в районе Бобруйска отмечаются случаи значительного содержания в воде нефтепродуктов. Ниже Минска в р.Свислочь сбрасывается более 700 тыс. м³/сут сточных вод, что резко ухудшает качество воды и приводит к повышению ПДК, особенно по азоту аммонийному и азоту нитритному.

Выделяется своим гидрохимическим режимом р.Сож. Наличие меловых отложений в верхней части бассейна приводит к четко выраженному уменьшению общей минерализации воды вниз по течению. Максимальное значение минерализации достигает 500 мг/л. Отмечается повышенное содержание ионов Са. Сточные воды в р.Сож поступают у Кричева и Гомеля. Ниже Гомеля характерно повышенное содержание органических веществ — до 6,5 О₂ мг/л.

По р.Припять повышенная минерализация отмечается в верхнем течении, а затем идет ее уменьшение до Мозыря. Правобережные притоки верхнего течения реки, питающиеся из верхнемелового водоносного горизонта, обуславливают повышенную минерализацию, а притоки среднего течения реки (и левые и правые), отличающиеся повышенной заболоченностью и, следовательно, пониженной минерализацией, заметно снижают общую минерализацию. Повышенные значения взвешенных веществ (весной до 240 мг/л) отмечаются у Мозыря. За счет сброса сточных вод в районе Пинска возможно повышение СПАВ и азота нитритного, а у Мозыря — нефтепродуктов.

Анализ многих аварийных ситуаций показывает, что основная трудность использования существующих расчетных схем связана с отсутствием информации об источнике аварии и его основных параметрах. Без обеспечения надежными данными теряется смысл построения сложных моделей и оптимальных процедур [9].

В то же время применение системного анализа позволяет уточнить требования к структуре, составу информации и т.п. В данной статье рассматриваются вопросы информационного обеспечения случаев возникновения аварийных ситуаций, связанных с загрязнениями на реках.

Основными необходимыми параметрами для проведения соответствующих расчетов развития аварийного загрязнения вдоль речного потока [10] являются: время, за которое центр загрязненной зоны достигнет заданного створа реки; максимальные концентрации основных загрязняющих веществ в заданном створе реки при прохождении через него опасно загрязненных масс воды; время, за которое фронт и хвостовая часть этих масс воды достигнут заданного створа реки.

Исходная информация, необходимая для проведения расчетов по оценке развития различных аварийных загрязнений в речном потоке, может быть представлена тремя группами данных:

1) характеристики, описывающие речную сеть и являющиеся постоянными для данного бассейна (т.е. они не меняются во времени, не зависят от характера аварийного сброса): тип реки, границы однородных гидроморфологических участков, расстояние между расчетными точками, коэффициенты шероховатости и извилистости русла и т.п.;

2) переменные параметры водного потока, которые в основном определяют процесс распространения загрязненных вод: скорость течения, температура воды, расходы воды в реке, глубина и ширина водотока;

3) характеристики аварийной ситуации: время, место и форма сброса, вид загрязняющего вещества (или нескольких веществ), его концентрация в момент сброса.

Основным и надежным источником исходных данных, например, о величине расхода воды в реке, о скорости течения, ширине реки, уровне воды являются материалы измеренных расходов воды Госкомгидромета.

В принципе для достаточно полного представления возможного диапазона колебаний этих параметров и, следовательно, вариантов развития аварийных ситуаций при различных фазах гидрологического режима необходима соответствующая информация отдельно для каждого месяца (на основе анализа мно-

голетних гидрологических рядов и статистических связей) либо использование многолетней информации о кривых продолжительности расходов воды в реке (на основе таблиц суточных расходов воды за каждый год) [11].

Диагностические варианты расчетов могут быть основаны на тех данных о расходах воды, которые обычно используются в водоохранных целях. Так, в соответствии с [12] расчеты по допустимым нормам разбавления сточных вод основываются на следующих расходных характеристиках: среднемноголетние расходы фактического периода спуска сточных вод; для незарегулированных водотоков — наименьший (минимальный) среднемесячный расход года 95%-й обеспеченности; для зарегулированных водотоков — установленный гарантированный расход ниже плотины (санитарный допуск) при обязательном исключении возможности обратных течений в нижнем бьефе.

Для расчетов разбавления загрязненных речных вод по указанной методике [10] необходимо весь участок реки (от аварийного сброса до расчетного города) разбить на однородные гидроморфологические участки, внутри которых гидравлические условия мало изменяются и, следовательно, допускается усреднение всех исходных параметров.

В подготовительные расчеты, которые должны быть направлены на оперативное принятие решений в аварийных условиях, необходимо включать следующие характеристики, отражающие гидрологический режим и особенности гидроморфологии возможных путей распространения аварийных загрязнений: статистические зависимости расходов воды, максимальные и средние по ширине реки скорости течения, средняя глубина, площадь поперечного течения от уровня воды в реке в различные фазы водного режима (в принципе такие связи целесообразно оценивать для каждого календарного месяца). Среди определяющих параметров выделяются гидравлические уклоны, информация о которых в обычных материалах Госкомгидромета весьма ограничена и, следовательно, необходимы дополнительные обследования основных рек.

Анализ исходной информации, необходимой для практического использования основных расчетных формул, показывает, что прежде всего нужно по крайней мере по основным речным потокам заблаговременно иметь уточненные данные о времени добегания воды при различных расходах воды в реке, такой параметр, как начальная площадь поперечного сечения реки при $Q = 0$, которая при малых уклонах играет существенную роль в оценке зависимости скорости от уровня воды.

При гидрографическом обследовании и описании речных систем необходимо учитывать специфику речных бассейнов республики, а именно — обращать внимание и выявлять (в том числе с привлечением материалов авиаразведок) места переливов из бассейна в бассейн (в период половодья) за счет плоского рельефа.

Необходимо составлять карты-схемы мест сброса сточных вод, накопителей загрязняющих веществ, других объектов — потенциальных источников аварийного загрязнения речных вод, а также водозаборов, расположенных в зоне возможного влияния аварийных сбросов.

Для снижения ущерба и с целью выбора наиболее эффективных путей ликвидации аварийных ситуаций необходимо предусмотреть сбор информации, характеризующей состояние водного объекта как непосредственно в период аварии, так и в предшествующий период (в основном для проведения целенаправленных диагностических расчетов возможного поведения аварийных сбросов). В последнее время повысилась вероятность залповых сбросов в водные объекты веществ, контроль за которыми не предусмотрен в стандартных перечнях ГОСТов. В основных справочных изданиях [12, 13] обоснованы гигиенические нормативы для 1345 веществ. Измерения наличия веществ в водных объектах, за которыми наблюдает Госкомгидромет, охватывают около 40 показателей качества вод, приблизительно столько же контролируются санитарной службой.

Поскольку экономически нецелесообразно значительно расширять набор постоянно контролируемых веществ, следует идти по пути дифференцированного подхода к перечню этих веществ, исходя из реального состояния использования речных вод в данном бассейне. Тем более, что состав сточных вод (основного "поставщика" опасных сбросов) практически однозначно определяется типом производства и применяемой технологией [14]. Кроме того, целе-

сообразно (и экономически оправдано) составлять два перечня ведущих контролируемых показателей: для стандартного текущего контроля и для случаев резкого ухудшения качества воды в реке.

Пространственное расположение пунктов наблюдения должно быть таким, чтобы максимально контролировать источники загрязнения рек, озер и водохранилищ и чтобы любая практически возможная ситуация химического загрязнения водного объекта была оперативно зафиксирована в ближайшем (по течению) пункте контроля качества, особенно, если этот пункт относится к 1-й категории (наблюдения по сокращенной программе проводятся ежедневно, и не менее 5 л пробы воды остается на хранение в течение 5 сут). Последняя мера предусмотрена на случай возникновения каких-либо чрезвычайных ситуаций. При необходимости повышенной оперативности проведения анализа качества воды в экстремальных ситуациях следует широко использовать возможность биоиндикации качественного состава воды и в этом случае руководствоваться временными методическими рекомендациями и другими материалами.

При предварительном обследовании территории для выбора мест расположения контрольных створов следует тщательным образом исследовать потенциальные источники аварийного загрязнения поверхностных вод (крупные накопители промышленных отходов, хранилища вредных веществ, трубопроводы, нефтепроводы и т.п.), особенно, если ниже по течению расположены крупные водопользователи.

При помощи периодических натуральных обследований необходимо предусмотреть постоянную корректировку размещения наблюдательной сети с учетом возникновения потенциальных источников загрязнения поверхностных вод с тем, чтобы стационарная наблюдательная сеть охватывала все ответственные участки реки.

На основании имеющихся материалов обследований следует заблаговременно разработать временную сеть пунктов контроля качества, которую необходимо будет организовать в оперативном режиме для проведения учащенных наблюдений при возникновении экстремальных загрязнений поверхностных вод, исходя из особенностей гидрографической сети, расположения основных водопользователей, гидротехнических сооружений, сбросов сточных вод и т.д.

При анализе исходной информации по конкретному речному бассейну следует особо обращать внимание на те данные, которые в первую очередь необходимы для осуществления диагностических расчетов по распространению загрязненных масс воды: особенности речных русел, участки с резкими изменениями гидроморфологических характеристик и т.п. Для этого проводятся соответствующие картографические и экспедиционные работы.

Исходя из положений существующей методики по оперативному прогнозированию распространения аварийного загрязнения водных объектов, необходимо предусмотреть осуществление следующих видов работ на временной (аварийной) сети пунктов контроля качества на реках: измерение расходов воды и средней скорости течения в створе выше аварийного сброса и тех створах, где важно зафиксировать прохождение загрязненного "облака"; измерение в характерных створах средних значений ширины и глубины речного потока. При этом учитываются выводы и результаты, полученные при диагностических расчетах распространения загрязненных масс воды.

Густота расположения створов контроля качества воды зависит помимо всего прочего от геоморфологических особенностей данного участка гидрографической сети и от того, в какой период года приходится организовывать оперативную наблюдательную сеть. В паводок следует производить учащенные наблюдения, особенно на реках с резким изменением водности. В данном случае невозможно строгое деление пунктов контроля на категории, так как наблюдения за трансформацией аварийного загрязнения носят специфический характер: повышенная частота наблюдений (до ежечасных) с минимальным набором измеряемых параметров.

В заключение следует отметить, что большое значение имеют вопросы организации наблюдений за последующим развитием процессов в речном бассейне после принятия оперативных мероприятий и стабилизации условий водообеспечения и состояния водного объекта.

