

ISSN 0372-5340

# ВЕСТНИК

Белорусского государственного  
университета

---

СЕРИЯ 2

Химия  
Биология  
География

3/2002



## СОДЕРЖАНИЕ

### ХИМИЯ

|                                                                                                                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Башмаков И.А., Говор Л.В., Соловьева Л.В., Капуцкий Ф.Н. Получение и электрохимические свойства углеродных сетчатых структур, легированных кобальтом и никелем ..... | 3  |
| Щукин Г.Л., Беланович А.Л., Карпушенко С.А., Савенко В.П. Электрохимически-плазменный синтез высокодисперсных диоксидов титана и циркония в водных растворах .....   | 7  |
| Кондратюк А.В., Кулак А.И. Электрохимическое поведение полупроводниковых электродов в условиях ультразвуковой кавитации .....                                        | 10 |
| Ковганко В.Н., Станишевский Л.С. Азотметины в синтезе 3,3-диметил-4-нитро-5-арилциклогексанонов .....                                                                | 15 |
| Якимцова Л.Б., Чеботарь С.С., Матусевич Ю.И., Круль Л.П. Гидрогели на основе сополимеров акриламида с акриловой кислотой, чувствительные к изменению pH среды .....  | 17 |

### БИОЛОГИЯ

|                                                                                                                                                                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Нестерова О.Л. Таксономическое разнообразие листоедов ( <i>Coleoptera</i> , <i>Chrysomelidae</i> ) фауны Беларуси .....                                                                                                   | 23 |
| Хвир В.И. Новые данные по половому и строительному поведению самцов одиночной осы <i>Bembix rostrata</i> ( <i>Sphecidae</i> , <i>Hymenoptera</i> ) из Беларуси .....                                                      | 26 |
| Самович Т.В., Аверина Н.Г., Шалыго Н.В., Кудряшов А.П., Юрин В.М. Фотодинамический эффект и особенности накопления предшественников хлорофилла клетками хлореллы, обработанными аминокислотами и 1,10-фенантролином ..... | 29 |
| Бесядка Е., Цихоцка М., Мороз М.Д., Мухин Ю.Ф. Фауна водных клещей ( <i>Acari:Hydracarina</i> ) биологического заказника «Споровский» .....                                                                               | 32 |
| Писkun С.Г., Поликсенова В.Д., Анохина В.С. Внутривидовая дифференциация возбудителя фузариозного увядания томатов .....                                                                                                  | 36 |
| Семак И.В., Корик Е.О., Канапацкая И.А., Наумова М.В., Кульчицкий В.А. Нарушение прооксидантно-антиоксидантного баланса в печени крыс при эндотоксемии .....                                                              | 41 |
| Мороз М.Д., Гигиняк Ю.Г., Вежновец В.В. Фауна водных беспозвоночных родникового комплекса «Иканы» .....                                                                                                                   | 46 |

### ГЕОГРАФИЯ

|                                                                                                                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Галай Е.И. Экспериментальное обоснование снижения подвижности солей в органо-минеральных композициях на основе техногенных рассолов и торфа .....                             | 52 |
| Томашевич А.В. География жилищного строительства и качества жилья в сельской местности Беларуси .....                                                                         | 55 |
| Клебанович Н.В. Обменный алюминий в дерново-подзолистых почвах Беларуси различной кислотности .....                                                                           | 60 |
| Зайко С.М., Вашкевич Л.Ф., Горблюк А.В. Сравнительная урожайность сельскохозяйственных культур на торфяных и минеральных почвах, образовавшихся после сработки торфа .....    | 64 |
| Чертко Н.К., Дорохова В.В., Куликов Я.К. Торфование дерново-подзолистых глееватых связносупесчаных почв как способ оптимизации их свойств и повышения плодородия .....        | 71 |
| Гарецкий Р.Г., Конищев В.С., Ковхута А.М. Закономерности размещения соляных структур в областях галокинеза .....                                                              | 75 |
| Стрельчик Н.В., Махнач А.А. Влияние углеводов на окраску среднедевонских отложений Чистолужской площади Припятского прогиба .....                                             | 79 |
| Шагалова Э.Д., Жукова О.М., Герменчук М.Г., Бакарикова Ж.В., Романов В.П., Квасникова Е.В. Методические основы изучения процессов горизонтальной миграции радионуклидов ..... | 83 |
| Зайцев С.Н. Влияние интеграционных процессов на пространственное развитие региональных союзов .....                                                                           | 88 |
| Зарубов А.И. Сезонная динамика зооперифитонного сообщества в парковом водоеме (на примере Комсомольского озера г. Минска) .....                                               | 92 |
| Гурьянова Л.В. Возможности телекоммуникаций при преподавании географических дисциплин .....                                                                                   | 98 |

### НАШИ ЮБИЛЯРЫ

|                                                 |     |
|-------------------------------------------------|-----|
| Виктор Васильевич Самохвал .....                | 102 |
| Рефераты .....                                  | 103 |
| Указатель статей, опубликованных в 2002 г. .... | 107 |



---

# **ВЕСТНИК**

**Белорусского государственного  
университета**

НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Издается с января 1969 года  
один раз в четыре месяца

---

**СЕРИЯ 2**

**Химия  
Биология  
География**

**3/2002**

**Октябрь**

МИНСК  
БГУ

**Главный редактор В.Г. РУДЬ**

Редакционная коллегия серии:

Ф.Н. КАПУЦКИЙ (*ответственный редактор*),  
В.С. АНОШКО, Г.А. БРАНИЦКИЙ, А.Н. ВИТЧЕНКО, С.А. ВО-  
РОБЬЕВА (*ответственный секретарь*), В.Н. ГУБИН, Л.В. КОЗ-  
ЛОВСКАЯ (*зам. ответственного редактора*), И.К. ЛОПАТИН,  
В.В. ЛЫСАК, И.И. ПИРОЖНИК, В.Д. ПОЛИКСЕНОВА (*зам. от-  
ветственного редактора*), В.А. ПРОКУЛЕВИЧ, Е.М. РАХМАНЬ-  
КО, В.В. СЕНЧУК, Л.С. СТАНИШЕВСКИЙ, В.М. ЮРИН

Учредитель:

Белорусский государственный университет

Регистрационный № 805

ВЕСТНИК БЕЛОРУССКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

Серия 2: Хим. Биол. Геогр. 2002. № 3.

Адрес редакции: 220050, Минск, ул. Бобруйская, 7, к. 412, 413. Тел. 209-54-00.  
E-mail vestnikbsu@bsu.by

Редактор *И.А. Лешкевич*  
Корректор *Л.А. Меркуль*  
Технический редактор *Ю.И. Денисов*

Набор и верстка выполнены в редакции журнала *Р.Е. Овсянниковым и Ю.И. Денисовым*

Подписано в печать 23.10.02. Формат 70x108 1/16. Бумага офс. Печать офс.  
Гарнитура Arial. Усл.печ. л. 9,45. Усл. кр.-отт. 9,92. Уч.-изд. л. 10,25. Тираж 330 экз.  
Заказ 1233. Цена 2259 р.

Отпечатано с готовых диапозитивов заказчика в РУП «Издательский центр БГУ».  
220030, Минск, ул. Красноармейская, 6.  
ЛП № 461 от 14.08.01.

© Вестник БГУ, 2002



УДК 661.728.8+538.945

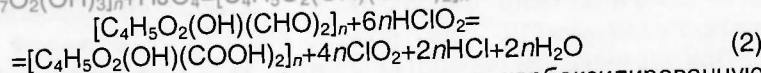
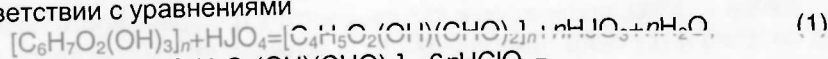
И.А. БАШМАКОВ, Л.В. ГОВОР, Л.В. СОЛОВЬЕВА, Ф.Н. КАПУЦКИЙ

## ПОЛУЧЕНИЕ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА УГЛЕРОДНЫХ СЕТЧАТЫХ СТРУКТУР, ЛЕГИРОВАННЫХ КОБАЛЬТОМ И НИКЕЛЕМ

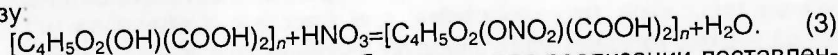
Honeycomb carbon network structures incorporated by cobalt and nickel magnetic nanoparticles have been received on the basis of carboxylated nitrocellulose precursor with hexagonal porous network pattern. The process of incorporating the cobalt and nickel nanoparticles in the carbon network has been characterized with the help of systematic measurement of the specific resistance in the temperature range from 4,2 to 295 K.

Полимерные пленки с монодисперсным размером пор, спонтанно организованных в периодические гексагональные упаковки, находят практическое применение в качестве каталитических и сенсорных композиций, сред, разделяющих молекулы в газах и биологически активных жидкостях, и шаблонов для нанесения других упорядоченных микроструктур. Благодаря кристаллической организации пор с типичным размером от 50 нм до 1,0 мкм, приближающимся к длинам световых волн, эти материалы представляют интерес для применения в фотонике и оптоэлектронике.

Цель работы состояла в получении полимерных микроскопических сеток с гексагональной симметрией ячеек и использовании их как предшественников синтеза углерода с морфологией пчелиных сот и равномерно распределенными в нем наноразмерными частицами металлов, которые имеют большой прикладной потенциал. В статье излагается относительно простой метод приготовления углеродных сетчатых структур с частицами кобальта и никеля. В качестве полимерного материала была использована карбоксилированная нитроцеллюлоза (КНЦ). КНЦ получали частичным окислением углеродных атомов  $C_2$  и  $C_3$  элементарного звена макромолекулы целлюлозы в соответствии с уравнениями



и последующим введением нитроэфирных групп в карбоксилированную целлюлозу:



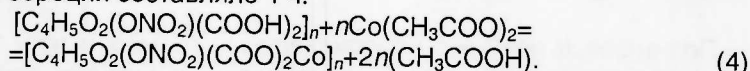
КНЦ обладает рядом свойств, необходимых для реализации поставленной в работе задачи: являясь неплавким полимером, она сохраняет в процессе термического разложения сетчатую форму; наличие нитроэфирных групп в элементарном звене обеспечивает ей свойство растворяться в тех же органических растворителях, что и нитроцеллюлоза (НЦ), благодаря наличию карбоксильных групп КНЦ способна ионообменно связывать катионы различных металлов.

Формирование микросеток КНЦ проводилось по методике получения микросеток из НЦ, описанной нами ранее в [1]. Она включает в себя две основные стадии: первая состоит в нанесении на поверхность охлажденной воды капли раствора КНЦ в бинарном растворителе амилацетат – этанол; вторая – в действии на жидкую пленку КНЦ водяного пара.

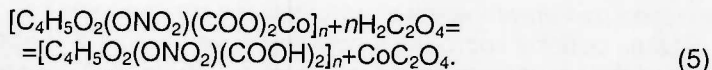
На первой стадии капли раствора КНЦ, попадая на поверхность воды, растекаются, образуя полимерную пленку, поскольку коэффициент растекания ( $S$ ) для раствора КНЦ, как и НЦ, по поверхности воды больше нуля.

На второй стадии пары воды из-за переохлаждения вблизи поверхности жидкой пленки конденсируются с образованием микрокапель, которые, попадая на поверхность раствора НЦ, не растекались, поскольку в этом случае  $S < 0$ . Из-за большей по сравнению с раствором полимера плотности воды микрокапли погружались в жидкую полимерную пленку и удерживались в ней силами поверхностного натяжения. В результате процесса самоорганизации под действием конвективных потоков микрокапли воды в полимерной пленке укладывались в плотную гексагональную упаковку на границе раздела между пленкой и охлажденной водой. Такая упаковка имеет наименьшую поверхность и, следовательно, наименьшую поверхностную энергию.

Сформированная микросетка КНЦ переносилась на специальную подложку из сапфира и фиксировалась при помощи сушки. Солевая форма полимерной кислоты получалась путем погружения полимерной сетки из КНЦ на подложке в 0,25 М раствор ацетата кобальта или никеля. Время завершения процесса сорбции составляло 1 ч:



Для увеличения содержания катионов металла в образце мы использовали карбоксильные группы КНЦ в качестве “химического насоса”, который циклично “накачивает катионы”, чередуя процессы сорбции из растворов ацетатов и осаждения нерастворимых оксалатов металлов в полимерной матрице водным раствором щавелевой кислоты в соответствии с уравнениями (4), (5):



Содержание металла в Ni- и Co-углеродной сетке определяли весовым методом. После нагрева в вакууме при 700 °С в течение 2 ч КНЦ в солевой форме находилась общая масса металл-углеродного композита ( $Me_xC_y$ ), последующее сжигание которого на воздухе приводило к выгоранию углеродной составляющей и окислению металла до оксида ( $NiO$  или  $Co_3O_4$ ), что позволяло определить содержание металла в  $Me_xC_y$ . После трех сорбционных циклов содержание частиц металла (Ni или Co) в металл-углеродном образце составляло 5,0, 6,7 и 8,2 мол. % соответственно.

Сетки из КНЦ, содержащие катионы металлов, полученные после первого, второго и третьего циклов сорбция – осаждение, подвергались нагреву в условиях вакуума ( $10^{-5}$  мбар) при 500, 600 и 700 °С в течение 2 ч.

При термической обработке образцы КНЦ и ее солевые формы не претерпевали полного автокаталитического разложения до простейших газообразных продуктов, что характерно для массивных образцов НЦ даже при более низких температурах. Продукт термических превращений – углеродный остов – практически полностью воспроизводил морфологию целлюлозного предшественника.

Как следует из электронной микрофотографии кобальтовой соли КНЦ (рис. 1 а) и Co-углеродной сетки (рис. 1 б), глубина пор до отжига составляла 0,6  $\mu m$ , диаметр – около 2  $\mu m$ , ширина полимерной перемычки – 0,3  $\mu m$ . После отжига глубина пор в сетке уменьшалась до 0,04–0,06  $\mu m$ , ширина перемычки – до 0,15  $\mu m$  при прежнем диаметре ячейки.

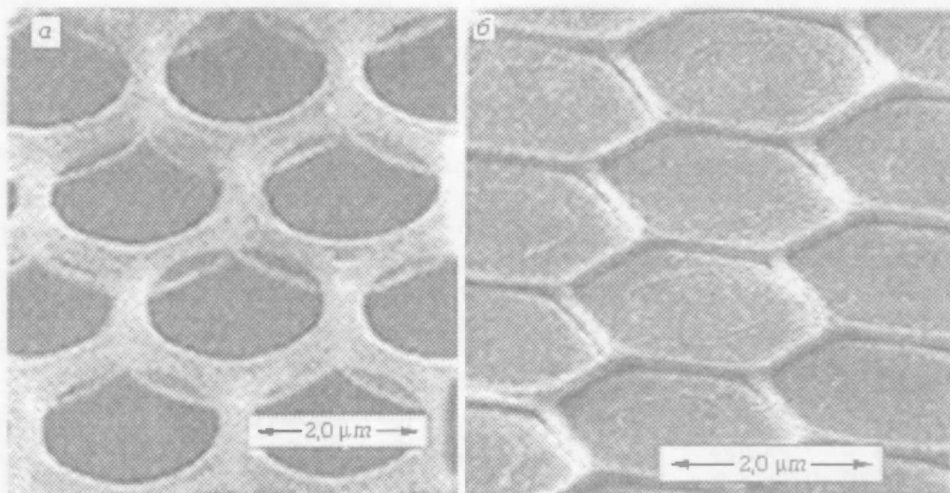


Рис. 1. Электронная микрофотография гексагональных ячеек из Co-KHЦ перед отжигом – а и углеродной сетки с частицами Co после отжига под вакуумом при 600 °С – б

Удельное сопротивление образцов измеряли четырехзондовым методом при температуре 4,2–295 К и рассчитывали по формуле  $\rho = Rs/L(6)$ , где  $R$  – сопротивление сетки (измеренное в линейном режиме характеристики I–V),  $s$  – площадь поперечного сечения углеродной сетки, перекрываемой Au-контактами,  $L$  – расстояние между Au-контактами.

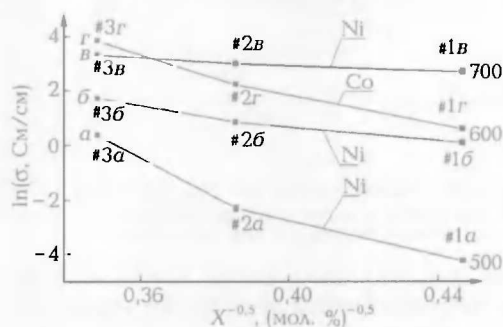


Рис. 2. Зависимость удельной проводимости при 295 К углеродных сеток  $\ln \sigma$  от мольной доли металлических частиц  $X$ .

Числа, соответствующие кривым а, б, в для Ni и г для Co, указывают на соответствующие температуры отжига

Как видно из рис. 2, с ростом концентрации металлических наночастиц в углеродных сетках (в соответствии с числом сорбционных циклов) их удельная проводимость при 295 К увеличивается, причем более отчетливо у кобальт-, чем у никельсодержащих сеток. Заметим, что собственная проводимость углеродных сеток при температуре отжига 500, 600 и 700 °С составляет  $<10^{-4}$ , 0,1 и 7,0 См/м, что существенно меньше, чем в случае легированных металлом.

Зависимость величины прыжковой проводимости  $\sigma$  от концентрации частиц  $N$  на единицу поверхности для двумерного случая описывается в [2] как  $\sigma(N) = \sigma_0 \exp(-\alpha/aN^{1/2})$  (7), где  $\alpha$  – константа,  $a$  – радиус локализованных состояний, примерно равный радиусу металлических частиц. Концентрация металлических частиц  $N$ , приходящихся на единицу поверхности, связана с их поверхностной долей выражением  $N = X/\pi R^2$  (8), где  $R$  – радиус общей проводящей поверхности. Отсюда  $\sigma(X) = \sigma_0 \exp(-\beta R/aX^{1/2})$  (9), где  $\beta$  – константа. Однако, как следует из рис. 2, с помощью уравнения (9) не удается аппроксимировать зависимость  $\sigma(X)$ . По всей видимости, влияние концентрации наночастиц (Ni или Co) на проводимость углеродного волокна имеет более сложный характер.

Температурная зависимость удельного сопротивления (рис. 3) в интервале от 4,2 до 295 К Ni- и Co-содержащих углеродных сеток, полученных нагревом соответствующих солевых форм KHЦ при 600 °С, характеризуется прыжковой проводимостью с переменной длиной прыжка и описывается, как и в [2], выражением  $\rho(T) = \rho_0 \exp[(T_0/T)]^{1/p}$  (10), где  $\rho_0$  и  $T_0$  являются кон-

стантами, слабо зависящими от температуры. Вставка рис. 3 показывает температурную зависимость локальной энергии активации проводимости

углеродных сеток, рассчитанную по формуле  $\varepsilon_a = \frac{d(\ln \rho)}{d(1/k_B T)}$  (11), где  $k_B$  –

константа Больцмана [2–4]. При понижении температуры от 295 до 60 К наблюдалось быстрое уменьшение локальной энергии активации согласно  $\varepsilon_a(T) \propto T^{0,6}$ , что характерно для двумерного случая прыжковой проводимости по закону Мотта [5]. Снижение температуры измерения от 60 до 4,2 К приводит к зависимости  $\varepsilon_a(T) \propto T^{0,3}$ , что, согласно Шкловскому – Эфросу [2], соответствует прыжковой проводимости с переменной длиной прыжка в кулоновской щели.

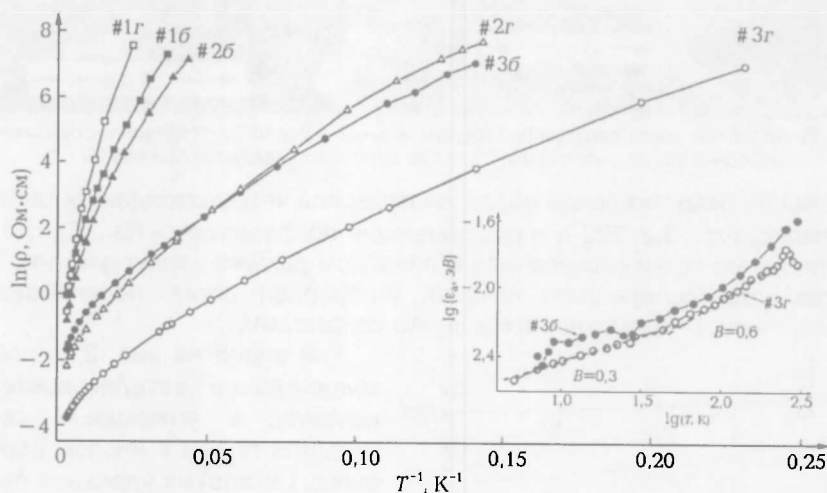


Рис. 3. Зависимость удельного сопротивления для допированных Ni (1 б, 2 б, 3 б) и Co (1 г, 2 г, 3 г) образцов от обратной температуры после нагрева при 600 °С. Вставка показывает зависимость локальной энергии активации образцов 3 б и 3 г от температуры

Из зависимости  $\varepsilon_a(T)$  (вставка рис. 3) можно также более точно определить значение  $p$  в соответствующем температурном интервале. Ранее [6] нами было показано, что  $p=1/1-B$  (12), где  $B$  дает наклон графика  $\varepsilon_a(T)$  в двойной логарифмической шкале. Отсюда следует, что в интервалах температур 4,2–60 К и 60–295 К значения  $p$  соответственно приблизительно равны 1,5 и 2,5. Параметры  $\rho_0$  и  $T_0$  в уравнении (10) для кобальтсодержащей углеродной сетки (8,2 мол. % кобальта, образец 3 г) были рассчитаны из экспериментальной зависимости  $\ln \rho \propto (T_0/T)^{1/p}$ . Для  $p=2$  в низкотемпературной области 4,2–60 К  $\rho_0=2,2$  мОм·см и  $T_0=707$  и для  $p=3$  в высокотемпературной области 60–295 К  $\rho_0=2,7$  мОм·см и  $T_0=2583$  К.

Таким образом, полученные численные значения параметра  $p$  и локальной энергии активации для температурных интервалов от 295 до 60 К и от 60 до 4,2 К позволяют полагать, что закон Шкловского – Эфроса [2] (прыжковая проводимость с переменной длиной прыжка в кулоновской щели) выполняется для исследуемых образцов в низкотемпературной области, а прыжковая проводимость по закону Мотта для двумерных систем – в высокотемпературной [5].

1. Govor L.V., Bashmakov I.A., Kaputski F.N. et al. // Macromol. Chem. Phys. 2000. Vol. 201. P. 2721.

2. Shklovskii B.I., Efros A.L. Electronic Properties of Doped Semiconductors. Springer, Berlin, 1984.

3. Hill R.M. // Phys. Stat. Sol. (a). 1976. Vol. 35. P. k29.

4. Hauser J.J. // Solid St. Commun. 1975. Vol. 17. P. 1577.



5. Mott N. F. // J. Non-Cryst. Solids. 1968. Vol. 1. P. 1.  
 6. Govor L. V., Goldbach M., Bashmakov I. A. et al. // Phys. Rev. B. 2000. Vol. 62. P. 2201.

Поступила в редакцию 27.05.2002.

**Игорь Аркадьевич Башмаков** – кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник НИИФХП.

**Леонид Васильевич Говор** – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник кафедры физики полупроводников.

**Любовь Васильевна Соловьева** – научный сотрудник НИИФХП.

**Федор Николаевич Капуцкий** – академик НАН Беларуси, доктор химических наук, профессор, заведующий ЛФХМЦ НИИФХП.

УДК 541.182.642

Г.Л. ЩУКИН, А.Л. БЕЛАНОВИЧ, С.А. КАРПУШЕНКОВ, В.П. САВЕНКО

### ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИ-ПЛАЗМЕННЫЙ СИНТЕЗ ВЫСОКОДИСПЕРСНЫХ ДИОКСИДОВ ТИТАНА И ЦИРКОНИЯ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ

Ultrafine particles of  $\text{TiO}_2$  and  $\text{ZrO}_2$  formation conditions are determined by method spark erosion of titanium and zirconium in nitric acid solutions.

В литературе имеется много сведений об особенностях электрохимически-плазменных процессов, протекающих на поверхности анодов из алюминия и титана в водных растворах различного химического состава, которые приводят к образованию на поверхности металла пленок оксидов соответственно алюминия или титана, а также в случае участия в этих процессах компонентов растворов – пленок более сложного состава [1–4].

В наших предыдущих исследованиях [5–9] были определены условия образования пленок оксидов при анодно-плазменном процессе, протекающем на поверхности алюминия. В случае использования электролитов, содержащих фосфат-ионы, при различных режимах процесса, концентрации и pH раствора пленочные структуры имеют толщину до 100 мкм и более и содержат фазы  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ ,  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  и  $\delta\text{-Al}_2\text{O}_3$  (как правило, смесь двух или трех фаз в различных отношениях). В растворе, содержащем соединения титана (оксалатный и тартратный комплексы  $\text{Ti(IV)}$ ) и циркония (фторидный комплекс  $\text{Zr(IV)}$ ), образуются пленки соответственно  $\text{TiO}_2$  (прилегающий к поверхности слой содержит фазы  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{Al}_2\text{TiO}_5$ ) и  $\text{ZrO}_2$  тетрагональной и моноклинной модификаций и аморфного оксида алюминия со следовыми количествами его кристаллической фазы. На поверхности титана анодно-плазменный процесс в растворе гидроксида бария приводит к формированию титаната бария ( $\text{BaTiO}_3$ ).

Заметим, что при использовании электролитов с азотной кислотой данный процесс, способствующий образованию пленок оксидов большой толщины и соединений, подобных названным, не происходит.

Продолжая исследования явлений на поверхности металлов в условиях появления плазменных разрядов в растворах различного состава, мы обнаружили, что в растворе азотной кислоты может происходить эрозия титана и циркония, сопровождающаяся образованием соответствующих высокодисперсных оксидов в виде золя.

Результаты этих исследований рассмотрены в данной статье.

#### Экспериментальная часть

В качестве анода использовали титановые пластинки марки ВТ-1,0 (95,5 % Ti) и полоски циркониевой фольги (99,9 % Zr) с рабочей площадью поверхности  $2,5 \text{ см}^2$  в обоих случаях. Анодное окисление металла проводи-

\* Авторы статьи – сотрудники кафедры неорганической химии.

ли в растворе  $\text{HNO}_3$  различной концентрации (таблица) в потенциостатическом режиме при напряжениях до 330 В. Начальная температура электролита составляла 15–25 °С и в процессе эрозии увеличивалась до 95 °С. Дифрактограммы образующихся оксидов снимали на рентгеновском дифрактометре ДРОН-3 (излучение  $\text{CoK}\alpha$ , Ni-фильтр). Форму и размер их частиц изучали методом просвечивающей электронной микроскопии (ЭМ) на приборе ЭМ 125 К (образцы представляли собой углеродную пленку с включенными в нее частицами оксида), а также по уширению линий на рентгенограмме (РГ).

Результаты электрохимического растворения титана и циркония в растворах азотной кислоты

| $\text{C}(\text{HNO}_3)$ ,<br>моль·л <sup>-1</sup> | Область<br>предискрового растворения Ti |                    |                 | Область<br>искрового растворения Ti |                    |                 | Область<br>искрового растворения Zr |                    |                 |
|----------------------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------|-----------------|-------------------------------------|--------------------|-----------------|-------------------------------------|--------------------|-----------------|
|                                                    | $U_n$ , В                               | Размеры частиц, нм |                 | $U_n$ , В                           | Размеры частиц, нм |                 | $U_n$ , В                           | Размеры частиц, нм |                 |
|                                                    |                                         | $r_{\text{РГ}}$    | $r_{\text{ЭМ}}$ |                                     | $r_{\text{РГ}}$    | $r_{\text{ЭМ}}$ |                                     | $r_{\text{РГ}}$    | $r_{\text{ЭМ}}$ |
| 0,10                                               | 100                                     | 20                 | 10–30           | 250                                 | 15                 | 10–45           | 330                                 | 15                 | 20–30           |
| 0,25                                               | 60                                      | 15                 | 10–30           | 205                                 | 10                 | 10–50           | 300                                 | 15                 | 20–50           |
| 0,65                                               | 30                                      | 10                 | 10–40           | 200                                 | 7                  | 20–60           | 270                                 | 20                 | 20–100          |
| 1,00                                               | 23                                      | 7                  | 40–80           | 195                                 | 5                  | 50–100          | 240                                 | 20                 | 20–100          |

Примечание:  $r_{\text{РГ}}$  – размер частиц, определенный рентгенографически;  $r_{\text{ЭМ}}$  – размер частиц, определенный методом электронной микроскопии;  $U_n$  – потенциал пробы;  $U_i$  – потенциал искрения.

Исследование показало, что в течение процесса в растворе азотной кислоты с концентрацией от 0,1 до 1,0 моль·л<sup>-1</sup> при напряжениях  $U$  ниже определенных значений для растворов различной концентрации (см. таблицу) происходит обычный рост анодной оксидной пленки на поверхности титана, и золи оксида не формируются. При достижении потенциала  $U_n$  (см. таблицу) происходит пробой оксидной пленки  $\text{TiO}_2$ , скалывание ее с поверхности анода (кроме тонкого слоя, прилегающего к поверхности металла) и начинается образование золя оксида в ямках травления поверхности титана. Значительная часть поверхности металла при этом остается защищенной тонкой оксидной пленкой. Этот процесс эрозии, или предискрового растворения, металла сопровождается характерным шумом в виде хлопков. При более высоком – 145–170 В – потенциале процесс образования золя сопровождается светящимися микроплазменными разрядами (процесс искрового растворения металла).

Было установлено, что при электрохимической эрозии титана концентрация электролита и условия протекания процесса существенно влияют на размеры образующихся частиц, их фазовый состав и концентрацию золя. Анодно-плазменная эрозия титана в области предискрового растворения в  $\text{HNO}_3$  с концентрацией 0,65–1 моль·л<sup>-1</sup> происходит при потенциале 23–30 В, плотности тока 8,5–10 А/дм<sup>2</sup> и приводит к образованию нанометровых частиц  $\text{TiO}_2$  рутильной модификации с размером 10–80 нм, определенным методом ЭМ (рис. 1, кривая 1). В растворе  $\text{HNO}_3$  с концентрацией менее 0,6 моль·л<sup>-1</sup> эрозия происходит при потенциале до 100 В (плотность тока – 3,5–4 А·дм<sup>-1</sup>). В этом случае образуется смесь высокодисперсного оксида рутильной и анатазной модификаций с размером частиц 10–30 нм (рис. 1, кривая 2). В области искрового растворения титана (при потенциале 195–250 В) в растворе  $\text{HNO}_3$  во всем интервале концентраций образуется смесь этих двух полиморфных модификаций  $\text{TiO}_2$  с размерами частиц 10–100 нм (рис. 1, кривая 3).

Определенные рентгенографически размеры частиц  $\text{TiO}_2$ , полученных при предискровом растворении титана в растворе  $\text{HNO}_3$  (0,1–1,0 моль·л<sup>-1</sup>), лежат в области 7–20 нм, а при искровом растворении – 5–15 нм. При увеличении концентрации  $\text{HNO}_3$  в растворе до 0,6 моль·л<sup>-1</sup> эти размеры и в первом, и во втором случаях уменьшаются до 7–5 нм, в то время как со-



гласно ЭМ-исследованиям размеры частиц  $\text{TiO}_2$ , наоборот, увеличиваются от 10–30 до 40–100 нм. Расхождение данных по размерам частиц, полученных с помощью ЭМ- и РГ-исследований, можно объяснить тем, что в золях присутствуют не только индивидуальные первичные частицы, но и их агрегаты.

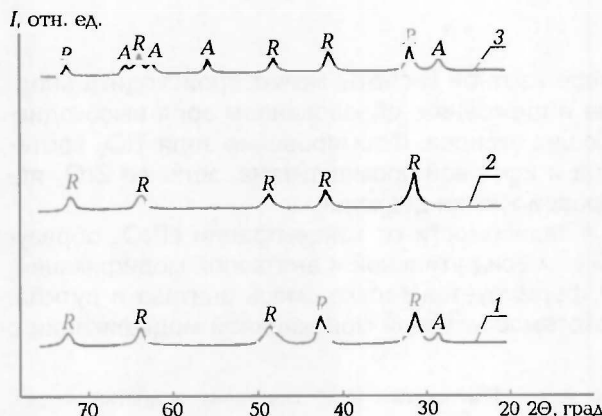


Рис. 1. Дифрактограммы воздушно-сухих порошков диоксида титана, сформированных в растворе  $\text{HNO}_3$ :  
1 –  $0,65 \text{ моль} \cdot \text{л}^{-1} \text{HNO}_3$  при 30 В; 2 –  $0,25 \text{ моль} \cdot \text{л}^{-1} \text{HNO}_3$  при 60 В;  
3 –  $0,65 \text{ моль} \cdot \text{л}^{-1} \text{HNO}_3$  при 200 В

Заметим, что при формировании золя, содержащего частицы  $\text{TiO}_2$  только рутильной модификации, плотность тока в 3–5 раз превышает ту, при которой формируются золи, содержащие частицы  $\text{TiO}_2$  рутильной и анатазной модификаций; при уменьшении плотности тока с 4 до  $0,6 \text{ А дм}^{-2}$  снижается концентрация анатазной модификации в смеси.

В ходе анодно-искрового оксидирования выделяется большое количество кислорода [2].

Возникновение и развитие разряда связывают с образованием газовых пузырей в местах пробоя оксидной пленки [1]. Искровой пробой газового промежутка является причиной возникновения канала расплавленного оксида в анодном покрытии. Он завершается в момент выброса расплава из канала в электролит и разрушения газового промежутка. Температура в поре резко снижается, уменьшается объем пузырька, и электролит входит в канал поры. Процессы подобного типа повторяются многократно. В результате уменьшается время теплового воздействия разряда на стенки пор. В предискровой области потенциалов частота пробоев меньше, чем в области искровых разрядов, и соответственно тепловое воздействие на стенки каналов больше. Этим можно объяснить, что при предискровом растворении по сравнению с процессом, сопровождающимся искровыми разрядами, создаются более благоприятные условия для образования золя частиц при высокотемпературной модификации  $\text{TiO}_2$  рутила.

В случае циркония образования частиц  $\text{ZrO}_2$  в растворе  $\text{HNO}_3$  не происходит до появления искрения. Электрод покрывается плотной оксидной пленкой черного цвета. Только при достижении потенциала искрения (240–330 В) происходит пробой оксидной пленки и начинается образование золя частиц  $\text{ZrO}_2$ , причем по всей ее поверхности наблюдаются голубые микроплазменные разряды. При дальнейшем повышении потенциала (на 20 В больше начала искрения) анод полностью охватывается плазмой, оксидная пленка становится рыхлой и одновременно с образованием золя частиц  $\text{ZrO}_2$  происходит ее скалывание с поверхности анода в виде крупных частиц.

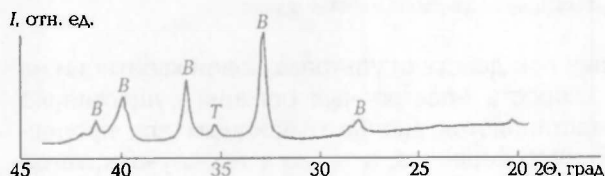


Рис. 2. Дифрактограмма воздушно-сухого порошка диоксида циркония, сформированного при анодно-искровом режиме в растворе  $0,65 \text{ моль} \cdot \text{л}^{-1} \text{HNO}_3$

Как и для титана, искровая эрозия циркония происходит сходным образом в растворах  $\text{HNO}_3$  различной концентрации ( $0,1\text{--}1,0$  моль·л<sup>-1</sup>). При этом образуются частицы  $\text{ZrO}_2$  моноклинной с примесью тетрагональной модификации (рис. 2) размером 20–100 нм, по данным ЭМ-исследования, и 15–20 нм – по РГ-данным.

\* \* \*

Установлено, что в растворе азотной кислоты может происходить анодно-плазменная эрозия титана и циркония с образованием золя высокодисперсных частиц соответствующих оксидов. Формирование золя  $\text{TiO}_2$  протекает в процессе предискровой и искровой эрозии титана, золь же  $\text{ZrO}_2$  является продуктом только искровой эрозии циркония.

В предискровой области в зависимости от концентрации  $\text{HNO}_3$  образуются частицы  $\text{TiO}_2$  рутильной и смеси рутильной и анатазной модификаций. В условиях искровой эрозии формируется только смесь анатаза и рутила.  $\text{ZrO}_2$  образуется в виде высокотемпературной моноклинной модификации с примесью тетрагональной.

1. Черненко В.И., Снежко А.А., Паланова И.И. Получение покрытий анодно-искровым электролизом. Л., 1991.

2. Баковец В.В., Поляков О.В., Долговесова И.П. Плазменно-электролитическая анодная обработка металлов. Новосибирск, 1991.

3. Гордиенко П.С., Руднев В.С. Электрохимическое формирование покрытий на алюминии и его сплавах при потенциалах искрения и пробоя. Владивосток, 1999.

4. Щукин Г.Л., Беланович А.Л. // Избранные труды Белорусского государственного университета: В 7 т. Мн., 2001. Т. 5. С. 263.

5. Савенко В.П., Беланович А.Л., Щукин Г.Л., Свиридов В.В. // Весці АН Беларусі. Сер. хім. навук. 1993. № 2. С. 34.

6. Савенко В.П., Беланович А.Л., Щукин Г.Л. // Вестн. Белорус. ун-та. Сер. 2. 1993. № 2. С. 3.

7. Щукин Г.Л., Беланович А.Л., Савенко В.П. и др. // Весці АН Беларусі. Сер. хім. навук. 1994. № 3. С. 5.

8. Щукин Г.Л., Беланович А.Л., Савенко В.П. и др. // Весці АН Беларусі. Сер. хім. навук. 1996. № 2. С. 5.

9. Щукин Г.Л., Савенко В.П., Беланович А.Л., Свиридов В.В. // Весці НАН Беларусі. Сер. хім. навук. 1998. № 3. С. 5.

Поступила в редакцию 18.05.2002.

**Георгий Лукич Щукин** – кандидат химических наук, старший научный сотрудник.

**Анатолий Леонидович Беланович** – кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник.

**Сергей Александрович Карпушенков** – младший научный сотрудник.

**Виктор Петрович Савенко** – научный сотрудник.

УДК 541.183+534.2

А.В. КОНДРАТЮК, А.И. КУЛАК

## ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ЭЛЕКТРОДОВ В УСЛОВИЯХ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КАВИТАЦИИ

The enhancement of photocurrent generation has been found to occur at the illuminated semiconductor  $\text{TiO}_2$  electrode exposed to the ultrasound. It has been shown theoretically that the observed effect can be attributed to the increase of electron transfer rate at the «semiconductor/electrolyte» interface as the result of lowering of solvent reorganization energy at the sites at the electrode surface where the asymmetrical collapse of cavitation bubbles occurs.

Известно, что в ряде случаев при действии ультразвуковой кавитации на электрохимические системы скорость электродных реакций существенно увеличивается [1–4]. Это представляется вполне очевидным для процессов, лимитированных стадией массопереноса, а также в тех случаях, когда электродный процесс тормозится наличием оксидного, адсорбционного ли-

бо иного пассивационного слоя, способного разрушаться под действием кавитации на электродную поверхность. Существенно менее понятна природа ультразвуковой активации электродных процессов, лимитированных стадией электронного переноса [5–7]. Основным фактором, затрудняющим количественное измерение степени кавитационного воздействия на скорость межфазного переноса электронов, является диффузионная стадия, для которой эффект ультразвуковой активации выражен в значительно большей степени. Теоретический анализ в рамках континуальной модели показал, что при действии кавитации на электродную поверхность может происходить импульсное локальное возрастание константы скорости электронного переноса ( $k_e$ ) в местах атаки поверхности микропотоками, генерированными асимметрично схлопывающимися кавитационными пузырьками [5–7]. Несмотря на то что данная теория предсказывает возможность многократного (в сотни раз [6]) увеличения локальных значений  $k_e$  и соответственно адекватного возрастания плотности тока на участках поверхности в зоне действия схлопывающихся кавитационных пузырьков, экспериментальная количественная верификация таких эффектов оказывается достаточно сложной ввиду резкого снижения измеряемой величины акустоэлектрохимического отклика электродной системы в результате его интегрирования как по поверхности электрода, так и во времени. В связи с этим для наблюдения подобных эффектов нами было предложено использовать объемно-распределенный электрод на основе ансамбля из углеродных нитей, позволяющий интегрировать индуцированное кавитацией увеличение тока практически по всему объему электродной системы [8].

В развитие исследований, направленных на обнаружение эффектов инициирования ультразвуком стадии электронного переноса в гетерогенных системах, выявление масштабов проявления и механизмов этих эффектов, нами в рамках данного сообщения рассматриваются особенности действия ультразвука на модельную электрохимическую систему с полупроводниковым (диоксид-титановым) электродом, протекание тока в которой индуцировано действием УФ-облучения. Предполагалось, что использование полупроводникового электрода *n*-типа при анодной поляризации позволит минимизировать роль диффузионных стадий в формировании акустоэлектрохимического отклика, поскольку, как известно, поток носителей заряда через границу раздела фаз в этих условиях определяется эффективностью процессов фотогенерации электронно-дырочных пар, их разделения и доставки неосновных носителей зарядов (фотодырок) через область пространственного заряда в полупроводнике [9]. В отсутствие УФ-облучения темновой анодный ток на  $\text{TiO}_2$ -электродах также не лимитирован диффузией со стороны электролита, а обусловлен туннелированием электронов через область пространственного заряда в зону проводимости полупроводника [9, 10].

Для изучения инициированных ультразвуком электро- и фотоэлектрохимических процессов использовалась кварцевая трехэлектродная ячейка (объем электролита 100 мл), снабженная хлорсеребряным электродом сравнения (отделенным от раствора капилляром Лuggина), платиновым противозлектродом и рабочим диоксид-титановым электродом, размещенным на расстоянии 4 мм от излучающей ультразвук торцевой части волновода пьезокерамического преобразователя. Особое внимание уделялось минимизации действия электромагнитных, электрических и акустических помех от ультразвукового генератора и излучателя на электродную систему (использование гибкого экранированного капилляра Лuggина, тщательная изоляция титанового волновода, экранирование всех входных цепей и коммутационных элементов, оптимизированная схема заземления и т. д.). Частота ультразвука – 44 КГц; выходная мощность ультразвукового генератора варьировалась в интервале 20–80 Вт. Для получения вольт-амперных ха-

рактических характеристик электродной системы использовался потенциостат ПИ-50-1 с программатором ПР-8 и двухкоординатным самописцем ЛКД 4-002. В качестве источника УФ-излучения использовалась ртутно-кварцевая лампа ДРШ-500М, снабженная тепловым фильтром и кварцевой оптикой, фокусирующей излучение на поверхность рабочего электрода. Диоксид-титановые электроды приготавливались осаждением пленки  $\text{TiO}_2$  гидролизом полибутилтитаната на титановой подложке с последующей термообработкой при  $450^\circ\text{C}$  (анатаз с концентрацией донорных центров  $N_d$  около  $10^{19}\text{ см}^{-3}$ ). Электрохимические и фотоэлектрохимические свойства такого рода электродов детально были описаны ранее [9–11] и могут быть охарактеризованы как типичные для химически стабильных широкозонных полупроводников  $n$ -типа с низкой собственной электрокаталитической активностью.

Выполненное исследование показало, что действие ультразвука на темновые анодные процессы на  $\text{TiO}_2$ -электродах в индифферентном (с точки зрения редокс-свойств) электролите приводит к незначительному (на 5–10 %) возрастанию плотности тока – появлению соноиндуцированного тока  $\Delta i_s = i_s - i_o$ , где  $i_s$  и  $i_o$  – плотность тока при действии ультразвука и в его отсутствие соответственно. При этом интенсифицирующее воздействие удавалось зарегистрировать лишь при достаточно высокой интенсивности кавитации (при выходной мощности генератора 50–80 Вт), снижение которой вызывало падение соноиндуцированного тока до малых значений, практически не различимых на фоне присущих  $\text{TiO}_2$ -электроду флуктуаций темнового анодного тока. В некоторых случаях при высоких анодных потенциалах (выше 2,8–4,0 В относительно хлорсеребряного электрода сравнения) наблюдалось резкое возрастание соноиндуцированного тока, что, однако, может рассматриваться как результат пробоя, связанного с повреждением пленки  $\text{TiO}_2$  и появлением тока анодного окисления титановой подложки.

В условиях катодной поляризации соноиндуцированный эффект выражен принципиально сильнее – при действии ультразвуковой кавитации ток восстановления кислорода возрастает в 10–30 раз (в начальной области поляризационной кривой) и даже в 50–200 раз (в области токов насыщения). Такое поведение электродной системы представляется вполне объяснимым, поскольку протекающий ток является диффузионно-лимитированным и сильно зависит от эффективности подвода молекулярного (растворенного) кислорода, адсорбции его на достаточно разветвленную поверхность  $\text{TiO}_2$ -электрода, проникновения в глубь пор оксида и других процессов, чувствительных к гидродинамическим условиям, резко изменяющимся под действием ультразвуковой кавитации.

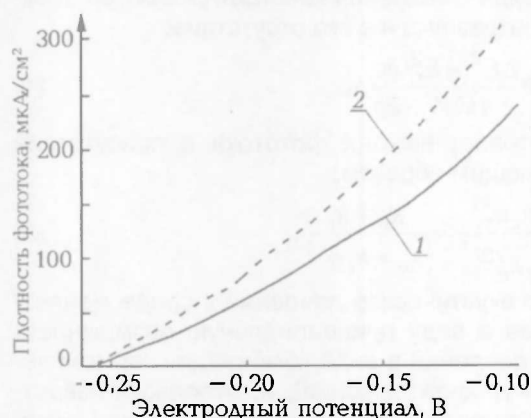
Ультразвуковое воздействие на поверхность  $\text{TiO}_2$ -электрода при его одновременном УФ-облучении приводит к возрастанию фототока на величину  $\Delta i_s^* = i_s^* - i_o^*$ , где  $i_s^*$  и  $i_o^*$  – плотность фототока при действии ультразвука и в его отсутствие соответственно. Данный эффект наиболее выражен (увеличение фототока на 15–20 %) на участке подъема  $i_s^*(E)$ -кривой (рисунок) и не может рассматриваться как результат соноиндуцированного повышения темнового анодного тока, поскольку абсолютные значения  $\Delta i_s^*$  практически на два порядка выше, чем значения темнового анодного тока, и соответственно величина  $\Delta i_s$  является исчезающе малой на фоне  $\Delta i_s^*$ . Действие ультразвука, однако, не оказывает заметного влияния на величину потенциала начала генерации фототока ( $E_{on}$ ) и соответственно на потенциал плоских зон полупроводника ( $E_{fb}$ ), что свидетельствует об отсутствии выраженного влияния ультразвука на распределение скачков потенциала в данной электродной системе.

При достаточно больших анодных потенциалах (смещении на 0,3–0,6 В от  $E_{on}$ ) фототок на полупроводниковых электродах обычно лимитирован доставкой дырок из объема кристалла к поверхности раздела фаз и в наи-

более общем виде квантовый выход фототока  $Y$  описывается известным уравнением Гартнера [11]:

$$Y = 1 - \frac{e^{-\alpha L_{sc}}}{1 + \alpha L_p},$$

где  $\alpha$  – коэффициент оптического поглощения полупроводника,  $L_{sc}$  – длина области пространственного заряда в полупроводнике,  $L_p$  – диффузионная длина для неосновных носителей тока (дырок).



Зависимость фототока от электродного потенциала (измеренного по отношению к насыщенному Ag/AgCl электроду сравнения) для диоксид-титанового электрода в водном растворе 0,25 М сульфата калия в отсутствие кавитации (1) и при действии ультразвуковой кавитации (2)

При меньших уровнях поляризации увеличивается роль поверхностной рекомбинации фотогенерированных носителей зарядов и появляется необходимость дополнительного учета соотношения константы скорости поверхностной рекомбинации ( $k_r$ ) и скорости электрохимической реакции ( $k_e$ ) [11]:

$$Y = \frac{1}{1 + k_r k_e^{-1}} \left( 1 - \frac{e^{-\alpha L_{sc}}}{1 + \alpha L_n} \right).$$

В первом приближении, очевидно, можно принять, что ультразвуковое поле и генерируемая им кавитация не оказывают влияния ни на константу поверхностной рекомбинации, ни на выражение в скобках, содержащее параметры, характеризующие полупроводник.

Основным фактором действия кавитации на электродную систему в данном случае можно признать ее влияние на константу скорости электрохимической реакции по типу рассмотренного нами ранее воздействия ультразвуковой кавитации на гомогенные редокс-процессы [5–7].

В общем виде константа скорости электрохимической стадии (переноса заряда через границу раздела фаз) описывается выражением [12]:

$$k_e = C e^{-\frac{(E_r + \Delta E)^2}{4kTE_r}},$$

где  $E_r$  – энергия реорганизации растворителя (раствора электролита),  $\Delta E = E_v - e\phi_{sc} - E_F$ ,  $E_v$  – энергия потолка валентной зоны,  $E_F$  – положение уровня Ферми в полупроводнике,  $\phi_{sc}$  – падение потенциала в области пространственного заряда в случае, когда падением потенциала в диффузном слое электролита можно пренебречь. Энергия реорганизации растворителя определяется значениями оптической ( $\epsilon_0$ ) и статической ( $\epsilon_s$ ) диэлектрических проницаемостей [13]:

$$E_r = (\Delta e)^2 \left[ (2a)^{-1} - (4R)^{-1} \right] (\epsilon_0^{-1} - \epsilon_s^{-1}) = A (\epsilon_0^{-1} - \epsilon_s^{-1}),$$

где  $\Delta e$  – изменение заряда в ходе реакции,  $a$ ,  $R$  – радиус реагирующей частицы и расстояние от ее центра до поверхности электрода, причем, поскольку для воды и водных растворов  $\epsilon_0 < \epsilon_s$ , параметром  $\epsilon_s^{-1}$  можно пренебречь и при дальнейшем рассмотрении учитывать лишь роль  $\epsilon_0$ .

Импульсы давления, генерируемые в условиях ультразвуковой кавитации прежде всего за счет атаки электродной поверхности микроструями от асимметрично схлопывающихся кавитационных пузырьков и в результате



ударно-волнового воздействия, приводят к модуляции диэлектрической проницаемости среды [5–7]:

$$\Delta\epsilon = \epsilon^* - \epsilon = \frac{\partial\epsilon}{\partial\rho}\Delta\rho,$$

где  $\epsilon^*$  – диэлектрическая проницаемость в условиях ультразвукового воздействия.

В общем случае, учитывая, что  $\Delta\epsilon \ll \epsilon$ , увеличение скорости стадии переноса заряда можно выразить в виде отношения констант скоростей электронного переноса при действии ультразвука и в его отсутствие:

$$g = \frac{k_e^{y3}}{k_e} = e \frac{\Delta E^2 - E_r^2}{4kTA} \frac{\partial\epsilon}{\partial\rho} \Delta\rho, \quad (1)$$

и относительное изменение квантового выхода фототока в присутствии ультразвука можно выразить следующим образом:

$$\gamma = \frac{\gamma^{y3}}{\gamma} = \frac{1 + k_r k_e^{-1}}{1 + k_r k_e^{y3-1}} = \frac{k_e + k_r}{k_e + k_r g^{-1}}. \quad (2)$$

Если для простоты принять, что акустическое давление в среде меняется по гармоническому закону (имея в виду принципиальную возможность представления реального спектра давлений в виде комбинации гармонических функций как результата его Фурье-разложения), и, используя известную связь между амплитудой акустического давления и модуляцией плотности среды:  $\Delta\rho = \Delta P c^{-2}$  [2], выражение (1) можно записать в виде:

$$g = \frac{k_e^{y3}}{k_e} = e \frac{-E_r^2 + \Delta E^2}{4kTA} \frac{\partial\epsilon}{\partial\rho} \frac{\Delta P}{c^2} \sin\omega t, \quad (3)$$

где  $\Delta P = P_0 \sin \omega t$ ;  $P_0$  – амплитудное значение давления,  $\omega$  – частота основной гармоники,  $c$  – скорость звука в среде. Интегрируя (3) по периоду ультразвуковых колебаний и подставляя в (2), для относительного изменения квантового выхода фототока получим:

$$\gamma^{y3} = \frac{k_e + k_r}{k_e + \frac{k_r}{I_0 \left( \frac{\Delta E^2 - E_r^2}{4kTA} \frac{\partial\epsilon}{\partial\rho} \frac{P_0}{c^2} \right)}}, \quad (4)$$

где  $I_0(z)$  – модифицированная функция Бесселя нулевого порядка.

Учитывая, что амплитуда акустического давления  $P_0$  в жидкости связана с интенсивностью ультразвукового поля  $J$  уравнением [2]:  $P_0 = \sqrt{c\rho_0 J}$ , и разлагая функцию Бесселя в ряд, ограничиваясь двумя первыми членами разложения для малых значений аргумента ( $I_0(z) = 1 + z^2/4$ ), получим:

$$\gamma^{y3} = \frac{2\pi(k_e + k_r)(1 + D^2 J)}{k_r + 2\pi k_e(1 + D^2 J)}; \quad D = \frac{\sqrt{\rho}}{c^2} \frac{\Delta E^2 - E_r^2}{8kTA} \frac{\partial\epsilon}{\partial\rho}. \quad (5)$$

Для высоких значений акустоэлектрохимического отклика первый член разложения функции Бесселя имеет вид  $I_0(z) = \frac{e^z}{\sqrt{2\pi z}}$ , и выражение (4) трансформируется следующим образом:

$$\gamma^{y3} = \frac{k_e + k_r}{k_e + k_r \sqrt{\frac{D}{2\pi}} J^{1/4} e^{-D\sqrt{J}}}. \quad (6)$$

Как следует из полученных уравнений (5) и (6), в общем виде зависимость акустоиндуцированного отклика фотоэлектрохимической системы включает две основные компоненты – низкоуровневую, в которой имеет ме-



сто почти линейная зависимость отклика от интенсивности ультразвука, и практически обратную гиперболическую при высоких уровнях кавитации. Численные оценки, выполненные по уравнениям (5), (6) с использованием типичных значений параметров электродной системы  $\text{TiO}_2$  – электролит для случая  $k_e \approx k_r$ , показали, что при увеличении интенсивности ультразвука от 10 до 50 Вт/см<sup>2</sup> происходит импульсное локальное увеличение константы скорости электронного переноса от 20–30 до 250–300 раз. После интегрирования акустогенерированных импульсов тока по времени и по площади электрода величина акустоиндуцированного эффекта находится в пределах 10–15 %, что вполне соответствует экспериментальным данным (см. рисунок).

Таким образом, в рамках данной работы нами с использованием полупроводникового химически инертного электрода установлен факт кавитационно-индуцированного увеличения фототока, лимитированного стадией электронного переноса, и впервые теоретически обоснована возможность повышения скорости электронного переноса на границе раздела фаз «полупроводник / реакционная среда (электролит)» за счет импульсного локального увеличения давления и изменения энергии реорганизации среды в местах асимметрично схлопывающихся кавитационных пузырьков.

1. Suslick K.S., Price G.J. // *Annu. Rev. Mater. Sci.* 1999. Vol. 29. P. 295.
2. Perusich S.A., Alkire R.C. // *J. Electrochem. Soc.* 1991. Vol. 138. P. 708.
3. Benahcene A., Petrier C., Reverdy G. // *New J. Chem.* 1995. Vol. 19. 989.
4. Zhang H., Coury L.A. // *Anal. Chem.* 1993. Vol. 65. 1552.
5. Dezhkunov N.V., Francescutto A., Kulak A.I. et al. // *Proc. II Int. Symp. on Cavitation*. Tokyo, 1994. P. 207.
6. Кондратюк А.В., Кулак А.И. // *Вестн. Белорус. ун-та. Сер. 2.* 1996. № 2. С. 12.
7. Dezhkunov N.V., Kulak A.I., Francescutto A. // *Ultrasonic Sonochemistry*. 1996. Vol. 34. P. 551.
8. Крутько Н.П., Кондратюк А.В., Дубкова В.И., Кулак А.И. // *Докл. АН БССР*. 1996. Т. 40. С. 68.
9. Кулак А.И. *Электрохимия полупроводниковых гетероструктур*. Мн., 1986.
10. Кулак А.И., Пахомов В.П., Свиридов В.В., Щукин Г.Л. // *Электрохимия*. 1979. Т. 15. С. 538.
11. Гуревич Ю.Я., Плесков Ю.В. *Фотоэлектрохимия полупроводников*. М., 1983.
12. Marcus R.A. // *J. Chem. Phys.* 1965. Vol. 43. 679.
13. Kobayashi K., Takata M., Okamoto S. // *J. Electrochem. Soc.* 1984. Vol. 131. P. 1832.

Поступила в редакцию 27.05.2002.

**Андрей Витальевич Кондратюк** – младший научный сотрудник НИИФХП.

**Анатолий Иосифович Кулак** – доктор химических наук, заместитель директора по научной работе Института общей и неорганической химии НАН Беларуси.

УДК 547.517

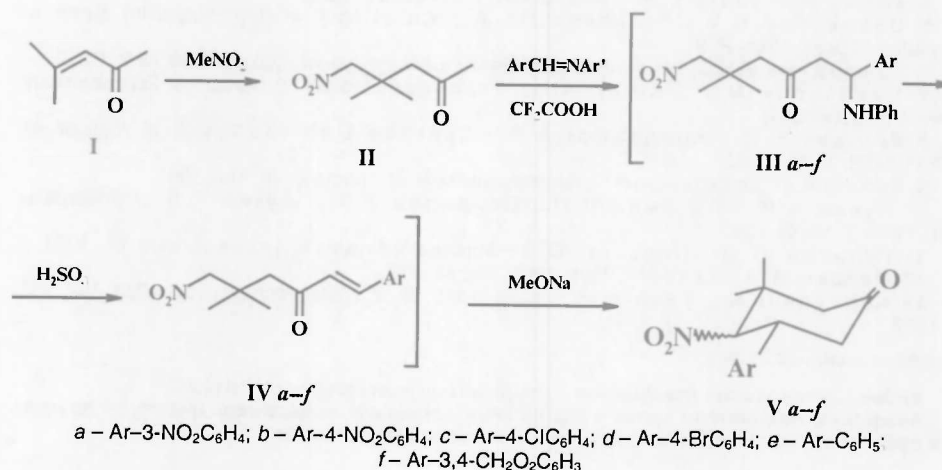
В.Н. КОВГАНКО, Л.С. СТАНИШЕВСКИЙ

### АЗОМЕТИНЫ В СИНТЕЗЕ 3,3-ДИМЕТИЛ-4-НИТРО-5-АРИЛЦИКЛОГЕКСАНОНОВ

A convenient approach to 3,3-dimethyl-4-nitro-5-aryl cyclohexanones has been firstly developed. This method involved trifluoroacetic acid catalysed condensation of 5-nitro-4,4-dimethylpentan-2-one with azomethynes to corresponding unsaturated nitroketones and following intramolecular cyclization of these compounds to necessary cyclohexanones.

Для получения природного анальгетика эпибатицина и его аналогов представляют интерес 4-функционально замещенные циклогексаноны [1–3]. Ранее сообщалось о разработке нового подхода к синтезу 3-арил-4-функционально замещенных циклогексанонов [4, 5], ключевыми стадиями которого являются регioseleктивная конденсация азометинов с соответствующими метилкетонами, дезаминирование полученных β-аминокетонов и внутримо-

лекулярная циклизация образующихся при этом  $\alpha$ -,  $\beta$ -ненасыщенных кетонов. С помощью такой последовательности реакций синтезированы 3-арил-4-нитроциклогексаноны [4] и 3-арил-4,4-бис(метоксикарбонил)циклогексаноны [5]. Настоящая работа посвящена дальнейшему изучению возможностей этого метода, в частности его применению к синтезу 3,3-диметил-4-нитро-5-арилциклогексанонов типа V. С этой целью вначале присоединением нитрометана к окиси мезитила I по Михаэлю по методике [6] с выходом более 60 % нами получен  $\gamma$ -нитрокетон II. Далее соединение II подвергнуто конденсации с различными азометинами. В качестве катализатора этой реакции ранее [4, 5] предложен эфират трифторида бора. В настоящей работе с этой же целью использована трифторуксусная кислота. Установлено, что ее применение не только приводит к образованию  $\beta$ -аминокетонов IIIa–f, но и сопровождается их частичным дезаминированием непосредственно в реакционной смеси с образованием ненасыщенных кетонов IVa–f. Обработка смеси этих веществ раствором серной кислоты ведет к получению ненасыщенных кетонов IVa–f, которые в результате дальнейшей внутримолекулярной циклизации под действием метилата натрия превращаются в целевые соединения Va–f. Таким образом, применение на стадии конденсации кетона II с азометинами трифторуксусной кислоты в качестве катализатора позволяет избежать выделения промежуточных соединений III и IV и тем самым в целом упростить метод синтеза циклогексанонов V:



В ИК-спектрах циклогексанонов Va–f присутствуют полосы характеристических колебаний карбонильной группы при  $1710\text{ см}^{-1}$  и две полосы колебаний нитрогруппы при  $1540$  и  $1340\text{ см}^{-1}$ . Спектры ПМР соединений Va–f практически совпадают и различаются в основном только сигналами ароматических протонов. Судя по данным спектров ПМР, циклогексаноны Va–f получены в виде смеси *транс*/*цис*-изомеров. При этом содержание основного *транс*-изомера составляет 70–90 %. В спектрах ПМР *транс*-изомерам отвечают сигналы метиновых протонов CH-Ar в виде дублета триплета ( $\delta$  3,77–3,95 м. д.,  $J_1$  7,5–9 Гц,  $J_2$  12 Гц) и CH-NO<sub>2</sub> в виде дублета ( $\delta$  5,03–5,15 м. д.,  $J$  12 Гц). В свою очередь, *цис*-изомерам Va–f в спектрах ПМР соответствуют триплет дублета CH-Ar ( $\delta$  3,68–3,86 м. д.,  $J_1$  4,0 Гц,  $J_2$  13,5 Гц) и дублет CH-NO<sub>2</sub> ( $\delta$  4,68–4,78 м. д.,  $J$  4 Гц).

#### Экспериментальная часть

Температуры плавления определены на блоке Кофлера. ИК-спектры получены на приборе Specord 75 IR в растворе хлороформа. Спектры ПМР растворов в дейтерометилхлориде или дейтерохлороформе записаны на ЯМР-спектрометрах Bruker AC-200 и Bruker Avance 400 с рабочими часто-

тами 200 и 400 МГц соответственно. Химические сдвиги приведены относительно ТМС как внутреннего стандарта. Ход реакций и чистоту полученных соединений контролировали с помощью пластинок Silufol UV-254 фирмы Kavalier.

**3,3-Диметил-4-нитро-5-арилциклогексаноны Va–f.** К раствору 15,1 ммоль соответствующего азометина (*a*, *b*, *d*, *e* – Ar' = Ph, *c* – Ar' = 4-BrC<sub>6</sub>H<sub>4</sub>, *f* – Ar' = 3-NO<sub>2</sub>C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>) в 10 мл 1,2-диметоксиэтана добавили сначала 2 мл (12,6 ммоль) нитрокетона II, а затем 0,76 мл трифторуксусной кислоты. Реакционную смесь выдерживали в течение 25–30 ч при 18–20 °С. При этом, судя по данным ТСХ, образуется смесь аминонитрокетона III и ненасыщенного кетона IV. Для полного дезаминирования к реакционной смеси добавили 12 мл толуола и 10 мл 50 %-го раствора серной кислоты и кипятили с обратным холодильником при перемешивании 0,5 ч, затем нагрев прекратили и перемешивание продолжили еще в течение 1,5 ч. Органический слой отделили от водного и последовательно промыли водой, насыщенным раствором бикарбоната натрия и снова водой. После осушки сульфатом магния растворитель отогнали при пониженном давлении, а остаток растворили в 2 мл метанола, к нему добавили раствор метилата натрия в метаноле (получен из 20 мг натрия и 2 мл метанола). Реакционную смесь выдержали при комнатной температуре в течение 10 мин, затем нейтрализовали 0,05 мл уксусной кислоты и охладили. Выпавшие кристаллы циклогексанов Va–f отфильтровали и промыли на фильтре охлажденным метанолом. Приведем выходы и температуры плавления синтезированных соединений: Va – 65 %, 144–148 °С (метанол); Vb – 59 %, 195–197 °С (бензол-петролейный эфир); Vc – 73 %, 138 °С (метанол); Vd – 59 %, 152–154 °С (метанол); Ve – 46 %, 159–160 °С (метанол); Vf – 25 %, 179–180 °С (толуол-циклогексан).

1. Albertini E., Barco A., Benetti S. et al. // Tetrahedron Lett. 1994. Vol. 35. № 49. P. 9297.
2. Barco A., Benetti S., De Risi C. et al. // Tetrahedron Lett. 1998. Vol. 39. № 14. P. 1973.
3. Avenozza A., Busto J. H., Cateviela C., Peregrina J. M. // Synthesis. 1998. № 9. P. 1335.
4. Ковганко Н. Н., Станишевский Л. С. // Весці НАН Беларусі. Сер. хім. навук. 2001. № 2. С. 57.
5. Ковганко Н. Н., Станишевский Л. С. // Вестн. Белорус. ун-та. Сер. 2. 2001. № 2. С. 14.
6. Smith L. I., Engelhardt V. A. // J. Am. Chem. Soc. 1949. Vol. 71. № 8. P. 2676.

**Владимир Николаевич Ковганко** – студент 4-го курса химического факультета.

**Леонид Станиславович Станишевский** – доктор химических наук, профессор кафедры органической химии и химии ВМС.

УДК 678.745.842–134.432.2:543.544

Л.Б. ЯКИМЦОВА, С.С. ЧЕБОТАРЬ, Ю.И. МАТУСЕВИЧ, Л.П. КРУЛЬ

## ГИДРОГЕЛИ НА ОСНОВЕ СОПОЛИМЕРОВ АКРИЛАМИДА С АКРИЛОВОЙ КИСЛОТОЙ, ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ К ИЗМЕНЕНИЮ pH СРЕДЫ

Copolymers, containing 70 mol. % units of acrylamide and 30 mol. % units of acrylic acid or sodium acrylate have been prepared. Hydrogels were received by radiation crosslinking of copolymers in aqua solution. Irradiation dose dependences of values of gel-fraction and absorption degree in distilled water have been determined. It was established that copolymer of acrylamide with sodium acrylate crosslinked more quickly, then copolymer acrylamide with acrylic acid. The absorption degree of copolymer, containing units of sodium acrylate is in ten time more, then the absorption degree of copolymer, containing units of acrylic acid. The absorption degree of crosslinked copolymer increase to 50–60 time during pH solution increasing from 5,5 to 12.

Внимание исследователей продолжают привлекать «умные», или восприимчивые, материалы (intelligent or responsive materials), способные реа-

гировать на небольшие изменения во внешней среде заранее запрограммированным образом [1–3].

Среди водорастворимых полимеров и получаемых из них гидрогелей (ГГ) «умными» могут быть названы системы, которые обратимо реагируют на незначительные изменения свойств среды: pH, температуры, ионной силы, освещенности, электрического поля, присутствие определенных веществ. Чтобы полимерная система обладала такими качествами, в ней при небольших изменениях внешней среды должен происходить фазовый переход первого рода, сопровождающийся резким уменьшением удельного объема макромолекул.

«Умные» полимеры широко и многообразно используются в медицине [2]: в терапии и диагностике различных заболеваний, для создания полимерных систем с целью доставки лекарств в нужное место человеческого организма и их контролируемого выделения, удаления токсинов из растворов и создания новых эффективных систем для иммунологического анализа.

К наиболее известным полимерам такого рода, резко изменяющим конформации полимерных цепей при температуре выше 31–32 °С, относится линейный неионогенный полимер поли-N-изопропилакриламид [4, 5], названное свойство которого используется в биотехнологиях при изготовлении препаратов с контролируемым выделением лекарств при повышении температуры.

Для управляемого выделения лекарств в определенном месте человеческого организма возможно использование ГГ, чувствительных к изменению pH среды, т. е. содержащих группы слабой кислоты и способных к ионизации при изменении pH. К таким кислотам относится акриловая кислота (АК), однако полиакриловая кислота в недиссоциированной форме недостаточно хорошо растворима в воде. Сополимеризация АК с акриламидом (АА), образующим хорошо растворимый в воде полиакриламид, дает возможность получить водорастворимый сополимер. При радиационном облучении водного раствора сополимера можно получить ГГ, чувствительные к изменению pH среды. Выбор АА в качестве сомономера обусловлен также широким применением полиакриламида в медицине в качестве связующего агента в производстве таблеток, как матрицы-носителя лекарственных веществ и основы для глазных пленок, а также при создании лечебных косметических масок и мазей [6].

Цель настоящей работы заключалась в синтезе сополимера АА с АК и акрилатом натрия (АНт), исследовании формирования трехмерной структуры сополимера под действием ионизирующего излучения и изучении водопоглощающей способности образующегося ГГ при различных pH среды.

#### Материал и методика

Для синтеза сополимера использовали АА производства завода химреактивов «REANAL» (Венгрия) с содержанием основного вещества 98,7 % и температурой плавления 82–85 °С. АК марки «ч» очищали перегонкой при пониженном давлении. Компоненты окислительно-восстановительной иницирующей системы – персульфат аммония (ПСА) и сульфит натрия (СН) – брали марки «ч», гидроксид натрия – марки «чда». Синтез сополимеров и определение степени набухания и гель-фракции проводили в дистиллированной воде. Для определения степени набухания использовали также растворы с pH от 2,2 до 12,05, полученные добавлением в дистиллированную воду HCl, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> и NaOH.

Сополимеризацию АА с АК проводили в трехгорлой круглодонной колбе, снабженной механической мешалкой, термометром и обратным холодильником. Колбу помещали в водяную баню с регулируемой температурой. Навеску АА растворяли в таком количестве дистиллированной воды, чтобы при добавлении сомономера и раствора инициаторов концентрация сопо-

лимера при полной конверсии мономеров составляла 7 %. После растворения АА в колбу добавляли АК, мольное соотношение которой с АА составляло 0,3 к 0,7. Раствор сомономеров нагревали до температуры 30 °С, затем при интенсивном перемешивании вводили смесь 10 %-х растворов ПСА и СН. Синтез проводили при температуре 50–55 °С в течение 24 ч. Часть раствора сополимера АА с АК с  $pH \approx 3$  нейтрализовывали NaOH до  $pH$  6,5. При этом получали сополимер АА с АНт.

Для определения вязкости сополимеров методом вискозиметрии разбавлением исходных 7 %-х растворов дистиллированной водой при комнатной температуре приготавливали 0,5 %-е растворы сополимеров АА с АК и АА с АНт. Удельную вязкость определяли при температуре 25 °С в капиллярном вискозиметре Уббелодде с висющим уровнем, диаметр капилляра составлял 0,86 мм. Устанавливали время истечения раствора  $\tau_p$  и растворителя  $\tau_0$  через капилляр и вычисляли удельную вязкость по уравнению:

$$\eta_{уд} = (\tau_p - \tau_0) / \tau_0. \quad (1)$$

Химический состав сополимеров определяли методом ИК-спектроскопии. Раствор сополимеров выливали на кремниевые пластины и помещали в термощаф до полного высыхания при температуре 80 °С. ИК-спектры записывали на спектрофотометре Specord 75 IR. Оптическую плотность характеристических полос определяли методом базовой линии.

ГГ получали радиационным сшиванием при облучении растворов сополимеров при комнатной температуре  $\gamma$ -лучами  $^{60}\text{Co}$  при мощности дозы 1,35 Гр/с на установке РХМ- $\gamma$ -20.

В качестве характеристик сшитого ГГ использовали величины степени набухания и гель-фракции. Для определения водопоглощающей способности ГГ навеску высушенного при 90 °С сополимера помещали в стакан с дистиллированной водой или с раствором, имеющим определенную величину  $pH$ , выдерживали двое суток при комнатной температуре, после чего не связанный с ГГ раствор отфильтровывали и набухший ГГ взвешивали. Температура высушивания была специально подобрана такой, чтобы внутри ГГ не образовывались воздушные пузырьки, затрудняющие определение степени набухания. Величину степени набухания  $\alpha_{сyx}$  определяли как отношение разности масс ГГ, набухшего в воде или растворе  $m_{наб}$ , и массы исходного сухого ГГ  $m_{сyx}$  к массе исходного сухого ГГ:

$$\alpha_{сyx} = (m_{наб} - m_{сyx}) / m_{сyx}. \quad (2)$$

Для определения величины гель-фракции  $g$  набухший в воде ГГ после вымывания из него растворимой фракции отделяли от несвязанной жидкости и высушивали навеску  $m_{наб}$  при 120 °С до постоянной массы  $m_{гф}$ . Величину гель-фракции определяли как отношение массы высушенного набухшего ГГ к массе исходного сухого ГГ.

$$g = m_{гф} / m_{сyx}. \quad (3)$$

Каждая точка, полученная на кривых, – среднее из пяти результатов параллельных измерений.

### Результаты и их обсуждение

Известно, что ГГ с наиболее высокой степенью набухания образуются на начальных стадиях сшивания полиэлектролитов [7]. Соплимеры АА с АК или ее солями также являются полиэлектролитами. Однако сравнительное исследование процесса радиационного сшивания сополимеров АА с АК, с одной стороны, и АА с АНт – с другой, не проводилось.

Ранее было установлено [8, 9], что максимальная степень набухания достигается при оптимальном содержании ионизированных карбоксильных групп в сополимере около 30 мол. %. Дальнейшее увеличение количества заряженных групп в цепи не сопровождается ростом степени набухания.



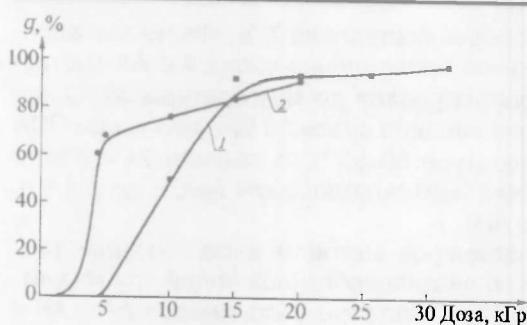


Рис. 1. Зависимость величины гель-фракции от дозы облучения в ГГ, полученном из сополимеров AA с АК — 1 и AA с АНт — 2

Поэтому были синтезированы сополимеры AA с АК и AA с АНт при соотношении мономеров 0,7:0,3.