В настоящее время этим вопросам не уделяется должного внимания, хотя они имеют большое практическое значение как непосредственно для оценки

экологических последствий аварийных выбросов (состояния водоисточника), так и для оценки ряда методических проблем (в первую очередь эффективность тех или иных мероприятий, осуществленных во время аварии).

В "Кодексе поведения при аварийном загрязнении трансграничных внутренних вод" [15] представлен раздел, посвященный проведению наблюдений за элементами окружающей среды после аварий, в том числе рекомендуется определение концентраций, стойкости и распространения загрязнителей в водной среде.

Длительность и масштабы охвата такого отслеживания зависят от глубины аварийного воздействия на состояние окружающей природы [16]. Так, например, долготермическим последствиям аварии на р.Днепр в 1983 г. посвящен ряд работ [17, 18], которые указывают на необходимость отслеживания ситуации далеко за пределами периода стабилизации условий водопользования, который в данном случае исчислялся несколькими месяцами, в то время как вторичные загрязнения донных отложений водохранилища могут дать о себе знать и через 10 лет.

1. Тараканов К.В., Лузянин В.П. // Изв. АН СССР. Сер. Техническая кибернетика. 1971. №3. С.22.
2. Ильин Н.И., Костюхин О.С. // Проектирование и инженерные изыскания. 1990. №2. С.9.
3. Перелет Р.А. // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. 1991. Вып. 1. С.76.
4. Порфирьев Б.Н. // Итоги науки и техники. Сер. Охрана природы и воспроизводство природных ресурсов. 1990. Вып. 27. С.203.
5. Михайлов А.А., Пашенко Н.И., Сульдин Ю.И. // Там же. Сер. Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. 1991. Вып. 6. С.24.
6. Ильин Н.И. // Энергетическое строительство. 1990. №8. С.50.
7. Оксенгендлер Г.И. // Природа. 1992. №2. С.31.
8. Шейнин А.Б. // Водоснабжение и сан. техника. 1990. №11. С.7.
9. Системный подход к управлению водными ресурсами / Под ред. А.Висбаса. М., 1985.
10. Усовершенствованные методические рекомендации по оперативному прогнозированию распространения зон опасного аварийного загрязнения в водотоках и водоемах, а также уровней содержания в воде основных загрязняющих веществ. СПб., 1992.
11. Фаустова Л.И. // Тр. ГГИ. 1974. Вып. 210. С.151.
12. Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнения // СанП и Н. М., 1988. №4630-88.
13. Предельно допустимые концентрации (ПДК) и ориентировочные безопасные уровни воздействия (ОБУВ) вредных веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. Л., 1975.
14. Булатов Р.В., Аванесова Н.Б. // Разработка и организация комплекса водоохранных мероприятий. Харьков, 1973.
15. Кодекс поведения при аварийном загрязнении трансграничных внутренних вод (принят Европейской экономической комиссией на 45-й сессии в 1990 г.) // Живая вода. 1992. №1.
16. Красовский Г.И., Амрик К.Р. и др. // Гигиена и санитария. 1991. №1. С.16.
17. Руссу В.И., Руси В.К., Ропот В.М. // Водные ресурсы. 1991. №5. С.80.
18. Восстановление пресноводных экосистем после сильного солевого загрязнения / А.М. Никаноров, В.А. Брызгалов, Л.М. Косменко и др. Л., 1988.

УДК 626.8:631.4

Р.А. ЖМОЙДЯК, Л.Ф. ВАШКЕВИЧ, Л.Н. ГЛАЗКОВА

ЭВОЛЮЦИЯ ОСУШЕННЫХ ПОЧВ ПООЗЕРЬЯ

On the basis of monitoring investigations in the stationary conditions the evolution of peats and mineral soils has been studied and their change till 2015 has been forecast.

В настоящее время накоплен обширный материал, свидетельствующий о том, что осушительная мелиорация почв в Поозерье сопровождается существенными изменениями их морфологических, водно-физических, агрохимических и других свойств. Изменение водно-воздушного режима почв при осушении и понижении уровня грунтовых вод (УГВ) вызывает проявление зональных почвообразовательных процессов (разложение органического вещества, выщелачивание и вынос питательных элементов и др.) и превращение (эволюцию) осушенных торфяных почв в минеральные и даже в зональные дерново-подзолистые.

В осушенных почвах при сельскохозяйственном использовании происходят как отрицательные изменения (уменьшение содержания органического вещества и влагозапасов, выщелачивание, ухудшение структурного состояния пахот-

ного горизонта и др.), так и положительные (повышение содержания подвижных форм фосфора и калия, увеличение степени разложения торфа и др.). Однако негативные изменения, в частности уменьшение содержания органического вещества (сработка органического вещества у минеральных и торфа — у органогенных почв) и продуктивной влаги, преобладают.

Многовековой процесс торфообразования, оказывающий консервирующее влияние на рельеф, сменяется процессами сработки торфа: разложение органического вещества, ветровую, водную, техническую эрозии и др. При выражении сработки (уменьшение мощности) торфа в линейных величинах — сантиметрах — в нее, кроме указанных составляющих, входит физическое уплотнение торфяной массы. Происходит уменьшение мощности слоя торфа и изменение других свойств. Сработка торфа на мелиорированных территориях колеблется в пределах 0,5–12,0 (в среднем 1–3) см в год, или 3–20 т/га и более.

Изучение мелиорированных почв проводилось на стационарных площадках и почвенно-геоморфологических профилях с использованием метода исходного и повторного многократного исследования. Стационарные площадки и профили закладывались в местах с характерными для определенного ландшафта почвенно-геоморфологическими условиями. Стационары включают: площадки точного исходного и повторного картографирования почв с вертикальной съемкой для изучения структуры почвенного покрова, химических, агрохимических, водно-физических и других свойств почв, микрорельефа, а также химического состава почвенно-грунтовых вод и растений; площадки размером 20×20 и 3×3 м для изучения сработки торфа и изменения микрорельефа методом повторных нивелировок; опорные стационарные почвенные разрезы на характерных разновидностях почв.

Изменение почвенного покрова в результате осушения болотных массивов и сельскохозяйственного использования идет неравномерно. Чем моложе объект по освоению, тем интенсивнее скорость уменьшения мощности торфа, что объясняется преобладанием в первые годы после осушения физического процесса усадки торфа, т.е. его уплотнения после отвода воды. В последующие годы замедляется обезвоживание торфа и начинают преобладать процессы его минерализации (особенно поверхностных горизонтов) и различные виды эрозионных процессов. Степень проявления этих процессов во времени разная: в первые годы процесс идет быстрее, а в последующие — скорость уменьшения мощности торфа снижается, а следовательно, снижается и интенсивность изменения почвенного покрова.

Эволюция мелиорированных земель, образование при сработке торфа минеральных почв вызывают изменение и ухудшение структуры почвенного покрова, уменьшение в нем доли торфяных почв и увеличение минеральных [1, 2]. Снижается средневзвешенный балл бонитета почв мелиоративных территорий.

Более детальное изменение почвенного покрова в результате осушительной мелиорации рассмотрим на примерах конкретных стационарных исследований. На территории совхоза им. Короткина Шумилинского р-на Витебской обл. в 1983 г. была заложена стационарная площадка “Черница”. Болотный массив был осушен в довоенное время. В 60-е гг. была проведена коренная реконструкция этого мелиоративного объекта (“Будовестъ — Черница”) с закладкой гончарного дренажа. Мониторинговые исследования начались уже в те годы, когда на территории объекта в результате осушительной мелиорации и хозяйственного использования земель появились минеральные почвы на месте когда-то глубоководных торфяников.

При исходных исследованиях 1983 г. на стационаре преобладали торфяно-болотные почвы низинного типа (80,2%), а также почвы, образовавшиеся после сработки торфа (17,1%), и дерново-заболочиваемые (2,7%). Тогда почвы с мощностью торфа более 1 м занимали площадь 6,9%, а до 1 м — 73,3%. На втором (1985 г.) и третьем (1989 г.) турах исследований было выявлено аналогичное сочетание почв. Однако соотношение их площадей значительно изменилось. Было выявлено ежегодное сокращение торфяных среднечастичных — более 1 м — почв на 0,7% и с мощностью до 1 м — 5,08%. Это привело к сокращению площадей глубоководных торфяников с 6,9 до 2,7%, а мелкозаболочиваемых — с 73,3 до 42,8%.

Значительно возросла площадь почв, образовавшихся после сработки торфа, которая по сравнению с исходным туром увеличилась в 2,5 раза и составила 42,5%. Произошло значительное качественное изменение почв, что подтверждают рассчитанные баллы бонитета исходного (55,2) и последующих (52,6 и 49,7) туров исследований.

Накопленный материал многолетних исследований позволил составить методику прогноза [3, 4] изменения почвенного покрова мелиорированных территорий и прогноз для стационарных площадок "Черница" Шумилинского р-на, "Запружье", "Остров" Сенненского р-на и "Янели" Браславского р-на, а также для совхоза "Коммунар" Докшицкого р-на и в целом для всего района на 2000, 2010 и 2015 гг. в двух вариантах в зависимости от интенсивности использования и УГВ.

Для стационара "Черница" прогнозируется к 2000 и 2010 гг. полное исчезновение торфяных среднетощих почв и появление новых почвенных разновидностей по всем вариантам. Площади группы торфяных почв, используемых под травами и регулируемом УГВ, уменьшатся по первому варианту на 14–23%, а по второму (под пропашными и зерновыми и нерегулируемом УГВ) — на 16–36%, а площади почв, образовавшихся после сработки торфа, существенно увеличатся как по первому (на 11–17%), так и по второму (на 11–21%) вариантам.

Стационар "Запружье" заложен на окраине обширного болотного массива на территории Витебского экспериментального хозяйства в Сенненском р-не. Сушение массива проведено в довоенные годы. Впоследствии объект дважды подвергался реконструкции. При исходных исследованиях в 1982 г. на площадке были выявлены торфяно-болотные (88,6%) и дерново-заболоченные (11,4%) почвы. К 1989 г. площадь торфяных почв уменьшилась до 71,4%, а дерново-заболоченных увеличилась до 28,6%. Уменьшение торфяной залежи привело к трансформации почв и переходу их в другие почвенные разновидности. В центре этого болотного массива с 1982 г. проводятся наблюдения за изменением почвенного покрова стационара "Остров", представленного исключительно торфяными среднетощими (15,2%) и мощными (84,8%) почвами с непостоянным УГВ в течение вегетационного периода. Выявлено значительное уменьшение мощности торфа, вызванное постоянным использованием данного участка под посевами трав, пропашных и зерновых культур. Величина сработки торфа для этого стационара составляла 5,7 см в год в течение первых трех лет наблюдений и 4,8 см в следующие 4 года.