В ИК-спектре сополимера AA с АК наблюдались полосы поглощения  $3330$  и  $3170\text{ см}^{-1}$ , являющиеся результатом наложения полос, относящихся к ассоциированным OH- и NH-группам. В этой же области волновых чисел проявляются и водородные связи [10]. Присутствует полоса поглощения  $2930\text{ см}^{-1}$ ,

обусловленная валентными колебаниями  $>\text{CH}_2$ -групп в основной цепи макромолекулы [10]. Наиболее сильное поглощение проявляется в области  $1650\text{ см}^{-1}$ . Эта полоса, обозначаемая обычно как Амид I, обусловлена валентными колебаниями связи  $>\text{C}=\text{O}$  в ассоциированной форме [11]. Она же доминирует в спектре ПАА [12]. Полоса поглощения в области  $1550\text{ см}^{-1}$  в спектрах ПАА и сополимера AA с АК отсутствует. В ИК-спектре сополимера AA с АК присутствует полоса поглощения  $1700\text{ см}^{-1}$ , отвечающая за валентные колебания связи  $>\text{C}=\text{O}$  в карбоксильной группе, которая выглядит как плечо на фоне интенсивной полосы Амид I  $1650\text{ см}^{-1}$ .

По мере нейтрализации сополимера AA с АК с  $\text{pH} \approx 3$  до  $\text{pH} \approx 6,5$  происходят существенные изменения в спектре образующегося сополимера AA с АНт. Сохраняется поглощение в области  $3330$ ,  $3170$ ,  $2930$  и  $1650\text{ см}^{-1}$ . Полоса поглощения  $1700\text{ см}^{-1}$ , относящаяся к карбоксильным группам, становится едва заметной, и появляется интенсивная полоса в области  $1550\text{ см}^{-1}$ , обусловленная колебаниями карбонила  $>\text{C}=\text{O}$  в карбоксилатной группе [11].

Подобные различия в ИК-спектрах подтверждают превращение сополимера AA с АК в сополимер AA с АНт с переходом основной части карбоксильных групп в карбоксилатные в результате нейтрализации звеньев АК гидроксидом натрия.

Нейтрализация карбоксильных групп сополимера AA с АК сопровождается возрастанием  $\eta_{\text{уд}}$  0,5 %-го раствора с 2,7 до 59,8. Столь резкое увеличение вязкости возможно в результате такого возрастания объема молекулярных клубков, обусловленного отталкиванием одноименно заряженных карбоксилатных групп, которое обеспечивает их взаимодействие друг с другом. По-видимому, 0,5 %-й раствор для сополимера AA с АК является разбавленным, т. е. межцепное взаимодействие в нем близко к нулю, а для сополимера AA с АНт — умеренно концентрированным со значительным взаимодействием между макромолекулами. Можно допустить, что 7 %-е растворы сополимеров AA с АК и AA с АНт являются умеренно концентрированными.

В процессе облучения 7 %-х растворов обоих сополимеров наблюдалось гелеобразование. Растворы вначале становились более вязкими, а затем превращались в гель (рис. 1). Очевидно, что формирование трехмерной структуры в сополимере AA с АНт происходит при значительно меньших дозах облучения (4,4 кГр), чем в сополимере AA с АК (10 кГр). Предельная величина гель-фракции, составляющая около 93 %, достигается быстрее у сополимера AA с АК, но в целом для обоих сополимеров предельные величины гель-фракции одинаковы.

Возникает вопрос: чем обусловлена меньшая начальная доза гелеобразования сополимера AA с АНт по сравнению с сополимером AA с АК. По-

сколькo один сополимер получен из другого, то различия в концентрации растворов, величине молекулярной массы, ММР и распределении звеньев различного состава в цепи полимера отсутствуют. Следовательно, эти факторы не влияют на формирование трехмерной структуры макромолекул при радиационном сшивании. По-видимому, отличия в величинах дозы, при которой в сополимерах начинается формирование пространственной структуры, связаны с неодинаковой конформацией макромолекулярных клубков, наличием и плотностью так называемой флуктуационной сетки зацеплений, возникающей в умеренно концентрированных растворах полимеров [13].

При превращении сополимера АА с АК в сополимер АА с АНт в макромолекулах в результате диссоциации образуется большое количество заряженных  $\text{COO}^-$ -групп, приводящих к электростатическому отталкиванию фрагментов цепи и распрямлению макромолекул [6]. Размер макромолекулярных клубков возрастает, и одновременно растет плотность флуктуационной сетки зацеплений. В таких условиях увеличивается вероятность образования ковалентных связей путем рекомбинации макрорадикалов, полученных при облучении раствора сополимера.

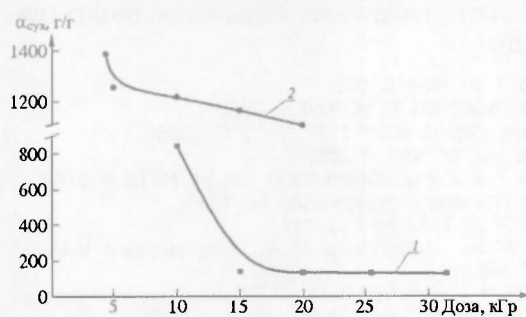


Рис. 2. Зависимость степени набухания от дозы облучения для ГГ, полученных из сополимеров АА с АК – 1 и АА с АНт – 2

Основной характеристикой полиэлектролитного ГГ является степень набухания  $\alpha_{\text{сух}}$  (рис. 2). Очевидно, что с увеличением поглощенной дозы и степени сшивания значения  $\alpha_{\text{сух}}$  снижаются для обоих сополимеров. Более высокое набухание свойственно ГГ из сополимера АА с АНт (см. рис. 2, кривая 2). При начальной дозе гелеобразования степень набухания этого сополимера составляет почти 1400 г/г, тогда как сополимер АА с АК (см. рис. 2, кривая 1) при начальной дозе

гелеобразования имеет величину  $\alpha_{\text{сух}}$  почти в 2 раза ниже (840 г/г). При увеличении дозы облучения различие в величинах степени набухания сополимеров АА с АНт и АА с АК возрастает и при 20 кГр составляет почти порядок, а степень набухания сополимера АА с АНт падает в меньшей степени с увеличением дозы облучения, чем сополимера АА с АК (см. рис. 2). При этом ГГ, полученный в случае высоких доз облучения из АА с АНт, остается супервдoаbсорбентом, тогда как гель из АА с АК имеет низкую величину  $\alpha_{\text{сух}}$ . Такое низкое водопоглощение ГГ из АА с АК (чуть больше 100 г/г) обусловлено низкой степенью диссоциации функциональных групп звеньев АК и соответственно незначительной концентрацией групп, несущих электрический заряд.

Известно, что ГГ, содержащие слабо диссоциированные кислотные группы, являются рН-чувствительными [3], т. е. степень набухания заметно изменяется при изменении рН раствора. Зависимость степени набухания от рН раствора для ГГ, полученного из сополимера АА с АК в результате облучения дозой 15 кГр, приведена на рис. 3. В щелочной среде (при  $\text{pH} > 10$ ) величина  $\alpha_{\text{сух}}$  составляет 550–600 г/г, а в кислой (при  $\text{pH} < 5,5$ ) – 10,5 г/г, т. е. более чем на порядок ниже. Высокая степень набухания ГГ в щелочной среде обусловлена ионизацией карбоксильных групп. В кислой среде, где ионизация подавлена, наблюдается коллапс ГГ, что при переходе в кислую среду может быть использовано для получения лекарственных форм, включающих ГГ и лекарственное вещество, причем количество последнего можно задавать, варьируя водопоглощающие свойства ГГ при его получении.

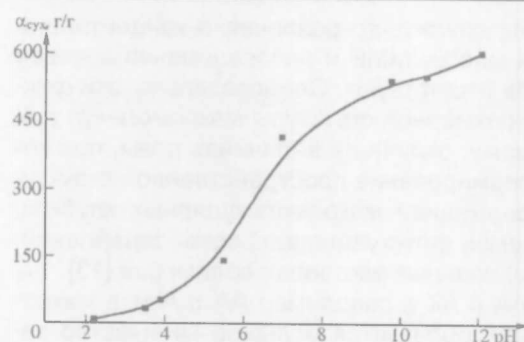


Рис. 3. Зависимость степени набухания геля, полученного из сополимера АА с АК при облучении дозой 15 кГр, от рН раствора

Таким образом, синтезированный сополимер АА с АК, содержащий 30 мол. % звеньев АК. Для исходного и ионизированного сополимеров определены зависимости величин гелевой фракции и степени набухания от дозы облучения. Установлено, что сшивание сополимера в ионизированной форме протекает более интенсивно, и при этом образуется полиэлектролитный ГГ с более высокой степенью набухания (до 1400 г/г) по сравнению с ГГ, полученным из исходного сополимера АА с

АК. Полученные ГГ могут быть использованы в качестве носителей лекарственных веществ, обеспечивающих контролируемое выделение лекарства при определенном значении рН среды.

1. Галаев И. Ю. // Успехи химии. 1995. Т. 64. № 5. С. 505.
2. Кабанов В. Я. // Химия высоких энергий. 2000. Т. 34. № 4. С. 243.
3. Филиппова О. Е. // Высокомолекулярное соединение. Сер. С. 2000. Т. 42. № 12. С. 2328.
4. Winnik F. M. // Macromolecules. 1990. Vol. 94. № 1. P. 233.
5. Kubota K., Fujishige S., Ando I. // J. Phys. Chem. 1990. Vol. 94. № 12. P. 5154.
6. Тенцова А. И., Алюшин М. Т. Полимеры в фармации. М., 1985.
7. Самченко Ю. М. // Коллоид. журн. 2000. Т. 62. № 1. С. 117.
8. Дубровский С. А., Афанасьева М. В., Лагутина М. А., Казанский К. С. // Высокомолекулярное соединение. Сер. А. 1990. Т. 32. № 1. С. 165.
9. Якимцова Л. Б., Матусевич Ю. И., Круль Л. П. // Полимерные композиты-2000: Сб. тр. междунар. науч.-техн. конф., Гомель, 12–13 сент. 2000 г. Гомель, 2000. С. 32.
10. Дехант И., Данц Р., Киммер В., Шмольке Р. Инфракрасная спектроскопия полимеров. М., 1976.
11. Браун Д., Флорид А., Сейнзбери М. Спектроскопия органических веществ. М., 1992.
12. Круль Л. П., Якимцова Л. Б., Нарейко Е. И. и др. // Весні НАН Беларусі. Сер. хім. навук. 1999. № 4. С. 95.
13. Орленева А. П., Королев Б. А., Литманович А. А. и др. // Высокомолекулярное соединение. Сер. А. 1998. Т. 40. № 7. С. 1179.

Поступила в редакцию 06.03.2002.

**Людмила Борисовна Якимцова** – кандидат химических наук, старший научный сотрудник.

**Светлана Сергеевна Чеботарь** – студентка 5-го курса химического факультета.

**Юрий Иванович Матусевич** – кандидат химических наук, старший научный сотрудник НИИФХП.

**Леонид Петрович Круль** – доктор химических наук, профессор, заведующий лабораторией НИИФХП.



УДК 595.768.49

О.Л. НЕСТЕРОВА

## ТАКСОНОМИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ЛИСТОЕДОВ (COLEOPTERA, CHRYSOMELIDAE) ФАУНЫ БЕЛАРУСИ

The article presents some results of researching the fauna of the leaf beetles in Belarus. It was made the attempt to analyse the faunistic structure of Belarus fauna. As a result a list of leaf beetles of Belarus contains 358 species, that belong to the 67 genera and 13 subfamilies.

By the genera quantity *Alticinae* (19), *Chrysomelinae* (16) and *Galerucinae* (10) are the largest subfamilies. *Criocerinae* and *Clytrinae* have 4 genera, others subfamilies include from 1 to 3 genera.

By the species variety *Alticinae* subfamily dominates (it contains 146 species). *Chrysomelinae* (58), *Cryptocephalinae* (40), *Donaciinae* (29), *Galerucinae* (26) and *Cassidinae* (24) are quite large subfamilies. Others subfamilies have less than 12 species. *Orsodacninae*, *Synetinae* and *Hispinae* are represented by the single species.

Further it was made the comparative researches of Belarus and Baltic faunas for the estimation of Belarus fauna specificity.

Число видов жуков-листоедов (*Coleoptera*, *Chrysomelidae*) на территории Республики Беларусь [1, 2] продолжает увеличиваться благодаря новым исследованиям. До настоящего времени не делалось попыток оценки и сравнения таксономического разнообразия этого семейства с соседними регионами Восточной Европы. Однако это необходимо для оценки своеобразия местной фауны и объяснения сходств и отличий, наблюдающихся при подобных сравнениях.

Материалом для настоящей статьи послужили как фаунистические списки, так и собственные сборы последних лет, проведенные в следующих районах на территории Беларуси: НП «Беловежская пуща» (Брестская обл.), Березинский государственный биосферный заповедник, Глубокский район (Витебская обл.), Минский район и окрестности г. Минска (Минская обл.).

Экологическая структура фауны листоедов будет рассмотрена нами в следующей публикации.

По систематическому составу фауна листоедов Беларуси является типично восточноевропейской. Она представлена 358 видами, которые относятся к 67 родам из 13 подсемейств. Здесь, как и в других фаунах Восточной Европы, численно доминируют подсемейства *Alticinae*, *Chrysomelinae* и *Cryptocephalinae* (формула фауны  $Ait - Chry - Cry$ ). Достаточно богаты видами также *Donaciinae*, *Galerucinae* и *Cassidinae*. Остальные подсемейства представлены небольшим количеством видов. Подсемейства *Orsodacninae*, *Synetinae* и *Hispinae* имеют только по одному представителю.

Такое соотношение (рис. 1) объясняется следующим. Некоторые подсемейства (*Eumolpinae*, *Galerucinae*, *Hispinae*) наиболее многочисленны в тропиках и субтропиках обоих полушарий. Немногие роды заходят в умеренные части Евразии вплоть до границы зоны смешанных лесов. Другие же

подсемейства (*Synetinae*, *Orsodacninae*) малочисленны во всех зоогеографических областях.

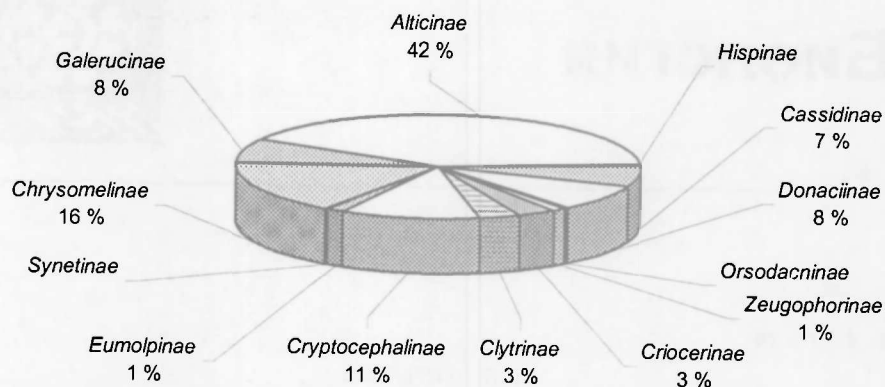


Рис. 1. Видовое разнообразие подсемейств листоедов фауны Беларуси

Общая закономерность прослеживается и в соотношении числа родов в подсемействах (рис. 2).

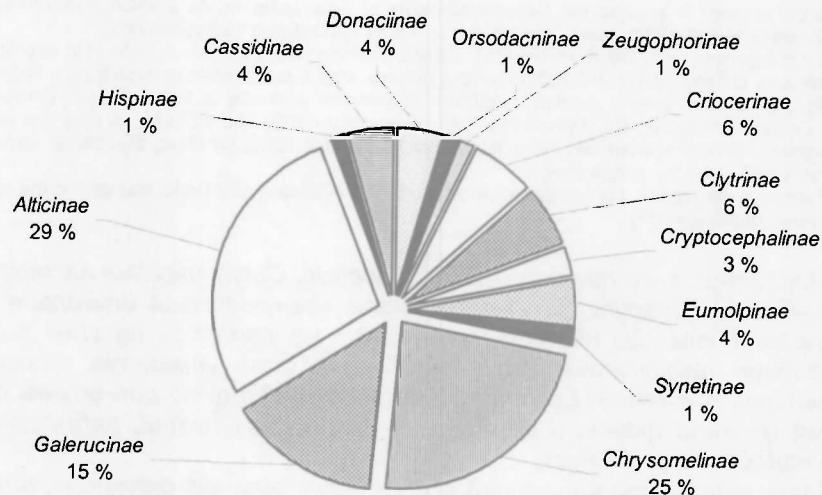


Рис. 2. Количество родов в подсемействах фауны Беларуси

Особенности белорусской фауны листоедов выявляются при сравнении числа родов в подсемействах в нашем регионе и в фауне Палеарктики (табл. 1). Подсемейства *Galerucinae*, *Eumolpinae*, *Alticinae* и *Chrysomelinae* доминируют и в мировой фауне. Однако по сравнению с фауной Палеарктики подсемейство *Eumolpinae* в Беларуси не является доминирующим: оно составляет всего 4 % от общего количества родов местной фауны листоедов. Подсемейство *Alticinae* самое богатое родами в фауне Беларуси, тогда как в фауне Палеарктики по количеству родов оно беднее подсемейств *Galerucinae* и *Eumolpinae*.

При небольшом числе родов обращает на себя внимание видовое богатство некоторых из них. Представленные в табл. 2 роды вообще относятся к широко распространенным и богатым видами, что можно объяснить как разнообразием их трофических связей, так и длительным существованием в составе фауны Земли.

Исключение составляет только род *Donacia*, эволюция которого проходила в Северном полушарии, главным образом в умеренных и холодных его регионах. Виды этого рода связаны с пресными водоемами, и, вероятно, географическая изоляция привела к интенсивному видообразованию.



Таблица 1

| Количество родов в подсемействах |                  |          |
|----------------------------------|------------------|----------|
| Подсемейство                     | Количество родов |          |
|                                  | Палеарктика      | Беларусь |
| <i>Donaciinae</i>                | 4                | 3        |
| <i>Orsodacninae</i>              | 1                | 1        |
| <i>Zeugophorinae</i>             | 2                | 1        |
| <i>Criocerinae</i>               | 4                | 4        |
| <i>Clytrinae</i>                 | 12               | 4        |
| <i>Cryptocephalinae</i>          | 6                | 2        |
| <i>Eumolpinae</i>                | 52               | 3        |
| <i>Synetinae</i>                 | 1                | 1        |
| <i>Chrysomelinae</i>             | 36               | 15       |
| <i>Galerucinae</i>               | 53               | 10       |
| <i>Alticinae</i>                 | 46               | 19       |
| <i>Hispiinae</i>                 | 10               | 1        |
| <i>Cassidinae</i>                | 15               | 3        |

Таблица 2

Видовое разнообразие родов фауны  
Беларуси

| Род                   | Количество видов |
|-----------------------|------------------|
| <i>Donacia</i>        | 22               |
| <i>Cryptocephalus</i> | 39               |
| <i>Chrysolina</i>     | 23               |
| <i>Longitarsus</i>    | 40               |
| <i>Chaetocnema</i>    | 16               |
| <i>Psylliodes</i>     | 15               |

Специфика фауны выявляется только при сравнении ее таксономического состава с таковыми соседних и более отдаленных фаун. С этой целью выбрали фауну листоедов Прибалтики [3, 4] как находящуюся в примерно сходных климатических условиях. Соотношение таксономических единиц двух фаун показано на рис. 3.

Количественную характеристику таксонов фауны можно рассматривать как один из критериев фаунистического сходства. По сравнению с Прибалтикой фауна Беларуси богаче по видовому составу на 14 % (на 52 вида). Фауна Прибалтики включает 12 подсемейств листоедов. Представители подсемейства *Lamprosomatinae* не обнаружены в Беларуси, тогда как виды подсемейств *Synetinae* и *Hispiinae* не встречаются в Прибалтике.

В фауне Прибалтики, как и в Беларуси, доминирующими по количеству видов являются подсемейства *Alticinae*, *Chrysomelinae* и *Cryptocephalinae*, однако все эти подсемейства

представлены меньшим числом видов по сравнению с фауной Беларуси. Исключение составляет подсемейство *Orsodacninae*, которое представлено одним видом в обеих сравниваемых фаунах. В целом соотношения подсемейств по видовому составу в фаунах Беларуси и Прибалтики сходны.

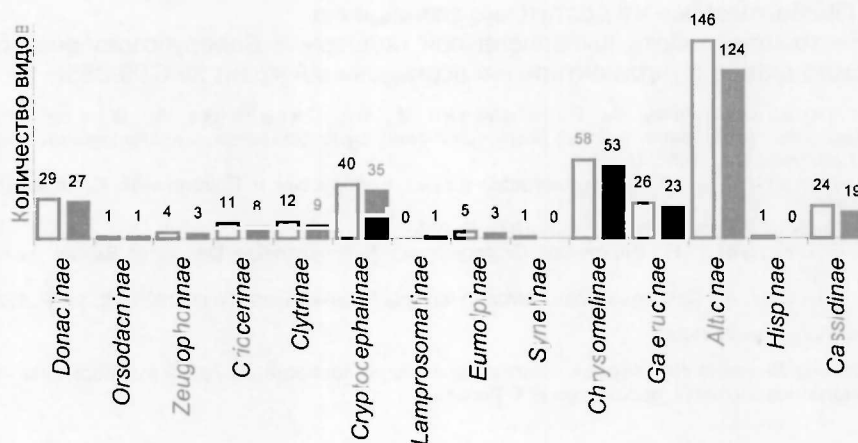


Рис. 3. Видовой состав подсемейств листоедов фаун Беларуси и Прибалтики.  
(Здесь и на рис. 4 приняты обозначения: □ – фауна Беларуси, ■ – фауна Прибалтики)

Что касается количества родов в подсемействах, то оказалось, что в фауне Прибалтики листоедов на 6 родов меньше, чем в белорусской (рис. 4). Доминирующими в том и другом случае являются *Alticinae*, *Chrysomelinae* и *Galerucinae*. Однако в фауне Беларуси в этих подсемействах содержится большее количество родов: в Беларуси встречаются представители родов *Neophaedon*, *Oreina* (*Chrysomelinae*) и *Ochrosis*, *Derocrepis* (*Alticinae*). Юг Беларуси является также северной границей распростране-

ния рода *Chrysoschus* (*Eumolpinae*). В свою очередь, в Прибалтике имеется один вид рода *Mniophila* (*Alticinae*), который не обнаружен в Беларуси.

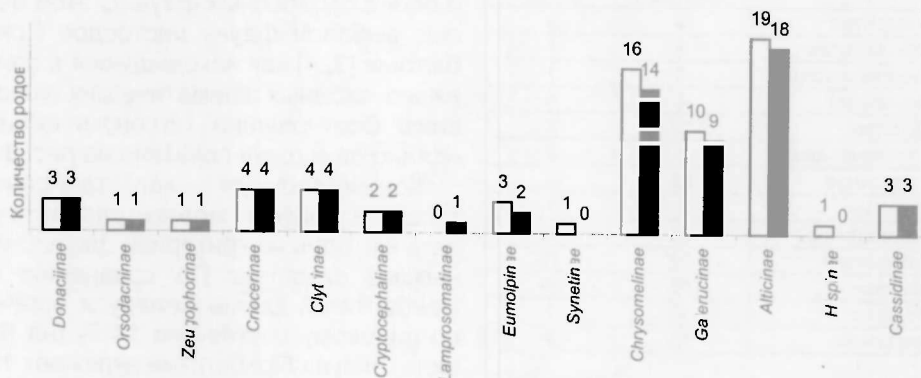


Рис. 4. Соотношение родов в подсемействах листоедов фаун Беларуси и Прибалтики

Такое же сходство фаун наблюдается и в соотношении видового богатства родов. Исключением является род *Chaetocnema* в фауне Прибалтики, который, в отличие от Беларуси, содержит меньше видов, чем роды *Psylliodes*, *Phyllotreta*, *Altica* и *Aphthona*, и почти вдвое меньше видов, чем в фауне Беларуси.

Фауна Прибалтики содержит 21 вид, не обнаруженный в Беларуси (*Alticinae* – 10 видов, *Chrysomelinae* – 4, *Clytrinae* и *Galerucinae* – 2, *Cassidinae*, *Cryptocephalinae* и *Lamprosomatinae* – по одному виду), тогда как 75 видов из фауны Беларуси не встречаются в Прибалтике (*Alticinae* – 31 вид, *Chrysomelinae* – 9, *Cryptocephalinae* – 6, *Galerucinae* – 5, *Donaciinae* – 3, *Criocerinae* – 4, *Eumolpinae* – 2 и *Zeugophorinae*, *Hispinae*, *Cassidinae* – по 1).

Таким образом, фауна листоедов Беларуси при общем сходстве с фауной Прибалтики все же достаточно специфична.

Настоящая работа выполнена при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (грант № Б 99-055).

1. Александрович О. Р., Лопатин И. К., Писаненко А. Д. и др. Каталог жесткокрылых (*Coleoptera*, *Insecta*) Беларуси / Фонд фундаментальных исследований Республики Беларусь. Мн., 1996. С. 48.

2. Лопатин И. К. Жуки-листоеды фауны Белоруссии и Прибалтики: Определитель. Мн., 1986.

3. Pileckis Lietuvos vabalai. Vilnius, 1976. P. 215.

4. Silfverberg H. Enumeratic Coleopterorum Fennoscandiae Daniae et Baltiae. Helsinki, 1992. P. 57.

5. Winkler A. Catalogus Coleopterorum regionis Palaearcticae. Wien, 1929. Pt. 10. P. 1226.

Поступила в редакцию 27.03.2002.

Оксана Львовна Нестерова – аспирант кафедры зоологии. Научный руководитель – доктор биологических наук, профессор И.К. Лопатин.

УДК 595.794.799 (476)

В.И. ХВИР

### НОВЫЕ ДАННЫЕ ПО ПОЛОВОМУ И СТРОИТЕЛЬНОМУ ПОВЕДЕНИЮ САМЦОВ ОДИНОЧНОЙ ОСЫ *BEMBIX ROSTRATA* (*SPHECIDAE*, *HYMENOPTERA*) ИЗ БЕЛАРУСИ

The sexual and building behavior of the males in digger wasp *Bembix rostrata* is recorded for the first time from Belarus. It is found that one type of male took the stereotype courtship postures before the mating but another type didn't. This is depend on the season and apparently period of the imago bursting. It is note the possibility of discovering of territorial behavior at the males of examining species.

Поведение одиночных ос недостаточно изучено в Беларуси, особенно это касается полового поведения этих насекомых, и в частности поведения самцов.

Основное внимание в нашем исследовании было решено уделить колониальному виду – *Bembix rostrata*, что связано с простотой наблюдения за многими особями в пределах небольшой территории, а также ролью этой осы как энтомофага [1, 2]. С 1999 по 2001 г. в течение летнего сезона проводились наблюдения за колонией указанного вида, площадь которой составляла 23 м<sup>2</sup>. Располагалась колония на юго-западном склоне песчаного карьера у д. Славково Несвижского района Беларуси.

Было установлено, что самцы появляются раньше самок на 7–10 дней примерно в первой декаде июня. Однако первое их появление в 2001 г. было зафиксировано уже в середине июня, что объясняется временным похолоданием в начале месяца (дневная температура была не выше +20 °С). Численность самцов на территории колонии одновременно составляла не менее 35–40 экземпляров, а самок, как правило, меньше. Соотношение полов менялось в течение сезона от трех к одному в пользу самцов в июне, до пяти – десяти к одному – в пользу самок в июле и августе.

С появлением самок самцы активно преследовали их в воздухе, иногда на одну самку одновременно нападали до 6 особей самцов и делали попытки спариться. В поисках самок некоторые самцы могли даже проникать в открытые норки.

Практически все самцы принимали перед самкой позы ухаживания, которые различались следующим образом:

- а) тело приподнято под углом над субстратом, усики вытянуты, передние ноги прижаты к груди, остальные широко расставлены в стороны;
- б) прижата только одна передняя нога либо не прижаты обе, остальное, как в варианте а);
- в) обе передние ноги стоят на субстрате, остальное, как в варианте а);
- г) передние ноги прижаты к груди, но тело опущено;
- д) варианты а) – г), но с движениями усиков вверх – вниз.

Приняв характерную позу, самец приближался к работающей самке, выжидал, когда та поднимется в воздух, и следовал за ней. Спаривание происходило близ колонии на цветах. Один и тот же самец мог проявлять 2, изредка 3 различных варианта описанных поз ухаживания. Причем подобные позы были характерны для большинства самцов в начале лета (июнь, отчасти июль). В середине сезона положение менялось: возрастало число самцов, которые не проявляли элементов ухаживания. При этом следует отметить, что соотношение самок и самцов в это время менялось в пользу первых. Ухаживающие самцы в конце лета, как правило, встречались редко.

Однако в 2001 г., лето которого характеризовалось более поздним наступлением тепла, ситуация была совершенно иной. Уже с момента выхода самок число ухаживающих самцов было минимально; самцы набрасывались на самок по несколько сразу, стараясь оттолкнуть конкурента.

Большинство самцов время от времени отдыхали на стволе поваленного дерева близ колонии. Оттуда же они начинали преследование самок, пролетающих к гнездам. Практически все самцы проявляли друг к другу агрессивное поведение: преследовали в воздухе и таранили соперников. Если учесть, что многие самцы придерживались или старались держаться определенного участка (около 2–3 м<sup>2</sup>), от которого отгоняли других самцов, то такое поведение можно было бы назвать территориальным. Однако утверждать это достоверно пока нельзя. Главной трудностью в изучении данного аспекта является высокая скорость передвижения самцов, что затрудняет наблюдение за ними, даже если они помечены. Из литературных источников на наличие территориального поведения у других видов одиночных ос указывают только Эванз и О'Нейл, а также Лелей [3, 4].

Впервые в 2001 г. у некоторых самцов было отмечено строительное поведение: рытье небольших норок в качестве укрытия и, очевидно, для ночевки. Поскольку они использовались осами только в течение нескольких суток, то, следовательно, должны называться временными.

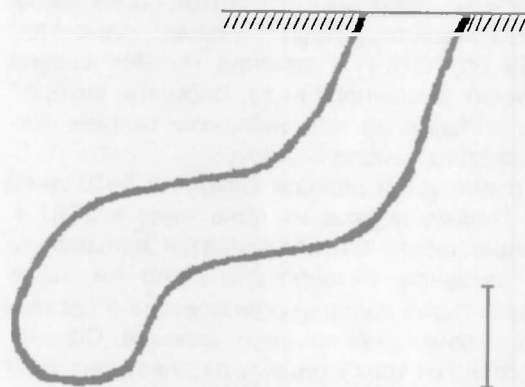


Схема временной норки самцов  
*Bembix rostrata*

норки представляли собой неправильный искривленный ход длиной 3–15 см, уходящий под углом в землю и имеющий на конце слабое расширение (рисунок). Диаметр хода около 10–15 мм; вход имеет округлую форму, а не овальную, как норки самок. В отсутствие самца норка, как правило, открыта; если самец в норке, то он закрывает ее изнутри рыхлой земляной пробкой. При строительстве самец проявляет те же повадки, что и самка, техника у них одинаковая (самцы многих видов этого рода, в том

числе и *B. rostrata*, имеют на передних лапках тарзальный гребень [4, 5]). Единственное отличие заключается в том, что самец при выбрасывании грунта не использует ноги, а только брюшко, поэтому норка получается закрытой, когда оса внутри. За весь сезон было обнаружено только 15 норок на территории исследуемой колонии. В литературе встречаются данные по строительному поведению самцов некоторых видов одиночных ос, относящихся к наиболее эволюционно продвинутым родам [4, 6], в том числе и азиатских видов рода *Bembix*.

\* \* \*

На основании многолетних наблюдений было установлено, что самцы осы *Bembix rostrata* проявляют элементы ухаживания. Однако это не является характерным для всех особей. Такое поведение имеет некоторую зависимость от времени сезона и, видимо, сроков выхода имаго.

Самцы проявляют также строительное поведение, что для данного вида в условиях Беларуси установлено впервые.

Самцам *Bembix rostrata*, по-видимому, свойственно территориальное поведение, но для достоверного утверждения необходимы дополнительные исследования.

1. Назарова Н. И., Баратов Ш. Б. // Изв. АН ТаджССР. 1980. № 2. С. 170.
2. Хвир В. И. // Антропогенная динамика ландшафтов и проблемы сохранения и устойчивого использования биологического разнообразия: Материалы респ. науч.-практ. конф. 26–28 дек. 2001 г. Мн., 2002. С. 195.
3. Эванз Г., О'Нейл К. // В мире науки. 1991. № 10. С. 56.
4. Лелей А. С. Определитель насекомых Дальнего Востока России / Под ред. Г. А. Лера. СПб., 1995. Т. 4. Ч. 1. С. 368.
5. Казенас В. Л. Роющие осы Казахстана и Средней Азии. М., 1987.
6. Малышев С. И. Становление перепончатокрылых и фазы их эволюции. М., 1966.

Поступила в редакцию 02.05.2002.

**Виктор Иванович Хвир** — магистрант кафедры зоологии. Научный руководитель — доктор биологических наук, профессор И. К. Лопатин.

**ФОТОДИНАМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ И ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ  
ПРЕДШЕСТВЕННИКОВ ХЛОРОФИЛЛА КЛЕТКАМИ ХЛОРЕЛЛЫ,  
ОБРАБОТАННЫМИ АМИНОКИСЛОТАМИ И 1,10-ФЕНАНТРОЛИНОМ**

It was shown the treatment of *Chlorella* cells with glutamic acid (GA) and 1,10-phenanthroline (P) in the dark led to the accumulation of monomethyl ester of Mg-protoporphyrin IX (MgPE) alone. Porphyrins accumulated into the cells in the dark act as photosensitizers and cause damage to *Chlorella* cells in the light. The concentrations of P and GA that caused maximum accumulation of MgPE in the cell in the dark were established. Glutamin increased contents MgPE in the cells on 18 %.

Порфирины относятся к эффективным сенсibilизаторам, вызывающим повреждение живых систем под действием света [1, 2]. В фотосинтезирующих клетках возможность такого повреждения, сенсibilизированного молекулами хлорофилла (Хл), сведена до минимума присутствием больших количеств каротиноидов, фотопротекторная функция которых состоит в прямом тушении возбужденного триплетного состояния хлорофилла и инактивации синглетного кислорода [3]. Граником впервые было отмечено, что освещение дневным светом этиолированных листьев ячменя, накопивших избыточные количества протохлорофиллида (Пд) за счет больших количеств введенной извне 5-аминолевулиновой кислоты (АЛК), убивает клетки растений [4]. В 1984 г. появилось также сообщение Ребейза с соавт. [5], что накопленные в присутствии АЛК и 2,2'-дипиридила (ДП) такие предшественники хлорофилла, как протопорфирин IX (ПП), магний-протопорфирин IX монометилловый эфир (МгПМЭ) и Пд, действуют как фотодинамические сенсibilизаторы, вызывая гибель растений при освещении. Селективность фотодинамического действия смеси АЛК и ДП на разные виды и органы растений позволила авторам предложить используемую смесь в качестве нового экологически безвредного гербицида, названного ими фотогербицидом [5].

Ароматические гетероциклические соединения типа ДП, 1,10-фенантролина (Ф), 8-гидроксихинолина и другие обладают свойствами хелаторов металлов и оказывают комплексное воздействие на биосинтез хлорофилла. В темноте они активизируют образование ключевого предшественника этого процесса – АЛК – и ингибируют превращение МгПМЭ в последующие продукты, что приводит к накоплению МгПМЭ, а также его предшественников – ПП и магний-протопорфирина IX [6]. В литературе имеются сведения о том, что глутаминовая кислота (ГК), являющаяся предшественником АЛК в высших растениях и водорослях [7], усиливает действие хелаторов на процесс накопления ПП и МгПМЭ в этиохлоропластах, выделенных из семян огурцов [8].

Целью нашей работы стало выяснение закономерностей накопления порфиринов из экзогенной глутаминовой кислоты в присутствии 1,10-фенантролина в клетках водоросли *Chlorella sp.* и анализ индуцируемого порфинами фотодинамического действия.

**Материал и методика**

Клетки водоросли выращивали на среде Тамия [9], приготовленной на дистиллированной воде в накопительном режиме в культуральных сосудах при освещении 7000 лк (лампы дневного освещения ЛД-40), температуре  $22 \pm 2$  °C и режиме освещения 14 ч света, 10 ч темноты. Клетки водоросли отделяли от среды культивирования 5-минутным центрифугированием при 3500 g (центрифуга Опн-8), последующим ресуспендированием в дистиллированной воде и повторным центрифугированием (для отмыва остатков компонентов среды Тамия).



Введение в клетки хлореллы экзогенных соединений производилось следующим образом: в суспензию клеток вносили растворы ГК и глутамин (ГТ) так, что их конечная концентрация оказывалась 50–1200 мкМ, Ф – 100–1300 мкМ (каждый реактив в отдельности), либо ГК или ГТ в сочетании с Ф в тех же количествах. Затем суспензию водоросли помещали в темноту.

Для определения содержания порфиринов клетки водоросли центрифугировали 5 мин при 5000 g, фиксировали добавлением щелочного ацетона (ацетон: 0,1н  $\text{NH}_4\text{OH}$ =9:1, V/V) и помещали на холод (5 °С) на 15–20 мин. Пигменты извлекали щелочным ацетоном, затем делили с помощью гексана на фитольные и бесфитольные формы [10]. Содержание MgПМЭ в отмытых гексаном водно-ацетоновых экстрактах определяли спектрофлуориметрически [10], Хл и каротиноидов – спектрофотометрически [11].

#### Результаты и их обсуждение

Фотогербицид глутафен, в состав которого входят ГК и Ф, был разработан в лаборатории Института фотобиологии НАН Беларуси [12]. Исследования, проведенные на высших растениях классов двудольных и однодольных, показали, что максимальный эффект по накоплению темнового уровня Пд достигался при использовании 15–20 мМ ГК, а появление и последующее повышение уровня ПП и MgПМЭ регистрировали в растениях, обработанных ГК и Ф при концентрациях от 10 до 25 мМ [13].