Площадка "Янели" в Браславском р-не выделяется сочетанием дерново-заболоченных суглинистых (40%) и торфяных (60%) почв. Специфика стационара заключается в том, что он размещен в глубоком котловинообразном понижении (в пойме озера) и является наиболее типичным для этого природного региона. За пять лет наблюдений существенных изменений в почвенном покрове не выявлено. Однако соотношение площадей значительно изменилось. Картографирование выявляет все больше площадей почв с меньшей мощностью торфа по сравнению с предыдущими наблюдениями. В силу большой их заиленности наблюдается несколько замедленная сработка торфа.

Мониторинговые многолетние исследования в Поозерье проводятся и на исключительно минеральных дерново-заболоченных суглинистых почвах. Площадка "Свечи" была заложена в Сенненском р-не в 1982 г., когда по ее территории был проложен гончарный дренаж. Повторный тур исследований проведен в 1992 г. Если первоначально на стационаре было выявлено 12 почвенных разновидностей, из которых 27% территории занимали дерново-перегнойно-глееватые или глеевые и 49,4% — дерново-глееватые почвы, то через 10 лет эти почвенные разновидности не были выявлены. На их месте появились новые почвенные разновидности, которые по увлажнению значительно слабее. Из 6 почвенных разновидностей на участке выделены только дерновые и дерновые с признаками временного избыточного увлажнения почвы. Уменьшилась степень заболоченности почв и по этой причине возрос средний балл бонитета с 56 до 66, т.е. первые 10 лет наблюдений за дерново-заболоченными суглинистыми осушенными почвами выявили явное улучшение структуры и плодородия таких почв.

Изучение изменения почвенного покрова на стационарах с торфяными почвами показывает, что вначале происходит его усложнение при появлении ми-

неральных почв, а в дальнейшем, при полной сработке торфа, почвенный покров гомогенизируется по гранулометрическому составу. Однако при расчлененном рельефе минерального ложа, подстилающего торф, увеличивается контрастность почв по увлажнению и плодородию.

На стационарах с сочетанием торфяных и минеральных почв при полной сработке и исчезновении торфяников происходит гомогенизация почвенного покрова по гранулометрическому составу, но возрастает контрастность минеральных почв по увлажнению, усложняется рельеф и затрудняется регулирование водного режима почв.

Расчеты показали, что в начальный период использования торфяных почв под пашню их плодородие оценивается наиболее высоким баллом; по мере их использования и эволюции балл бонитета снижается. Качественная оценка мелиорированных болотных почв показывает, что при сокращении ареала распространения торфяных почв, развивающихся на мощной и среднемощной залежи торфа, характерных для Поозерья, продуктивность мелиорированных массивов снижается. Одновременно происходит значительное изменение и усложнение рельефа и микрорельефа мелиорированных территорий. Увеличивается расчлененность территории и величины относительных высот, что усиливает контрастность почв по увлажнению.

Выявлены существенные различия свойств почв мелиорированных территорий по мелиоративно-географическим провинциям Беларуси. Центральнорусская и Поозерская отличаются среднемощными и мощными торфяными почвами и минеральными почвами суглинистого и глинистого механического состава. Торфяные почвы этих территорий более долговечны, а минеральные глинистые и суглинистые в связи с мелиорацией подвержены меньшим изменениям по сравнению с песчаными, характерными для Полесья.

Наряду с почвенным покровом изменяется и довольно консервативный элемент ландшафта — рельеф. Этот процесс происходит уже в ходе мелиоративного строительства осушительных систем и обустройства инфраструктуры. Значительная же трансформация рельефа тесно связана с изменением почвенного покрова. Усложнение рельефа, как и пестрота почвенного покрова, формируется, прежде всего, за счет усадки и сработки торфа. Использование различных инструментальных методов изучения рельефа дало возможность выявить на стационарах резкие их изменения: поверхность стала взбуренной, появились повышения до 1,5 м, а также замкнутые понижения на месте когда-то идеальной равнины [5, 6].

Данные прогнозных проработок для большинства территорий Поозерья показывают, что произойдут изменения мелиорированных почв с появлением новых почв, образовавшихся после сработки торфа. Был составлен в двух вариантах прогноз изменения почвенного покрова до 2015 г. территории совхоза “Коммунар” Докшицкого р-на, где осушенные только торфяно-болотные почвы составляли 52,6%. Территория совхоза отличается сложным мозаичным почвенным покровом, где минеральные дерново-подзолистые и дерново-подзолистые заболоченные почвы (в основном связносупесчаные и связнопесчаные, подстилаемые моренными суглинками) занимают 45,6%. Хотя сработка торфа за 23 года будет значительной, но по прогнозу до 2015 г. больших изменений структуры почвенного покрова для этого хозяйства не предвидится, что связано с большим распространением глубокозалежных торфяников (38% территории совхоза), расположенных в обширных и глубоких впадинах или в узких и глубоких ложбинах. Появятся 5 новых разновидностей почв, образовавшихся после сработки торфа.

Природная специфика территории севера республики и особенности формирования и залегания торфяных почв позволяют прогнозировать вначале незначительную их трансформацию и начальную стадию формирования антропогенных почв, образовавшихся после сработки торфа. Это подтверждает и интегральный показатель плодородия почв — балл бонитета, который изменился с 59 (1992 г.) до 56 (I вариант) и 55 (II вариант) по прогнозу до 2015 г.

Впервые нами составлены картограммы полной сработки торфа по годам для совхоза “Коммунар”. Основной период активного исчезновения торфа по первому варианту прогнозируется на 2030–2090 гг. (более 53% площади торфяных почв), а по второму варианту в этот период исчезнет 88,1% органогенных почв. Диапазон полной сработки торфа на территории совхоза возможен в

период с 2165 по 2180 гг. по первому оптимальному варианту и с 2105 по 2120 гг. — по второму. Длительность периода сработки торфа объясняется значительной его мощностью на территории хозяйства. Последний тур картирования почв в Докшицком р-не проводился в 1991 г. Удельный вес торфяных мало-мощных, среднеспособных и мощных почв составлял 93% от всех органогенных почв, используемых под сельскохозяйственными угодьями района, и только 7% приходилось на торфянисто- и торфяно-глеевые почвы. Согласно составленным прогнозам, изменения торфяных почв до 2015 г. по хозяйствам и в целом по району предполагается увеличение мелкозалежных торфяников: торфянисто-глеевых в 2,5 раза и торфяно-глеевых от трех (первый вариант) до четырех (второй вариант) и значительное сокращение площадей торфяных мощных почв от трех (первый вариант) до восьми (второй вариант) раз. Почв, образовавшихся после полной сработки торфа, прогнозируется 230 га (2% от торфяных). Такая площадь для района является незначительной после предстоящего 24-летнего использования в сельскохозяйственном производстве. Ежегодный прирост минеральных почв, образовавшихся после сработки торфа, составляет 9 га и значительная их часть трансформируется преимущественно в песчаные.

Очень важно затормозить процесс усложнения и ухудшения почвенного покрова и изменения осушенных торфяных и минеральных почв республики в целях более длительного и полного использования их в народном хозяйстве.

Стабилизация почвенного покрова мелиорируемых территорий и сохранение плодородия органогенных почв будут зависеть прежде всего от наличия двустороннего регулирования водного режима (с поддержанием УГВ в пределах 40–80 см), использования их под посев многолетних трав и создания бездефицитного баланса органического вещества [7].

1. Зайко С.М., Вашкевич Л.Ф., Свирновский Л.Я. // Почвенные исслед. и применение удобрений. Мн., 1988. Вып. 19. С.11.
2. Зайко С.М. и др. Эволюция почв мелиорируемых территорий Белоруссии. Мн., 1990.
3. Зайко С.М., Вашкевич Л.Ф., Свирновский Л.Я. // Рациональное природопользование в условиях Белоруссии. Л., 1988. С.75.
4. Вашкевич Л.Ф., Зайко С.М., Горблюк А.В. и др. // Генезис, эволюция болот в биосферных процессах. Мн., 1994. С.111.
5. Жмойдяк Р.А. и др. // Современные геологические процессы. Мн., 1993. С.21.
6. Жмойдяк Р.А., Романкевич А.П., Явид П.П. // Геоэкологическое картографирование Беларуси: состояние и перспективы. Мн., 1994. С.65.
7. Зайко С.М., Вашкевич Л.Ф. // Модели плодородия мелиорированных почв западного региона и пути их обоснования. Скривери, 1990. С.31.



УДК 542.61

Ф.Н. КАПУЦКИЙ, П.М. БЫЧКОВСКИЙ, Т.Л. ЮРКШТОВИЧ,
Г.Л. СТАРОБИНЕЦ, Т.И. БОРЩЕНСКАЯ

ОЦЕНКА СВОБОДНОЙ ЭНЕРГИИ ГИДРОФОБНЫХ И ПОЛЯРНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ ПРИ ПЕРЕНОСЕ ХЛОРИДОВ СПИРОБРОМИНА И ПРОСПИДИНА ИЗ ВОДЫ В СЛАБОКИСЛОТНЫЙ КАТИОНИТ КБ-4п2(Н)

The values of the standard free energy for the transfer anticancer substances (spirobromin and prospidin) from water into the sorption phase of the weakacid exchanger has been defined. The energy of the hydrophobic interaction compose the more part (about 70%) of this energy.

Для выяснения возможности использования слабокислотного катионита КБ-4п2(Н) в качестве носителя противоопухолевых препаратов – хлоридов спиروبрома и проспицина, относящихся к производным (бис-β-хлорэтил)-аммония, нами изучено их молекулярное распределение между водой и набухшим в воде катионитом КБ-4п2(Н). Данный катионит выбран в виду его физиологической безвредности и полифункциональной природы его ионогенных групп, способных наряду с ионным обменом участвовать в дополнительных взаимодействиях: ион-дипольных, диполь-дипольных, в образовании водородных связей и в комплексообразовании [1].

Методики подготовки катионита и изучения молекулярной сорбции описаны [2,3]. Методом рН-метрии установлено, что при близких к нейтральным значениях рН слабое ионообменной сорбции пренебрежимо мало. Измерения молекулярной сорбции производились при 239 ± 1 К. Исходные и равновесные концентрации солей во внешнем растворе определялись спектрофотометрически на приборе СФ-26 на длине волны 250 нм. Равновесная концентрация соли в фазе катионита находилась по разности, а также путем вымывания соли из фазы катионита и последующего определения Cl-иона в промывных водах методом потенциометрического титрования раствором нитрата серебра. Расхождение между результатами обоих методов не превышает 7–10%.

Константы межфазного распределения солей (K_d) определялись по начальным наклонам изотерм распределения $\bar{C} - C$, где C – равновесные концентрации солей в обеих фазах и надстрочный индекс относится к фазе катионита. Значения K_d для спироброма и проспицина оказались равными $56 \text{ мл} \cdot \text{г}^{-1}$ и $27 \text{ мл} \cdot \text{г}^{-1}$ соответственно. Значения свободной энергии Гиббса, соответствующие переносу солей из водной фазы в фазу катионита, рассчитывались по уравнению:

$$\Delta G_t^0 = -2,3 RT \lg K_d. \quad (1)$$

Они оказались равными $-9,8 \text{ кДж} \cdot \text{моль}^{-1}$ и $-8,0 \text{ кДж} \cdot \text{моль}^{-1}$ для спироброма и для проспицина.

В работе [3] при изучении распределения алифатических аминокислот между водой и катионитом КБ-4п2(Н) было установлено, что инкремент CH_2 -группы (l_{CH_2}) в логарифм констант распределения кислот равен 0,080, т.е. стандартная свободная энергия переноса CH_2 -группы из воды в катионит равна:

$$\Delta G_t^0(\text{CH}_2) = -2,3 RT 0,080 = -0,45 \text{ кДж} \cdot \text{моль}^{-1}. \quad (2)$$

Далее известно [4], что $l_{\text{CH}_3} = 4/3 l_{\text{CH}_2}$, т.е. $l_{\text{C}} = l_{\text{H}} = 1/3 l_{\text{CH}_2}$.

На основании этих данных были рассчитаны гидрофобные слагаемые свободной энергии переноса спириброма и проспидина из воды в фазу сорбента. Для спириброма, молекула которого содержит 16 CH_2 -групп и две кетогруппы,

$$\Delta G_t^0(\text{гфб}) = -2,3 RT (16 I_{\text{CH}_2} + 2 I_{\text{C}}) = -7,5 \text{ кДж моль}^{-1}. \quad (3)$$

Для проспидина, молекула которого содержит 16 CH_2 -групп и две CN -группы,

$$\Delta G_t^0(\text{гфб}) = -2,3 RT (16 I_{\text{CH}_2} + 2 I_{\text{CN}}) = -7,8 \text{ кДж моль}^{-1}. \quad (4)$$

Видно, что гидрофобные слагаемые свободной энергии сорбции обеих солей практически равны.

Из сопоставления результатов, рассчитанных по уравнениям [1] и [2], следует, что вклад свободной энергии ион-дипольных взаимодействий ионов обоих электролитов с диполями ионогенных групп равен приблизительно $-2,3 \text{ кДж моль}^{-1}$. Однако, несмотря на то, что у обоих электролитов слагаемые ΔG_t^0 гидрофобных и ион-дипольных взаимодействий в пределах погрешности эксперимента равны, величина свободной энергии переноса проспидина на 2 кДж моль^{-1} меньше, чем у спириброма. Отсюда следует, что практически весь выигрыш свободной энергии ион-дипольных взаимодействий при сорбции проспидина затрачивается на перенос входящих в состав его катиона двух сильно полярных OH -групп из водной в сорбционную фазу.

Таким образом установлено, что подавляющую часть свободной энергии переноса обеих солей (около 70%) составляет свободная энергия гидрофобных взаимодействий.

1. Шатаева Л.К., Кузнецов Н.Н., Елькин Г.Э. // Карбоксильные катиониты в биологии. Л., 1979.

2. Старобинец Г.Л., Борщенская Т.И., Максимова С.Г. // Докл. АН БССР. 1983. Т.27. №2. С.138.

3. Капуцкий Ф.Н., Юркштович Т.Л., Старобинец Г.Л., Борщенская Т.И. // Вестн. Белорус. ун-та. Сер.2 1994. №3. С.17

4. Коренман И.М. Экстракция в анализе органических веществ. М. 1977.

УДК 591.9(476)+595.764

А.В. ФРОЛОВ

К ПОЗНАНИЮ ЖУКОВ РОДА *Aphodius* (Coleoptera, Scarabaeidae) ФАУНЫ БЕЛАРУСИ

Aphodius zenkeri German and *A. paykulli* are reported from Belarus for the first time. Notes on phenology of *A. nemoralis* Erichson, *A. coenosus* (Panzer), *A. uliginosus* Hardy, *A. zenkeri* German and *A. corvinus* Erichson, inhabited mixed forest in Belovezhskaya puscha, are given.

При обработке энтомологических сборов, проведенных в заповеднике Беловежская Пуца и Березинском государственном биосферном заповеднике, были получены новые данные по распространению и биологии жуков р. *Aphodius*.

A. zenkeri German, 1813. Материал: более 100 экземпляров, в основном самцов, собрано в окр. д. Б. Селище в сосновом лесу в помете оленей (26–28.07.95). Данный вид не указывался прежде для государств СНГ. По данным литературы [1, 2], вид распространен в Центральной и Южной Европе. Есть указания для Польши [3]. Таким образом, к настоящему моменту точка сбора из Беловежской Пуцы является, возможно, самой северо-восточной. Указанный вид, вероятно, является доминирующим копрофагом в помете копытных летом (в данных биотопах). Кроме него в это время были собраны лишь единичные экземпляры *A. corvinus* Erichson и *A. uliginosus* Hardy.

Близкий вид — *A. maculatus* Sturm — обитает в Карпатах и на Кавказе.

Во время поездок в Беловежскую Пуцу были изучены состав и динамика численности комплекса видов копрофагов, питающихся пометом диких копытных (в основном оленей). Ядро этого комплекса составляют четыре европейских и европейско-кавказских эндемиков — *Aphodius nemoralis* Erichson, *A. uliginosus* Hardy, *A. zenkeri* German, *A. corvinus* Erichson и *A. coenosus* (Panzer), который также обитает в Западном Казахстане и Малой Азии. Наиболее разнообразно этот комплекс представлен весной. В этот период *A. nemoralis*, *A. сое-*

posus и *A. putridus* являются массовыми, *A. corvinus* встречается реже, но довольно обычен. С середины лета преобладает *A. zenkeri*. Осенью в большом количестве встречается *A. uliginosus*, единично — *A. coenosus*.

С начала лета встречаются личинки трех видов — *A. nemoralis*, *A. uliginosus* и *A. corvinus*. Соотношение по видам примерно соответствует встречаемости взрослых особей весной, но в моих сборах преобладают личинки *A. uliginosus*. В июне встречаются в основном личинки I возраста, к концу июля — II и III возрастов.

Aphodius raykulli Bedel, 1908. Один экземпляр (самец) был пойман в Березинском заповеднике (окр. д. Домжерицы, 06.10.95, Е.В. Шавердо). Ареал вида охватывает Центральную и Южную Европу, Закавказье и Малую Азию [1, 2]. Для Беларуси вид указывается впервые. По сведениям Стебницкой [3], этот вид обитает в Беловежской Пуще, но в просмотренных мною сборах оттуда не отмечен.

Считаю необходимым выразить благодарность Е.В. Шавердо за предоставленные на обработку материалы.

1. Dellacasa G. // Mon. Mus. reg. Sci. nat. Torino, 1983. V. 1. P. 1.
2. Balthasar W. Monographie der Scarabaeidae und Aphodiidae der palaearktischen und orientalischen Region. Prague, 1964.
3. Stebnicka Z. Klucze do oznaczania owadów Polski. Scarabaeidae Laparosticti (Coleoptera). Warszawa, 1976. Cz. 19. № 89. P. 1.

Новое в учебном процессе



УДК 378.147.54

А.А. РАГОЙША, А.В. ВАВИЛОВА, Н.Н. ГОРОШКО

КОМПЬЮТЕРИЗАЦИЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

The structure of the software for computer-assisted learning has been considered. The software provides students training in standard operations: estimation of substances reactivity, forecasting possible reaction products, and compiling chemical equations in molecular and ionic-molecular forms.

Самостоятельная работа студента является очень важным элементом в структуре учебного процесса. Одна из задач, решаемых в ходе самостоятельной работы, заключается в формировании комплекса знаний и умений, основываясь на котором учащийся в дальнейшем может приступать к осмыслению проблем творческого характера. Однако из-за отсутствия контакта с преподавателем студент на этой стадии обучения не получает оперативную помощь, что нередко приводит к непроизводительной трате времени аудиторных занятий на рассмотрение тривиальных вопросов. Кроме того, вследствие необходимости многократного повторения несложного материала преподаватель испытывает большую психологическую нагрузку.

Одним из способов повышения эффективности работы при самоподготовке и снятия отмеченного психологического дискомфорта является компьютеризация обучения [1,2]. ЭВМ не только может осуществлять функции консультанта, но и является идеальным средством, которое помогает студенту довести до совершенства навыки выполнения простейших действий при решении типовых заданий.

Алгоритм соответствующей компьютерной программы в принципе может быть реализован в различных вариантах (например, в форме учебника, вопросника, задачника либо их комбинации). По нашему мнению, наибольшая степень активизации работы студента достигается в ходе обучающе-контролирующего занятия, в котором используются задания с конструируемым ответом. Авторам такого автоматизированного учебного курса, однако, приходится решать проблему анализа ответов студента, записанных в произвольной форме. Адекватная реакция системы обеспечивается проще, если ответ представлен в виде числа, краткого набора символов (в частности, слова) или же функциональной зависимости, поэтому при отборе материала, подлежащего компьютеризованному обучению, предпочтение следует отдавать наиболее формализованным темам. Немаловажно и то, что в этом случае возможна стандартизация диалога, а значит, существенно сокращаются затраты времени на создание программы [3].

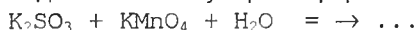
Многие разделы неорганической химии явно или неявно математизированы. Это, в частности, относится к правилам записи формул (состав соединений определяется зарядами ионов и степенями окисления атомов) и химических уравнений (выполняются закон сохранения массы и электронный баланс). Учет таких закономерностей лежит в основе математического обеспечения разрабатываемого нами пакета обучающе-контролирующих программ "Химические свойства неорганических веществ". Программы предназначаются для совершенствования навыков выполнения стандартных операций: оценки реакцион-

ной способности вещества, предсказания возможности протекания химического процесса в системе, выбора наиболее вероятных продуктов реакции, составления химического уравнения и расстановки коэффициентов.