Действие фотогербицида в указанных концентрациях оказалось губительным для клеток хлореллы, и накопление предшественников Хл отчетливо регистрировалось уже при микромолярных концентрациях компонентов гербицида.

Нами было отмечено, что в клетках хлореллы, инкубируемых в темноте на содержащих ГК растворах, пигментный состав клеток не изменялся. Использование ГК в сочетании с Ф приводило к накоплению MgПМЭ. Этим хлорелла отличается от высших растений, в которых в присутствии ГК и Ф накапливаются два порфирина – MgПМЭ и ПП [13]. Время инкубации в темноте, вызывающее накопление MgПМЭ, оказалось значительно меньшим для хлореллы по сравнению с высшими растениями – максимальный уровень предшественников Хл наблюдали уже через 2–2,5 ч (табл. 1).

Таблица 1

Содержание MgПМЭ в клетках хлореллы в зависимости от времени воздействия 1,10-фенантролина в концентрации 300 мкМ

| Время инкубации, ч                   | 1         | 2         | 3         | 4         | 5         |
|--------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Концентрация MgПМЭ, пикоМ/млн клеток | 3,12±0,25 | 4,21±0,33 | 4,36±0,42 | 3,63±0,21 | 2,46±0,25 |

С увеличением концентрации Ф до 300 мкМ содержание MgПМЭ резко возрастает, но, начиная с 500 мкМ, постепенно снижается (табл. 2). Во всех последующих экспериментах мы использовали Ф в концентрации 300 мкМ.

Таблица 2

Содержание MgПМЭ в клетках хлореллы в зависимости от концентрации 1,10-фенантролина

| Концентрация 1,10-фенантролина, мкМ  | 100       | 300       | 500       | 700       | 900       | 1200      |
|--------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Концентрация MgПМЭ, пикоМ/млн клеток | 3,12±0,28 | 4,21±0,11 | 4,36±0,16 | 3,63±0,38 | 2,46±0,28 | 1,17±0,24 |

В опытах по установлению оптимальных концентраций аминокислот было выяснено, что максимальное содержание MgПМЭ регистрируется при действующей концентрации ГК или ГТ 600 мкМ. Лучший эффект наблюдали при раздельном введении аминокислоты и хелатора металлов, т. е. когда

клетки хлореллы предварительно инкубировали в растворе аминокислоты нужной концентрации 1–1,5 ч и только затем вносили Ф. При совместном использовании ГК+Ф количество МгПМЭ было на 16 % выше по сравнению с контролем, обработанным только Ф. Накопление в клетках хлореллы МгПМЭ, который является эффективным фотосенсибилизатором фотодинамических процессов [14], приводило к фотодеструкции пигментов – Хл и каротиноидов. Скорость развития фотодинамики находилась в прямой зависимости от уровня накопившегося МгПМЭ: 5,134 пикоМ/млн клеток в смеси с Ф и 6,699 пикоМ/млн клеток в случае с Ф+ГК. Так, остаточные уровни суммы Хл в клетках хлореллы, обработанных Ф и ГК+Ф, через 5 сут непрерывного освещения составляли 74 и 69 %, каротиноидов – 66 и 65 % соответственно (табл. 3).

Таблица 3

Изменение содержания пигментов в клетках хлореллы после 2,5 ч инкубации в темноте с 1,10-фенантролином (300 мкМ), глутаминовой кислотой (600 мкМ), глутамином (600 мкМ) и последующего освещения

| Время освещения, сут | Пигменты, мкг/млн клеток                | Хл а      | Хл в      | Хл а + в  | Каротиноиды |
|----------------------|-----------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-------------|
| 0                    | Контроль                                | 0,51±0,04 | 0,13±0,02 | 0,66±0,04 | 0,16±0,01   |
|                      | 1,10-фенантролин                        | 0,50±0,05 | 0,14±0,02 | 0,67±0,06 | 0,15±0,01   |
|                      | 1,10-фенантролин + глутаминовая кислота | 0,47±0,05 | 0,13±0,02 | 0,61±0,06 | 0,15±0,01   |
|                      | 1,10-фенантролин + глутамин             | 0,51±0,03 | 0,14±0,01 | 0,65±0,04 | 0,15±0,01   |
| 3                    | Контроль                                | 0,48±0,02 | 0,12±0,01 | 0,60±0,02 | 0,16±0,01   |
|                      | 1,10-фенантролин                        | 0,45±0,02 | 0,11±0,01 | 0,56±0,03 | 0,13±0,01   |
|                      | 1,10-фенантролин + глутаминовая кислота | 0,48±0,03 | 0,12±0,01 | 0,58±0,04 | 0,15±0,01   |
|                      | 1,10-фенантролин + глутамин             | 0,46±0,03 | 0,11±0,01 | 0,55±0,03 | 0,14±0,02   |
| 5                    | Контроль                                | 0,45±0,04 | 0,14±0,02 | 0,60±0,05 | 0,16±0,01   |
|                      | 1,10-фенантролин                        | 0,32±0,04 | 0,13±0,02 | 0,47±0,03 | 0,10±0,01   |
|                      | 1,10-фенантролин + глутаминовая кислота | 0,32±0,04 | 0,09±0,02 | 0,42±0,07 | 0,10±0,01   |
|                      | 1,10-фенантролин + глутамин             | 0,36±0,03 | 0,10±0,02 | 0,46±0,06 | 0,10±0,01   |

Замена ГК в смеси с Ф на ГТ при всех равных условиях приводила к увеличению на 18 % уровня накапливаемого МгПМЭ (8,291 пикоМ/млн клеток), что может быть связано с более быстрым поступлением ГТ в клетку (известно, что незаряженные молекулы, к которым относится ГТ, легче проникают через клеточные мембраны [15]) и последующим превращением его в ГК под действием глутаминазы. В соответствии с более высоким уровнем накопленного в темноте МгПМЭ в опытах с применением ГТ+Ф регистрировали и более высокую скорость фотодегradации пигментов после 5 сут освещения культуры. Так, остаточные уровни суммы Хл и каротиноидов составили 70 и 64 % соответственно (см. табл. 3).

Вероятно, снижение содержания каротиноидов в большей степени, чем Хл, определяет в данном случае фотодинамическое повреждение клеток, так как каротиноиды в растительных клетках выполняют фотопротекторную функцию.

Таким образом, ГК в составе фотогербицида может быть успешно заменена на ГТ.

Скорость развития фотодинамического эффекта нарастала с увеличением времени освещения: общее снижение содержания пигментов после 3 сут освещения составляло около 7–10 %, а между 3 и 5 сут освещения наблюдалось уменьшение содержания пигментов уже на 25–35 %.

Таким образом, исследование пигментного аппарата хлореллы при введении в инкубационную среду фотогербицида позволило индуцировать в клетках водоросли порфириногенез и последующее развитие фотодинамических процессов, приведших в конечном счете к значительному снижению содержания фотосинтетических пигментов – хлорофиллов и каротиноидов.

1. Шинкаренко Н.В., Алесовский В.Б. // Успехи химии. 1982. Т. 51. Вып. 5. С. 713.
2. Черницкий С.А., Воробей А.В. // Успехи совр. биологии. 1986. Т. 101. Вып. 1. С. 100.
3. Maroti P., Laczko G., Szalay L. // Wiss. Z. Humboldt-Univ. Berlin. Math.-naturwiss R. 1984. Vol. 33. № 4. P. 297.
4. Граник С. // Механизм фотосинтеза: Тр. V Междунар. биохим. конгр. М., 1962. С. 184.
5. Rebeiz C.A., Montazer-Zouhoor A., Hoppen H.J., Wu S.M. // Enzyme Microbiol. Technol. 1984. Vol. 6. P. 390.
6. Duggan J., Gassman M. // Plant Physiol. 1974. Vol. 53. № 2. P. 206.
7. Beale S. // Ann. Rev. Plant Physiol. 1978. Vol. 29. № 1. P. 95.
8. Chereskin B.M., Castelfranco P.A. // Plant Physiol. 1982. Vol. 69. № 1. P. 112.
9. Владимирова М.Г., Семененко В.Е. Интенсивная культура одноклеточных водорослей. М., 1962. С. 43.
10. Shlyk A.A., Averina N.G., Shalygo N.V. // Photobiochem. Photobiophys. 1982. Vol. 2. № 4-5. P. 197.
11. Шлык А.А. // Биохимия. 1968. Т. 33. Вып. 2. С. 275.
12. А. с. 1517155 СССР. Способ борьбы с сорной растительностью в посевах зерновых / Шалыго Н.В., Яронская Е.Б., Аверина Н.Г.; Ин-т фотобиологии БССР, 1989.
13. Averina N.G., Shalygo N.V., Yaronskaya E.B. // Photosynthetica. 1989. Vol. 23. P. 383.
14. Красновский А.А. мл. // Журн. ВХО им. Д.И. Менделеева. 1986. Т. 31. С. 562.
15. Геннис Р. Биомембраны. Молекулярная структура и функции. М., 1997. С. 622.

Поступила в редакцию 20.05.2002.

**Татьяна Викторовна Самович** – аспирант кафедры физиологии и биохимии растений. Научные руководители – А.П. Кудряшов, Н.Г. Аверина.

**Наталья Георгиевна Аверина** – доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник Института фотобиологии НАН Беларуси.

**Николай Владимирович Шалыго** – доктор биологических наук, заведующий лабораторией Института фотобиологии НАН Беларуси.

**Анатолий Петрович Кудряшов** – кандидат биологических наук, доцент кафедры физиологии и биохимии растений.

**Владимир Михайлович Юрин** – доктор биологических наук, профессор кафедры физиологии и биохимии растений.

УДК 595.426

Е. БЕСЯДКА, М. ЦИХОЦКА, М.Д. МОРОЗ, Ю.Ф. МУХИН

### ФАУНА ВОДНЫХ КЛЕЩЕЙ (ACARI: HYDRACARINA) БИОЛОГИЧЕСКОГО ЗАКАЗНИКА «СПОРОВСКИЙ»

The fauna of water mites of the Biological Reserve «Sporovski» was investigated. The 27 species of water mites revealed. It was concluded that a diversity of water mite species composition is relatively high. Among them *Hydrachna cruenta* (O.F. MULLER, 1776); *Oxus longisetus* (BERLESE, 1886); *Piona imminuta* (PIERSIG, 1897); *Forelia liliacea* (O.F. MULLER, 1776); *Arrenurus albator* (O.F. MULLER, 1776); *Arrenurus bicuspidator* BERLESE, 1885; *Arrenurus fimbriatus* (KOENIKE, 1885) are new species for the fauna of Belarus.

Водные клещи, или гидракарины, являются одной из многочисленных и важных групп водных беспозвоночных, но еще недостаточно изученной [1, 2]. Авторами данной статьи были предприняты исследования этих гидробионтов, обитающих на территории Белорусского Полесья.

На территории Брестской области (Березовский, Дрогичинский, Ивановский, Ивацевичский районы) находится республиканский биологический заказник «Споровский», который был образован в 1991 г., в 1999 г. площадь заказника была расширена с 11 300 до 19 384 га. В 1999 г. заказнику присвоен статус – Рамсарское угодье «Споровское». Географические координаты – 52° 23' N, 25° 20' E.

Территория заказника подвержена сезонным затоплениям и представляет собой плоскорельефную аллювиальную равнину с озерами, речными долинами, надпойменными террасами и уникальными минеральными островами. Болота на территории заказника расположены цельным массивом (75 % территории), вытянутым вдоль р. Ясельда на протяжении около

35 км, среди них – одно из наименее трансформированных пойменных низинных болот в Европе. Пойменная растительность представлена в основном низинными осоковыми лугами. Присутствуют также заросли тростника, ивняка, сельскохозяйственные пастбища. По внешнему краю поймы реки на возвышенностях расположены открытые пространства и леса.

Исследования проводились на участке поймы р. Ясельда между г. Березой и д. Хомск. Длина участка поймы 20 км, ширина от 1 до 3 км. Общая площадь заболоченной поймы и примыкающих к ней болот около 2500 га. Пойма пониженно-равнинная, очень плоская, слабо возвышается над меженными уровнями воды и поэтому легко затопляется при подъеме воды в реке на 20–50 см. Весенний паводок на р. Ясельда наблюдается обычно с начала марта до второй половины мая. Средняя продолжительность паводка 75 дней, максимальная – до 150. Во время весеннего разлива реки уровень воды поднимается на 1–1,5 метра выше межи, и пойма заливается на высоту от 0,5 до 1,0 м [3]. Средняя толщина торфяной залежи 1,7 м, верхний слой торфа представлен осоковым и осоково-гипновым торфом. В период с середины мая по август уровень воды в приматериковой части болота колеблется от 0 до 10 см.

Растительные ассоциации в пойме меняются в зависимости от удаленности от русла реки. В более обводненных и проточных участках преобладают *Carex acuta* L., *C. vesicaria* L., в приматериковых условиях доминируют формации *C. omskiana* MEINSH., *C. rostrata* STOKES, *C. diandra* SCHRANK. В напочвенном покрове обычны различные виды настоящих мхов [3].

Хозяйственное освоение поймы заключается в выкашивании ручным способом узкой – от 50 до 150 м – полосы, примыкающей к пойменным валам. Наиболее детальные исследования проведены около д. Песчанка.

#### Материал и методика

Сборы и наблюдения проводились в мае и августе 2000 г. Из 14 собранных проб в 8 были отмечены водные клещи. Взятие проб осуществлялось методом кошения зарослей макрофитов гидробиологическим сачком стандартных размеров в прибрежной части водоемов. Одна количественная проба была равна пятикратному кошению по пять взмахов в каждом. Изучение водных беспозвоночных проводилось в следующих типах водоемов (биотопах):

**I – временный водоем.** Находится недалеко от д. Костюки и представляет собой депрессию, образовавшуюся в результате выемки грунта. Диаметр 10 м, глубина около 20 см, дно песчаное. Высшая водная растительность отсутствует, однако отмечено развитие нитчатых водорослей.  $T_{\text{воды}}=28,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $\text{pH}=8,2$ .

**II – пруд.** Относительно крупный стоячий водоем, выкопанный в пойме р. Ясельда. Уровень воды во время исследований относительно стабильный, площадь 15х30 м, глубина на месте сбора до 70 см. Дно торфяное, берега обрывистые. Из макрофитов отмечены рдест и хара, у берега – тростник.  $T_{\text{воды}}=24,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $\text{pH}=7,7$ .

**III – пойменное болото.** В районе д. Песчанка. Представляет собой пониженно-равнинный массив, который легко заливается талыми водами во время паводка при разливе р. Ясельда, почти сплошная травянистая кочкарниковая поверхность с застойной водой. К августу массив, как правило, сильно пересыхает.  $T_{\text{воды}}=16,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $\text{pH}=6,8$ .

**IV – мелиоративные каналы.** Сборы проводились в малых каналах, которые характеризуются неустойчивым уровнем воды (к августу сильно пересыхают) и слабым течением (вплоть до его отсутствия). Вода темно-бурая, слабопрозрачная, дно вязкое (топкое). Ширина до 3–5 м, глубина до 1,0 м.  $T_{\text{воды}}=19,0\text{--}21,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $\text{pH}=7,0\text{--}7,5$ .

**V – старица р. Ясельда.** Ширина 5, длина 12 м и глубина до одного метра. Дно топкое, вода прозрачная, желтоватого цвета, слегка мутная. Из

прибрежной водной растительности преобладает рогоз.  $T_{\text{воды}}=20,0^{\circ}\text{C}$ ,  $\text{pH}=6,6$ .

### Результаты и их обсуждение

Всего за время исследований было собрано 109 экземпляров имаго водных клещей. Обнаружено 27 видов гидракарин (табл. 1), относящихся к 10 семействам: *Limnocharidae* – 1 вид; *Eylidae* – 1; *Hydrachnidae* – 2; *Mamersopsidae* – 1; *Limnesiidae* – 2; *Hydryphantidae* – 1; *Pionidae* – 6; *Unionicolidae* – 2; *Arrenuridae* – 10 и *Mideopsidae* – 1 вид.

Видовой состав и относительная численность водных клещей биологического заказника «Споровский»

| Таксон, вид                            | Биотопы** |    |     |    |   |   | Σ, %  |
|----------------------------------------|-----------|----|-----|----|---|---|-------|
|                                        | I         | II | III | IV | V |   |       |
| <b>Сем. Limnocharidae</b>              |           |    |     |    |   |   |       |
| <i>Limnochara aquatica</i> (L.)        | —         | —  | —   | +  | — | — | 11.01 |
| <b>Сем. Eylaidae</b>                   |           |    |     |    |   |   |       |
| <i>Eylais</i> sp.                      | —         | +  | +   | —  | — | — | 1.84  |
| <b>Сем. Hydrachnidae</b>               |           |    |     |    |   |   |       |
| * <i>Hydrachna cruenta</i> (MULL.)     | +         | —  | —   | —  | — | — | 0.92  |
| <i>Hydrachna globosa</i> (GEER)        | —         | +  | —   | —  | — | — | 0.92  |
| <b>Сем. Mamersopsidae</b>              |           |    |     |    |   |   |       |
| * <i>Oxus longisetus</i> (BERLESE)     | —         | —  | —   | +  | + | — | 0.92  |
| <b>Сем. Limnesiidae</b>                |           |    |     |    |   |   |       |
| <i>Limnesia fulgida</i> KOEN.          | —         | —  | —   | +  | — | — | 0.92  |
| <i>L. maculata</i> (MULL.)             | +         | —  | —   | —  | — | — | 0.92  |
| <b>Сем. Hydryphantidae</b>             |           |    |     |    |   |   |       |
| <i>Hydryphantes crassipalpis</i> KOEN. | —         | —  | +   | —  | — | — | 1.84  |
| <b>Сем. Pionidae</b>                   |           |    |     |    |   |   |       |
| <i>Piona alpicola</i> (NEUM.)          | —         | —  | +   | —  | — | — | 5.51  |
| <i>P. coccinea</i> (KOCH)              | —         | +  | —   | +  | — | — | 2.75  |
| * <i>P. imminuta</i> (PIERSIG)         | —         | —  | —   | +  | — | — | 4.59  |
| <i>P. longipalpis</i> (KREND.)         | —         | —  | —   | +  | — | — | 11.93 |
| <i>P. variabilis</i> (KOCH)            | —         | —  | —   | —  | + | — | 0.92  |
| * <i>Forelia liliacea</i> (MULL.)      | —         | —  | —   | +  | — | — | 1.84  |
| <b>Сем. Unionicolidae</b>              |           |    |     |    |   |   |       |
| <i>Unionicola minor</i> (SOAR)         | —         | —  | —   | +  | — | — | 0.92  |
| <i>Neumania vernalis</i> (MULL.)       | —         | —  | —   | +  | — | — | 1.84  |
| <b>Сем. Arrenuridae</b>                |           |    |     |    |   |   |       |
| * <i>Arrenurus albator</i> (MULL.)     | +         | —  | —   | +  | — | — | 1.84  |
| <i>A. batillifer</i> KOEN.             | —         | —  | —   | +  | + | — | 5.51  |
| * <i>A. bicuspidator</i> BERLEZE       | —         | —  | —   | +  | — | — | 0.92  |
| <i>A. crassicaudatus</i> (KRAM.)       | —         | —  | —   | +  | — | — | 0.92  |
| * <i>A. fimbriatus</i> (KOENIKE)       | —         | —  | +   | —  | — | — | 9.17  |
| <i>A. globator</i> (MULL.)             | —         | —  | +   | +  | + | — | 22.94 |
| <i>A. maculator</i> (MULL.)            | —         | —  | —   | +  | — | — | 0.92  |
| <i>A. stecki</i> (KOENIKE)             | —         | —  | +   | —  | — | — | 2.75  |
| <i>A. truncatellus</i> (MULL.)         | —         | —  | +   | —  | — | — | 2.75  |
| <i>A. tubulator</i> (MULL.)            | —         | —  | —   | —  | + | — | 0.92  |
| <b>Сем. Mideopsidae</b>                |           |    |     |    |   |   |       |
| <i>Mideopsis orbicularis</i> (MULL.)   | —         | —  | —   | +  | — | — | 1.84  |

Примечание. Условные обозначения: \* – новый вид для фауны Беларуси; \*\* – I – временный водоем; II – пруд; III – болото; IV – мелиоративный канал; V – старица р. Ясельда.

Германии, Италии, Алжире и России (Карелия, Горьковская обл.) [4]. Предпочитает водоемы с торфяным дном. Материал: 13.05.2000 г. (1 экз.) в мелиоративном канале.

*Piona imminuta* (PIER-SIG, 1897) является малоизвестным видом из группы видов *P. coccinea* (KOCH) [5]. Предпочитает небольшие сильно эвтрофные озера. Личинки паразитируют на *Chironomidae*. Материал: 13.08.2000 г. (4 экз.) в мелиоративном канале.

*Forelia liliacea* (O.F. MÜLLER, 1776) является космополитом, распространен во всей Европе, Африке, России (Архангельская обл., Карелия, Сибирь,

Наибольший интерес среди собранных водных клещей представляет находка следующих 7 видов, поскольку они оказались новыми для фауны Беларуси: *Hydrachna cruenta* (O.F. MÜLLER, 1776); *Oxus longisetus* (BERLESE, 1886); *Piona imminuta* (PIERSIG, 1897); *Forelia liliacea* (O.F. MÜLLER, 1776); *Arrenurus albator* (O.F. MÜLLER, 1776); *Arrenurus bicuspidator* BERLEZE, 1885; *Arrenurus fimbriatus* (KOENIKE, 1885).

*Hydrachna cruenta* (O.F. MÜLLER, 1776) является голарктическим видом. Он отмечен в Скандинавии, Богемии, Англии, Дании, Северной Америке. Встречается в России (Карелия, Татарстан, Нижнее Поволжье, Воронежская обл. и Сибирь), Украине, Казахстане, Армении [4]. Встречается в самых разнообразных текущих и стоячих водоемах, и в том числе солоновато-водных. Материал: 14.05.2000 г. (1 экз.) во временном водоеме у р. Ясельда.

*Oxus longisetus* (BERLESE, 1886) отмечен в



Приморский край), Украине, Северной Америке. Это эвритермичный вид, обитающий в разного рода стоячих водоемах и медленно текущих речках [4, 6]. Материал: 14.08.2000 г. (2 экз.) в мелиоративном канале.

*Arrenurus albator* (O.F. MULLER, 1776) распространен во всей Европе. В России этот вид отмечен в Ленинградской обл., Карелии, Московской обл., Украине. Предпочитает озера и медленно текущие речки [4, 6]. Материал: 14.08.2000 г. (1 экз.) в мелиоративном канале; 14.08.2000 г. (1 экз.) во временном водоеме.

*Arrenurus bicuspidator* BERLEZE, 1885 является палеарктом, широко распространен во всей Европе. Отмечен в России (Ленинградская обл., Карелия, Смоленская, Московская и Ивановская обл., Татарстан, Нижнее Поволжье, Воронежская обл.), Украине, Кыргызстане. Предпочитает стоячие водоемы. Личинки паразитируют на стрекозах [4, 6]. Материал: 13.08.2000 г. (1 экз.) в мелиоративном канале.

*Arrenurus fimbriatus* (KOENIKE, 1885) распространен в Германии, Дании, Франции, Голландии, Бельгии, Англии, Румынии. Отмечен в Украине [4]. Материал: 14.08.2000 г. (1 экз.) в пойменном болоте; 15.08.2000 г. (9 экз.) в пойменном болоте.

Среди собранных водных клещей можно выделить комплекс торфохфильных видов – *Limnesia fulgida* KOCH, *Arrenurus fimbriatus* (KOENIKE), *Piona alpicola* (NEUM.), *Oxus longisetus* (BERLESE) и *Arrenurus stecki* (KOENIKE). Следует отметить, что *A. stecki* наиболее тесно связан с болотами, особенно имеющими моховые покрытия. *A. truncatellus* (MULL.) и *Hydryphantes crassipalpis* KOEN., хотя и относятся к фауне весенних временных водоемов, достаточно часто встречаются также в болотных экосистемах. Остальные виды водных клещей в большей или меньшей степени предпочитают обитать в постоянных эвтрофных водоемах разного типа. В озерах и медленно текущих реках встречаются *Forelia liliacea* (MULL.), *Unionicola minor* (SOAR), *Mideopsis orbicularis* (MULL.) и *Arrenurus albator* (MÜLL.). Остальные виды имеют достаточно широкую экологическую толерантность, но всегда обитают в водоемах с постоянным режимом.

Количественную характеристику сообщества водных клещей ландшафтного заказника «Споровский» дает анализ их относительной численности. Оказалось, что доминирующим видом водно-болотного комплекса являлся *Arrenurus globator* (MULL.) – 22,94 % от общего количества всех собранных водных клещей. Данный вид является европейским, обитающим в стоячих водоемах [4]. Субдоминантами были *Piona longipalpis* (KREND.) – 11,93 % и *Limnochares aquatica* (L.) – 11,01 %. Оба вида предпочитают стоячие или медленно текущие водоемы, причем *Limnochares aquatica* является обычной формой на илистом грунте.

Оценивая значение каждого типа исследованного водоема в поддержании видового разнообразия клещей водно-болотного комплекса, можно сделать вывод о том, что наиболее важная роль в этом процессе принадлежит мелиоративным каналам. Здесь обнаружено 16 видов клещей, что составляет 59,26 % от всех выявленных *Hydracarina*. В этих же водоемах отмечена и их наибольшая численность – 45,87 % от всех собранных клещей. Тогда как наименьшее число видов и их численность отмечены в пруде. В болоте зарегистрировано 7 видов гидракарин (25,93 % выявленных в водно-болотном комплексе).

Таким образом, на основании проведенных исследований можно сделать вывод об относительном богатстве видового разнообразия водных клещей ландшафтного заказника «Споровский». Здесь обитают виды, впервые обнаруженные на территории Беларуси. Отмечено, что для сообщества водных клещей заказника характерны виды, отдающие предпочтение постоянным эвтрофным водоемам с торфяным дном – каналам. Наименьшее значение в этом процессе имеют стоячие водоемы – пруды.

В заключение можно сделать вывод о том, что проведенные исследования подтвердили важность ландшафтного заказника «Споровский» для сохранения биологического разнообразия Белорусского Полесья и его статус как особо охраняемой природной территории.

1. Бесядка Е., Цихоцка М., Мороз М.Д. // Современные проблемы изучения, использования и охраны природных комплексов Полесья: Тез. междунар. докл. Мн., 1998. С. 205.
2. Мухин Ю.Ф., Мороз М.Д. // Весці АН Беларусі. Сер. біял. навук. 1997. № 1. С. 108.
3. Парфенов В.И., Ким Г.А., Рыковский Г.Ф. // Изменение лесных фитоценозов. Мн., 1973. С. 111.
4. Соколов И.И. Фауна СССР. Паукообразные. Т. 5. Вып. 2. Hydracarina – водяные клещи. М.; Л., 1940.
5. Davids C., Koumert F.A.C. // Arch. Hydrobiol. 1987. № 110. P. 1.
6. Тузовский П.В. Определитель дейтонимф водяных клещей. М., 1990.

Поступила в редакцию 21.11.2001.

**Евгениуш Бесядка** – профессор, доктор Варминско-Мазурского университета (г. Ольштын, Польша).

**Мария Цихоцка** – доцент, доктор Варминско-Мазурского университета (г. Ольштын, Польша).

**Михаил Дмитриевич Мороз** – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник Института зоологии НАН Беларуси.

**Юрий Федорович Мухин** – научный сотрудник Института зоологии НАН Беларуси.

УДК 632.4:635.64

С.Г. ПИСКУН, В.Д. ПОЛИКСЕНОВА, В.С. АНОХИНА

#### ВНУТРИВИДОВАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ ВОЗБУДИТЕЛЯ ФУЗАРИОЗНОГО УВЯДАНИЯ ТОМАТОВ

We have investigated the infraspecific heterogeneity of *Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici* (Sacc.) Snyder and Hansen. 18 monospore isolates have different morphological and cultural characteristics such as incubation period, growth on synthetic media, intensity and type of sporogenesis as well as pathogenicity.

Получению стабильных урожаев и плодов томатов высокого качества препятствуют многочисленные заболевания. К числу вредоносных болезней этой культуры в Республике Беларусь относится фузариозное увядание, вызываемое микромицетом *Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici* (Sacc.) Snyder and Hansen [1, 2]. Фузариоз в Беларуси отмечен во всех культурооборотах. В 1991–1995 гг. он регулярно, а впоследствии периодически вызывал массовое поражение растений томатов защищенного грунта в Минской области. Выявлены единичные случаи поражения и в открытом грунте, что свидетельствует о потенциальной возможности более широкого распространения заболевания. Фузариозное увядание значительно снижает количество и качество плодов, количество семян, тормозит рост растений.

Возделываемые в республике сорта томатов подвержены заболеванию в разной степени. Поражение наиболее восприимчивых форм может привести к потерям до 35 % урожая, а средневосприимчивых – свыше 30 % [2].

Анализ данных литературы [3–6] свидетельствует о широком распространении и вредоносности фузариозного вилта в различных регионах, причем степень распространения болезни может варьировать в пределах от 5 до 100 % со снижением урожая в открытом и защищенном грунте на 16–50 %.

Введение в культуру устойчивых к фузариозному вилту сортов и гибридов томата позволяет в значительной мере решить проблему потерь от этого заболевания.

Степень распространения и вредоносности патогена, несомненно, обусловлена его биологическими особенностями и адаптивными свойствами. Поэтому селекция устойчивых сортов, разработка методов диагностики устойчивости генотипов томата должны проводиться с учетом биологии патогена.

#### Материал и методика

Материалом исследований служили 18 моноспоровых изолятов (Т 1–Т 18) возбудителя фузариозного увядания томатов гриба *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (Sacc.) Snyder and Hansen. Сбор пораженных растений проводили в селекционных теплицах БелНИИ овощеводства, а также в промышленных теплицах и открытом грунте Минской и Могилевской областей. Чистые культуры грибов для идентификации и биологических исследований выделяли по общепринятой методике [7]. Культуральные особенности изолятов *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* изучали на картофельно- и томатно-глюкозном агаре (КГА, ТГА), а также на среде с экстрактом из зеленых частей растений томата, используя общепринятые методики [8]. Искусственное заражение сеянцев томата проводили по методике, разработанной в ВИРе [9]. Степень поражения растений фузариозом оценивали по 5-балльной шкале. Статистическую обработку результатов эксперимента проводили по общепринятым методикам [10].

#### Результаты и их обсуждение

В ходе исследований отмечено наличие полиморфизма в популяции патогена. Внутрипопуляционная неоднородность возбудителя фузариозного увядания подтверждена выявлением ряда изолятов, различающихся по морфологическим и культуральным признакам (инкубационному периоду, характеру роста на различных средах, интенсивности и типу спороношения).

На всех испытанных средах изоляты *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* начинают расти одновременно, через 2 сут. Исключением является изолят Т 4, латентный период у которого на томатно-глюкозной среде составил 4 сут.

Анализ данных, отражающих характер роста изолятов на различных средах, показал, что для 50 % изолятов фузариума наиболее благоприятной является среда с экстрактом из зеленых частей растений томата. У изолятов Т 1–Т 3, Т 7, Т 15 площадь колоний через 4 сут культивирования оказалась примерно в 1,5–2 раза больше, чем на стандартном КГА. В то же время для изолята Т 9 учитываемый показатель был в 5, а для изолята Т 10 – в 12 раз выше, чем на картофельно-глюкозной среде. Анализ роста изолятов *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* на томатно-глюкозной среде свидетельствует о том, что сок зрелых томатов негативно влияет на рост большинства изолятов (Т 1–Т 3, Т 9, Т 10, Т 15) – площадь колоний у них была в 1,5–3,6 раза меньше, чем на среде с экстрактом из зеленых частей растений томата. Особенно значительное снижение учитываемого показателя отмечалось у изолятов Т 5 и Т 7 – в 14,5 и 95 раз соответственно.

Для 33,3 % изолятов фузариума (Т 6, Т 12–Т 14, Т 16) наиболее предпочтительным для роста оказался КГА. В данном случае размер колоний был примерно в 1,2–3 раза, а для изолята Т 13 – в 8 раз больше, чем на среде с экстрактом из зеленых частей растений. На ТГА указанная группа изолятов характеризовалась формированием колоний, площадь которых была в 1,1–5 раз меньше, чем на оптимальной для их роста среде.

Для изолятов Т 8 и Т 11 (11,1 %) более благоприятной для роста является томатно-глюкозная среда. При культивировании же их на КГА наблюдали снижение размера колоний в 1,4 и 2,1 раза соответственно. На среде с экстрактом из зеленых частей растений томата площадь колоний уменьшилась в 2,3 и 1,7 раз соответственно.

В то же время изолят Т 17 (что составляет 5,6 %) одинаково успешно развивался на всех используемых искусственных питательных средах.

Анализируя динамику роста изолятов фузариума, следует отметить, что наиболее интенсивное увеличение размера колоний наблюдается в период культивирования от 4 до 6 сут. Следует отметить, что установленная закономерность характерна для всех изолятов и при культивировании их на различных средах. Это может быть связано с тем, что в данный период завершается адаптация гриба к условиям среды обитания, начинается усиленное потребление питательных веществ, что и сопровождается активным ростом мицелия. Учитывая скорость роста колоний в указанный период, все изоляты *F. oxysporum f. sp. lycopersici* можно объединить в две группы: первая – изоляты, у которых прирост колоний колеблется от 40 до 60 %, и вторая – изоляты, у которых данный параметр находится в пределах 60–80 %. Причем процентное соотношение изолятов в рамках приведенной градации зависит от состава среды выращивания. Так, на среде с экстрактом из зеленых частей растений изоляты распределились на две равные группы: первая – Т 1–Т 3, Т 7, Т 10, Т 12, Т 15, Т 17 и вторая – Т 4–Т 6, Т 8, Т 9, Т 13, Т 14, Т 16, Т 18.

На КГА увеличивается доля изолятов, которые можно отнести ко второй группе. В количественном отношении преобладают быстрорастущие изоляты (Т 1–Т 5, Т 10, Т 13–Т 16 и Т 18), у которых прирост колоний колеблется от 60 до 80 %. Их число составляет 67 %, а соответственно к первой группе относятся 33 % изолятов.

Сходная закономерность обнаружена и для роста изолятов на томатно-глюкозной среде, причем выявлено дальнейшее увеличение доли изолятов (Т 1–Т 7, Т 9, Т 10, Т 12–Т 15 и Т 18), составляющих вторую группу, до 78 %. По-видимому, это обусловлено тем, что практически все изоляты фузариума в начале роста характеризовались низкой ростовой активностью и более длительным приспособлением к этой среде.

Практически для всех изолятов отмечено снижение интенсивности роста в период от 6 до 8 сут по сравнению с предыдущим сроком культивирования, что, вероятно, связано с истощением питательного субстрата.

Таким образом, динамика роста изолятов *F. oxysporum f. sp. lycopersici* позволила выявить неодинаковую интенсивность этого процесса у изучаемых изолятов, а также их различную адаптацию к питательным средам.

Изоляты *F. oxysporum f. sp. lycopersici* различаются и по характеру мицелия. В ходе исследований выделено 17 % изолятов, имеющих пленчато-паутинистые, 33 % – войлочно-хлопьевидные и 50 % – пушистые колонии. Мицелий имел белую с различными оттенками окраску (табл. 1). Эти факты свидетельствуют о существовании в белорусской популяции *F. oxysporum f. sp. lycopersici* внутривидовой неоднородности (адаптационного полиморфизма).

Подсчет интенсивности спороношения показал прямую корреляционную зависимость ( $r=0,51\pm0,19$ ) между характером роста изолятов на картофельно-глюкозной среде и спорообразующей активностью. Необходимо отметить, что у изолятов, формирующих колонии площадью 50–60 см<sup>2</sup> и более, количество спор, приходящихся на единицу спороносящей поверхности, колеблется в пределах от 13 до 27 млн шт./см<sup>2</sup>. Такой показатель характерен для 65 % изучаемых изолятов фузариума. Исключение составляют изоляты Т 13 и Т 14, которые обладают относительно низкой интенсивностью спороношения на фоне активного роста колоний. Это может быть связано с тем, что названные изоляты формируют пленчато-паутинистый мицелий.

Анализ экспериментальных данных, приведенных в табл. 1, показывает, что изоляты Т 4, Т 7, Т 8 и Т 15 (33 %) характеризуются сравнительно низкой спорообразующей способностью. У них учитываемый показатель ко-



леблется от 2,0 до 6,7 млн шт./см<sup>2</sup>. Эти изоляты имеют относительно низкую и ростовую активность, что выражается в формировании на КГА колоний площадью 20–40 см<sup>2</sup>.