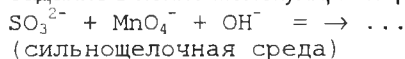
Учебным материалом отдельной программы пакета являются химические свойства веществ, образованных элементами одной из подгрупп периодической системы. Работа студента заключается в написании уравнений химических реакций по заданным наборам реагентов. Обучающая функция компьютера обеспечивается комментариями к ответам, а также текстами "помощи", вызываемыми на экран по требованию пользователя.

Примеры записи условия задачи:

Пример 1. Задание в молекулярной форме:

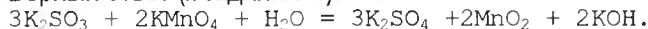


Пример 2. Задание в ионно-молекулярной форме:

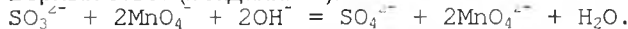


Примеры записи ответа:

Пример 3. Верный ответ (к заданию 1):



Пример 4. Верный ответ (к заданию 2):

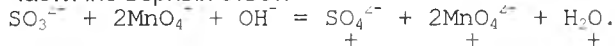


(В ответе допускается любой порядок расположения формул.)

На первой стадии анализа ответа программа проводит поиск грамматических ошибок и удостоверяется в соответствии элементного состава продуктов реакции элементному составу реагентов. После этого в правой части уравнения проверяется правильность написания формул химических веществ и ионов; осуществляется поиск "типовых" ошибок, возможность появления которых предвиделась; проверяется наличие формул веществ (ионов), которые обязательно должны присутствовать в уравнении данной реакции. На заключительном этапе выявляются ошибки в расстановке коэффициентов (при несоблюдении материального баланса).

По окончании анализа компьютер знаками "+" и "-" отмечает верные и неверные формулы в ответе и выводит на экран текстовые комментарии, характеризующие действия студента.

Пример 5. Частично верный ответ:

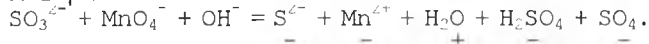


Тексты комментариев, которые генерируются программой (к примеру 5):

SO_4^{2-} "Продукт окисления сульфит-иона выбран верно";
 MnO_4^{2-} "Продукт восстановления перманганат-иона выбран верно";
 H_2O "Формула продукта записана верно";
 "Однако Вы допустили ошибку в расстановке коэффициентов".

В качестве иллюстрации возможностей программы приведем комментарии к совершенно неверному ответу.

Пример 6. Неверный ответ:



Тексты комментариев, которые генерируются программой (к примеру 6):

S^{2-} "В системе отсутствует восстановитель, способный восстановить сульфит-ион";
 Mn^{2+} "Перманганат-ион восстанавливается до катиона Mn^{2+} только в кислой среде";
 H_2O "Формула продукта записана верно";
 H_2SO_4 "Вы не учли, что реакция проводится в сильнощелочной среде";

При затруднениях в работе студент может по собственному желанию получить дополнительную информацию (помощь 1 – о свойствах и превращениях первого реагента, помощь 2 – о свойствах и превращениях второго реагента). Текст помощи состоит из нескольких фрагментов, поочередно вызываемых на экран; возвращение к самостоятельному выполнению задания допускается на любом этапе.

Информационный материал помощи структурирован таким образом, чтобы студент имел возможность подобрать уровень консультации, соответствующий степени его подготовленности. Обычно используется следующая схема выдачи поясняющих текстов: общая характеристика реагента; пути его превращения в условиях, аналогичных заданным; сведения о продукте реакции, образующемся в конкретном случае.

Пример 7. Тексты помощи 2 (к заданию 1):

1. "Перманганат калия – сильный окислитель".
2. "В средах, близких к нейтральным, марганец (+7) восстанавливается до марганца (+4)".
3. "Образуется диоксид марганца".
4. "Один из продуктов реакции – гидроксид калия".

Отбор заданий, используемых в программе, проводился таким образом, чтобы в процессе работы студент усвоил минимум знаний, необходимых для эффективного аудиторного диалога с преподавателем. На этом этапе самоподготовки предметом рассмотрения являются свойства наиболее типичных соединений и стандартные схемы превращения веществ. Раздел "p-элементы VI группы", например, включает следующий учебный материал, оформленный в виде последовательности смысловых блоков: свойства простых веществ; окислительные и восстановительные свойства пероксида водорода; восстановительные свойства халькогенидов и полисульфидов; окислительные и восстановительные свойства соединений Э(IV); окислительные свойства соединений Э(VI); окислительные свойства пероксосульфатов. Каждый блок содержит около 10 заданий; количество задач, предлагаемых конкретному студенту, может варьироваться в зависимости от степени его подготовленности, целей занятия и т.п.

Данный пакет программ ориентирован на использование IBM-совместимых ПЭВМ, работающих под управлением операционной системы DOS версий 3.00 и выше.

1. Свиридов В. В., Тикавый В. Ф. // Журн. Всесоюз. хим. о-ва им. Д.И. Менделеева. 1981. Т.26. N2. С.183.
2. Eggert A., Viddlecamp C., Kean E. // J. Chem. Educ. 1991. V.68. N5. P.403.
3. Тикавый В. Ф., Свиридов В. В., Рагойша А. А. и др. // ЭВМ в вузе: Межвуз. сб. науч. тр. Новосибирск, 1984. С.95.

ПАМЯТИ УЧЕНОГО

ВЯЧЕСЛАВ МИХАЙЛОВИЧ ШИРОКОВ



23 октября 1995 г. на 67-м году жизни после тяжелой болезни скончался доктор географических наук, профессор, академик Международной академии компьютерных систем, академик Инженерной академии Республики Беларусь, заведующий кафедрой общего земледения Белорусского государственного университета Вячеслав Михайлович Широков.

Научную деятельность В.М. Широков начал еще студентом Казанского университета. После окончания университета (1956 г.) Вячеслав Михайлович в течение восьми лет возглавлял лабораторию по изучению берегов и ложа Комсомольской научно-исследовательской гидрометеорологической обсерватории в Тольятти. Здесь и определилась область его научных интересов, связанных с изучением гидрологии крупных и малых водохранилищ, которой он посвятил всю свою жизнь.

В 1964 г. за работу "Формирование подводного рельефа Куйбышевского водохранилища" В.М. Широкову присуждается ученая степень кандидата географических наук.

Следующие 10 лет жизни ученого были посвящены изучению крупных водохранилищ Сибири. Он возглавлял лабораторию гидрологии водохранилищ в Сибирском НИИ энергетики Минэнерго СССР. После успешной защиты

докторской диссертации на тему: "Формирование берегов и ложа крупных водохранилищ Сибири" В.М. Широков переезжает в Белоруссию по приглашению Центрального научно-исследовательского института комплексного использования водных ресурсов (ЦНИИКИВР) Минводхоза СССР и организует здесь отдел эксплуатации водохранилищ. С октября 1977 г. В.М. Широков — профессор кафедры общего земледения Белгосуниверситета, а с 1981 г. — заведующий этой же кафедрой.

Большое внимание В.М. Широков уделял подготовке молодых научных и педагогических кадров: 12 из его учеников успешно защитили кандидатские диссертации. Вячеслав Михайлович проявил себя и как крупный педагог. Он читал ряд фундаментальных курсов по гидрологии и экологии, и его лекции пользовались неизменным успехом.

В.М. Широков опубликовал около 300 научных работ, в том числе 12 монографий: "Формирование береговой зоны Новосибирского водохранилища", "Формирование берегов и ложа крупных водохранилищ Сибири", "Водохозяйственный баланс бассейна Днепра", "Формирование малых водохранилищ гидроэлектростанций", "Конструктивная география рек", "Комплексное использование и охрана водных ресурсов" и др. В.М. Широков являлся составителем методических руководств по прогнозу переработки берегов крупных водохранилищ, автором рекомендаций по обоснованию проектирования и строительства берегоукрепительных сооружений на побережьях различных водохранилищ. Его научные статьи по геоэкологии и гидрологии публиковались в журналах Словакии, Болгарии, Франции, Польши, Аргентины, Индии и других стран.

Профессор В.М. Широков принимал активное участие в ряде научных комиссий Академии наук Беларуси; являлся научным редактором многих фундаментальных работ, заместителем ответственного редактора "Вестника Белорусского государственного университета. Серия 2". Много лет В.М. Широков выполнял большую работу, будучи заместителем президента Географического общества Белорусской ССР, а также председателем научно-методической комиссии географического факультета, много сил отдавал организации научных конференций в Беларуси, Санкт-Петербурге, Москве, Казани и других городах.

Вячеслав Михайлович Широков пользовался большим авторитетом и уважением среди коллег и студентов. Его знали и уважали за постоянный труд педагога, ученого, исследователя.

Светлая память о Вячеславе Михайловиче Широкове, добром и отзывчивом человеке, крупном ученом и педагоге, навсегда сохранится в сердцах его коллег и учеников.

УКАЗАТЕЛЬ

статей, опубликованных в 1995 г. в "Вестнике Белорусского государственного университета".
Серия 2: Химия. Биология. География

ХИМИЯ

<i>Воробьева Т.Н., Бобровская В.П.</i> Исследование состава и структуры электрохимически осажденных пленок сплава медь-олово	2 19
<i>Галоник П.Н., Науменко В.Н., Григорьев Ю.В., Мадзиевская Т.А.</i> Изотопный обмен водорода СН-группы цикла N-замещенных тетразолов	1 9
<i>Григорьева И.М., Башмаков И.А., Соловьева Л.В., Тихонова Т.В., Капуцкий Ф.Н.</i> Оксид железа, полученный термоконверсией железной соли монокарбоксилцеллюлозы, в синтезе феррита цинка	2 6
<i>Капуцкий Ф.Н., Старобинец Г.Л., Юркович Т.Л., Борщевская Т.И.</i> Влияние природы боковых радикалов α -аминокислот на их необменную сорбцию слабокислотным катионитом из водно-спиртовых растворов	3 6
<i>Коктыш Д.С., Корзун Г.М., Рахманов С.К., Беленков В.В.</i> О характере выполнения закона взаимозаменяемости при стандартном и модифицированном химическом проявлении галогенсеребряных фотографических материалов	3 16
<i>Красицкий В.А., Ивашкевич О.А., Лесникович А.И.</i> Особенности горения смесей на основе некоторых энергоемких высокоазотсодержащих соединений	1 3
<i>Кулак А.И., Кондратюк А.В.</i> Механизм действия ультразвуковой кавитации на кинетику переноса электронов в окислительно-восстановительных реакциях	3 12
<i>Новоторцева И.Г., Гаевская Т.В.</i> Электронно-микроскопическое исследование начальных стадий электроосаждения пленок никель-бор	1 11
<i>Новоторцева И.Г., Гаевская Т.В.</i> Влияние содержания бора на коррозионно-электрохимическое поведение пленок никель-бор	2 23
<i>Рагозица Г.А.</i> Эффекты самоорганизации в электрохимических реакциях на наноструктурированной поверхности электродов	2 13
<i>Рогач А.Л., Афанасьева З.М., Шевченко Г.П.</i> Регулирование размеров частиц высокодисперсного серебра при химическом восстановлении ионов Ag^+ в водных растворах	2 10
<i>Сачок П.Д., Селевич А.Ф., Левчик Г.Ф.</i> Синтез и свойства цинк гидразиний монофосфата ($ZnN_2H_2PO_4$)	1 14
<i>Савридов В.В., Шевченко Г.П., Суша А.С., Осипович Н.П., Шевченко Е.В.</i> Использование реакции химического восстановления комплексами Ti (III) для получения ультрадисперсных частиц элементарных полупроводников и металлов в объеме раствора	3 3
<i>Степанова Л.И., Пуровская О.Г., Куликова О.Г.</i> Электроосаждение пленок сплавов Ni-W с высоким содержанием вольфрама	3 19
<i>Тихонова Л.А., Жук П.П., Полюян А.Ф., Альфер С.А.</i> Физико-химические и электрохимические свойства модифицированного манганита лантана	2 3

БИОЛОГИЯ

<i>Абджамитов С.Т., Кулназаров Б.К., Гричик В.В.</i> Трофические связи зеленой жабы (<i>Bufo viridis</i> Laur) в различных типах ландшафтов южного Кыргызстана	1 28
<i>Бибиков Ю.А., Сауткина Т.А., Зубкевич Г.И.</i> О флоре северо-восточной части Минской области	1 24
<i>Бибиков Ю.А., Джус М.А., Гирилович И.С.</i> Редкие и исчезающие виды растений Минского района	2 49
<i>Буза С.В.</i> Дендрофильные тли (Homoptera: Aphidoidea) заказника "Налибокская пуца"	1 40
<i>Буза С.В.</i> Некоторые особенности биологии пестрой дубовой тли (<i>Thelaxes dryophila</i> Schrank) (Homoptera: Aphidoidea) в условиях Беларуси	3 41
<i>Бурко Л.Д.</i> Предел прочности диафизов трубчатых костей птиц	2 39
<i>Гулис В.И., Стефанович А.И.</i> Новые для Республики Беларусь виды водных гифомицетов	2 28
<i>Зиматкина Т.И., Юркович Т.Л., Титова С.П., Зиматкин С.М., Капуцкий Ф.Н., Мороз А.Р.</i> Противоопухолевая и антивитаминальная активность иммобилизованного окситиамина при полихимиотерапии его с метотрексатом	1 34
<i>Кахнович Л.В., Саркисова Е.А.</i> Особенности структуры и функции фотосинтетического аппарата растений ячменя различной потенциальной продуктивности	2 42
<i>Кахнович Л.В., Саркисова Е.А.</i> Оценка устойчивости фотосинтетического аппарата различных сортов ячменя к водному дефициту	3 26
<i>Кузьмичева И.В., Гриц Н.В., Курченко В.П., Леонтьев В.Н.</i> Дезинтеграция дрожжевых клеток	1 29
<i>Маслова Г.Т., Потапович А.И.</i> Состояние антиокислительной системы крови и печени крыс при введении пирогенала	3 38
<i>Мелешко Ж.Е.</i> Обзор трех близких видов долгоносиков подрода <i>Eustolus</i> Thoms. рода <i>Polydrusus</i> Germ. (Coleoptera, Curculionidae)	1 43
<i>Пикулев А.Т., Орел Н.М., Сидоренко А.В.</i> Влияние СВЧ излучения сантиметрового и миллиметрового диапазонов длин волн на состояние терминального этапа гликолиза в головном мозге крыс	1 17

<i>Потапович А.И., Маслова Г.Т.</i> Исследование влияния пирогенала на температуру тела и свободнорадикальные процессы у крыс, интоксцированных четыреххлористым углеродом	3 29
<i>Саук И.Б., Анохина В.С.</i> Сравнительное изучение процессов морфогенеза у культивируемых видов люпина	2 46
<i>Сенчук В. В., Хрипченко И.П., Михалкевич Н.Е.</i> Изменение активности ацетилхолинэстеразы мозга крыс под действием нитросоединений	1 20
<i>Фролов А.В.</i> Уточнения и дополнения к фаунистическому списку пластинчатоусых жуков Беларуси (Coleoptera, Scarabaeidae)	3 32
<i>Царюк В.В., Костюк В.А.</i> Влияние 1,2-бензохинонов на восстановление физиологических показателей у крыс после глубокого охлаждения	3 44
<i>Цинкевич В.А., Александрович О.Р.</i> Определитель жесткокрылых семейств Byrrhidae и Limnichidae фауны Беларуси	2 32
<i>Шавердо Е.В.</i> Хищные водные жуки (Coleoptera, Hydradephaga) Березинского биосферного заповедника	3 35
<i>Юрченко Е.О., Дубовик Д.В., Тихомиров В.Н.</i> Новые находки <i>Angelica palustris</i> (Bess.) Hoffm. в Беларуси	2 36

ГЕОГРАФИЯ

<i>Антипова Е.А.</i> Новые тенденции в развитии СП Республики Беларусь	3 47
<i>Базыленко Г.М.</i> Среднеголетние составляющие радиационного баланса водоемов Беларуси за безледный период	1 51
<i>Борисенко О.Ф., Иванов Н.П., Куликов Я.К.</i> Почвенно-экологические особенности оптимизации агроэкосистем	1 62
<i>Вежновец Г.Г., Самойленко В.М.</i> Фитопланктон оз. Лукомского — охладителя ТЭС	2 56
<i>Галай Е.И.</i> Влияние природных рассолов на миграцию солей в почвах	2 64
<i>Жмойдяк Р.А.</i> Географическому факультету Белгосуниверситета 60 лет	1 46
<i>Зайко С.М., Вашкевич Л.Ф., Горблюк А.В.</i> Классификация минеральных почв, образовавшихся на месте сработанных торфяных	1 56
<i>Капельщиков Н.А., Новиков Г.В., Шалькевич Ф.Е.</i> Оценка геологической среды при среднемасштабном геоэкологическом картографировании	2 52
<i>Капельщиков Н.А., Жмойдяк Р.А., Шалькевич Ф.Е.</i> Интерпретация результатов структурно-геоморфологических исследований на основе применения дистанционных съемок	3 52
<i>Логинова Е.В.</i> Возможность проявления токсичности водорослей в водоемах Беларуси	1 66
<i>Лопух П.С.</i> Роль процесса стока в развитии водоемов замедленного водообмена	2 60
<i>Лопух П.С.</i> Влияние водохозяйственного благоустройства территорий малыми водохранилищами на изменение природной среды	3 61
<i>Михальчик З. (Польша).</i> Значение подземных источников в снабжении рек западной части Люблинской возвышенности	1 69
<i>Нестерук В.Н., Лысковец М.В., Ковриго П.А.</i> Моделирование трансграничного переноса радионуклидов	3 49
<i>Фейгельман М.Е., Шалькевич Ф.Е., Капельщиков Н.А., Новиков Г.В.</i> Методы дистанционного зондирования и их применение в экологии	3 57
<i>Хомич С.А., Радевич С.В.</i> Методические подходы к оценке интенсивности химической денудации	3 67
<i>Чертко Н.К., Мечковский И.С.</i> Висмут в почвах техногенных ландшафтов	3 73
<i>Якушко О.Ф., Тайбао Ян.</i> Озерный седиментогенез — показатель эволюции водоемов Цинхай-Тибетского нагорья	2 68

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

<i>Рындевич С.К.</i> Новые для фауны Беларуси виды водных жуков (Coleoptera)	2 72
--	------

ХРОНИКА

<i>Губин В.Н.</i> Состояние и перспективы геоэкологического картографирования Беларуси: Итоги научно-практической конференции	2 75
<i>Ермоленко В.А.</i> Черский Иван Деметьевич (к 150-летию со дня рождения)	2 73
<i>Ермоленко В.А.</i> 150 лет Русскому Географическому Обществу	3 77
<i>Яцухно В.М.</i> Международная конференция "Окружающая среда и качество жизни в Центральной и Восточной Европе: проблемы изменения"	1 76

РЕЦЕНЗИИ

<i>Киселев В.Н.</i> Н.П. Иванов. Я.К.Куликов. Экологические проблемы применения калийных удобрений	2 77
--	------

НАШИ ЮБИЛЯРЫ

<i>Федор Николаевич Капуцкий</i>	1 76
--	------

УДК 541.133:537.312.6

Хартон В.В., Наумович Е.Н., Тихонович В.Н., Вечер А.А., Самохвал В.В. **Активация поверхности кислородных электродов высокотемпературных топливных элементов** // Вестн. Белорус. ун-та. Сер.2. 1996. №1.

Исследовано влияние на свойства кислородных электродов высокотемпературных электрохимических устройств с оксидными твердыми электролитами активации поверхности электродов (нанесения на поверхность оксидных материалов, отличающихся высокой скоростью обмена кислородом с газовой фазой). Установлено, что последовательное нанесение оксида празеодима и кобальтита лантана–стронция $\text{La}_{0,5}\text{Sr}_{0,5}\text{CoO}_3$ на поверхность электродов $\text{La}_{0,6}\text{Sr}_{0,4}\text{Mn}(\text{Fe})\text{O}_3$ приводит к значительному уменьшению их эффективного поляризационного сопротивления.

Библиогр. 12 назв., ил.1, табл.3.

УДК 546.47:66.08.628.16

Галицкий Н.В., Ясинецкий В.В., Огородников В.А. **Изучение сорбции ионов цинка из растворов $\text{ZnSO}_4\text{-H}_2\text{SO}_4\text{-Na}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}$ на катионите КУ-2 × 8** // Вестн. Белорус. ун-та. Сер.2. 1996. №1.