Таблица 1

Морфокультуральная характеристика изолятов *F. oxysporum f. sp. lycopersici* на картофельно-глюкозном агаре\*

| Изолят | Характер мицелия             | Площадь колоний<br>на 8 день, см <sup>2</sup> $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$ | Образование конидий,<br>% |                   | Интенсивность<br>спорообразования,<br>млн шт. / см <sup>2</sup> |
|--------|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|---------------------------|-------------------|-----------------------------------------------------------------|
|        |                              |                                                                         | Макро-<br>конидии         | Микро-<br>конидии |                                                                 |
| Т 1    | Белый, войлочный             | 52,15±0,42                                                              | 0                         | 100               | 15,7                                                            |
| Т 2    | Белый, войлочный             | 55,73±0,042                                                             | 9                         | 91                | 13,7                                                            |
| Т 3    | Белый, паутинистый           | 59,25±0,31                                                              | 0                         | 100               | 13,1                                                            |
| Т 4    | Сиренево-белый, пушистый     | 22,06±0,39                                                              | 0                         | 100               | 6,2                                                             |
| Т 5    | Оранжево-белый, войлочный    | 56,39±0,55                                                              | 9                         | 91                | 6,4                                                             |
| Т 6    | Белый, пушистый              | 51,48±0,22                                                              | 10                        | 90                | 26,3                                                            |
| Т 7    | Белый, пушистый              | 26,53±0,21                                                              | 0                         | 100               | 1,8                                                             |
| Т 8    | Серо-белый, пленчатый        | 41,26±0,09                                                              | 21                        | 79                | 6,7                                                             |
| Т 9    | Серо-белый, паутинистый      | 51,20±0,58                                                              | 16                        | 84                | 20,6                                                            |
| Т 10   | Белый, пушистый              | 61,14±0,42                                                              | 9                         | 91                | 17,8                                                            |
| Т 11   | Оранжево-белый, хлопьевидный | 51,51±0,42                                                              | 0                         | 100               | 17,3                                                            |
| Т 12   | Белый, пушистый              | 64,65±0,36                                                              | 0                         | 100               | 27,0                                                            |
| Т 13   | Белый, пушистый              | 56,25±0,97                                                              | 0                         | 100               | 2,7                                                             |
| Т 14   | Белый, пушистый              | 58,40±0,34                                                              | 0                         | 100               | 3,3                                                             |
| Т 15   | Белый, пушистый              | 44,07±1,19                                                              | 0                         | 100               | 2,4                                                             |
| Т 16   | Белый, войлочный             | 52,63±0,38                                                              | 9                         | 91                | 19,9                                                            |
| Т 17   | Белый, хлопьевидный          | 49,79±0,79                                                              | 9                         | 91                | 20,0                                                            |
| Т 18   | Белый, пушистый              | 56,45±0,56                                                              | 0                         | 100               | 14,1                                                            |

Примечание. Латентный период во всех случаях был равен двум дням; коэффициент корреляции между площадью колоний и интенсивностью спорообразования изолятов равен 0,51±0,19 (P<0,05).

Принимая во внимание тот факт, что выделенные изоляты фузариума различаются по ростовой активности и интенсивности спорообразования, была изучена способность образования ими репродуктивных структур – микро- и макроконидий. Так, изоляты Т 1, Т 3, Т 4, Т 7, Т 11–Т 15 и Т 18 (что составляет 56 %) формируют только микроконидии. Изоляты Т 2, Т 5, Т 6, Т 10, Т 16 и Т 17 характеризуются образованием как микро-, так и макроконидий, причем их соотношение составляет примерно 9:1. У изолятов Т 8 и Т 9 (11 %) наблюдается увеличение доли макроконидий до 21 и 16 % соответственно.

Существование морфокультуральных отличий у изолятов фузариума, связанных со скоростью роста и интенсивностью спорообразования, вероятно, предполагает возможность проявления ими в различной степени и патогенных свойств. С этой целью было проведено изучение патогенности и агрессивности изолятов *F. oxysporum f. sp. lycopersici* путем искусственного заражения сеянцев томата сорта Перемога 165 в фазе двух пар настоящих листьев. Параллельно было проведено изучение расового состава выделенных изолятов фузариума. Принадлежность изолятов к той или иной расе определяли по результатам искусственного заражения сеянцев томата сорта Heinz 1370, обладающего геном устойчивости I, который и обеспечивает резистентность к *F. oxysporum f. sp. lycopersici* расе 1.

Данные табл. 2 свидетельствуют о том, что практически все изоляты фузариума патогенны и способны вызывать поражение томатов. Однако степень их патогенности неодинакова, и этот критерий целесообразно учитывать в практической деятельности, в частности при формировании инфекционных фонов.



Таблица 2

**Характеристика патогенности и вирулентности изолятов *F. oxysporum f. sp. lycopersici* по результатам искусственного заражения растений томата**

| Изолят          | Перамога 165(В)        |                     | Heinz 1370(У)          |
|-----------------|------------------------|---------------------|------------------------|
|                 | Средний балл поражения | Группа патогенности | Средний балл поражения |
| Вода (контроль) | 0                      | —                   | 0                      |
| Т 1             | 5,0                    | Высокопатогенный    | 0–0,1                  |
| Т 2             | 2,4                    | Среднепатогенный    | 0–0,1                  |
| Т 3             | 2,2                    | Среднепатогенный    | 0–0,1                  |
| Т 4             | 1,2                    | Слабопатогенный     | 0–0,1                  |
| Т 5             | 3,8                    | Высокопатогенный    | 0–0,1                  |
| Т 6             | 4,6                    | Высокопатогенный    | 0–0,1                  |
| Т 7             | 4,2                    | Высокопатогенный    | 0–0,1                  |
| Т 8             | 1,6                    | Слабопатогенный     | 0–0,1                  |
| Т 9             | 2,6                    | Среднепатогенный    | 0–0,1                  |
| Т 10            | 4,2                    | Высокопатогенный    | 0–0,1                  |
| Т 11            | 1,6                    | Слабопатогенный     | 0–0,1                  |
| Т 12            | 3,4                    | Высокопатогенный    | 0–0,1                  |
| Т 13            | 0,4                    | Слабопатогенный     | 0–0,1                  |
| Т 14            | 0,4                    | Слабопатогенный     | 0–0,1                  |
| Т 15            | 0,4                    | Слабопатогенный     | 0–0,1                  |
| Т 16            | 3,8                    | Высокопатогенный    | 0–0,1                  |
| Т 17            | 4,2                    | Высокопатогенный    | 0–0,1                  |
| Т 18            | 0,4                    | Слабопатогенный     | 0–0,1                  |

Примечание. В – восприимчивый к расе О, У – устойчивый к расе О.

Необходимо отметить, что для восприимчивого сорта Перамога 165 наиболее агрессивными являются изоляты Т 1, Т 6, Т 7, Т 10 и Т 17, представляющие почти 1/3 от общего изученного количества. При заражении ими отмечена самая высокая степень поражения (4,2–5,0 балла) растений томата.

Слабопатогенная (практически непатогенная) группа представлена 35 % изолятов. Они вызывают слабое развитие симптомов фузариозного увядания, которое может быть оценено 0,4–1,6 балла.

Для изолятов Т 2, Т 3, Т 5, Т 9, Т 12 и Т 16 (что составляет 35 % популяции) способность поражать растения соответствует 2,2–3,8 балла.

Таким образом, полученные результаты искусственного заражения сеянцев томата в фазе двух пар настоящих листьев свидетельствуют о том, что группы изолятов по их патогенности представлены в изученной популяции примерно в равных соотношениях.

В проведенных нами исследованиях выявлено отсутствие тесной корреляционной связи между морфокультуральными признаками и патогенностью изолятов *F. oxysporum f. sp. lycopersici*. В этой связи при использовании изолятов фузариума для оценки фузариозоустойчивости растений томата необходимо отдельно контролировать их патогенность.

В литературе [1, 2] приводятся сведения о том, что белорусская популяция *F. oxysporum f. sp. lycopersici* представлена штаммами фузариума, относящимися к физиологической расе 1 (способны поражать только сорта без генов устойчивости к фузариозному увяданию). В ходе проведенных исследований нами установлено, что все выделенные из пораженных растений томатов изоляты фузариума также принадлежат к этой расе, что подтверждается результатами искусственного заражения тест-сортов с известным генотипом устойчивости. Выявлено, что все изоляты фузариума способны в разной степени вызывать поражение растений сорта Перамога 165. Его генотип характеризуется отсутствием генов устойчивости к фузариозному увяданию. Вместе с тем ни один из изучаемых изолятов не вызвал симптомов поражения, типичных для фузариоза, у резистентного сорта Heinz 1370. В данном случае не было отмечено различий в поражении растений опытных и контрольных вариантов. Все указанные изоляты являются

авирулентными по отношению к генотипу, несущему ген устойчивости *l*. Следовательно, на современном этапе этот ген практически обеспечивает устойчивость томатов к фузариозу и может быть использован в селекции.

Таким образом, изучение патогенных свойств изолятов *F. oxysporum f. sp. lycopersici* также свидетельствует о внутривидовой дифференциации белорусской популяции возбудителя фузариозного увядания. В качестве наиболее патогенных изолятов нами выделены Т 1 и Т 6, которые могут быть рекомендованы для дальнейших исследований по комплексу их характеристик. Анализ расовой принадлежности свидетельствует о существовании только расы 1. К ней были отнесены все изученные нами изоляты.

Резюмируя вышеизложенное, можно сделать заключение, что популяция *F. oxysporum f. sp. lycopersici* характеризуется полиморфизмом по способности и характеру роста на различных питательных субстратах, по образованию репродуктивных структур и патогенности.

1. Поликсенова В. Д. // Защита растений. 1987. № 6. С. 51.
2. Поликсенова В. Д. // Вестн. Белорус. ун-та. Сер. 2. 1996. № 2. С. 33.
3. Evans N., Mcroberts N., Hill R. A. // Ann. Appl. Biol. 1996. Vol. 129. № 3. P. 415.
4. Glaser J. // Ochr. roslin. 1979. Vol. 23. № 1. S. 7.
5. Лобода Л. С., Пархоменко Н. А. // Пути совершенствования микробиологической борьбы с вредными насекомыми и болезнями растений. Оленск, 1986. С. 13.
6. Райлло А. И. Грибы рода фузариум. М., 1950. С. 148.
7. Кирай З., Клемент З., Шоймоши Ф., Вереш И. Методы фитопатологии. М., 1974. С. 295.
8. Билай В. И. Методы экспериментальной микологии. Киев, 1982.
9. Методические указания по селекции сортов и гибридов томата для открытого и защищенного грунта. М., 1986. С. 54.
10. Рокицкий П. Ф. Биологическая статистика. Мн., 1973.

Поступила в редакцию 03.06.2002.

**Светлана Георгиевна Пискун** – ассистент кафедры ботаники.

**Валентина Дмитриевна Поликсенова** – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующая кафедрой ботаники.

**Вера Степановна Анохина** – кандидат биологических наук, доцент кафедры генетики.

УДК 616.831-008.811.1-0.53.31-07

И.В. СЕМАК, Е.О. КОРИК, И.А. КАНАПАЦКАЯ, М.В. НАУМОВА, В.А. КУЛЬЧИЦКИЙ

## НАРУШЕНИЕ ПРООКСИДАНТНО-АНТИОКСИДАНТНОГО БАЛАНСА В ПЕЧЕНИ КРЫС ПРИ ЭНДОТОКСЕМИИ

Functional state of antioxidant system in liver of rats under conditions of modulated septic shock was studied. Depression of intracellular antiperoxide defense as a result of disbalance in the work of enzymes, generating and destroying  $H_2O_2$  during endotoxemia was found. At the same time activation of microsomal glutathion. S-transferase, superoxide dismutase and redistribution of cytosolic glutathion S-transferases towards isoenzymes, possessing high peroxide activity was found. It is obvious, that in spite of activation of some intracellular protective mechanisms, liver becomes extremely sensitive to oxidative stress.

Проникновение в организм бактериальных клеток либо продуктов их распада – экзогенных пирогенов инициирует взаимодействие нервной, иммунной и эндокринной систем на новом уровне, которое сопровождается развитием ряда симптомов, совокупность которых называется системной воспалительной реакцией. Эта реакция включает активацию гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой оси, изменение болевой чувствительности, синтез и выделение белков острой фазы, нарушение сна и бодрствования, снижение двигательной активности, лихорадку, анорексию и т. д. Особую роль в инициации симптомов острофазной реакции при действии эндотоксина в организме играет печень, особенно ее макрофаги – Купферовские клетки [1–3]. Рост активности этих клеток при эндотоксемии приводит к ини-

циированию свободнорадикальных процессов в печени вследствие гиперпродукции анион-радикала кислорода НАДФН-оксидазным комплексом, локализованным на внешней стороне плазматической мембраны макрофагов [4, 5]. Интенсификация реакций свободнорадикального окисления липидов при эндотоксемии вызывает значительные структурно-функциональные повреждения в перивенулярных зонах ацинусов печени, что влечет за собой существенное снижение ее детоксицирующей способности.

Вероятность развития в клетке окислительного стресса определяется двумя основными факторами: интенсивностью процессов, сопровождающихся генерацией активных кислородных радикалов, и эффективностью функционирования антиоксидантной системы. Способность последней поддерживать концентрацию кислородоактивных соединений на безопасном для клетки уровне в значительной степени обуславливается активностью входящих в ее состав ферментов: супероксиддисмутазы, каталазы, глутатионпероксидазы и глутатион S-трансфераз. Существующий в физиологических условиях баланс между образованием продуктов свободнорадикальных реакций и их последующим обезвреживанием может нарушаться при эндотоксемии и приводить в конечном итоге к окислительному стрессу. Однако функциональное состояние ферментативных и неферментативных антиоксидантных систем при эндотоксемии до сих пор остается малоизученной проблемой, несмотря на ее очевидную важность. Изучение функционального состояния этих антиоксидантных систем в печени в условиях моделирования септического шока и было основной целью этой работы.

#### Материалы и методы исследования

В эксперименте были использованы самцы белых крыс весом 230–270 г, содержавшиеся на стандартном рационе вивария. Животные были разделены на 2 группы по 5 крыс в каждой. Первой группе вводили апирогенный 0,9 % NaCl (*Abbott Laboratories, North Chicago, IL 60064; lot No 18-379-DK*), второй группе животных внутрибрюшинно вводили липополисахарид (ЛПС, *Escherichia coli, 0111:B4, List Biological Laboratories, Campbell, CA; lot No LPS-25E*) в дозе 1 мг/кг массы тела. Эксперименты начинались в 8<sup>00</sup>–9<sup>00</sup> утра. Крыс после предварительной адаптации (10–14 дней) к условиям эксперимента помещали в боксы, которые располагались в термостате при 29–30 °C и влажности 50 %.

Через 4 ч после введения эндотоксина или апирогенного 0,9 % NaCl животных декапитировали. Все дальнейшие операции проводились при +4 °C. Цитозольную и микросомальную фракции печени получали методом дифференциального центрифугирования, как было описано ранее [6]. В микросомальной фракции печени определяли содержание цитохрома P-450 [7], а также содержание малонового диальдегида (МДА) [8]. Глутатион S-трансферазную активность цитозольной и микросомальной фракций печени оценивали по скорости конъюгации 1-хлор-2,4-динитробензола с восстановленным глутатионом [9]. Кроме того, в качестве субстратов глутатион S-трансфераз (ГТ) использовали: 1,2-дихлор-4-нитробензол, этакриновую кислоту и п-нитрофенэтилбромид [9, 10]. В цитозоле определяли глутатионпероксидазную активность (ГП), используя в качестве субстрата пероксид водорода и гидропероксид кумила [11], а также активность супероксиддисмутазы (СОД) [12], каталазы [13] и глутатионредуктазы [14]. Содержание GSH в печени определяли ферментативным методом [15]. Содержание белка в цитозольной и микросомальной фракциях – методами Лоури [16] и Петерсона [17].

#### Результаты и их обсуждение

Согласно распространенному мнению большинство симптомов системной воспалительной реакции инициируется каскадом продуцируемых в организме эндогенных пирогенов, к числу которых относятся цитокины

[1, 18, 19]. Они продуцируются различными типами клеток, но при эндотоксемии основным их источником в организме являются активируемые экзогенным пирогеном мононуклеарные фагоциты (клетки Купфера) [1, 20]. Показано, что такие цитокины, как интерлейкины, факторы некроза нервов и интерфероны, вырабатываемые в ответ на введение липополисахарида, снижают уровень конститутивной экспрессии цитохрома Р-450 в печени человека, крыс и мышей [21]. Однако в нашем эксперименте существенного изменения содержания цитохрома Р-450 после введения липополисахарида не было обнаружено (таблица).

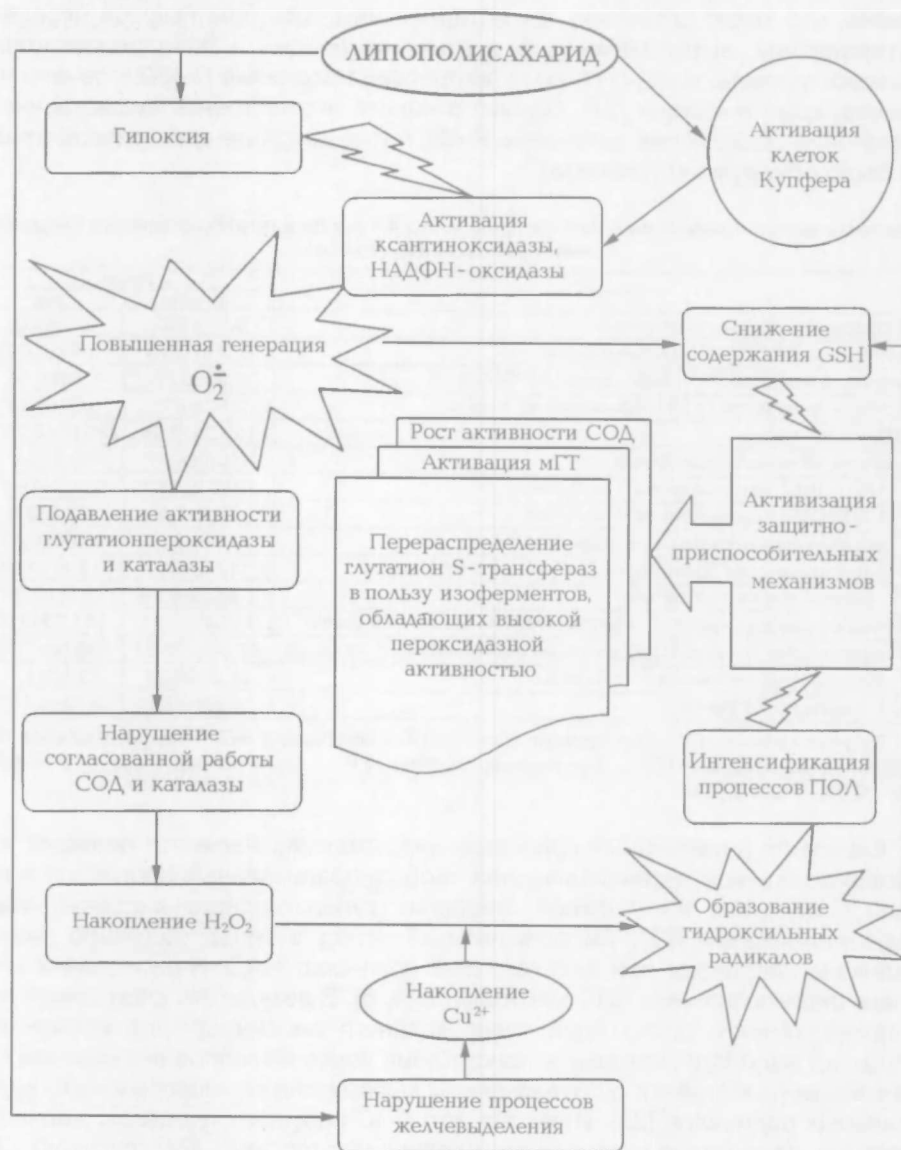
**Биохимические показатели в печени крыс через 4 ч после внутрибрюшинного введения липополисахарида (1 мг/кг)**

| Показатель                                                  | Печень       |                |
|-------------------------------------------------------------|--------------|----------------|
|                                                             | Контроль     | Опыт           |
| Цитохром Р-450, нмоль/мг белка                              | 0,51±0,02    | 0,49±0,02      |
| Спонтанное ПОЛ МДА, нмоль/мг белка                          | 0,35±0,013   | 0,49±0,04*     |
| Аскорбатзависимое ПОЛ МДА, нмоль/мг белка                   | 2,98±0,23    | 4,94±0,54*     |
| НАДФН – зависимое ПОЛ МДА, нмоль/мг белка                   | 2,82±0,16    | 3,61±0,13*     |
| СОД, у.е./мг белка                                          | 189,25±2,95  | 246,25±2,78*** |
| Каталаза, мкмоль/мин/мг белка                               | 110,0±6,37   | 90,5±5,1*      |
| ГТ (1Х2,4ДНБ), нмоль/мин на 1 мг белка                      | 1014,2±55,1  | 951,9±49,7*    |
| ГТ (1,2ДХ4НБ), нмоль/мин на 1 мг белка                      | 77,8±7,4     | 72,6±2,0       |
| ГТ (этакриновая кислота), нмоль/мин на 1 мг белка           | 11,56±1,27   | 15,36±0,83*    |
| ГТ (р-нитрофенетил бромид), нмоль/мин на 1 мг белка         | 11,90±1,04   | 13,47±1,05     |
| мГТ, нмоль/мин на 1 мг белка                                | 106,28±6,29  | 152,41±7,97*** |
| ГП (гидропероксид кумила), мкмоль НАДФН/мин на 1 мг белка   | 155,47±6,41  | 141,73±3,37    |
| ГП (гидропероксид водорода), мкмоль НАДФН/мин на 1 мг белка | 273,83±16,52 | 220,83±7,76*   |
| ГР, мкмоль НАДФН/мин на 1 мг белка                          | 25,24±0,29   | 23,85±1,17     |
| GSH, нмоль на 1 г ткани                                     | 4,39±0,30    | 2,12±0,19**    |

Примечание. ГТ – цитозольная глутатион S-трансфераза, мГТ – микросомальная глутатион S-трансфераза, ГП – глутатионпероксидаза, ГР – глутатионредуктаза; \*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$ ; \*\*\*  $p < 0,001$ .

Одним из характерных признаков эндотоксемии является гипоксия, сопровождающаяся интенсификацией свободнорадикальных процессов в печени вследствие повышенной генерации супероксидного анион-радикала ксантиноксидазой [22]. Дополнительный вклад в гиперпродукцию анион-радикала кислорода при эндотоксемии привносит НАДФН-оксидазный комплекс активированных ЛПС макрофагов [4, 5]. В результате спонтанной или ферментативной дисмутации супероксидного анион-радикала образуется пероксид водорода, который в присутствии ионов металлов переменной валентности разлагается с образованием высокореакционноспособных гидроксильных радикалов [23]. Известно, что ЛПС нарушает процессы желчевыделения, вследствие чего в печени накапливается медь [24] (рисунок). Одноэлектронное восстановление  $H_2O_2$  в реакциях с двухвалентной медью сопровождается образованием гидроксильных радикалов, инициирующих процессы перекисного окисления липидов (ПОЛ) [23]. Об интенсификации процессов ПОЛ после введения ЛПС свидетельствует рост содержания МДА в микросомальной фракции печени в 1,4 раза (см. таблицу).

Одной из причин интенсификации ПОЛ при эндотоксемии может быть уменьшение активности таких ферментов антиоксидантной системы, как каталаза и глутатионпероксидаза, обеспечивающих двухэлектронное восстановление  $H_2O_2$  до  $H_2O$  без выделения в окружающую среду промежуточных свободнорадикальных продуктов (см. таблицу). Угнетение данных ферментов может быть вызвано их инактивацией супероксидным радикалом [25], о повышенной генерации которого косвенно свидетельствует рост активности СОД (см. таблицу). Кроме того, изменение активности каталазы, глутатионпероксидазы и супероксиддисмутазы может быть частично обусловлено уси-



### Механизм развития окислительного стресса эндотоксемии

Представляет интерес разнонаправленность ответной реакции полиизоферментного семейства цитозольных глутатион S-трансфераз (цГТ), активно участвующих в метаболизме конечных цитотоксичных продуктов ПОЛ [10]. Незначительное снижение суммарной активности цГТ сопровождается увеличением активности изофермента класса  $\pi$  (цГТ- $\pi$ ), характеризующегося высокой глутатионпероксидазной активностью. Активацию цГТ- $\pi$  можно рассматривать как адаптивный ответ, позволяющий компенсировать угнетение ГП при эндотоксемии. Однако в данном случае речь может идти лишь о частичной компенсации, поскольку глутатион S-трансферазы восстанавливают гидропероксиды органического происхождения и не используют в качестве субстрата пероксид водорода [27]. Регуляция содержания цГТ- $\pi$



при эндотоксемии может осуществляться по следующей схеме: цГТ-п участвует в регуляции внутриклеточной передачи сигнала стресс-активируемыми киназами, к числу которых относятся Jun N-терминальные киназы (JNKs). JNKs активируются в ответ на окислительный стресс, действие цитокинов и снижение содержания GSH и катализируют фосфорилирование транскрипционного фактора *c-Jun* [28, 29]. В результате модификации *c-Jun*-фактор стабилизируется, переходит в транскрипционно активное состояние и инициирует биосинтез мономеров цГТ-п, которые, образуя каталитически неактивные комплексы с JNKs, ограничивают степень и продолжительность киназной активности [28]. В условиях окислительного стресса количество мономеров цГТ-п значительно снижается за счет формирования олигомеров фермента, не способных к комплексообразованию с JNKs [28]. Оставшиеся свободными каталитически активные JNKs фосфорилируют *c-Jun*-фактор, запуская тем самым *c-Jun*-опосредованный биосинтез мономеров цГТ-п.

Существенный вклад в интенсификацию ПОЛ может вносить практически двукратное снижение содержания GSH (см. таблицу), являющегося хорошим акцептором гидроксильных радикалов. Активность глутатионредуктазы – фермента, поддерживающего на высоком уровне внутриклеточную концентрацию GSH, осталась практически без изменений после введения липополисахарида (см. таблицу). Тем не менее не исключено, что процесс регенерации GSH может быть затруднен вследствие снижения содержания НАДФН, являющегося специфическим коферментом глутатионредуктазы. Кроме того, уменьшение уровня GSH может быть обусловлено угнетением биосинтеза GSH, его окислением продуктами ПОЛ, а также расходом в реакциях, катализируемых ГТ и ГП.

Активация свободнорадикальных реакций при эндотоксемии приводит к изменению функционального состояния микросомальной глутатион S-трансферазы (мГТ). Активность этого фермента, обеспечивающего совместно с цГТ детоксикацию продуктов ПОЛ, в результате эндотоксемии возрастала на 43 % (см. таблицу). Феномен активации может быть обусловлен окислением свободной SH-группы данного фермента продуктами ПОЛ [30]. Изменение сопряжения в работе каталазы и СОД на фоне подавления активности ГП при эндотоксемии может приводить к росту внутриклеточной концентрации пероксида водорода. Известно, что в результате действия на микросомальную глутатион S-трансферазу гидропероксида водорода возможно появление белковых димеров, обладающих по сравнению с исходной формой фермента повышенной активностью. Мембранная локализация и способность резко активироваться в условиях окислительного стресса позволяет мГТ осуществлять детоксикацию опасных для клетки продуктов ПОЛ практически на месте их образования. Не обезвреженные этим ферментом соединения в дальнейшем элиминируются с помощью цГТ. Следовательно, активацию мГТ можно рассматривать как защитно-приспособительный механизм, частично компенсирующий снижение антиперекисного потенциала растворимых ГТ при эндотоксемии.

Таким образом, при эндотоксемии наблюдается подавление внутриклеточных антиперекисных защитных механизмов вследствие нарушения согласованной работы ферментов, генерирующих и разрушающих  $H_2O_2$ , а также в результате снижения активности ферментов, обеспечивающих обезвреживание цитотоксичных продуктов ПОЛ (см. рисунок). Интенсификация процессов ПОЛ, а также снижение содержания восстановленного глутатиона запускает внутриклеточные защитно-приспособительные механизмы, направленные на предотвращение окислительного стресса. В частности, наблюдается активация мГТ, СОД, а также перераспределение цГТ в пользу изоферментов, обладающих высокой пероксидазной активностью. Оче-

видно, что, несмотря на активизацию отдельных внутриклеточных защитно-приспособительных механизмов, печень при эндотоксемии становится крайне чувствительной к окислительному стрессу.

1. Blatteis C.M., Sehic E. // *News Physiol. Sci.* 1997. Vol. 12. P. 1.
2. Simons C.T., Kulchitsky V.A., Sugimoto N. et al. // *Am. J. Physiol.* 1998 Vol. 275. P. R63.
3. Watkins L.R., Maier S.F., Goehler L.E. // *Life Sci.* 1995. Vol. 57. P. 1011.
4. Bautista A.P., Spitzer J.J. // *Am. J. Physiol.* 1990. Vol. 259. P. G907.
5. Broner C.W., Shenep J.L., Stidham G.L. et al. // *Crit. Care Med.* 1988 Vol. 16. P. 848.
6. Semak I.V., Pikulev A.T. // *Drug Metab Drug Interact.* 1994. Vol. 11. P. 237.
7. Omura T., Sato R. // *J. Biol. Chem.* 1964. Vol. 239. P. 2370.
8. Ohkawa H., Ohishi N., Yagi K. // *Anal. Biochem.* 1979. Vol. 95(2). P. 351.
9. Habig W.H., Pabst M.J., Jakoby W.B. // *J. Biol. Chem.* 1974. Vol. 240. P. 7130.
10. Ketterer B. // *Xenobiotica.* 1986. Vol. 16. № 10/11. P. 957.
11. Flohe L., Cunzler W.A. // *Methods in Enzymology.* 1984. Vol. 105. P. 114.
12. Kostyuk V.A., Potapovitch A.I. // *Biochem. Int.* 1989. Vol. 19. P. 1117.
13. Aebi H. // *Methods of Enzymology.* 1984. Vol. 105. P. 121.
14. Chung Phyllis M., Cappel Roseann E., Gilbert Hiram F. // *Arch Biochem. Biophys.* 1991. Vol. 288. № 1. P. 48.
15. Tietze F. // *Anal. Biochem.* 1969. Vol. 27. P. 502.
16. Lowry O.H., Rosebrouck N.J., Farr A.L. // *J. Biol. Chem.* 1951. Vol. 193. P. 265.
17. Peterson G.L. // *Anal. Biochem.* 1977. Vol. 83. № 2. P. 346.
18. Lenczowski M. J. P., Van-Dam A.M., Poole S. et al. // *Am. J. Physiol.* 1997 Vol. 273. P. R1870.
19. Zeisberger E. // *J. Thermal Biology.* 1999. Vol. 24. P. 287.
20. Benveniste E.N. // *Am. J. Physiol.* 1992. Vol. 263. P. C1.
21. Morgan E.T. // *Molecular Pharmacology.* 1989. Vol. 36. P. 699.
22. Daryani R., LaLonde C., Zhu D., Demling R.H. // *Circ. Shock.* 1990. Vol. 32. P. 273.
23. Gille G., Sigler K. // *Folia Microbiol.* 1995. Vol. 40. № 2. P. 131.
24. Moseley R.H. // *Gastroenterology.* 1996. Vol. 112. № 1. P. 302.
25. Kono Y., Fridovich I. // *J. Biol. Chem.* 1982. Vol. 257. № 10. P. 5751.
26. Dobashi K., Pahan K., Chahal A., Singh I. // *J. Neuro Chem.* 1997. Vol. 68. P. 1896.
27. Ketterer B., Meyer D.J. // *Mutat. Res.* 1989. Vol. 214. № 1. P. 23.
28. Adler V., Yin Zh., Fuchs S.Y. et al. // *EMBO J.* 1999. Vol. 18. № 5. P. 1321.
29. Dalton T.P., Shertzer H.G., Puga A. // *Annu. Rev. Pharmacol. Toxicol.* 1999. Vol. 39. P. 67.
30. Mosialou E., Morgenstern R. // *Arch. Biochem. Biophys.* 1989. Vol. 275. P. 289.

Поступила в редакцию 14.06.2002.

**Игорь Викторович Семак** – кандидат биологических наук, доцент кафедры биохимии.  
**Елена Олеговна Корик** – младший научный сотрудник НИЛ биохимии обмена веществ  
**Ирина Анатольевна Канапацкая** – младший научный сотрудник НИЛ биохимии обмена веществ.

**Мария Викторовна Наумова** – лаборант кафедры химии.  
**Владимир Адамович Кульчицкий** – член-корреспондент НАН Беларуси, доктор медицинских наук, профессор.

УДК 591.5:592

М.Д. МОРОЗ, Ю.Г. ГИГИНЯК, В.В. ВЕЖНОВЕЦ

### ФАУНА ВОДНЫХ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ РОДНИКОВОГО КОМПЛЕКСА «ИКАНЫ»

The region of «Ikany» spring is distinguished by picturesque landscapes and undisturbed natural state as the result of low anthropogenic pressure. In the spring complex have been revealed 29 species of aquatic invertebrates. Among them *Coleoptera* – 3 species, *Heteroptera* – 2; *Trichoptera* – 2; *Plecoptera* – 2; *Ephemeroptera* – 2; *Diptera* – 2; *Tardigrada* – 1; *Crustacea* – 6; *Turbellaria* – 2; *Cnidaria* – 1; *Nematoda* – 1; *Oligochaeta* – 1; *Hirudinea* – 3 и *Mollusca* – 1 species.

Родниковые комплексы представляют собой совокупность собственно холодных источников разного типа (лимнокренов, гелокренов или реокренов) и связанных с ними других водоемов (чаще – ручьев и малых рек) или

их частей, как правило, объединенных одним свойством – стабильно низкой температурой воды. В большинстве родниковых комплексов температура воды в течение года изменяется в пределах 3–6 °С зимой и 8–12 °С летом. Значение этих экосистем в поддержании видового разнообразия особенно велико для стран, имеющих в основном равнинный ландшафт, к которым относится и Беларусь, поскольку часто только здесь обитают виды, характерные для гор Центральной Европы, или ледниковые реликты, не встречающиеся в других типах континентальных водоемов. По этой причине такие комплексы являются уникальным типом экологических систем и могут быть отнесены к «ключевым биотопам» [1, 2]. Кроме того, родники являются важнейшим источником питьевой воды для жителей деревень и небольших городков.

В Беларуси родники и родниковые комплексы весьма многочисленны в крупнохолмистых ландшафтах Белорусской гряды и Белорусского Поозерья [3–10]. Однако фауна водных беспозвоночных, обитающих там, изучена еще недостаточно, что и стало целью наших исследований.

#### **Характеристика района исследований**

Родниковый комплекс «Иканы» находится на северо-востоке Минской возвышенности в междуречье Березины и Цны на границе с Березинским заповедником. Географические координаты источника «Иканы» – 54° 29' с. ш., 20° 12' в. д. Рельеф местности среднехолмистый, сформирован под влиянием эрозийно-делювиальных процессов. Площадь водосбора представлена в основном сельхозугодьями, на востоке граничащими с Верхнеберезинской низиной.

Территория родникового комплекса относится к широколиственно-еловым лесам Валдайско-Онежской подпровинции Евроазиатской таежной (хвойно-лесной) зоны, или области (у южных пределов таежной зоны). Согласно геоботаническому районированию Беларуси она входит в Верхнеберезинский район Ошмянско-Минского округа подзоны дубово-темнохвойных подтаежных лесов.

Родниковый комплекс «Иканы» состоит из родника, сети небольших ручейков и реки.

Родник находится у основания насыпи автостреды Бегомль – Зембин в населенном пункте Иканы Борисовского района. Он представляет собой типичный лимнокрен, каптированный бетонным кольцом, стенки которого покрыты водорослевым матом. На покрытом мелкодисперсным детритом дне находятся несколько заметных грифонов (выходов подземных вод) диаметром 3–5 см. Высота водяного столба в бетонном кольце около 70 см. Вблизи каптированного источника есть несколько мелких выходов (реокренового типа с дебитом не более 0,5 л/мин<sup>-1</sup>), образующих небольшие ручейки шириной до 5–10 см.

Ручьи, берущие начало из родников, впадают в р. Березина. Дно ручьев песчаное, а у малой реки – каменисто-галечное. Донная растительность отсутствует, лишь отдельные камни покрыты водорослевым матом. Количество листового опада незначительно, поскольку быстрое течение воды не способствует его накоплению. Ширина реки достигает 3–5 м, глубина – 1 м. Температура воды в роднике летом не превышает 7–8 °С, в реке – 10–12 °С.

Качество воды, ее биологическая полноценность в значительной степени определяются состоянием биогидроценозов. Важнейшим параметром биогидроценоза является химический состав воды как среды обитания организмов, населяющих конкретную водную систему. В табл. 1 приведены основные гидрохимические показатели воды родника «Иканы».

Исследованный родник относится к группе источников со слабой минерализацией. Проведенные нами исследования позволили установить ори-

ентировочный диапазон по данному параметру для воды родников – 704,2–197,5 мг/л при ПДК 1000 мг/л. Этот показатель достаточно хорошо коррелирует с видовым разнообразием [4].

Таблица 1

Химический состав воды родника «Иканы»

| Показатель            |       | Показатель           |       |
|-----------------------|-------|----------------------|-------|
| pH                    | 7.79  | Гидрокарбонаты, мг/л | 212,5 |
| Азот аммонийный, мг/л | 0.20  | Магний, мг/л         | 18,7  |
| Азот нитритный, мг/л  | 0.092 | Калий, мг/л          | 66,1  |
| Азот нитратный, мг/л  | 0.00  | Натрий + калий, мг/л | 8,8   |
| Сумма азота, мг/л     | 0.29  | Фосфаты, мг/л        | 0,006 |
| Хлориды, мг/л         | 28,8  | Фосфор общий, мг/л   | 0,030 |
| Сульфаты, мг/л        | 23,1  | Кремний, мг/л        | 3,5   |
| Железо общее, мг/л    | 0,36  | Минерализация, мг/л  | 384,6 |

Содержание хлоридов (28,8 мг/л) в источнике также значительно ниже ПДК для данного параметра (ПДК – 350 мг/л). Незначительное количество в роднике натрия (8,8 мг/л) (ПДК – 200 мг/л). Мало и соединений азота. Содержание в воде железа 0,36 мг/л при определенном нами ранее диапазоне для родников 1,14 – 0,15 (в отдельных родниках – 0 мг/л). В целом данный родник можно отнести к чистым источникам.