Рассмотрены процессы сорбции ионов цинка на катионите КУ-2 × 8 в H^+ - и Na^+ -формах в статическом и динамическом режимах из растворов, содержащих ZnSO_4 , H_2SO_4 , Na_2SO_4 , при исходных концентрациях 0,02–0,15, 0,2–2, 2–6 г/л соответственно. Показано, что степень извлечения ионов цинка из раствора в статическом режиме мало зависит от состава раствора и формы ионита. Сделан вывод о предпочтительности H^+ - или смешанной H^+ , Na^+ -формы ионита для очистки стоков в динамическом режиме, особенно при малых исходных концентрациях ионов цинка и большой концентрации ионов натрия.

Библиогр. 4 назв., ил.1, табл.4.

УДК 628.356:628.336.511.512

Ручай Н.С., Маркевич Р.М., Гребенчикова И.А., Гринько В.Н., Гриц Н.В. **Исследование процесса очистки сточных вод иммобилизованной микрофлорой** // Вестн. Белорус. ун-та. Сер.2. 1996. №1.

Исследован процесс очистки сточных вод биотехнологического производства в анаэробных и аэробных условиях при помощи иммобилизованной и свободной микрофлоры. В качестве носителей применяли полиакрилонитрильное и полиамидное волокна. Выяснено, что наиболее эффективна многоступенчатая очистка в анаэробных условиях с использованием иммобилизованной микрофлоры, обеспечивающая снижение ХПК на 89,8% и позволяющая осуществить пространственную специализацию микроорганизмов-деструкторов. Для окончательного устранения загрязнений необходима доочистка воды в аэробных условиях. Исследована возможность удаления тяжелых металлов.

Библиогр. 4 назв., ил.2, табл.3.

УДК 539.234

Почтенный А.Е., Шишкин Н.Я, Долгий В.К., Зарапин В.Г., Ильюшонок И.П., Лугин В.Г., Мисевич А.В. **Сенсорные слои органических и металлооксидных полупроводников, полученные и модифицированные вакуумными методами** // Вестн. Белорус. ун-та. Сер.2. 1996. №1.

Показано, что применение лазерного и магнетронного распыления для формирования и вакуумных методов допирования при модифицировании тонких сенсорных пленок позволяет существенно улучшить чувствительность, стабильность и долговечность химических сенсоров на базе металлфталоцианинов и оксида олова.

Библиогр. 18 назв., ил.4.

УДК 541.64:532.72:546.56

Воробьева Т.Н., Свиридов В.В. **Природа адгезии в системе полимер – металлическое покрытие, осажденное из раствора** // Вестн. Белорус. ун-та. Сер.2. 1996. №1.

С целью поиска путей управления адгезионным взаимодействием в системах полимерная подложка – металлическое покрытие, осажденное из раствора, исследованы состав и микроструктура границы раздела в пленочной системе медь – полиимид, образованной в результате последовательных обработок полиимидной подложки в растворах травителя, SnCl_2 , PdCl_2 , химического, а затем гальванического осаждения меди. Установлено, что в результате процессов диффузии ионов металлов, ионного обмена с участием карбоксильных групп и донорно-акцепторного взаимодействия атомов металлов с участием атомов азота амидогрупп в приповерхностном слое полимера формируется зона, в состав которой, помимо полиимида, входят частицы меди, палладия, их оксиды, оксо- и гидроксо соединения $\text{Sn}(\text{II})$ и (IV) , толщиной 20–30 нм, причем значительная часть атомов металлов химически связана с подложкой за счет образования цепочек C-O-Me , C-N-Me .

Библиогр. 16 назв., ил.3.

УДК 616-006:612.015.348

Сенчук В. В. **Белки сократительных систем как диагностические маркеры злокачественных опухолей** // Вестн. Белорус. ун-та. Сер.2. 1996. №1.

Основные компоненты цитоскелетных и сократительных систем (актин и миозин) вовлечены в разнообразные клеточные явления — цитокинез, секреция, подвижность. Злокачественная трансформация приводит к радикальным изменениям молекулярной биологии клетки, включая реорганизацию сократительных и цитоскелетных элементов.

В статье рассматривается роль актина и миозина в проявлении трансформированного фенотипа, анализируются экспериментальные данные, касающиеся биохимических свойств актина и миозина, регуляторных механизмов взаимодействия актина и миозина, экспрессии изоформ актина и субъединиц миозина в злокачественных опухолях различного происхождения. Совокупность существующих данных подтверждает диагностическую ценность анализа изоформ актина, субъединиц миозина и позволяет получить новую информацию о гистогенезе и степени дифференцировки злокачественных опухолей.

Библиогр. 60 назв.

УДК 612.278

Малыхина А.П., Петрашевская Н.Н., Лобанок Л.М. **Модификация электрофизиологических характеристик миоцитов правого предсердия при гипоксии и реоксигенации** // Вестн. Белорус. ун-та. Сер.2. 1996. №1.

Исследованы электрофизиологические характеристики миоцитов правого предсердия крыс в условиях гипоксии и реоксигенации. Установлено, что гипоксия значительно уменьшает длительность потенциала действия и вызывает модификацию связи между частотой стимуляции сердца и длительностью потенциала действия. Реоксигенация восстанавливает способность клеток реагировать на укорочение межстимуляционного интервала.

Библиогр. 11 назв., ил. 1, табл. 1.

УДК 581.9(471.1)

Джус М.А. **Флористические находки в Минской области** // Вестн. Белорус. ун-та. Сер.2. 1996. №1.

В статье приводятся сведения о нахождении редких аборигенных и заносных видов сосудистых растений в Минской области.

Библиогр. 7 назв.

УДК 631.878

Жмойдяк Р.А., Вашкевич Л.Ф., Горблюк А.В. **Микроэлементный режим почв легкого механического состава, окультуренных высокими дозами сапропелевых удобрений** // Вестн. Белорус. ун-та. Сер.2. 1996. №1.

В работе изложены результаты исследований годичной и сезонной динамики подвижных форм марганца, кобальта и молибдена в производственных опытах на дерново-подзолистых и дерново-глебовых почвах легкого механического состава, окультуренных высокими дозами сапропелевых удобрений.

Выявлено, что по сравнению с фоном содержание микроэлементов в вариантах опытов увеличилось в 1,3—3,5 раза. Однако это не оптимизировало микроэлементный состав исследованных почв, а только незначительно их улучшило.

Содержание микроэлементов подвержено изменениям как по месяцам вегетационного периода, так и по годам.

Библиогр. 9 назв., табл. 3.

УДК 911.52:528.7

Губин В.Н., Марцинкевич Г.И. **Проблемы космического ландшафтоведения** // Вестн. Белорус. ун-та. Сер.2. 1996. №1.

Рассмотрены перспективы развития космических методов в региональных ландшафтных исследованиях Беларуси. Показана возможность дешифрирования космоснимков при изучении и картографировании природных территориальных комплексов, выяснении их индикационных свойств и в ландшафтной экологии.

Библиогр. 5 назв., ил. 2.

УДК 552.143.551.734.5(476-13)

Обровец С.М., Демидович Л.А., Коробчук Л.А. **Палеорельеф дна бассейна кузьмичевского возраста южной части Припятского палеорифта** // Вестн. Белорус. ун-та. Сер.2. 1996. №1.

Проведено литолого-фациальное районирование девонских отложений кузьмичевского возраста южной части Припятского прогиба, в основу которого положен принцип различного литологического состава и текстурно-структурных особенностей пород кузьмичевских отложений. Выделены и описаны девять литологических полей.

Проведена реконструкция палеорельефа дна бассейна кузьмичевских отложений, в результате которой выделяются положительные и отрицательные формы рельефа: острова, подводные склоны островов, подводные возвышенности, террасы, долины, дельты конусов выноса временных водных потоков.

Илл. 1.

УДК 910.1:911.2

Гриневиц А. Г., Емельянов Ю. Н. **Вопросы информационного обеспечения аварийных ситуаций на реках Беларуси** // Вестн. Белорус. ун-та. Сер.2. 1996. №1.

Рассмотрены основные вопросы информационного обеспечения случаев возникновения аварийного загрязнения поверхностных вод, проведен анализ некоторых информационных потоков на примере рек Беларуси.

Библиогр. 18 назв.

УДК 626.8:631.4

Жмойдяк Р. А., Вашкевич Л. Ф., Глазкова Л. Н. **Эволюция осушенных почв Поозерья** // Вестн. Белорус. ун-та. Сер.2. 1996. №1.

На основании мониторинговых исследований почвенного покрова стационарных площадок была выявлена и изучена эволюция торфяных и минеральных осушенных почв, а также показана положительная и отрицательная сторона мелиорации для почвенного покрова севера республики.

Дан прогноз до 2015 г. изменения торфяных почв на примере одного хозяйства и административного района. Рассчитаны сроки полного исчезновения осушенных торфяных почв для совхоза "Коммунар".

Библиогр. 7 назв.

УДК 542.61

Капуцкий Ф. Н., Бычковский П. Н., Юркштович Т. Л., Старобинец Г. Л., Борщевская Т. И. **Оценка свободной энергии гидрофобных и полярных взаимодействий при переносе хлоридов спиروبрома и проспидина из воды в слабокислотный катионит КБ-4п2(Н)** // Вестн. Белорус. ун-та. Сер.2. 1996. №1.

Определены значения стандартной свободной энергии Гиббса для переноса противоопухолевых препаратов спиروبрома и проспидина из воды в сорбционную фазу слабокислотного катионита КБ-4п2(Н). Подавляющую часть этой энергии (около 70%) составляет энергия гидрофобных взаимодействий.

Библиогр. 4 назв.

УДК 591.9(476)+595.764

Фролов А. В. **К познанию жуков рода Aphodius (Coleoptera, Scarabaeidae) фауны Беларуси** // Вестн. Белорус. ун-та. Сер.2. 1996. №1.

Aphodius zenkeri German и A. paucullii впервые указываются для Беларуси. Приводятся данные по фенологии A. nemoralis Erichson, A. coenosus (Panzer), A. uliginosus Hardy, A. zenkeri German и A. corvinus Erichson, обитающих в хвойно-широколиственных лесах Беловежской Пути.

Библиогр. 3 назв.

УДК 378.147.54

Рагойша А. А., Вавилова А. В., Горошко Н. Н. **Компьютеризация самостоятельной работы студентов при изучении химических свойств неорганических веществ** // Вестн. Белорус. ун-та. Сер.2. 1996. №1.

Рассматривается структура компьютерной обучающе-контролирующей программы, предназначенной для выработки у студентов навыков выполнения стандартных операций: оценки реакционной способности веществ, выбора возможных продуктов реакции и написания химических уравнений в молекулярной и ионно-молекулярной формах.

Библиогр. 3 назв.

CONTENTS

CHEMISTRY

<i>Kharton V.V., Naumovich E.N., Tikhonovich V.N., Vecher A.A., Samokhval V.V.</i> Activation of the oxygen electrodes of solid oxide fuel cells.....	3
<i>Galitsky N.V., Yasinetsky V.V., Ogorodnikov V.A.</i> Study of zink ions sorbition from solutions ZnSO ₄ -H ₂ SO ₄ -H ₂ O on the cation-exchange resin KY-2x8.....	8
<i>Ruchay N.S., Markevich R.M., Grebenchikova I.A., Grnko V.N., Grits N.V.</i> The investigation of the process of waste water purification by immobilized microorganisms.....	13
<i>Pochtennyi A.Ya., Shishkin N.Ya., Dolgyi V.K., Zarapin V.G., Ilyushonok I.P., Lugin V.G., Misevich A.V.</i> Organic and oxide semiconductor sensor layers obtained and modified by vacuum method.....	18
<i>Vorobjova T.N., Sviridov V.V.</i> The Nature of Adhesion in System Polymer – Metal Coating Deposited from Solution.....	23

BIOLOGY

<i>Senchuk V.V.</i> The proteins of contractile systems as diagnostic markers of malignant tumors.....	30
<i>Malykhina A.P., Petrashevskaya N.N., Lobanok L.M.</i> Modification of the electrophysiology characteristics of right auricle myocytes during hypoxia and reoxygenation.....	38
<i>Dzhus M.A.</i> Floristic findings in the Minsk region.....	40

GEOGRAPHY

<i>Zhmoidyak R.A., Vashkevich L.F., Gorblyuk A.V.</i> Micronutrient regime of light texture soils cultivated with heavy doses of saptopel fertilizers.....	44
<i>Gubin V.N., Martsinkevich G.I.</i> The problems of the space landscape science.....	49
<i>Obrovets S.M., Demidovich L.A., Korobchuck L.A.</i> Paleorelief basin Kusmichevian age deposits in the south of the Pripyat paleoreeft.....	53
<i>Grinevich A.G., Emelyanov J.N.</i> The points of information supply of accidental situations on the Rivers of Belarus.....	57
<i>Zhmoidyak R.A., Vashkevich L.F., Glazkova L.N.</i> Evolution of the meliorated soils of Poozerye.....	62

BRIEF COMMUNICATIONS

<i>Kaputsky F.N., Bychkovsky P.M., Yurkshovich T.L., Starobinets G.L., Borschenskaya T.I.</i> Estimation the transfer free energy of spirobrominium and prospidinium chlorides from water to a weak-acid cationexchanger KB-4n(H ⁺).....	67
<i>Frolov A.V.</i> New data on the genus <i>Aphodius</i> (Coleoptera, Scarabaeidae) from Belarus.....	68

NEW IN THE CURRICULUM PROCESS

<i>Ragoisha A.A., Vavilova A.V., Goroshko N.N.</i> Computerization of students training in learning chemical properties of inorganic substances.....	70
--	----

TO THE MEMORY OF A SCIENTIST

Shirokov Vyacheslav Mikhailovich	73
---	----

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ

1. Статья должна быть изложена с предельной краткостью и тщательно отредактирована. Статья является оригиналом для печати.

2. Статью, напечатанную на машинке (не портативной) через два интервала на одной стороне листа, представляют в двух экземплярах.

3. Объем статьи не должен превышать 8 страниц машинописного текста (включая приложения), 3 рисунков или фотографий; кратких сообщений — 3 страниц и 2 рисунков.

4. Особое внимание следует обратить на правильность внесения в текст математических и химических формул, на оформление таблиц, списка литературы, рисунков и подписей к ним. Следует избегать повторения в тексте данных, содержащихся в таблицах и графиках, а также представления численных результатов одновременно в виде таблиц и графиков.

5 Формулы и буквенные обозначения

величин требуется вписывать от руки черными чернилами или тушью и размечать синими чернилами; греческие буквы обводить красными;

латинские подчеркивать волнистой чертой;

прописные — двумя черточками снизу ($\underline{\underline{A}}$),

строчные — двумя черточками сверху ($\overline{\overline{a}}$). Сле-

дует различать буквы \underline{O} (прописную), \underline{o} (строчную), 0 (ноль) и размечать их соответственно:

\underline{O} , $\overline{\overline{o}}$, $\underline{0}$. Следует также различать \underline{I} (эль), \underline{I} (и), \underline{j} (йот), для чего букву \underline{I} пишут, как римскую

единицу, подчеркивая ее двумя черточками и волнистой чертой снизу. Векторы подчеркивать

одной чертой снизу (без стрелочки над буквой).

Математические символы, символы химических элементов, а также русские буквы в

индексах отмечаются квадратной скобкой снизу

(\cos , $\underline{H_2O}$, $\underline{P_{кр}}$). Показатели степени и индек-

сы, а также надстрочные знаки отмечают

дугами $A^{\overset{\circ}{2}}$ (для верхнего индекса) и $A_{\underset{\circ}{2}}$ (для нижнего).

6. Между формулами, выделенными в отдельную строку, и текстом, а также между строками формул следует оставлять пробелы не менее 1,5–2 см.

7. Редакция поощряет подготовку статей компьютерным способом в редакторе Word 6.0 для Windows (Winword 6.0). В этом случае

представляется оригинал рукописи, распечатанный на принтере через черную ленту средней жирности машинописным шрифтом и дискету 3,5" с файлом статьи. Рукописи, подготовленные в других редакторах, принимаются только в формате ТХТ. Формулы и специальные символы в этом случае вписываются от руки в соответствии с п.5 "Правил".

8. Рисунки, таблицы, графики, схемы, фотографии, отсканированные или подготовленные в других приложениях Windows, представляются как на бумаге (твердая копия), так и в виде отдельных файлов на дискете автора в форматах, совместимых с Winword 6.0.

9. Размерность всех величин, принятых в статье, должна соответствовать Международной системе единиц измерений (СИ).

10. Рисунки представляют в двух экземплярах в виде графиков, схем, фотографий отдельно от текста; фотографии, отпечатанные на глянцевой бумаге с накатом, должны иметь четкое и контрастное изображение. Чертежи и схемы выполняют тушью на плотной белой бумаге или кальке в формате, обеспечивающем ясность понимания всех деталей. На обороте карандашом необходимо указать фамилию автора, название статьи и номер рисунка.

11. Таблицы (обязательно с заголовками) и подписи к рисункам следует печатать на отдельных листах. Кривые на рисунках нумеруются арабскими цифрами, которые расшифровываются в подписях к рисункам. Места для таблиц и рисунков необходимо указать на полях рукописи.

12. Ссылки на литературу даются в порядке цитирования (порядковый номер в квадратных скобках). Список литературы (прилагается на отдельном листе) должен быть оформлен в соответствии с ГОСТом 7.1-84 следующим образом:

а) для книг: фамилия и инициалы автора, полное название книги, место издания, год издания, страница;

б) для журнальных статей: фамилия и инициалы автора, после двух косяков принятое сокращенное название журнала, год издания, том, номер выпуска, страница.

13. К статье должны быть приложены: рекомендация кафедры, реферат статьи (до 0,25 стр. машинописного текста), резюме, название статьи, фамилии авторов на английском языке и сведения об авторе (место работы, должность, адрес, рабочий и домашний телефоны).

14. В случае возвращения статьи автору на доработку первоначальный текст ее необходимо вернуть в редакцию. Датой представления статьи считается день получения редакцией окончательного текста.

15. Корректурa должна возвращаться в редакцию не позже, чем на следующий день после получения ее автором. В корректуре допускается лишь исправление ошибок типографии.

16. Статьи, оформленные с нарушением "Правил" редакция не принимает.

ИНФОРМАЦИОННАЯ БАЗА "PASCAL" В БИБЛИОТЕКЕ БГУ

В августе 1995 г. библиотека БГУ в рамках международной программы TEMPUS получила в использование базу данных "PASCAL" на CD-ROM дисках, созданную в институте науки и технологии Франции (INIST). База отражает достижения мировой науки и техники в области естественных наук (физики, химии, биологии), а также прикладных наук, сельского хозяйства, медицины. Имеющаяся в библиотеке база данных "PASCAL" включает более 10 млн. библиографических записей, 90% которых составляют статьи из периодики. В ней представлена также информация о книгах, отчетах, научных докладах, диссертациях. Хронологическая база охватывает информацию, поступившую в INIST с 1987 по март 1995 г., предполагается ее ежегодное пополнение новыми дисками.

Вся информация в базе данных "PASCAL" представлена на английском и французском языках. Статьи и книги русских авторов даны в латинском алфавите.

Приглашаем ученых, специалистов, научных сотрудников, аспирантов, студентов, занимающихся научной работой, в библиотеку БГУ (отдел справочно-библиографической и информационной работы) для работы с базой данных "PASCAL".

28-31. 5. 1996

БелХІМІЯ'96

2-я Международная выставка и семинар

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ЭКСПОЗИЦИИ**1 ХИМИЧЕСКАЯ ПРОДУКЦИЯ**

- 1.1 Продукты органического синтеза, нефте- и газопереработки.
- 1.2 Химико-фармацевтические, биохимические, косметические продукты и препараты.
- 1.3 Продукция неорганической химии.
- 1.4 Агрохимические средства.
- 1.5 Товары бытовой химии.
- 1.6 Изделия химии для строительной индустрии.
- 1.7 Упаковочные материалы и изделия.

2 ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ

- 2.1 Технологии органических веществ, процессы и аппараты органического синтеза, нефтедобычи, нефте- и газопереработки.
- 2.2 Технологии, процессы и аппараты в химикофармацевтической и микробиологической промышленности.
- 2.3 Радиационно-химические технологии и аппараты.
- 2.4 Химическая аппаратура, лабораторное оборудование.

3 ХИМИЧЕСКАЯ ЭКОЛОГИЯ

- 3.1 Техника охраны окружающей среды.
- 3.2 Экологически чистые ресурсосберегающие технологии.
- 3.3 Средства индивидуальной защиты, спецодежда.
- 3.4 Взрывопожаробезопасность и противоаварийная защита.

**ЭКСПОФОРУМ**
ВЫСТАВОЧНОЕ ОБЩЕСТВО

546 134, 265 182, 565 915