Сборы и наблюдения, послужившие материалом для данного сообщения, были проведены в августе и октябре 2001 г. Отбор проб осуществлялся методом кошения зарослей макрофитов гидробиологическим сачком стандартных размеров в прибрежной части водоемов. В связи с тем что пробы брались в относительно небольших по размерам биотопах (в источнике и родниковом ручье), для получения репрезентативных результатов одна количественная проба была равна пятикратному кошению по пять взмахов в каждом.

#### Результаты и их обсуждение

За время исследований было собрано 185 экземпляров личинок и имаго водных беспозвоночных. Обнаружено 29 видов (табл. 2), относящихся к следующим таксономическим группам: *Coleoptera* – 3 вида; *Heteroptera* – 2; *Trichoptera* – 2; *Plecoptera* – 2; *Ephemeroptera* – 2; *Diptera* – 2; *Tardigrada* – 1; *Crustacea* – 6; *Turbellaria* – 2; *Cnidaria* – 1; *Nematoda* – 1; *Oligochaeta* – 1; *Hirudinea* – 3 и *Mollusca* – 1 вид.

Несомненный интерес представляет находка следующих достаточно редких для Беларуси видов – водного жесткокрылого *Agabus guttatus* (PAYKULL, 1798); полужесткокрылого *Velia caprai* TAMANINI, 1947; веснянки *Leuctra hippopus* KEMPNY, 1899; гарпактикоидного рачка *Bryocamptus zschokkeri* (SCHMEIL, 1893) и ракушкового ракообразного *Potamocypis fulva* (BRADY, 1868).

*Agabus guttatus* (PAYK.) имеет ареал от Испании на западе и до Западной Сибири и Индии на востоке. В Польше и Украине данный вид населяет горные ручьи, изредка олиготрофные высокогорные озера, на равнинах известен только в родниковых экосистемах. В Европейской части России *A. guttatus* отмечен в озерах Карелии. В Беларуси он обнаружен в ряде родников (в основном текущих типа реокрена), где летняя температура воды не превышает 8,0–9,0 °С. Очевидно, *A. guttatus* может быть отнесен к «региональным кренобионтам». Учитывая распространение и экологическую predisposedность этого вида, можно предположить, что он является также и ледниковым реликтом, а родники выполняют для него функцию рефугиума.

*Velia caprai* TAMAN. – вид, имеющий европейский ареал, но на востоке встречается реже. До недавнего времени его обитание на территории Беларуси и в Европейской части бывшего СССР не было установлено [11, 12]. В Беларуси этот вид пока обнаружен только в родниковых и ручьевых эко-



системах [13]. Следует отметить, что все представители рода *Velia* являются реофилами и встречаются исключительно в реках, ручьях и холодных источниках.

Таблица 2  
Фауна водных беспозвоночных родникового комплекса «Иканы»

| Таксон, вид                                   | Источ-<br>ник | Река | Σ, %  |
|-----------------------------------------------|---------------|------|-------|
| <b>Coleoptera</b>                             |               |      |       |
| <i>Aqabus guttatus</i> (PAYKULL)              | –             | +    | 0,54  |
| <i>Platambus maculatus</i> (LINNAEUS)         | –             | +    | 0,54  |
| <i>Helodes pseudominuta</i> KLAUS             | +             | +    | 7,57  |
| <b>Heteroptera</b>                            |               |      |       |
| <i>Hesperocorixa sahlbergi</i> FIEBER         | –             | +    | 1,08  |
| <i>Velia caprai</i> TAMANINI                  | +             | +    | 1,62  |
| <b>Trichoptera</b>                            |               |      |       |
| <i>Silo pallipes</i> (FABRICIUS)              | –             | +    | 7,03  |
| <i>Potamophylax</i> sp.                       | +             | +    | 5,41  |
| <b>Plecoptera</b>                             |               |      |       |
| <i>Nemurella pictetii</i> KLAPALEK            | +             | +    | 3,78  |
| <i>Leuctra hippopus</i> KEMPNY                | –             | +    | 1,62  |
| <b>Ephemeroptera</b>                          |               |      |       |
| <i>Baetis vernus</i> CURTIS                   | –             | +    | 10,27 |
| <i>Procladius bifidus</i> BENGTSSON           | –             | +    | 0,54  |
| <b>Diptera</b>                                |               |      |       |
| <i>Chironomidae</i> sp.                       | +             | +    | 7,57  |
| <i>Pericoma</i> sp.                           | –             | +    | 0,54  |
| <b>Tardigrada</b>                             |               |      |       |
| <i>Tardigrada</i> sp.                         | –             | +    | 17,30 |
| <b>Copepoda</b>                               |               |      |       |
| <i>Bryocamptus zschokkeri</i> (SCHMEIL, 1893) | –             | +    | 1,08  |
| <i>Aconthocyclops vernalis</i> (FISCHER)      | +             | +    | 5,95  |
| <i>Microcyclops</i> sp.                       | +             | –    | 1,08  |
| <b>Ostracoda</b>                              |               |      |       |
| <i>Potamocypris fulva</i> (BRADY)             | +             | +    | 1,08  |
| <i>Candona</i> sp.                            | +             | –    | 0,54  |
| <b>Amphipoda</b>                              |               |      |       |
| <i>Gammarus lacustris</i> SARS                | –             | +    | 1,08  |
| <b>Turbellaria</b>                            |               |      |       |
| <i>Crenobia alpina</i> (DANA)                 | +             | +    | 1,62  |
| <i>Dugesia iugubris</i> (SCHMIDT)             | –             | +    | 0,54  |
| <b>Cnidaria</b>                               |               |      |       |
| <i>Hydra vulgaris</i> PALLAS                  | –             | +    | 0,54  |
| <b>Nematoda</b>                               |               |      |       |
| <i>Nematoda</i> sp.                           | –             | +    | 0,54  |
| <b>Oligochaeta</b>                            |               |      |       |
| <i>Oligochaeta</i> sp.                        | +             | –    | 0,54  |
| <b>Hirudinea</b>                              |               |      |       |
| <i>Glossiphonia complanata</i> LINNAEUS       | +             | +    | 1,62  |
| <i>Piscicola fasciata</i> KOLLAR              | –             | +    | 0,54  |
| <i>Erpobdella octoculata</i> (LINNAEUS)       | –             | +    | 0,54  |
| <b>Mollusca</b>                               |               |      |       |
| <i>Ancylus lacustris</i> (LINNAEUS)           | –             | +    | 17,30 |

Оценивая в целом видовой состав водных беспозвоночных животных родникового комплекса «Иканы», следует отметить, что по численности и видовому разнообразию преобладают водные насекомые, что характерно для родниковой фауны Беларуси [13].

Наиболее многочисленными среди водных беспозвоночных были тихоходки (*Tardigrada* sp.) и моллюск *Ancylus lacustris* (L.) – по 17,30 % от общего количества водных беспозвоночных. Среди водных насекомых преобладали личинки веснянки *Baetis vernus* CURTIS – 10,27 %; многочисленны также

Веснянка *Leuctra hippopus* KEMP. Распространена во всей Европе и далее – до Сибири [14]. В Европейской части России этот вид известен из водоемов Кольского полуострова, Ленинградской области и Урала, отмечен в Прибалтике и на Кавказе. Личинки *L. hippopus* обитают в реках и родниковых ручьях. Ксеносапроб [15, 16].

*Bryocamptus zschokkeri* (SCHMEIL) – типичная stenotherмическая холоднолюбивая форма – встречается в горных областях Западной Европы. Все местонахождения этого вида приурочены к литоральной зоне высокогорных озер или к ключам и ручьям с низкой температурой. В низинных местностях встречается исключительно в источниках, непосредственно у их выхода на поверхность [17].

*Potamocypris fulva* (BRADY) является редким европейским видом, имеющим ареал, ограниченный западной и южной частью Средней Европы [18]. Обитает в родниках и родниковых ручьях. В России и Польше *P. fulva* неизвестен [18, 19].



личинки ручейника *Silo pallipes* (F.) – 7,03 %, являющиеся индикаторами чистоты воды, личинки хирономид и водного жесткокрылого *Helodes pseudominuta* KLAUS – по 7,57 % от общего количества всех собранных водных беспозвоночных. Личинки *H. pseudominuta* как наиболее обычные гидробионты родниковых экосистем особенно многочисленны в реокренах и родниковых ручьях. Численность остальных животных изменялась в небольших пределах.

Следует отметить, что подавляющее большинство выявленных видов водных беспозвоночных в родниковом комплексе «Иканы» являются индикаторами чистых вод, что подтверждается также гидрохимическими показателями для этого родника.

\*\*\*

Проведенные исследования позволили установить: в родниковом комплексе «Иканы» обитает ряд видов, распространенных в предгорьях и горах Центральной и Северной Европы, что в качественном отношении определяет бореомонтанный характер выявленной фауны водных беспозвоночных. Можно сделать вывод о том, что изученные родниковые экосистемы играют роль рефугиума в сохранении «северной» группировки видов на этой территории и в распространении ряда редких видов водных беспозвоночных в Восточной Европе. В немалой степени это обусловлено чистотой источника.

На основании полученных результатов можно сделать предварительный вывод о том, что фауна водных беспозвоночных родникового комплекса представлена рядом редких для Беларуси и Европы видов. На наш взгляд, целесообразны дальнейшие исследования, которые могут пополнить приведенный авторами список видов водных беспозвоночных, а также дать дополнительные сведения по их распределению в прилегающих водоемах.

Можно констатировать, что район родникового комплекса «Иканы» обладает определенной научной и эстетической ценностью, полностью соответствует критериям «ключевого биотопа». Высокая мозаичность биотопов на небольшой территории (родники, ручьи, реки, болота и пр.) способствует поддержанию здесь значительного видового разнообразия.

Авторы выражают глубокую благодарность сотрудникам Березинского биосферного заповедника Д.Д. Ставровскому и В.М. Натарову за помощь в организации исследовательских работ, а также сотруднице Института зоологии НАН Беларуси Л.Л. Нагорской за помощь при определении ракушковых рачков (*Ostracoda*).

1. Hanninen E., Kostamo J., Meriluoto M., Soininen T. Important forest habitats in Finland. Descriptive cards. Helsinki, 1999. P. 1.
2. Karlsson J., Noren M., Wester J. Key Habitats in Woodland (eds.). National Board of Forestry. Jönköping, 1997. P. 1.
3. Голубев А.П., Гигиняк Ю.Г., Мороз М.Д. // Озерные экосистемы: биологические процессы, антропогенная трансформация, качество воды. Мн., 1999. С. 98.
4. Гигиняк Ю.Г., Мороз М.Д. // Тезисы докладов VIII съезда гидробиологического общества РАН: В 2 т. Калининград, 2001. Т. 1. С. 160.
5. Гигиняк Ю.Г., Мороз М.Д. // ДАН Беларуси. 2000. № 5. С. 81.
6. Мороз М.Д. // Структурно-функциональное состояние биологического разнообразия животного мира Беларуси: Тез. докл. VIII зоол. науч. конф. Мн., 1999. С. 243.
7. Мороз М.Д., Голубев А.П., Гигиняк Ю.Г. // Европа – наш общий дом: Тез. докл. междунар. науч. конф. Мн., 1999. С. 121.
8. Мороз М.Д., Нестерович А.И. // Фауна и флора Прибужья и сопредельных территорий на рубеже XXI столетия: Тез. докл. междунар. науч.-практ. конф. Брест, 2000. С. 131.
9. Мороз М. // Materials inter. conf. «Biodiversity in managed forests». Uppsala, 1997.
10. Кержнер И.М., Ячевский Т.Л. // Определитель насекомых Европейской части СССР: В 6 т. М.; Л., 1964. Т. 1. С. 655.
11. Lukashuk A.O. Annotated list of the Heteroptera of Belarus and Baltia. St. Petersburg, 1997.
12. Golubev A., Khmeleva N., Moroz M., Mukhin Yu. // Rep. of Alfred Toepfer Akademie fur Naturschutz. 1999. Vol. 2. № 12. P. 150.
13. Lillehammer A. // Fauna Entomologica Scandinavica. 1988. № 21. P. 1.

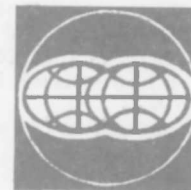
15. Жильцова Л.А. // Определитель насекомых Европейской части СССР: В 6 т. М.; Л., 1964. Т. 1. С. 177.
16. Жильцова Л.А. Определитель пресноводных беспозвоночных Европейской части СССР. Л., 1977. С. 303.
17. Боруцкий Е.В. Harpacticoida пресных вод. Фауна СССР: В 26 т. М.; Л., 1960. Т. 3. Вып. 4.
18. Бронштейн З.С. Ostracoda пресных вод. Фауна СССР: В 26 т. М.; Л., 1947. Т. 2. Вып. 1.
19. Sywula T. // Fauna słodkowodna Polski. Warszawa; Poznan, 1974. Zeszyt 24.

Поступила в редакцию 15.11.2002.

**Михаил Дмитриевич Мороз** – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник Института зоологии НАН Беларуси.

**Юрий Григорьевич Гигиняк** – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник Института зоологии НАН Беларуси.

**Василий Васильевич Вежновец** – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Института зоологии НАН Беларуси.



УДК 631.416

Е.И. ГАЛАЙ

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ СНИЖЕНИЯ ПОДВИЖНОСТИ СОЛЕЙ В ОРГАНО-МИНЕРАЛЬНЫХ КОМПОЗИЦИЯХ НА ОСНОВЕ ТЕХНОГЕННЫХ РАССОЛОВ И ТОРФА

Doses of technogenetic solution with the structure of peat and its aquatic properties is changed have been determined. A reduction of mobility of solution compound with the aid of the peat additions has been proved.

В процессе функционирования предприятий образуются различные виды отходов. В ПО «Беларуськалий» в сутки накапливается более 10 тыс. м<sup>3</sup> технологических вод. Рассолы флотации калийных руд, глинисто-солевых шламов (РГСШ), содержащие калий и микроэлементы, можно рассматривать в качестве сырья для производства удобрений. С целью уменьшения подвижности минеральных компонентов рассолов целесообразно их использование с природными сорбентами.

Цель данной работы – исследование изменения подвижности солей в органо-минеральных композициях на основе РГСШ и торфа.

В качестве объекта изучения использовали верховой торф Ганцевичского месторождения со степенью разложения 25 %, в состав которого входят магеланикум (75 %), сфагнум (15 %), пушица (10 %). Такой торф обладает значительной пористостью, а присутствие в нем большого количества различных полярных групп обеспечивает ему аномально большую водоудерживающую способность. Верховой торф характеризуется и высокой погложительной способностью благодаря одновременному протеканию ионного обмена и необменной сорбции электролитов. Он почти не содержит питательных веществ в доступной растениям форме. Рассматриваемые особенности торфа дают возможность использовать его в качестве субстрата для создания питательных смесей, улучшения структуры и плодородия почвы. Основные физико-химические характеристики верхового торфа (с влажностью 56,5 %) и техногенных рассолов приведены в таблице.

Физико-химическая характеристика объектов исследования

| Наименование                       | pH  | Химический состав |      |                  |                               |      |      |      |      |
|------------------------------------|-----|-------------------|------|------------------|-------------------------------|------|------|------|------|
|                                    |     | CaO               | MgO  | K <sub>2</sub> O | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | Co   | Ni   | Zn   | Cu   |
| Техногенный рассол, мг/л           | 6,6 | 3690              | 690  | 4850             | 8000                          | 0,13 | 0,14 | 0,26 | 0,44 |
| Верховой торф, г/г сухого вещества | 3,4 | 0,41              | 0,13 | 0,12             | 0,09                          | 0,5  | 2,3  | –    | 2,6  |

Эксперименты проводили при изотермических условиях ( $T=293\text{ K}$ ) на установке, описанной в [1]. Количественную оценку содержания солей в образцах выполняли кондуктометрическим методом. Влияние рассолов на агрегатный состав торфа определяли методом мокрого ситового анализа. Водоудерживающую способность торфа изучали методом термостатной сушки.

Влияние рассолов на подвижность солей в органо-минеральных композициях связано с определенным соотношением между категориями влаги посредством изменения pH и обменной емкости торфа. От кислотности в существенной мере зависит влагопроводность торфяных систем. Поглощение катионов рассолов торфом усиливается с ростом их концентрации в растворе, а также с увеличением pH, что приводит к увеличению центров сорбции и повышению сорбционной способности торфа. Зависимость между реакцией среды и обменной емкостью торфа имеет прямолинейный характер при  $pH=3-7$ . В области концентраций рассолов  $C_{РГСШ} \leq 0,05\%$  на сухое вещество (с. в.) ( $pH$  воды  $>3$ ) наблюдается полное сорбционное взаимодействие их с твердой фазой торфа, так как увеличивается активность карбоксильных групп и обменная емкость торфа (рис. 1).

С повышением концентрации минерализованных вод большее количество ионов  $H^+$  вытесняется в раствор. В результате использования  $0,25\%$  РГСШ на с. в. кислотность возрастает на 1,07. При уменьшении pH снижается диссоциация кислотных групп торфа и заряд частиц. В этих условиях меньшее количество катионов рассолов поглощается торфом. Верховым торфом сорбируется всего до  $0,15\%$  солей РГСШ на с. в. Низкая степень сорбции обусловлена значительным содержанием в его составе одновалентных металлов. Слабое поглощение катионов щелочных металлов (преобладающих в РГСШ) гуминовыми кислотами, по мнению И.И. Лиштвана, Н.И. Круглицкого и В.Ю. Третьякова, связано с тем, что атомы  $H^+$ , способные к обмену, находятся в ионогенных группах в ковалентной связи, а связь ионов щелочных металлов с этими группами можно рассматривать как электровалентную [2]. При концентрации техногенных рассолов  $C > 0,15\%$  на с. в. происходит насыщение данной природной дисперсной системы солями, величина сорбции увеличивается незначительно.

Об ионном обмене РГСШ с гуминовыми веществами торфа свидетельствует изменение удельного сопротивления дисперсной системы. На графике зависимости удельного сопротивления порового раствора торфа от концентрации РГСШ можно выделить несколько характерных участков (рис. 2). Участок концентраций РГСШ до  $0,2\%$  в поровом растворе характеризуется сильной пропорциональной зависимостью. Изменение удельного сопротивления порового раствора составляет  $156,5$  кОм·см, что соответствует концентрации РГСШ  $0,03$  в расчете на сухое вещество торфа. Концентрация ионов РГСШ определяет электропроводность торфа, состоящую из

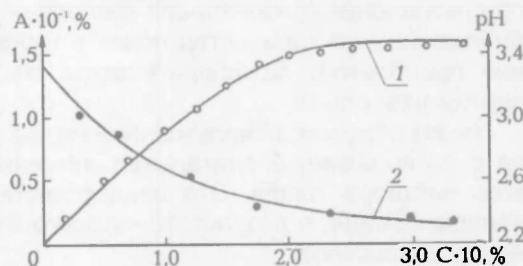


Рис. 1. Изотерма сорбции РГСШ торфом (1) и изменение pH (2) в зависимости от концентрации РГСШ

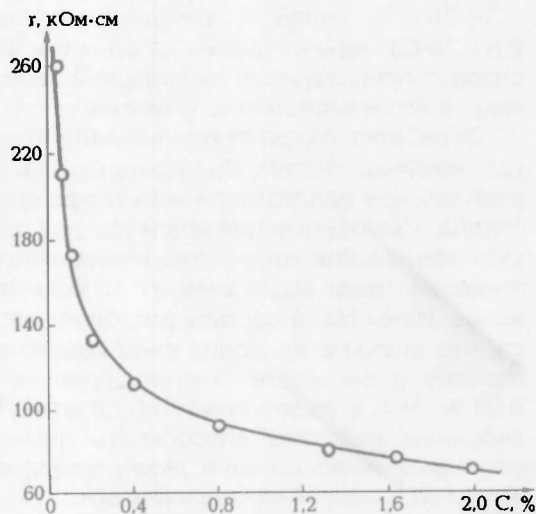


Рис. 2. Зависимость удельного сопротивления порового раствора торфа от концентрации РГСШ

электропроводности ионных и катодоретической электропроводности, обусловленной коллоидными частицами [3]. Интервал концентраций 0,2–1 % солей в растворе является переходной областью в изменении удельного сопротивления порового раствора. Дальнейшее повышение количества вносимых рассолов вызывает незначительное изменение проводимости торфа. Участок кривой характеризуется плавной пропорциональностью. С увеличением концентрации рассолов сильнее проявляется взаимодействие между ионами. Из-за преобладания сил притяжения противоположно заряженных ионов над силами отталкивания в рассолах каждый ион оказывается окруженным ионами противоположного знака, в результате образуются ионные пары. Это приводит к снижению концентрации свободных ионов. Ионные пары не принимают участия в переносе электричества. Поэтому при увеличении концентрации рассола его проводимость снижается. По мере уменьшения количества ионов в торфе все более существенное значение приобретает катодоретическая составляющая, постоянная на всем протяжении опыта.

Таким образом, использование малых концентраций рассолов ( $C < 0,03$  % на с. в.) вызывает значительное снижение удельного сопротивления порового раствора торфа. Это свидетельствует об интенсивно протекающем ионном обмене, в результате которого верховой торф обогащается компонентами рассолов.

Аналогичные данные получены на кварцевом песке. При  $C < 1,39$  % солей РГСШ в растворе (0,035 % на с. в. песка) удельное сопротивление уменьшается на 9,2 кОм·см по сравнению с исходным. В диапазоне концентраций 1,39–13,9 % солей в растворе изменение сопротивления составляет 2,6 кОм·см, величины pH – 1,1 единицы. Внесение электролитов в виде рассолов сопровождается их сорбцией песком и вытеснением ионов  $H^+$  в раствор, в итоге кислотность увеличивается.

Обработка торфа техногенными рассолами влияет на водные свойства органогенных систем. При концентрации солей  $C < 0,03$  % на с. в. возрастает равновесное влагосодержание торфа при потенциале влаги 0,25 м водного столба. Имобилизация влаги торфом происходит в процессе набухания за счет увеличения количества имобилизованной и осмотической воды. Количество такой воды зависит от содержания гидрофильных коллоидов и ионов. Ионы  $Na^+$  в составе рассолов способны значительно гидратироваться, что вначале приводит к набуханию за счет ионообменных процессов, поэтому равновесное влагосодержание торфа при концентрации РГСШ 0,03 % на с. в. возрастает на 0,06 кг/кг. По мере увеличения концентрации вносимых рассолов способность дисперсных систем удерживать влагу уменьшается вследствие дезагрегации структурных составляющих и снижения содержания связанной влаги.

Рост концентрации солей рассолов ( $C > 0,03$  % на с. в.) сопровождается разрушением структуры торфа, что проявляется в уменьшении количества водопрочных агрегатов и увеличении дисперсности. Использование РГСШ в количестве 1,5 % на с. в. уменьшает содержание агрегатов с  $d > 1$  мм на 23 %, что обусловлено пептизирующим действием ионов  $Na^+$ ,  $K^+$ . С уменьшением размера фракций их количество увеличивается вследствие дробления более крупных исходных частиц торфа. Внесение 1,5 % РГСШ вызывает рост отношения фракций с  $0,25 \text{ мм} < d < 0,5 \text{ мм}$  к контролю до 1,41. Однако независимо от химического состава РГСШ при концентрации больше предельной ( $C > 0,03$  % на с. в.) возрастает интенсивность воздействия рассолов на структуру торфа.

Таким образом, в зависимости от концентрации рассолов изменяется миграционная подвижность солей в торфе вследствие изменения его агрегатного состава, водоудерживающей и ионообменной способности. Использование менее 0,03 % солей РГСШ на с. в. снижает миграцию солей.



\* \* \*

1. Показано, что воздействие рассолов на подвижность солей в торфе определяется их химическим составом, концентрацией, поэтому происходит изменение его структуры, влагопроводности, ионообменной способности.

2. Установлено, что использование техногенных рассолов с концентрацией  $C < 0,03$  % солей на с. в. снижает их подвижность в торфе в связи с высокой обменной емкостью торфа и уменьшением влагопроводности.

1. Абрамец А.М., Лиштва И.И., Чураев Н.В. Массоперенос в природных дисперсных системах. Мн., 1992.

2. Физика и химия торфа: Учеб. пособие / И.И. Лиштва, Е.Т. Базин, Н.И. Гамаюнов, А.А. Терентьев. М., 1989.

3. Лис Л.С. // Переработка и использование торфа и сапропелей. Мн., 1971. С. 168.

Поступила в редакцию 13.09.2001.

**Елена Ивановна Галай** – кандидат географических наук, доцент кафедры геоэкологии.

УДК 333.322.3(476)

А.В. ТОМАШЕВИЧ

## ГЕОГРАФИЯ ЖИЛИЩНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА И КАЧЕСТВА ЖИЛЬЯ В СЕЛЬСКОЙ МЕСТНОСТИ БЕЛАРУСИ

The dynamics and geography of house-building in rural localities of Belarus have been investigated. The territorial differentiation of house-building per 1,000 citizens has been calculated. Indices of the degree of dilapidation, water-supply, sewerage, heating in 118 regions of the republic are indicated.

Важнейшим фактором социально-экономического развития государства и показателем качества жизни населения является обеспеченность людей жильем. Эта проблема для Беларуси всегда была острой в силу ряда факторов. Географическое положение республики в центре Европы часто становилось причиной сильнейших разрушений в периоды военных действий. Так, за годы гражданской войны в XX ст. было разрушено 1200 тыс. м<sup>2</sup> жилой площади. Ее восстановление практически было закончено уже в 1930-х гг., а до 1941 г. в республике было построено 12,1 млн м<sup>2</sup> жилья, что позволило увеличить жилой фонд по сравнению с 1913 г. в 3 раза. Однако за годы Великой Отечественной войны республика потеряла более 8 млн м<sup>2</sup> жилого фонда в городах и городских поселках и более 2 млн жилых домов в деревнях [2].

Осуществление государственной программы жилищного строительства в послевоенный период позволило уже к 1953 г. восстановить довоенный уровень жилья, а к началу 1977 г. общий объем городского жилого фонда в республике составил 60,3 млн м<sup>2</sup>, в том числе обобщественный – 43,9 млн м<sup>2</sup> [3].

Начиная с 1970-х гг. в Беларуси наметились устойчивые темпы роста объемов жилищного строительства, однако с 1987 г. проявилась тенденция к их снижению, а резкое уменьшение ввода жилья в эксплуатацию совпадает с началом экономического кризиса 1991 г. (рис. 1), причем в сельской местности абсолютное и относительное падение ввода жилья проявлялось особенно заметно (рис. 2).

Следует отметить существенную территориальную дифференциацию ввода жилья в республике за весь послевоенный период. Если в областном разрезе такая дифференциация проявляется незначительно, то по районам республики она просматривается достаточно четко.

Для выявления степени территориальных различий в объемах введенного в эксплуатацию жилья за десятилетний период (1990–1999 гг.) нами были

проанализированы данные по 118 районам Беларуси, на основании которых выделено 5 групп.

Первая группа – районы с вводом жилья до 1000 м<sup>2</sup> на тысячу жителей; вторая группа – от 1001 до 2000 м<sup>2</sup>; третья – от 2001 до 3000 м<sup>2</sup>; четвертая – от 3001 до 4000 м<sup>2</sup>; пятая – от 4001 до 5000 м<sup>2</sup> на тысячу жителей.

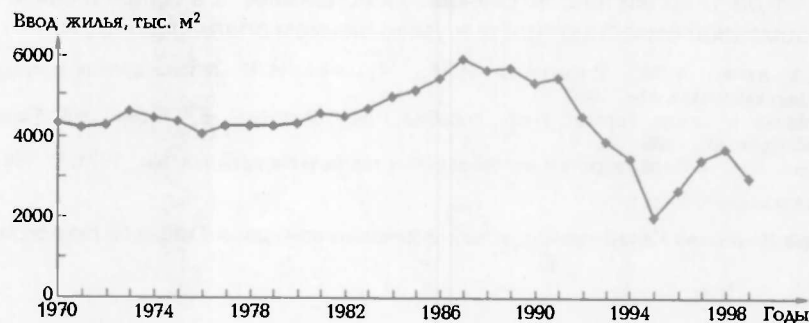


Рис. 1. Динамика ввода в действие жилых домов за 1970–1999 гг.

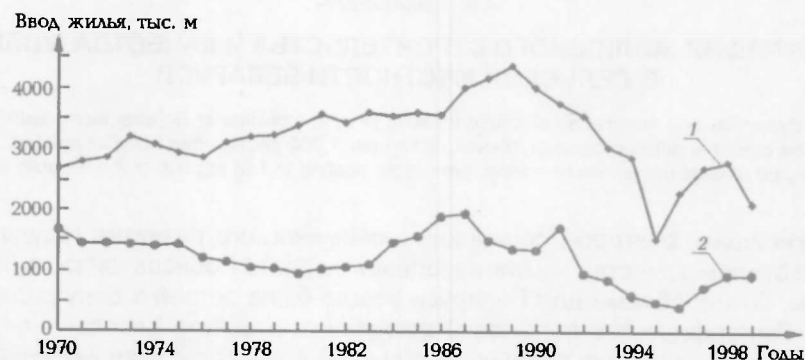


Рис. 2. Ввод в действие жилых домов в городских (1) и сельских (2) поселениях за 1970–1999 гг.

Таблица 1  
Ввод жилья по административным областям и районам Беларуси в 1990–1999 гг. по выделенным группам

| Области     | Количество районов | Распределение районов по выделенным группам |    |    |   |   |
|-------------|--------------------|---------------------------------------------|----|----|---|---|
|             |                    | 1                                           | 2  | 3  | 4 | 5 |
| Брестская   | 16                 | –                                           | 13 | 3  | – | – |
| Витебская   | 21                 | –                                           | 19 | 2  | – | – |
| Гомельская  | 21                 | 8                                           | 12 | 1  | – | – |
| Гродненская | 17                 | –                                           | 14 | 3  | – | – |
| Минская     | 22                 | –                                           | 16 | 4  | 1 | 1 |
| Могилевская | 21                 | 1                                           | 9  | 10 | – | 1 |
| Всего       | 118                | 9                                           | 83 | 23 | 1 | 2 |

Анализ выделенных групп позволил выявить существенную территориальную дифференциацию показателей ввода жилья на 1000 человек по административным областям и районам Беларуси (табл. 1).

Дифференциация объемов жилищного строительства хорошо иллюстрируется на примере Могилевской области, так как здесь прослеживаются характерные особенности всех пяти

групп и в целом всей территории Беларуси (рис. 3).

Очевидно, что наиболее высокие показатели ввода жилья характерны для районов, сосредоточенных вокруг областных городов и промышленных центров. Максимальные показатели по Дрибинскому району связаны с притоком населения из регионов, наиболее пострадавших от Чернобыльской катастрофы. Наименьший ввод жилья прослеживается в районах, загрязненных радионуклидами.

Наращивание объемов жилищного строительства, начатое в 1995 г., позволило существенно улучшить обеспеченность населения республики

жильем как в городах, так и в сельской местности. За 20 лет (1980–2000 гг.) средняя обеспеченность жильем одного жителя в городах Беларуси увеличилась с 12,9 до 19,2 м<sup>2</sup>, в сельской местности эти показатели значительно выше – 16,3 и 25,9 м<sup>2</sup> соответственно. По районам республики существенных отклонений от средних показателей не наблюдается, за исключением районов, наиболее пострадавших от Чернобыльской катастрофы, где зарегистрированы пиковые показатели обеспеченности жильем в сельской местности в связи с уменьшением населения: в Наровлянском районе – 39,7 м<sup>2</sup>/чел., Хойникском – 31,6, Брагинском – 27,8, в Ельском – 29,2 м<sup>2</sup> на одного жителя [1].

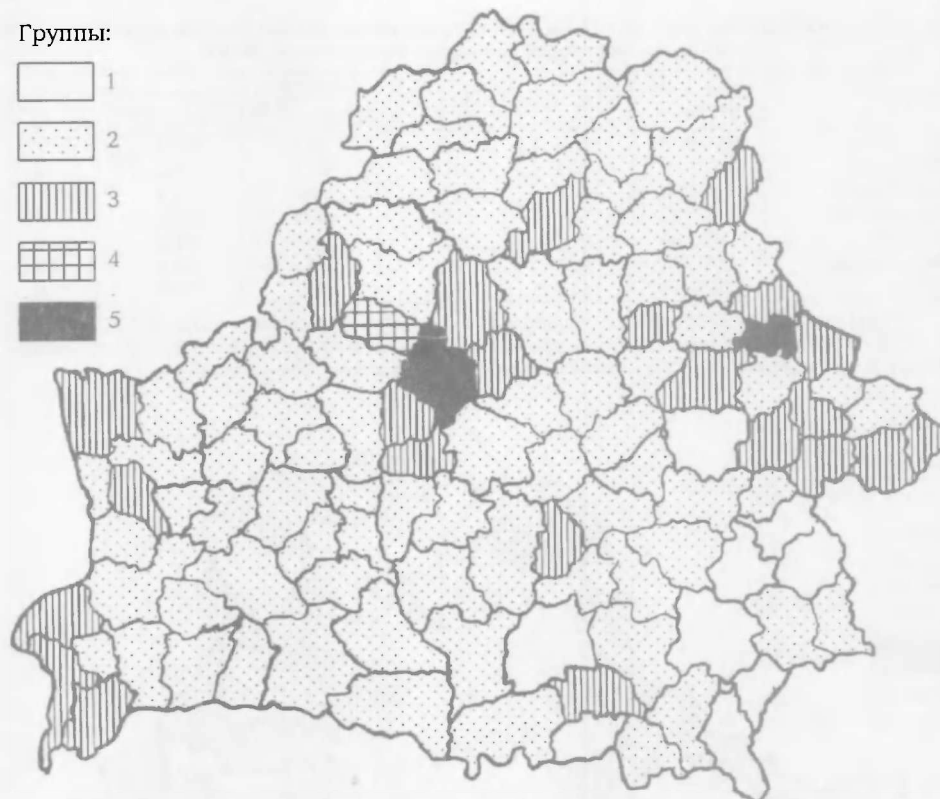


Рис. 3. Группировка районов Беларуси по уровню жилищного строительства за 1990–1999 гг.

В целях выявления региональных различий в качестве жилья сельского населения Беларуси были проанализированы следующие характеристики жилого фонда: материал наружных стен, из которого построено жилье (дерево, кирпич и другой каменный материал), степень ветхости построек, наличие удобств в доме, в том числе водопровода и канализации.

Показатель ветхости деревянных построек определялся нами следующим путем. К ветхим постройкам отнесены дома, введенные в эксплуатацию до 1945 г. К домам, построенным в период 1945–1960 гг., при определении их ветхости применен коэффициент 0,5 из расчета, что примерно 50 % строений находятся в нормальном состоянии. Сочетание характеристик: дом из дерева, степень ветхости, отсутствие водопровода и канализации, наличие печного отопления – позволяет классифицировать данное жилье по уровню комфортности. Анализ показателей проведен по 118 районам Беларуси (табл. 2).

Как видно из данных табл. 2, в сельской местности Беларуси из 1 199 072 жилых помещений более 146 тыс. домов, или 12,2 %, построены

до Великой Отечественной войны. Еще 412,4 тыс. домов, или 34,4 %, введены в действие в период 1945–1960 гг. и, по нашей оценке, на 50 % являются ветхими. Из общего числа жилых построек 75,8 % без водопровода и 79,3 % без канализации, т. е. не имеют элементарных удобств и не соответствуют современным требованиям к жилью. Число людей, проживающих в таких домах, по нашим расчетам, составляло на конец 2000 г. более 2,0 млн человек, в том числе в ветхих жилых постройках – примерно 20–25 % сельского населения. По имеющимся данным, в сельской местности 7351 человек проживает в аварийных жилых постройках [4].

Таблица 2

Классификация жилых помещений по периоду постройки, видам благоустройства жилья в сельской местности Беларуси по областям, 1999 г.

| Области     | Число жилых помещений | В том числе            |               |                 |                 |                        |
|-------------|-----------------------|------------------------|---------------|-----------------|-----------------|------------------------|
|             |                       | постройки из дерева, % |               | без удобств, %  |                 | с печным отоплением, % |
|             |                       | до 1945 г.             | 1945–1960 гг. | без водопровода | без канализации |                        |
| Брестская   | 215 853               | 11,0                   | 32,9          | 78,0            | 81,3            | 77,7                   |
| Витебская   | 181 420               | 10,8                   | 34,0          | 77,2            | 81,2            | 79,6                   |
| Гомельская  | 194 293               | 7,1                    | 37,0          | 72,6            | 75,9            | 71,1                   |
| Гродненская | 174 623               | 23,1                   | 33,4          | 80,0            | 82,3            | 79,4                   |
| Минская     | 285 139               | 12,3                   | 33,8          | 70,6            | 76,3            | 63,6                   |
| Могилевская | 147 744               | 9,6                    | 36,0          | 80,4            | 80,9            | 77,2                   |
| По РБ       | 1 199 072             | 12,2                   | 34,4          | 75,8            | 79,3            | 73,8                   |

Примечание. \*Расчитано по данным Министерства статистики и анализа ГРБ.

\*\*По 8 районам Гродненской области информация отсутствует (Ивьевский, Кореличский, Лидский, Островецкий, Свислочский, Слонимский, Сморгонский, Щучинский).

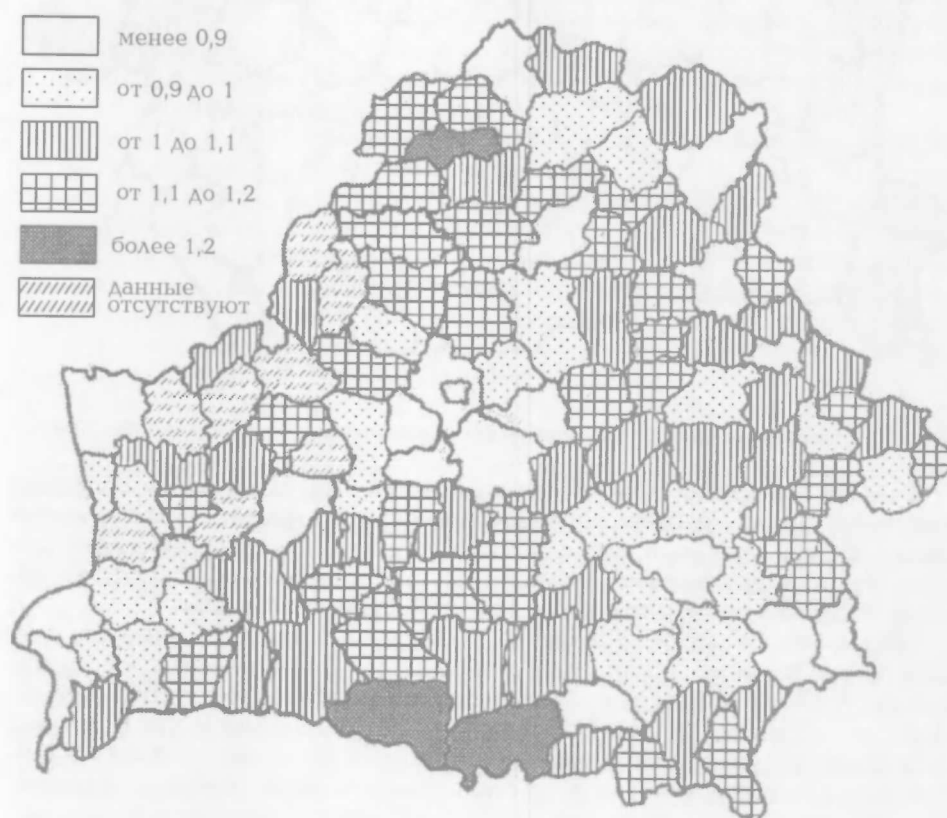


Рис. 4. Дифференциация районов по качеству жилья в сельской местности

Территориальная дифференциация качества жилья на селе определялась путем анализа двух показателей благоустройства (оборудование во-

допроводом и канализацией) индексным методом относительно средних величин по республике (75,8 и 79,3 % соответственно), характеризующих процент жилья без элементарных удобств. Это позволило выявить районы с наихудшими, ниже средних, средними и удовлетворительными показателями благоустройства (рис. 4).

Так, больше всего построек без водопровода и канализации зарегистрировано в Шарковщинском районе Витебской области, Столинском районе Брестской области, Лельчицком районе Гомельской области (индекс локализации больше 1,2). Несколько лучше, но значительно ниже среднего показателя по республике обстоит дело в 32 районах (индекс локализации от 1,1 до 1,2), в том числе в 4 районах (Наровлянский, Брагинский, Ветковский и Чечерский) Гомельской области, 9 районах (Березинский, Вилейский, Воложинский, Копыльский, Логойский, Любанский, Мядельский, Солигорский, Стародорожский) Минской области, 5 районах (Белыничский, Краснопольский, Кричевский, Круглянский, Хотимский) Могилевской области, 3 районах (Ганцевичский, Дрогичинский, Лунинецкий) Брестской области, 2 районах (Зельвенский, Новогрудский) Гродненской области и в 9 районах (Бешенковичский, Браславский, Докшицкий, Дубровенский, Миорский, Поставский, Толочинский, Ушачский, Чашникский) Витебской области.

Индекс от 1,0 до 1,1, где отсутствие удобств в жилых домах составляет до 85 %, характерен для 34 районов. И только в 41 районе индекс локализации оказался менее 1, причем в 18 районах республики 40 % жилых домов оборудованы водоснабжением и канализацией (4 района Гомельской области: Гомельский, Добрушский, Жлобинский, Мозырский; 5 районов Минской области: Дзержинский, Минский, Пуховичский, Узденский, Червенский; 1 район Могилевской области: Дрибинский; 3 района Брестской области: Барановичский, Брестский, Каменецкий; 4 района Витебской области: Верхнедвинский, Витебский, Лепельский, Оршанский; 1 район Гродненской области: Гродненский). Эти дома, как правило, построены в 1960-х гг.

Таким образом, неудовлетворительное состояние жилого фонда в сельской местности Беларуси в целом и существенная дифференциация по его оборудованию канализацией и водопроводом требуют принятия первоочередных мер по созданию приоритетных условий ускорения жилищного строительства на селе. Это позволит решить ряд серьезных проблем социально-экономического характера, прежде всего обеспечения повышения качества жизни населения сельской местности республики; изменения тенденции массовой миграции молодежи из села в город, привлечения и закрепления трудовых ресурсов для развития сельского хозяйства и местной промышленности. Следует также учесть, что внешний вид и благоустройство белорусских деревень во многом определяют имидж страны в глазах мировой общественности, положительно повлияют на привлечение иностранных инвестиций в создание современных комплексов сельскохозяйственного производства и оживление международного туризма. От состояния качества жилого фонда в деревнях и районных центрах республики во многом будет зависеть уровень жизни населения и его трудовой потенциал.

1. Жилищное строительство в Гомельской области: Стат. сб. / Гомел. обл. упр. статистики. Гомель, 2001.
2. Народное хозяйство Белорусской ССР за 40 лет / Под ред. С.Н. Малинина. Мн., 1957.
3. Народное хозяйство Белорусской ССР: Юбилейный статистический ежегодник. Мн., 1978.
4. О жилищном фонде Республики Беларусь, 2001 / Минстат Республики Беларусь. Мн., 2001.
5. Статистический ежегодник Республики Беларусь, 2000 / Минстат Республики Беларусь. Мн., 2000.

Поступила в редакцию 03.06.2002.

**Анжелика Владимировна Томашевич** – аспирант кафедры экономической географии Беларуси и государств Содружества. Научный руководитель – доктор экономических наук, профессор Л.В. Козловская.



**ОБМЕННЫЙ АЛЮМИНИЙ В ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ БЕЛАРУСИ РАЗЛИЧНОЙ КИСЛОТНОСТИ**

In the article the significant value of exchangeable aluminium in sod-podsolic soils of Belarus only with strong acid reaction is showed. After liming the value of exchangeable aluminium reduced to an-dangerous for cultural crops level.

Одним из важнейших факторов, обуславливающих отрицательное влияние повышенной кислотности почв на растения, является наличие в кислых почвах подвижного алюминия. По мнению ряда исследователей [1–3], именно этот фактор является решающим при определении степени необходимости известкования почв. Исследованиями, обобщенными Н.С. Авдониным [4] и К.А. Блэком [5], установлено, что алюминий непосредственно вредит растениям при содержании его в растворе свыше 1 мг/л. Выявлена значительная корреляция между урожаем и содержанием алюминия: увеличение содержания на 1 мг/100 г соответствует снижению урожая кальциефильных культур на 4–6 % [3].

Валовое содержание алюминия в дерново-подзолистых почвах очень велико и достигает 13 %, но основная его часть находится в малоподвижном состоянии, не оказывая влияния на рост и развитие растений, за исключением случаев кислой реакции среды [4]. Добавление алюминия к питательным растворам подавляет рост растений. Растворимость алюминия в воде при pH менее 4,5 или выше 8,0 резко увеличивается, а при pH 6,0–6,5 алюминий практически нерастворим [5], поэтому явная токсичность этого элемента в гумидной зоне проявляется только на сильноокислых почвах.

Появление алюминия в нейтральносолевых вытяжках (суспензиях) из почв было темой дискуссий в течение ряда лет, но некоторые публикации [5] свидетельствуют, что кислые почвы действительно содержат обменный алюминий, как это доказали многочисленные опыты с искусственно подкисленными глинами. В настоящее время господствует теория, объясняющая кислотность минеральной части почв содержанием преимущественно алюминия, а кислотность органической части – водорода.

Токсичность алюминия отрицательно сказывается прежде всего на росте корней из-за снижения проницаемости протоплазмы корневых клеток и наиболее заметна, так как может фиксироваться визуально. Она оказывает воздействие и на питание растений, в частности на фосфорное питание: при высоком содержании подвижного алюминия оно значительно ухудшается. Внесение фосфорных удобрений в кислую почву резко снижало содержание обменного алюминия, не меняя реакции среды [4]. Некоторые исследователи даже затрудняются разделить роль токсичности алюминия и недостатка фосфора [5].

Наиболее устойчивы к неблагоприятному воздействию алюминия растения овса, кукурузы, тимopheевки, люпина, а самыми чувствительными являются клевер красный, люцерна, корнеплоды и озимые зерновые. Критическими уровнями содержания подвижного алюминия в дерново-подзолистых почвах, снижающими урожай на 20 % и более, являются 70–80 мг/кг для кукурузы, ячменя, пшеницы, льна-долгунца, 110 мг/кг – для овса, около 50 мг/кг – для клевера красного, люцерны и люпина, 30 мг/кг – для свеклы сахарной и столовой [4]. На фоне высокой обеспеченности фосфором эти уровни могут быть существенно выше.

Существует мнение, что главный незафиксированный итог многолетнего известкования – исчезновение подвижного алюминия как наиболее существенного препятствия для роста урожаев. И.А. Шильников и Л.А. Лебедева приводят данные, что в произвесткованных почвах (когда внесены полные и

более высокие дозы извести) длительное время обменная кислотность и содержание подвижного алюминия находятся на крайне низком уровне, хотя реакция среды в почве может достигать исходного состояния [6]. Именно наличие или отсутствие обменного алюминия в существенных количествах определяет в ряде случаев отзывчивость растений на известкование [7–13].

В почвах Беларуси известкование также снижает содержание обменного алюминия. Так, на дерново-подзолистой супесчаной почве спустя 3 года после внесения извести его содержание упало с 7,3–7,9 до 4,0–4,3 мг/кг [14].

Проведенные нами исследования показывают (табл. 1), что содержание обменного алюминия в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве уже при исходном pH 4,8–5,0 было существенно ниже критических уровней, что является, по нашему мнению, основной причиной низкой эффективности известкования в данном эксперименте. Под влиянием извести этот показатель заметно снижался уже в первый год исследований, причем увеличение дозы извести делало снижение содержания обменного алюминия более существенным. На шестой год эксперимента его содержание также определялось преимущественно дозами извести и составляло в среднем 2,9 и 1,4 мг/кг против 5,3 мг/кг в неизвесткованном блоке, что несколько выше, чем на второй год опыта. Сравнительно более высокие значения этого показателя отмечаются при внесении минеральных удобрений в неизвесткованном блоке, тогда как на фоне повышенной дозы извести существенного увеличения содержания обменного алюминия не отмечено. В 1998 г. содержание обменного алюминия в варианте (NPK)<sub>1</sub> увеличилось до 8,0 мг/кг, тогда как в блоке с внесением 12,4 т/га CaCO<sub>3</sub> осталось на уровне 1,2 мг/кг, т. е. известь является надежным средством не только снижения содержания этого потенциально токсичного в обменной форме элемента, но и создает устойчивую буферность подкислению (см. табл. 1).

Принципиально иной характер носит влияние извести на содержание обменного алюминия в сильнокислых почвах. Высокое (150–220 мг/кг, или 1,6–2,4 смоль(+)/кг) исходное содержание обменного алюминия в дерново-подзолистой глееватой супесчаной почве в другом нашем эксперименте (табл. 2) допускало реальную возможность его существенного негативного влияния на рост растений. При внесении извести произошло резкое уменьшение содержания обменного алюминия, статистически достоверное по всем вариантам, кроме поверхностного внесения. Различия уже на второй год эксперимента достигали огромных значений: на бобово-злаковой травосмеси (поле 4) в варианте с внесением 11,5 т/га CaCO<sub>3</sub> послойно содержалось в 29 раз меньше обменного алюминия, чем на контроле. Столь сильное – в несколько десятков раз – уменьшение содержания алюминия при известковании отмечалось и в некоторых других исследованиях, например в западных областях Украины [15].

Обменного водорода в изучаемой почве было заметно меньше, изначально – примерно в 5–7 раз, т. е. кислотность определялась преимущественно алюминием. Содержание обменного водорода также снижалось при

Таблица 1

Влияние извести и удобрений на содержание обменного алюминия в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, мг/кг почвы

| Варианты                             | 1989 г.         |                 |                 | 1994 г.         |                 |                 |
|--------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                                      | Ca <sub>0</sub> | Ca <sub>1</sub> | Ca <sub>2</sub> | Ca <sub>0</sub> | Ca <sub>1</sub> | Ca <sub>2</sub> |
| Контроль                             | 2,3             | 1,6             | 1,6             | 2,8             | 1,7             | 1,5             |
| (NPK) <sub>1</sub>                   | 3,8             | 1,9             | 1,4             | 6,5             | 3,0             | 1,2             |
| (NPK) <sub>2</sub>                   | 4,7             | 1,4             | 1,1             | 8,9             | 4,1             | 1,6             |
| ТНК <sub>1</sub> –12 т/га            | 3,1             | 1,4             | 0,6             | 3,2             | 2,2             | 1,1             |
| ТНК <sub>2</sub> –24 т/га            | 3,3             | 1,9             | 0,7             | 3,3             | 2,4             | 1,0             |
| (NPK) <sub>1</sub> +ТНК <sub>1</sub> | 2,9             | 1,3             | 0,8             | 5,6             | 3,0             | 1,4             |
| (NPK) <sub>1</sub> +ТНК <sub>2</sub> | 3,6             | 1,3             | 1,2             | 5,7             | 2,7             | 1,6             |
| (NPK) <sub>2</sub> +ТНК <sub>2</sub> | 3,2             | 1,5             | 1,0             | 5,9             | 3,3             | 1,4             |
| (NPK) <sub>2</sub> +ТНК <sub>2</sub> | 2,1             | 1,8             | 1,2             | 5,8             | 3,6             | 1,9             |
| НСР <sub>05</sub> блоков             |                 | 0,45            |                 |                 | 0,52            |                 |
| вариантов                            |                 | 0,46            |                 |                 | 0,41            |                 |

Примечание. Уровни известкования: Ca<sub>0</sub> – без извести, Ca<sub>1</sub> – доломитовая мука по 1 Нг (6,5 т/га д. в.), Ca<sub>2</sub> – доломитовая мука до оптимума pH (12,4 т/га д. в.).

известковании, но в меньшей степени, до 3 раз. Большое влияние на эти показатели оказали способы заделки известковых мелиорантов в почву: чем равномернее была заделана доломитовая мука, тем сильнее было снижение кислотности.

Таблица 2

Влияние доз и способов внесения извести на содержание обменных водорода и алюминия в дерново-подзолистой супесчаной почве

| Дозы CaCO <sub>3</sub> , т/га    | Обменный водород, смоль(+)/кг |        | Обменный алюминий, мг/кг |        |
|----------------------------------|-------------------------------|--------|--------------------------|--------|
|                                  | Поле 1                        | Поле 2 | Поле 1                   | Поле 2 |
| Фон                              | 0,32                          | 0,36   | 171                      | 203    |
| 6,5 под вспашку                  | 0,22                          | 0,24   | 84                       | 109    |
| 6,5 под вспашку и культивацию*   | 0,15                          | 0,13   | 43                       | 23     |
| 6,5 под культивацию              | 0,18                          | 0,19   | 39                       | 31     |
| 6,5 под вспашку и поверхностно*  | 0,20                          | 0,26   | 101                      | 131    |
| 6,5 поверхностно                 | 0,29                          | 0,27   | 128                      | 162    |
| 11,5 под вспашку                 | 0,24                          | 0,16   | 41                       | 20     |
| 11,5 под вспашку и культивацию*  | 0,16                          | 0,14   | 14                       | 7      |
| 11,5 под культивацию             | 0,13                          | 0,11   | 11                       | 17     |
| 11,5 под вспашку и поверхностно* | 0,13                          | 0,20   | 31                       | 62     |
| 11,5 поверхностно                | 0,23                          | 0,25   | 144                      | 138    |
| НСР <sub>05</sub>                | 0,13                          | 0,08   | 56                       | 44     |

Примечание. Здесь и в табл. 3, 4 \* – внесение извести проведено в два приема по 0,5 дозы.

При известковании не только уменьшалось содержание основных формирующих почвенную кислотность элементов, но и менялась их доля в формировании почвенной кислотности. Если на контроле эквивалентное соотношение алюминия и водорода было около 6 и оставалось таким при поверхностном внесении даже повышенной дозы извести, то при хорошем перемешивании извести оно падало до 2–3 при внесении 6,5 т/га CaCO<sub>3</sub>, а при внесении повышенной дозы даже до 1 и менее. Иными словами, на подобных почвах в первую очередь нейтрализуются кислые обменные позиции, определяемые алюминием, а обменный водород более тесно связан органическими коллоидами, которых много в такой высокогумусированной (более 4 %) из-за периодического избыточного переувлажнения дерново-подзолистой супесчаной почве (см. табл. 2).

Таблица 3

Влияние доз и способов внесения извести на содержание обменного алюминия в дерново-подзолистой супесчаной глееватой почве, мг/кг

| Дозы CaCO <sub>3</sub> , т/га    | 1993 г. |        | 1994 г. |        |
|----------------------------------|---------|--------|---------|--------|
|                                  | Опыт 1  | Опыт 2 | Опыт 1  | Опыт 2 |
| Фон                              | 77      | 92     | 50      | 39     |
| 6,5 под вспашку                  | 38      | 49     | 14      | 16     |
| 6,5 под вспашку и культивацию*   | 19      | 10     | 16      | 9      |
| 6,5 под культивацию              | 18      | 14     | 6       | 8      |
| 6,5 под вспашку и поверхностно*  | 45      | 59     | 9       | 7      |
| 6,5 поверхностно                 | 60      | 73     | 34      | 7      |
| 11,5 под вспашку                 | 18      | 9      | 10      | 8      |
| 11,5 под вспашку и культивацию*  | 7       | 3      | 3       | 7      |
| 11,5 под культивацию             | 5       | 8      | 4       | 5      |
| 11,5 под вспашку и поверхностно* | 41      | 28     | 7       | 7      |
| 11,5 поверхностно                | 65      | 62     | 15      | 7      |
| НСР <sub>05</sub>                | 20      | 15     | 18      | 13     |

На третий год проведения опыта (1993 г.) зафиксировано дальнейшее сокращение содержания обменного (по Соколову) алюминия, причем степень сокращения определялась преимущественно дозами и способами внесения извести, формирующими определенный уровень pH (табл. 3). Лишь в вариантах с поверхностным внесением на бобово-злаковой травосмеси уменьшение этого пока-

зателя было недостоверным, а наименьшие величины установлены при внесении извести под культивацию или под культивацию и вспашку.

На четвертый год эксперимента на обоих полях содержание обменного алюминия упало в еще большей степени – до 3–10 мг/кг в вариантах с вне-

сением под культивацию или при повышенной дозе извести и соответствовало pH 4,6 и выше, а максимальное различие с фоном достигало 17 раз (при pH 5,55) на поле 1 и 8 раз (при pH 5,47) – на поле 2 [16]. Иными словами, при известковании содержание алюминия в KCl-вытяжке снижалось до безопасных для растений уровней [4].

Также хорошо реагировал на изменение pH и показатель содержания алюминия, переходящего в BaCl<sub>2</sub>-вытяжку (табл. 4). По сравнению со стандартной эта вытяжка содержала обычно больше алюминия, но его количество измерялось цифрами того же порядка и также тесно зависело от кислотности почвы на третий год внесения извести. И по данным этой вытяжки вклад обменного водорода в обменную кислотность существенно возрастал, а алюминия – снижался с уменьшением кислотности почвы (в 3–4 раза в лучших вариантах), при pH<sub>KCl</sub> 5,66 эквивалентное соотношение алюминия и водорода падало до 0,7 против 2,2 в фоновом варианте. Доля водорастворимого алюминия составляла лишь 1–3 % от обменного и не зависела от количества последнего (см. табл. 4). Абсолютное же содержание водорастворимого алюминия было ничтожно мало и в еще большей степени зависело от кислотности почвы. По всем трем определяемым формам алюминия отмечалась высокая отрицательная корреляция с величиной pH<sub>KCl</sub> почвы.

Таблица 4

Влияние доз и способов внесения извести на содержание алюминия в различных вытяжках из дерново-подзолистой супесчаной глееватой почвы, 1993 г.

| Дозы CaCO <sub>3</sub> , т/га              | Содержание алюминия в вытяжках, мг/кг |       |                   | Обменный водород, смоль(+)/кг. в вытяжках |                   | pH в H <sub>2</sub> O | pH в KCl |
|--------------------------------------------|---------------------------------------|-------|-------------------|-------------------------------------------|-------------------|-----------------------|----------|
|                                            | H <sub>2</sub> O                      | KCl   | BaCl <sub>2</sub> | KCl                                       | BaCl <sub>2</sub> |                       |          |
| Контроль                                   | 0,80                                  | 49,8  | 62,2              | 0,016                                     | 0,32              | 5,41                  | 4,42     |
| 6,5 под вспашку                            | 0,54                                  | 34,4  | 40,8              | < 0,01                                    | 0,27              | 5,65                  | 4,58     |
| 11,5 под культивацию                       | 0,04                                  | 3,1   | 1,9               | < 0,01                                    | 0,03              | 6,54                  | 5,66     |
| 11,5 под вспашку и поверхностно*           | 0,12                                  | 5,1   | 10,2              | < 0,01                                    | 0,10              | 6,18                  | 5,18     |
| 11,5 поверхностно                          | 0,20                                  | 7,4   | 16,7              | < 0,01                                    | 0,10              | 5,95                  | 5,00     |
| Коэффициент корреляции с pH <sub>KCl</sub> | –0,92                                 | –0,84 | –0,85             | –                                         | –0,94             | 0,98                  | –        |

И на пятый год действия извести количество алюминия в KCl- и BaCl<sub>2</sub>-вытяжках измерялось примерно такими же величинами, как и на третий: 46 и 57 мг/кг – на контроле, 6 и 11 мг/кг – при внесении 11,5 т/га – под вспашку и поверхностно, 3 и 2 мг/кг – при внесении 11,5 т/га – под культивацию. Иными словами, на третий – пятый год внесения извести кислотный статус почвы стабилизируется не только по величине pH, но и по количеству обменного алюминия.

В целом очевидно резкое сокращение содержания обменного алюминия при уменьшении кислотности почв Беларуси. Остается пока неясным вопрос, в какой мере восстанавливается содержание обменного алюминия при подкислении ранее произвесткованной почвы. По мнению российских ученых [17], при подкислении алюминий появляется в почве с существенным запозданием. В нашем вегетационном опыте внесение доломитовой муки, изменившее величину pH<sub>KCl</sub> с 4,3 до 6,4, уменьшило содержание обменного алюминия с 38 до 1 мг/кг, но последующее постепенное искусственное подкисление подняло этот показатель до 10 мг/кг при pH<sub>KCl</sub> 4,8.

1. Александрова А.М., Крупский Н.К., Дараган Ю.В. // Почвоведение. 1983. № 3. С. 34.

2. Небольсин А.Н. Известкование – средство коренного улучшения кислых почв. Л., 1979.

3. Небольсин А.Н., Небольсина З.П. // Агрохимия. 1997. № 6. С. 9.

4. Авдонин Н.С. Повышение плодородия кислых почв. М., 1969.

5. Блэк К.А. Растение и почва. М., 1973.

6. Шильников И.А., Лебедева Л.А. Известкование почв. М., 1987.

7. Suarez F.D., Marquez M.M.C. // Agricultura Tecnica Santiago. 1992. 52: 4. 388.



8. Winkler H., Sfredo G.J. // Pesquisa Agropecuaria Brasileira. 1991. 26: 1. 105.
9. Горбанов С., Томов Т., Костадинова С. // Науч. тр. висш. селскостоп. инст. Пловдив, 1994. Т. 36. Кн. 3. С. 5.
10. Smith C.J., Peoples M.B., Keerthisinghe G. et al. // Australian Journal of Soil Research. 1994. 32: 5. 995.
11. Rechcigl J.E., Mislevy P., Alva A.K. // Soil Sci. Soc. of Am. J. 1993. 57: 1. 96.
12. Meng C.F., Zhou M.F. // Oil Crops of China. 1991. № 4. S. 43.
13. Словцова Г.А. // Сельское хозяйство за рубежом. Растениеводство. 1972. № 2. С. 13.
14. Агеев В.Ю. Влияние известкования на урожай и качество сельскохозяйственных культур, вымывание основных элементов и агрохимические свойства дерново-подзолистой супесчаной почвы // Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Рига, 1980.
15. Томашивский З.М. // Земледелие. Киев, 1985. Вып. 60. С. 11.
16. Василюк Г.В., Клебанович Н.В., Шапшеева Т.П., Валуцкий В.В. // Почвоведение и агрохимия. Мн., 1996. Вып. 29. С. 73.
17. Небольсин А.Н., Небольсина З.П. // Агрохимия. 1997. № 10. С. 5.

Поступила в редакцию 03.06.2002.

**Николай Васильевич Клебанович** – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры почвоведения и геологии.

УДК 625.8:631.4

С.М. ЗАЙКО, Л.Ф. ВАШКЕВИЧ, А.В. ГОРБЛЮК

### СРАВНИТЕЛЬНАЯ УРОЖАЙНОСТЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР НА ТОРФЯНЫХ И МИНЕРАЛЬНЫХ ПОЧВАХ, ОБРАЗОВАВШИХСЯ ПОСЛЕ СРАБОТКИ ТОРФА\*

Dynamics of the change of crop-yielding ability depending on the depth of peat and mineral soil layer formed after the wearing off of peatland has been investigated.

It was found that crop-yielding ability not always depends on the depth of the peat layer of the peat soil as well as on the peat and humus in mineral soils formed after the wearing off of the peatland.

Сформировавшийся под влиянием природных условий почвенный покров Беларуси претерпел за последние 30–35 лет большие изменения в результате крупномасштабного воздействия человека в том числе и на почвы сельскохозяйственных угодий. Преобразование почвенного покрова идет под влиянием многих факторов, но наиболее активное влияние оказывает осушительная мелиорация.

В республике сложилась ситуация, когда 15 % территории и почти треть сельскохозяйственных угодий функционируют в условиях искусственного гидрологического режима [1]. Прежде всего это относится к осушенным торфяным почвам (более 1 млн га), которые находятся в севообороте.

Отличительной их особенностью является то, что твердая фаза состоит преимущественно из органического вещества, а уровень плодородия тесно связан с мощностью торфяного горизонта, запасом торфа [2, 3], что подтверждают оценочные баллы бонитета, разработанные БелНИИПА и широко используемые при бонитировке почв Беларуси [4]. Так, мелиорированные торфяные почвы с мощностью торфа более 2 м оцениваются 75 баллами, мощностью торфа 1–2 м – 73, торфяные с мощностью торфа 0,5–1,0 м – 70, торфяно-глеевые с мощностью торфа 0,3–0,5 м – 63, торфянисто-глеевые с мощностью торфа менее 0,3 м, дерново-глееватые и дерново-перегноино-глееватые песчаные почвы оцениваются 33 и 43 баллами соответственно.

До осушения болотных массивов процесс накопления торфа преобладал над процессами его разрушения. Под влиянием осушительных мелиораций и сельскохозяйственного использования происходит деградация торфяных

\* Авторы статьи – сотрудники сектора почвенного мониторинга НИЛ экологии ландшафтов.



почв с уменьшением и даже исчезновением торфяного горизонта и образованием на подстилающих породах новых минеральных почв – антропогенных [5, 6]. Плодородие последних в большой мере зависит от их механического состава и глубины уровня грунтовых вод (УГВ).

Минеральные почвы, образовавшиеся на месте торфяных, описаны в литературных источниках как "муршево-минеральные", "черноземовидные", "антропогенные глееземы", "скелетные", "торфяно-минеральные", "антропогенные минеральные, образовавшиеся после сработки торфа" и др. [6–12]. Трансформация торфяных почв в минеральные сопровождается уменьшением содержания органического вещества и мощности торфа, ухудшением водного режима, снижением запасов влаги, плодородия и, стало быть, балла бонитета. На основании данных [2] по урожайности сельскохозяйственных культур рассчитаны баллы бонитета для торфяно-минеральных и минеральных почв, образовавшихся после сработки торфа, которые свидетельствуют о том, что бонитет таких почв определяется характером подстилающей породы. Так, на рыхлых породах эти почвы оцениваются баллом 22 [4]. Нами [2, 6] выделен целый ряд почвенных разновидностей с различной оторфованностью и гумусированностью, которые оцениваются 20–40 баллами.

Важное научное и практическое значение для оценки снижения урожайности сельскохозяйственных культур при уменьшении мощности слоя торфа, эволюции и деградации почв и трансформации их в антропогенные минеральные, а также с целью совершенствования бонитировочной шкалы и в особенности разработки бонитета почв, образовавшихся после сработки торфяных, имеет изучение плодородия этих почв.

На основании полученных нами результатов при мониторинговых стационарных исследованиях осушенных торфяных почв, их морфологии и свойств проведена классификация почв, образовавшихся после сработки торфа [6]. Согласно ей такие почвы подразделяются на: антропогенные сильнооторфованные (органического вещества (ОВ) – 50–30 %), слабооторфованные (ОВ – 30–20 %), перегнойные – гумуса более 10 %, сильногумусированные – 10–5 %, среднегумусированные – 5–3 %, слабогумусированные – 3–1 %, очень слабогумусированные – менее 1 %.

Для оценки плодородия изучаемых почв нами были заложены мелкоделяночные полевые опыты. Учетная площадь составляла 5 м<sup>2</sup>. В качестве контроля использовались торфянисто-глеевые почвы. Было установлено, что на вновь образовавшихся антропогенных почвах урожай озимой пшеницы по сравнению с торфянисто-глеевыми почвами снизился с 42,0 до 27,8 ц/га, или на 33,7 %; ячменя – с 35,8 до 24,4 ц/га, или на 31,9 %; моркови – на 152 ц/га, или на 38,8 %; кормовой свеклы – на 183 ц/га, или на 51,9 %. Наиболее резкое снижение урожайности наблюдается на качественно новых почвах, образовавшихся после сработки торфа: потери урожая в опытах с зерновыми составили 31–33 %, а с овощными и пропашными культурами (морковь, кормовая свекла) – 52–88 % [12]. Урожайность многолетних трав составила на дерново-подзолистых с признаками временного избыточного увлажнения суглинистых почвах – 58 ц/га, антропогенных глееватых слабогумусированных легкосуглинистых – 68,1; торфяных мало-мощных – 89,0 ц/га.

Эти данные характеризуют начальный период изучения большой группы трансформированных торфяных почв, площадь которых будет возрастать. С учетом уже трансформированных маломощных торфяников (более 200 тыс. га) общая площадь антропогенных минеральных почв, образовавшихся после сработки торфа, по прогнозу, составит к 2015 г. около 370 тыс. га [13].

В наших исследованиях довольно часто отмечается снижение урожайности многолетних трав в ряду почв от торфяной мощной к торфянисто-глеевой и к антропогенной сильногумусированной, образовавшейся после сработки торфа. Примером может служить колхоз "Полесье" Любанского района Минской области, где на производственных полях с большим набором осушенных почв производится учет урожая многолетних трав и зерновых культур. Были зафиксированы четкие границы почвенных разновидностей и соблюдены одинаковые агротехнические и агрохимические условия возделывания сельскохозяйственных культур. Учет урожая проводился метрочками в десятикратной повторности. Полученные результаты показали, что на торфяной среднечистой почве урожай многолетних трав был выше, чем на торфяной маломощной, торфяно-глеевой, торфяно-глееватой, торфянисто-глееватой и антропогенной сильногумусированной почвах. Такая же тенденция изменения урожая характерна и для зерновых культур (табл. 1).

Таблица 1

**Влияние мощности торфа на урожай сельскохозяйственных культур на территории колхоза "Полесье" Любанского района Минской области в 1986 г.**

| Почва                              | Урожайность |                                          |
|------------------------------------|-------------|------------------------------------------|
|                                    | ц/га        | % от урожая с наибольшей мощностью торфа |
| <b>Многолетние травы</b>           |             |                                          |
| Торфяная среднечистая              | 45,4        | 100                                      |
| Торфяная маломощная                | 39,9        | 88                                       |
| Торфяно-глеевая                    | 36,3        | 80                                       |
| Торфяно-глееватая                  | 33,6        | 74                                       |
| Торфянисто-глееватая               | 29,7        | 65                                       |
| Антропогенная сильногумусированная | 21,0        | 46                                       |
| <b>Зерновые</b>                    |             |                                          |
| Торфяная маломощная                | 33,7        | 100                                      |
| Торфяно-глееватая                  | 30,5        | 90,5                                     |
| Антропогенная сильногумусированная | 20,8        | 61,7                                     |

Учеты урожайности сельскохозяйственных культур проводились нами на производственных посевах в различных районах республики, как правило, на почвенно-геоморфологических профилях с определенным набором почвенных разновидностей – от антропогенных минеральных, образовавшихся после сработки торфа, с различной оторфованностью и гумусированностью до торфяных с различной мощностью торфа (табл. 2).

Урожайность определялась методом учета на одном поле с одинаковой агротехникой возделывания культур; урожай многолетних трав – на делянках площадью 10–15 м<sup>2</sup> в трехкратной повторности, картофеля – на делянках 4 м<sup>2</sup>

в шестикратной повторности и зерновых – на делянках 1 м<sup>2</sup> в шестикратной повторности. Одновременно на площадках закладывались разрезы и прикопки для изучения почв и измерения УГВ, отбирался их смешанный образец для определения агрохимических показателей.

Урожайность сельскохозяйственных культур определялась в хозяйствах многих районов республики на полях с различным уровнем применения агротехники и в разные по количеству осадков годы. Величина урожая и его снижение в зависимости от мощности торфа, оторфованности и гумусированности антропогенных почв существенно различались на одинаковых почвенных разновидностях.

С целью выяснения влияния глубины торфа на плодородие почв была изучена зависимость урожайности сельскохозяйственных культур от мощности торфа в ряду: торфяные среднечистые (Т=1,0–2,0 м) – маломощные (Т=1,0–0,5 м) – торфяно-глеевые (Т=0,3–0,5 м) – торфянисто-глеевые (Т=менее 0,3 м) – антропогенные минеральные почвы (см. табл. 2) в производственных условиях на мелиоративном объекте "Верховье р. Ясельды" в Брестской области и в хозяйствах "Полесье", "Юрковичи", "Кореньский", ЭБ "Жодио" и в других хозяйствах Минской области. Исследования показали, что многолетние травы (тимopheевка + костер безостый) в колхозе

"Советский" снижали урожай с 84,7 ц/га на мощных торфяных почвах до 29,7 ц/га на торфянисто-глееватых почвах. На минеральных почвах урожайность была, как правило, на 10–70 % ниже, чем на торфяных с максимальной толщиной слоя. Во влажный год в отдельных случаях на микроповышениях с песчаными почвами, образовавшимися после сработки торфа, урожай картофеля был несколько выше, что объясняется избытком влаги на торфяных почвах. На суглинистых минеральных осушенных почвах снижение урожайности было менее выражено, чем на песчаных.

Таблица 2

**Сравнительная урожайность сельскохозяйственных культур на торфяных почвах различной мощности и минеральных, образовавшихся после сработки торфа**

| Почва                                                                                     | Мощность торфа, м | Урожайность |                                                   |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------|---------------------------------------------------|
|                                                                                           |                   | ц/га        | % от урожая с земель с наибольшей мощностью торфа |
| Многолетние травы<br>(колхоз "Полесье" Любанского района)                                 |                   |             |                                                   |
| Торфяная среднемощная                                                                     | 1,11              | 39,9        | 100                                               |
| Торфяно-глеевая                                                                           | 0,45              | 36,3        | 91                                                |
| Антропогенная глееватая сильногумусированная песчаная                                     | —                 | 25,4        | 64                                                |
| Ячмень                                                                                    |                   |             |                                                   |
| Торфяная маломощная                                                                       | 0,7               | 33,7        | 100                                               |
| Торфяно-глееватая                                                                         | 0,4               | 26,3        | 78                                                |
| Антропогенная глееватая среднегумусированная песчаная                                     | —                 | 18,4        | 54                                                |
| Озимая рожь                                                                               |                   |             |                                                   |
| Торфяно-глееватая                                                                         | 0,35              | 37,3        | 100                                               |
| Антропогенная глееватая сильногумусированная песчаная                                     | —                 | 21,7        | 58                                                |
| Пшеница                                                                                   |                   |             |                                                   |
| Торфяно-глееватая                                                                         | 0,38              | 27,8        | 100                                               |
| Антропогенная глееватая среднегумусированная песчаная                                     | —                 | 22,3        | 81                                                |
| Ячмень<br>(колхоз "Советская Белоруссия" Пружанского района)                              |                   |             |                                                   |
| Торфяная маломощная                                                                       | 0,7               | 33,7        | 100                                               |
| Торфяно-глееватая                                                                         | 0,4               | 26,3        | 78                                                |
| Антропогенная глубокооглеенная слабогумусированная песчаная                               | —                 | 18,4        | 54                                                |
| Озимая рожь                                                                               |                   |             |                                                   |
| Торфяно-глееватая                                                                         | 0,35              | 37,3        | 100                                               |
| Антропогенная глееватая среднегумусированная песчаная                                     | —                 | 21,7        | 58                                                |
| Яровая пшеница                                                                            |                   |             |                                                   |
| Торфяно-глееватая                                                                         | 0,40              | 27,8        | 100                                               |
| Антропогенная глееватая среднегумусированная песчаная                                     | —                 | 22,3        | 80                                                |
| Многолетние травы                                                                         |                   |             |                                                   |
| Торфяная мощная                                                                           | 2,30              | 84,7        | 100                                               |
| Торфяная среднемощная                                                                     | 1,45              | 45,4        | 54                                                |
| Торфяно-глееватая                                                                         | 0,45              | 33,6        | 40                                                |
| Торфянисто-глееватая                                                                      | 0,27              | 29,7        | 35                                                |
| Овес<br>(совхоз "Юрковичи" Логойского района)                                             |                   |             |                                                   |
| Торфяная маломощная                                                                       | 0,83              | 43,8        | 100                                               |
| Торфяно-глееватая                                                                         | 0,43              | 30,0        | 68                                                |
| Торфянисто-глееватая                                                                      | 0,26              | 21,8        | 50                                                |
| Антропогенная глееватая сильногумусированная песчаная                                     | —                 | 15,6        | 36                                                |
| Деонowo-глееватая                                                                         | —                 | 12,9        | 29                                                |
| Картофель<br>(совхоз "Кореньский" Логойского района)                                      |                   |             |                                                   |
| Торфянисто-глееватая                                                                      | 0,24              | 271,9       | 100                                               |
| Антропогенная глееватая сильногумусированная песчаная                                     | —                 | 250,0       | 92                                                |
| Деонowo-глееватая                                                                         | —                 | 212,5       | 78                                                |
| Многолетние травы, зеленая масса<br>(экспериментальная база "Жодио" Смолевичского района) |                   |             |                                                   |
| Торфяная мощная                                                                           | 2,36              | 295,6       | 100                                               |
| Торфяная среднемощная                                                                     | 1,54              | 289,8       | 98                                                |
| Торфяная маломощная                                                                       | 0,87              | 280,4       | 95                                                |
| Торфяно-глееватая                                                                         | 0,39              | 238,8       | 81                                                |
| Антропогенная глееватая слабоотторфованная песчаная                                       | —                 | 200,0       | 68                                                |

Результаты исследований по многим почвенно-геоморфологическим профилям не показывают четкой зависимости урожайности многолетних трав от мощности торфа и агрохимических свойств почв. В группе антропогенных минеральных почв, образовавшихся на месте сработанных торфяных, наблюдается довольно четкая закономерность уменьшения урожайности в зависимости от содержания органического вещества и гумуса, а также УГВ, а между агрохимическими свойствами этих почв и урожайностью такой зависимости нет (табл. 3). Однако на отдельных профилях торфяных и антропогенных минеральных почв хорошо проявляется закономерность снижения урожайности сельскохозяйственных культур от уменьшения мощности торфа и содержания органического вещества и гумуса (см. табл. 1, 2).

Таблица 3  
Средние данные урожайности многолетних трав и агрохимических показателей по обобщенному почвенно-геоморфологическому профилю

| Почва                                                | Число<br>наблюдений | рН<br>в КСl | H                        | S     | T    | V, % | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O | ОВ   | Гумус | УГВ,<br>см | Урожай-<br>ность |     |  |
|------------------------------------------------------|---------------------|-------------|--------------------------|-------|------|------|-------------------------------|------------------|------|-------|------------|------------------|-----|--|
|                                                      |                     |             | мг/экв на 100 г<br>почвы |       |      |      | мг/100 г<br>почвы             |                  | %    |       |            | ц/га             | %   |  |
|                                                      |                     |             |                          |       |      |      |                               |                  |      |       |            |                  |     |  |
| Торфяная<br>среднемощная                             | 10                  | 5,38        | 82,0                     | 69,0  | 151  | 46   | 64,0                          | 155,0            | 77,0 | —     | 106        | 40,0             | 100 |  |
| Торфяная маломощная                                  | 12                  | 5,44        | 118,5                    | 95,0  | 249  | 41   | 47,0                          | 45,0             | 62,0 | —     | 100        | 47,3             | 118 |  |
| Торфяно-глееватая                                    | 10                  | 5,60        | 183,0                    | 89,0  | 305  | 32   | 50,0                          | 58,0             | 74,0 | —     | 100        | 65,0             | 162 |  |
| Торфянисто-глееватая                                 | 8                   | 5,60        | 294,0                    | —     | —    | —    | 117,0                         | 70,0             | 61,0 | —     | 105        | 47,0             | 118 |  |
| Антропогенная глееватая<br>сильнооторфованная        | 6                   | 5,78        | 108,0                    | 69,0  | 177  | 40   | 56,0                          | 61,0             | 35,0 | 18,00 | 110        | 44,5             | 117 |  |
| Антропогенная глееватая<br>слабооторфованная         | 6                   | 5,20        | 24,8                     | 18,0  | 43   | 51   | 10,0                          | 37,0             | 30,0 | 15,50 | 118        | 45,0             | 112 |  |
| Антропогенная глееватая<br>сильногумусированная      | 4                   | 5,04        | 24,0                     | 41,0  | 65   | 50   | 7,0                           | 58,0             | 20,0 | 5,60  | 121        | 34,5             | 86  |  |
| Антропогенная глееватая<br>среднегумусированная      | 4                   | 5,20        | 5,2                      | 198,0 | 212  | 93   | 7,5                           | 13,0             | 13,0 | 3,38  | 150        | 35,7             | 89  |  |
| Антропогенная глееватая<br>слабогумусированная       | 5                   | 5,10        | 9,2                      | 64,0  | 73   | 87   | 10,0                          | 11,0             | 10,2 | 2,55  | 145        | 34,0             | 85  |  |
| Антропогенная глееватая<br>очень слабогумусированная | 3                   | 5,48        | 1,92                     | 21,8  | 23,8 | 91   | 16,0                          | 37,5             | 5,5  | 1,32  | 150        | 23,0             | 57  |  |

Примечание. рН в KCl – обменная кислотность; H – гидролитическая кислотность; S – сумма поглощенных оснований; T – емкость поглощения; V – степень насыщенности основаниями.

Постепенное изменение и даже исчезновение исходной осушаемой торфяной почвы при ежегодном внесении удобрений, при возделывании определенных сельскохозяйственных культур, регулировании УГВ не могут сохранить баланс органического вещества и потенциальное плодородие, а значит, повысить урожайность.

Исследования по определению урожайности сельскохозяйственных культур на осушенных торфяных почвах были проведены на территории западной части Белорусского Полесья. Как видно из табл. 4, снижение урожая картофеля, многолетних трав и овса происходит по мере уменьшения мощности торфа, а также оторфованности и гумусированности антропогенных почв, образовавшихся после сработки. Если для овса эти закономерности выявлены довольно четко, то для картофеля и многолетних трав такая зависимость отсутствует. Отметим, однако, довольно значительное снижение урожая этих культур на антропогенных почвах, а также в зависимости от уменьшения содержания органического вещества и гумуса. Следует подчеркнуть, что местоположение почв указанного ряда, в особенности минеральных, выделялось отчетливо по гипсометрическим уровням рельефа и сказалось на водном режиме. Именно рельеф является первопричиной пространственной неоднородности почв, представляя важнейший фактор

почвообразования. Он оказывает влияние на микроклимат, характер растительности, водный режим, перераспределение питательных элементов, мелиоративное состояние почв и урожаи сельскохозяйственных культур [14, 15].

Таблица 4

**Урожайность сельскохозяйственных культур на осушенных торфяных почвах и почвах, образовавшихся после сработки торфа на территории Белорусского Полесья**

| Почва                                        | Количество<br>учетных<br>площадок | Картофель |       | Многолетние<br>травы |       | Овес |       |
|----------------------------------------------|-----------------------------------|-----------|-------|----------------------|-------|------|-------|
|                                              |                                   | ц/га      | %     | ц/га                 | %     | ц/га | %     |
| Торфяная среднемощная                        | 6                                 | 272,0     | 100,0 | 59,0                 | 100,0 | —    | —     |
| Торфяная маломощная                          | 8                                 | 297,0     | 109,0 | 65,0                 | 110,0 | 43,8 | 100,0 |
| Торфяно-глеевая                              | 5                                 | 280,0     | 103,0 | 59,0                 | 100,0 | 30,0 | 68,5  |
| Торфянисто-глеевая                           | 5                                 | 271,0     | 99,6  | 56,0                 | 95,0  | 21,8 | 50,0  |
| Антропогенная глееватая сильноотторфованная  | 5                                 | 180,0     | 66,0  | —                    | —     | —    | —     |
| Антропогенная глееватая среднегумусированная | 6                                 | 130,0     | 48,0  | 28,0                 | 47,0  | —    | —     |
| Антропогенная глееватая слабогумусированная  | 6                                 | 51,0      | 18,0  | —                    | —     | —    | —     |
| Дерново-глеевые и глееватые                  | 5                                 | —         | —     | 9,0                  | 14,5  | 12,9 | 29,0  |

Урожаи на минеральных почвах, образовавшихся после сработки торфа, в основном ниже, чем на торфяных. Однако при определенных условиях (увеличение количества выпавших осадков в вегетационный период, благоприятное соотношение питательных элементов и их распределение в почвах) урожай кормовой свеклы был самым высоким на антропогенной сильногумусированной почве (700–750 ц/га) и постепенно снижался до 688 ц/га на торфяной маломощной.

Разработка системы земледелия с положительным балансом ОВ и элементов питания растений, стабилизация параметров мощности торфяной залежи, а следовательно, и поддержание плодородия торфяных почв на высоком уровне без потери их генетических особенностей и свойств является важнейшей проблемой экологобезопасного продуктивного использования осушенных почв. Как показали исследования, предельной мощностью торфа, имеющей важное значение для плодородия земель, является мощность торфа 1,0–1,5 м в сочетании с почвенно-грунтовыми водами (на глубине 50–80 см). Обоснование такого предела дает возможность определить оптимальные параметры, ниже которых плодородие торфяных почв будет резко снижаться. Такие почвы при мощности торфа менее 1 м рекомендуются использовать в весьма щадящем режиме.

Таким образом, при планировании урожайности и производства сельскохозяйственной продукции следует учитывать снижение потенциального плодородия осушенных почв, предусматривать мероприятия по предотвращению и замедлению негативных последствий мелиорации. Как более предпочтительное рекомендуется использование торфяных почв под луговые угодья с нормой осушения 50–80 см. Отказ на таких почвах от вспашки при перезалужении трав дает возможность сохранить их как генетический тип на длительное время. При необходимости залужения вспашку можно заменить дискованием, фрезерованием или посевом по изрезанному травостой [16].

Рассмотрим проблемы экологобезопасного продуктивного использования осушенных почв на примере Любанского района Минской области. Площадь только торфяных осушенных почв, занятых под сельскохозяйственные угодья, составляет здесь 34,6 тыс. га (1990 г.), или 39,3 % от площади этих угодий в районе. Природные условия района являются типичными для Полесья: выделяются значительные массивы мелкозалежных торфяных почв в сочетании с минеральными песчаными. В 1990 г. удельный вес торфянисто-глеевых, торфяно-глеевых и торфяных маломощных почв составлял 56,4 % от всех органогенных почв, используемых под сельскохо-



зайственные угодья района, и 43,6 % территории приходилось на торфяные среднемощные и мощные почвы (табл. 5).

Учитывая, что характер использования торфяных почв в хозяйствах Любанского района в настоящее время и в перспективе вряд ли изменится (до сих пор значительные площади используются под пропашные и зерновые культуры), то предполагается интенсивная их трансформация в сторону понижения потенциального плодородия.

Таблица 5

Урожайность сельскохозяйственных культур в хозяйствах Любанского района\*

| Сельскохозяйственные культуры,<br>удобрения | Урожайность, ц/га |               |               |
|---------------------------------------------|-------------------|---------------|---------------|
|                                             | 1971–1975 гг.     | 1976–1980 гг. | 1981–1985 гг. |
| Колхоз им. БВО                              |                   |               |               |
| Зерновые                                    | 26,5              | 22,7          | 19,0          |
| Картофель                                   | 181,0             | 171,0         | 142,0         |
| Многолетние травы (сено)                    | 45,2              | 52,6          | 41,7          |
| Минеральные удобрения, кг д. в.             | 199,0             | 195,0         | 222,0         |
| Органические удобрения, т/га                | 3,5               | 6,2           | 6,1           |
| Колхоз "Полесье"                            |                   |               |               |
| Зерновые                                    | 28,2              | 25,4          | 20,9          |
| Картофель                                   | 187,0             | 162,0         | 158,0         |
| Многолетние травы (сено)                    | —                 | 40,9          | 44,8          |
| Минеральные удобрения, кг д. в.             | 214,0             | 258,0         | 158,0         |
| Органические удобрения, т/га                | 5,2               | 5,7           | 5,7           |

Исследования показали, что плодородие старопахотных осушенных торфяных почв, несмотря на улучшение агротехники, возростающее количество удобрений и гербицидов, до начала 1990-х гг., как правило, снижалось. Одной из причин того, что в республике урожайность на мелиорированных землях в 1980-е гг. не увеличивалась, яви-

лась их эволюция, приводившая к образованию минеральных, менее плодородных песчаных почв и ухудшению структуры почвенного покрова. Так, в Любанском районе в 1971–1975 гг. урожайность зерновых на осушенных землях в среднем составляла 28 ц/га, в 1976–1980 гг. – 26 ц/га, а за 1981–1983 гг. снизилась до 21 ц/га. Такая же закономерность характерна и для других сельскохозяйственных культур.

В перспективе во всех хозяйствах района прогнозируется значительное сокращение земель с большой мощностью торфа, увеличение доли менее плодородных с малой мощностью торфа антропогенных минеральных почв. По прогнозу, до 2015 г. ежегодно будет трансформироваться 114 га торфяных почв в новый тип – антропогенные минеральные песчаные, образованные после сработки торфа, которые имеют весьма низкий – от 20 до 40 – балл бонитета.

1. Мееровский А.С., Феденя В.М., Матвеева В.И. // Природные ресурсы. 1996. № 1. С. 16.
2. Зайко С.М., Вашкевич Л.Ф., Свирновский Л.Я. и др. Эволюция почв мелиорируемых территорий Белоруссии. Мн., 1990.
3. Аношко В.С., Зайко С.М., Вашкевич Л.Ф., Горблюк А.В. // Природные ресурсы. 1998. № 2. С. 118.
4. Внутрихозяйственная оценка земель по эффективности возделывания основных сельскохозяйственных культур в колхозах и госхозах Белорусской ССР. Мн., 1990.
5. Медведев А.Г., Зайко С.М. и др. Эволюция мелиорированных почв и ее последствие. Мн., 1984.
6. Зайко С.М., Вашкевич Л.Ф., Горблюк А.В. // Вестн. Белорус. ун-та. Сер. 2. 1995. № 1. С. 56.
7. Скоропанов С.Г., Кахновская Л.Т., Бамбалов Н.Н. // Изв. АН БССР. 1973. № 1. С. 18.
8. Окрушко Г. // Изменение торфяных почв под влиянием осушения. Мн., 1969. С. 105.
9. Методика внутрихозяйственной качественной оценки земель сельскохозяйственных угодий колхозов и госхозов Белорусской ССР. Мн., 1984. С. 40.
10. Скоропанов С.Г., Барсуков А.И. // Докл. ВАСХНИЛ. 1983. № 9. С. 2.
11. Бамбалов Н.Н. Баланс органического вещества торфяных почв и методы его изучения. Мн., 1984.
12. Горблюк А.В. Антропогенные глееземы Белоруссии: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Л., 1979.

13. Зайко С.М., Вашкевич Л.Ф. // Проблемы теории и практики осушительной мелиорации. Мн., 1996. С. 104.
14. Горблюк А.В., Шабанова В.И. // Влияние хозяйственной деятельности на природу Белоруссии. Мн., 1981. С. 110.
15. Лучицкая О.А., Башкин В.Н. // Почвоведение. М., 1994. № 9. С. 75.
16. Барановский А.З. // Почвоведение. М., 1994. № 9. С. 68.

Поступила в редакцию 26.04.2002.

**Степан Михайлович Зайко** – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, заведующий сектором.

**Леонид Фомич Вашкевич** – ведущий научный сотрудник.

**Александр Владимирович Горблюк** – старший научный сотрудник.

УДК 631.4+631.02

Н.К. ЧЕРТКО, В.В. ДОРОХОВА, Я.К. КУЛИКОВ

### ТОРФОВАНИЕ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ГЛЕЕВАТЫХ СВЯЗНОСУПЕСЧАНЫХ ПОЧВ КАК СПОСОБ ОПТИМИЗАЦИИ ИХ СВОЙСТВ И ПОВЫШЕНИЯ ПЛОДОРОДИЯ

The positive influencing of in a dose 100–400 t/ha of bone-dry substance for long period of time in a system of crop rotation and on optimization of physical and agrochemical properties of soils is demonstrated.

Дерново-подзолистые почвы после осушения приобретают свойства автоморфных дерново-подзолистых почв [1], которые являются неблагоприятными для протекания дернового процесса, о чем свидетельствуют слабо развитый перегнойный горизонт, низкое содержание гумуса, высокая кислотность, слабая насыщенность основаниями, низкая обеспеченность подвижными формами фосфора и калия. Одним из факторов повышения плодородия этих почв является изменение ряда фундаментальных природных свойств (регулирование содержания гумуса и физической глины), которые медленно подвергаются трансформации. Повысить плодородие мелиорированных почв можно при условии их оптимизации способом торфования и создания пахотного горизонта мощностью  $30 \pm 5$  см с содержанием физической глины  $25 \pm 5$  %, органического вещества –  $7 \pm 1$  %, в том числе  $6 \pm 1$  % гумуса, а также с оптимальными показателями агрохимических свойств (рН 5.5–6.0, содержание подвижных форм  $K_2O$  14–17 мг и  $P_2O_5$  17–20 мг на 100 г почвы). Теоретические расчеты показывают, что, применяя оптимизацию мелиорированных почв путем внесения высоких доз низинного торфа (100–400 т/га), можно поднять балл бонитета до 90–100, при этом урожайность зерновых довести до 55–60 ц/га, картофеля – 400–420, многолетних трав – 120–130 ц/га [2].

Для изучения метода оптимизации мелиорированных дерново-подзолистых почв с внесением разных доз торфа нами с 1978 г. проводились полевые опыты в системе севооборота картофель – ячмень – многолетние травы (4 года), однолетние травы – озимая рожь. Приведем результаты сравнительного анализа по урожайности картофеля.

Полевые опыты на площади 50 м<sup>2</sup> при четырехкратной повторности проводили на базе племхоза "Будагово" Смолевичского района Минской области на мелиорированных дерново-подзолистых глееватых связносупесчаных почвах. Перед закладкой опытов делали почвенные разрезы с описанием морфологического строения, отбором почвенных образцов для лабораторных химических анализов [3, 4].

Оптимизацию почвы проводили путем внесения торфа в дозах 100, 200, 300 и 400 т/га (в расчете на абс. сухую массу). Торф при рН 5.4 содержал частиц соразмерности физической глины 75 %, органического вещества –

80, в том числе гумуса – 50 %, степень разложения составляла около 50 %, зольность – 23, насыщенность основаниями – 77, азотом – 2,23 %. Внесенные дозы торфа перемешивались с пахотным слоем почвы при ее обработке. Вначале торф разравнивался бульдозером, тщательно распределялся рельсовой бороной, затем дисковался перекрестными проходами дискового лулильника. Вспашка проводилась на глубину 30 см, припахиваемый слой торфа перемешивался с почвой путем глубокой культивации.

В первый год после внесения торфа сажали картофель по фону N120P120K240 кг/га действующего вещества, 5 т/га доломитовой муки и 80 т/га компоста с соотношением навоз:торф, равным 1:1. Доломитовая мука применялась не только с целью нейтрализации кислотности. В сочетании с органическим веществом почвы она проявляла качественно новые свойства – участвовала в синтезе гуматов кальция в гумусовом горизонте пахотного слоя, в результате чего происходило осаждение гуминовых кислот избытком кальция. Выбор картофеля в качестве исходной культуры определялся его высокой отзывчивостью на внесение органических и минеральных удобрений. Так как при оптимизации мелиорированных дерново-подзолистых глееватых связносупесчаных почв торфованием урожай картофеля возрастает до 450 ц/га и поэтому идет большой вынос N, P, K, Ca, необходим высокий фон удобрения.

Результаты исследований показали, что внесение торфа изменяет водно-физические свойства почвы (табл. 1). Сформировавшийся легкосуглинистый пахотный горизонт характеризуется более низкой плотностью по сравнению с исходной супесчаной почвой. В среднем за 1996–1998 гг. исследования плотность от контроля к пятому варианту составила 2,51; 2,43; 2,41; 2,38 г/см<sup>3</sup>. Объемная масса уменьшилась в 1,3 раза. Влажность пахотного горизонта в среднем увеличилась в 1,7 раза. Эта закономерность четко прослеживается в течение вегетационного периода. Абсолютные величины влажности значительно изменились, что связано с неравномерностью выпадения осадков. Оптимизация существенным образом сказалась и на величине полной влагоемкости. За годы исследования она увеличилась в 1,7 раза: с 23,05 на контроле до 40,63 объемных процентов на варианте с внесением торфа в дозе 400 т/га. Порозность дерново-подзолистой связносупесчаной глееватой почвы по мере ее оптимизации различными дозами торфа увеличилась с 36,65 до 49,16 %. Степень аэрации в результате внесения органики достигла оптимальных величин (23–25 %) для произрастания сельскохозяйственных культур.

Таблица 1

**Влияние торфования на водно-физические свойства пахотного горизонта мелиорированной дерново-подзолистой глееватой связносупесчаной почвы**

| Варианты опыта<br>(под картофелем) | Объемная<br>масса, г/см <sup>3</sup> | Плотность,<br>г/см <sup>3</sup> | Полная<br>влагоемкость, % | Порозность,<br>% | Аэрация,<br>% | Влажность |          |
|------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|---------------------------|------------------|---------------|-----------|----------|
|                                    |                                      |                                 |                           |                  |               | вес. %    | объем. % |
| 1978–1980 гг.                      |                                      |                                 |                           |                  |               |           |          |
| Контроль (фон)                     | 1,59                                 | 2,52                            | 23,20                     | 36,90            | 33,99         | 4,52      | 7,19     |
| Фон +100 т/га торфа                | 1,33                                 | 2,44                            | 34,20                     | 45,49            | 31,74         | 10,32     | 13,72    |
| Фон +200 т/га торфа                | 1,31                                 | 2,43                            | 35,18                     | 46,09            | 42,26         | 11,43     | 14,97    |
| Фон +300 т/га торфа                | 1,29                                 | 2,41                            | 36,02                     | 46,47            | 30,09         | 13,70     | 16,38    |
| Фон +400 т/га торфа                | 1,25                                 | 2,40                            | 38,34                     | 47,92            | 30,76         | 13,73     | 17,16    |
| 1996–1998 гг.                      |                                      |                                 |                           |                  |               |           |          |
| Контроль                           | 1,59                                 | 2,51                            | 23,05                     | 36,65            | 14,23         | 13,47     | 21,42    |
| Фон +100 т/га торфа                | 1,32                                 | 2,43                            | 34,61                     | 45,68            | 25,27         | 15,16     | 20,41    |
| Фон +200 т/га торфа                | 1,30                                 | 2,41                            | 35,43                     | 46,06            | 23,48         | 17,37     | 22,58    |
| Фон +300 т/га торфа                | 1,27                                 | 2,40                            | 37,07                     | 47,08            | 22,33         | 19,49     | 24,75    |
| Фон +400 т/га торфа                | 1,21                                 | 2,38                            | 40,63                     | 49,16            | 24,77         | 21,16     | 24,39    |

Применение торфа способствовало существенному сдвигу всех агрохимических показателей почвы (табл. 2). Мощность гумусового горизонта со-

ставила 26 см (исходная – 18 см), содержание физической глины увеличилось с 18,0 до 25,2 %, а содержание гумуса в сравнении с исходной почвой – более чем в 2 раза, гидролитическая кислотность уменьшилась до минимального значения – 2,26 мг-экв/100 г почвы, улучшились показатели обменной кислотности, достигнув реакции среды, близкой к нейтральной, возросло содержание подвижных форм фосфора и калия. По этим показателям почва перешла в группу высокой обеспеченности, а по сумме поглощенных оснований существенно отличалась от контроля и исходной в сторону насыщения. Емкость поглощения заметно увеличилась.

Таблица 2

**Изменение агрохимических показателей оптимизированной торфованием мелиорированной дерново-подзолистой связносупесчаной почвы**

| Варианты опыта<br>(под картофелем)                       | Мощность<br>гумусового<br>горизонта, см | Гумус,<br>% | рН   | H   S   T          |       |       |       | V, %  | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>   K <sub>2</sub> O |      | Физическая<br>глина, % |
|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------|------|--------------------|-------|-------|-------|-------|--------------------------------------------------|------|------------------------|
|                                                          |                                         |             |      | мг-экв/100 г почвы |       |       |       |       | мг/100 г почвы                                   |      |                        |
| 1978–1980 гг.                                            |                                         |             |      |                    |       |       |       |       |                                                  |      |                        |
| Исходная почва                                           | 18,0                                    | 1,63        | 4,60 | 4,76               | 3,52  | 8,28  | 42,50 | 13,60 | 10,8                                             | 18,0 |                        |
| N120P120K240+компост 80 т/га<br>+доломитовая мука 5 т/га | –                                       | 2,27        | 5,00 | 3,26               | 5,02  | 8,28  | 60,60 | 16,40 | 11,8                                             | 18,8 |                        |
| Фон +100 т/га торфа                                      | –                                       | 2,32        | 5,10 | 3,10               | 6,40  | 9,50  | 65,97 | 16,80 | 13,0                                             | 20,4 |                        |
| Фон +200 т/га торфа                                      | –                                       | 3,33        | 5,30 | 3,99               | 9,86  | 13,85 | 71,20 | 16,50 | 13,9                                             | 21,5 |                        |
| Фон +300 т/га торфа                                      | –                                       | 3,83        | 5,60 | 2,61               | 13,90 | 15,51 | 87,90 | 22,00 | 15,5                                             | 24,6 |                        |
| Фон +400 т/га торфа                                      | 26,0                                    | 4,47        | 5,10 | 2,26               | 12,04 | 14,30 | 84,19 | 19,00 | 14,1                                             | 25,0 |                        |
| 1996–1998 гг.                                            |                                         |             |      |                    |       |       |       |       |                                                  |      |                        |
| Исходная почва                                           | –                                       | 2,06        | 5,95 | 2,45               | 9,44  | 11,89 | 7,93  | 20,00 | 18,9                                             | 18,6 |                        |
| N120P120K240+компост 80 т/га<br>+доломитовая мука 5 т/га | –                                       | 3,07        | 6,25 | 1,83               | 9,54  | 11,37 | 83,90 | 18,30 | 19,63                                            | 18,0 |                        |
| Фон +100 т/га торфа                                      | –                                       | 3,37        | 6,42 | 1,55               | 10,31 | 11,86 | 80,90 | 19,90 | 22,7                                             | 20,7 |                        |
| Фон +200 т/га торфа                                      | –                                       | 4,00        | 6,50 | 1,77               | 11,18 | 12,95 | 91,05 | 19,80 | 22,0                                             | 23,0 |                        |
| Фон +300 т/га торфа                                      | –                                       | 5,35        | 6,48 | 1,57               | 11,44 | 13,01 | 87,93 | 21,77 | 21,6                                             | 25,5 |                        |
| Фон +400 т/га торфа                                      | 26,0                                    | 5,58        | 6,74 | 1,79               | 10,74 | 12,53 | 86,75 | 19,65 | 23,3                                             | 26,0 |                        |

В вариантах с дозами торфа 300 и 400 т/га было достигнуто оптимальное содержание в почве физической глины (24,6 и 25,2 % соответственно). Это увеличение обусловлено внесением физической глины с высокозольным торфом.

Анализ агрохимических показателей почвы через 18 лет отражает благоприятную картину последствий оптимизации. Почти все агрохимические характеристики почвы улучшились. Увеличилось содержание гумуса, что свидетельствует о продолжении процесса гумификации органического вещества оптимизированной почвы, который достиг очень высокого уровня в вариантах с максимальными (300 и 400 т/га) дозами торфа. Продолжала уменьшаться гидролитическая кислотность, а обменная достигла оптимальных значений нейтральной реакции среды (6,74). Содержание обменных форм фосфора сохранилось на прежнем уровне, а калия – возросло до 23,3 мг/100 г почвы.

Данные за 1978–1980 гг. первой ротации по урожайности картофеля показывают (табл. 3), что она повысилась с 318,0 ц/га на контроле до 416 ц/га при внесении 400 т/га торфа. Такая же закономерность в формировании урожая картофеля сохраняется на фоне восьмипольного севооборота (1996–1998 гг.). Наибольший прирост урожая картофеля – 104,8 ц/га, или 38,3 % к контролю, обеспечивается при внесении 400 т/га торфа.

Важнейшими биохимическими показателями качества клубней являются содержание крахмала и содержание белка (с учетом аминокислотного состава). Они определяют и основную питательную ценность картофеля (табл. 4). Белок клубней отличается высоким содержанием незаменимых аминокислот, хорошо усваиваемых организмом человека и животных, суммарное содержание которых в белках картофеля примерно в 1,5 раза выше,

чем в белках пшеницы. Данные аминокислотного анализа показали, что применение торфа в дозе 100 т/га увеличивает количество незаменимых аминокислот в клубнях на 1240 мг % по сравнению с фоном, где их содержание составило 4070 мг %. Накопление отдельных незаменимых аминокислот происходило неравномерно. Наиболее активным этот процесс был для лизина, лейцина и триптофана, что является важным моментом с точки зрения питательной ценности картофеля, так как лизин и триптофан лимитируют биологическую ценность белка картофеля. В результате данный показатель возрос с 14,0 до 19,7 %. Применение торфа в дозах 200 т/га увеличило содержание незаменимых аминокислот с 4070 до 4530 мг %, вследствие чего биологическая ценность клубней возрастала на 2,6 %. С увеличением дозы торфа положительный эффект оптимизации снизился.

Таблица 3

Влияние оптимизации мелиорированной дерново-подзолистой глееватой связносупесчаной почвы на урожай картофеля, ц/га

| Варианты опыта             | 1978 г. | 1979 г. | 1980 г. | Среднее | Прибавка |      | 1996 г. | 1997 г. | 1998 г. | Среднее | Прибавка |      |
|----------------------------|---------|---------|---------|---------|----------|------|---------|---------|---------|---------|----------|------|
|                            |         |         |         |         | ц/га     | %    |         |         |         |         | ц/га     | %    |
| Контроль (фон)             | 350,0   | 339,0   | 265,0   | 318,0   | —        | —    | 260,6   | 310,5   | 250,25  | 273,8   | —        | —    |
| Фон +100 т/га торфа        | 392,5   | 378,5   | 309,0   | 360,0   | 42,0     | 13,2 | 273,9   | 347,3   | 323,25  | 314,8   | 41,0     | 14,9 |
| Фон +200 т/га торфа        | 438,0   | 413,5   | 326,0   | 392,5   | 74,5     | 23,4 | 294,5   | 351,9   | 350,3   | 332,2   | 58,4     | 21,3 |
| Фон +300 т/га торфа        | 443,0   | 436,3   | 335,5   | 404,9   | 86,9     | 27,3 | 342,2   | 358,0   | 381,4   | 360,7   | 86,9     | 31,7 |
| Фон +400 т/га торфа        | 449,0   | 447,7   | 335,5   | 416,4   | 93,4     | 30,9 | 368,0   | 370,3   | 395,0   | 377,8   | 104,8    | 38,3 |
| m, %                       | 2,46    | 0,38    | 0,50    |         |          |      |         |         |         |         |          |      |
| НСР <sub>0,95</sub> , ц/га | 28,5    | 13,1    | 6,3     |         |          |      |         |         |         |         |          |      |

Таблица 4

Влияние оптимизации на содержание незаменимых аминокислот в клубнях картофеля, мг %

| Аминокислоты                      | Контроль (фон) | Фон             |                 |                 |                 |
|-----------------------------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                                   |                | +100 т/га торфа | +200 т/га торфа | +300 т/га торфа | +400 т/га торфа |
| Лизин                             | 270            | 450             | 400             | 330             | 290             |
| Треонин                           | 560            | 690             | 620             | 500             | 480             |
| Валин                             | 680            | 830             | 710             | 700             | 680             |
| Метионин                          | 190            | 310             | 290             | 220             | 130             |
| Изолейцин                         | 390            | 500             | 350             | 330             | 290             |
| Лейцин                            | 1020           | 1260            | 1050            | 980             | 820             |
| Фенилаланин                       | 650            | 780             | 660             | 650             | 560             |
| Триптофан                         | 310            | 490             | 450             | 380             | 340             |
| Сумма                             | 4070           | 5310            | 4530            | 4090            | 3590            |
| Биологическая ценность клубней, % | 14,0           | 19,7            | 16,6            | 14,9            | 12,6            |

Таким образом, оптимизация дерново-подзолистой глееватой супесчаной почвы органическим веществом в больших дозах позволяет довести до оптимальных величин не только показатели гумуса и физической глины, но также все агрохимические показатели, водно-физические свойства и получить высокие урожаи картофеля хорошего качества.

1. Почвы Белорусской ССР / Под ред. Т.Н. Кулаковской и др. Мн., 1977. С. 83.
2. Медведев А. Г. Влияние хозяйственной деятельности на природу Белоруссии. Мн., 1981. С. 71.
3. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы определения физических свойств почв и грунтов. М., 1973.
4. Принципы организации и методы стационарного изучения почв. М., 1976.

Поступила в редакцию 30.05.2002.

**Николай Константинович Чертко** – доктор географических наук, профессор кафедры почвоведения.

**Валентина Владимировна Дорохова** – младший научный сотрудник НИЛ экологии ландшафтов.

**Ярослав Константинович Куликов** – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник НИЛ экологии ландшафтов.



### ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ СОЛЯНЫХ СТРУКТУР В ОБЛАСТЯХ ГАЛОКИНЕЗА

It is shown that most of salt uplifts are situated near faults and they are salt uplifts of the first generation. Only some salt uplifts are superimposed and they are salt uplifts of the second generation.

Выявление закономерностей размещения соляных структур и их соотношений со структурами подсолевого комплекса имеет большое значение для поисков месторождений нефти и газа в межсолевых и подсолевых отложениях и выяснения первопричин галокинеза.

В рифтовых областях галокинеза достаточно четко устанавливается пространственная связь большинства соляных поднятий с продольными разломами сбросового типа в подсолевых отложениях и группировка соляных поднятий в протяженные соляные валы, ориентированные согласно простиранию рифтов и осложняющих их разломов.

Наиболее достоверно связь обоих этих явлений установлена в Припятском прогибе, где строение межсолевых и подсолевых отложений изучено довольно детально большими объемами сейсморазведки и бурения. Здесь по поверхности среднефаменской соленосной толщи выделяются антиклинали, брахиантиклинали, реже – купола, которые формируют протяженные группы поднятий или валы субширотного простирания, согласного с простиранием палеорифта, ограничивающих и осложняющих его разломов сбросового типа. На западе прогиба и на юго-востоке в своде Хойникского выступа среднефаменская соленосная толща находится в пластовом залегании; локальные поднятия – несоляные, отраженные приразломные. Большинство поднятий прогиба – соляные (в их ядрах находятся соляные массивы), образованные галокинезом в галитовой субформации среднефаменской соленосной формации. Некоторые поднятия в средней части прогиба двусольные. В двусольных массивах под куполом среднефаменской соли находится купол, образованный галокинезом в верхнефранской (евлановско-ливенской) соленосной толще. Среднефаменские соляные массивы наложены на франские или отделены от них межсолевыми нижнефаменскими отложениями. Валы разделены синклинальными зонами аналогичного простирания, которые объединяют синклинали, мульды и структурные заливы. Подобные закономерности пространственного размещения положительных и отрицательных соляных структур объясняются связью соляных поднятий с разломами. Большинство их приурочены к зонам сочленения поднятых и опущенных блоков и расположены в поднятых крыльях разломов большой амплитуды, в основном ступенеобразующих, поэтому соляные валы, как правило, расположены в поднятых частях ступеней, а разделяющие их синклинальные зоны – в опущенных крыльях разломов и в погруженных частях ступеней. Исключениями являются Чернинский и западная часть Первомайского вала на севере прогиба в пределах Речицко-Шатилковской ступени и Ельский вал на юге прогиба в пределах Наровлянского-Ельской ступени, которые не имеют четкой связи с разломами большой амплитуды и расположены на моноклинали межсолевых и подсолевых отложений. Положение периклинальных замыканий соляных поднятий, осложняющих валы, обычно определяется поперечными разломами или локальными изгибами продольных разломов [1].

Так как большинство франских и фаменских соляных поднятий расположены над блоковыми и отраженными надблоковыми поднятиями, которые являются ловушками в подсолевых и межсолевых отложениях, залежи нефти в них пространственно связаны с соляными поднятиями и тяготеют к их крутым приразломным крыльям.

Такое расположение соляных поднятий и отрицательных соляных структур объясняется тем, что движения по разломам были первопричиной проявления галокинеза в двух соленосных толщах. В результате этих движений сформировались зоны снижения напряжений вдоль разломов, образовалась разность мощностей и нагрузок на соленосные толщи покрывающих отложений, что привело к пластическому перемещению соли из участков больших в зоны малых напряжений в направлении их максимальных градиентов, в основном из опущенных в поднятые крылья разломов. В связи с этим в поднятых крыльях разломов формировались соляные поднятия, а в опущенных – синклинали. После образования поднятий началось течение соли и с противоположных склонов, при этом в пределах широких Речицко-Шатилковской и Наровлянско-Ельской ступеней между приразломными соляными валами сформировались остаточные соляные линзы, из которых формировались соляные поднятия второй генерации, расположенные на моноклиналях подсолевых и межсолевых отложений и не имеющие связи с разломами большой амплитуды.

В средней части Припятского прогиба в зоне северо-восточного простирания отмечается изменение простирания соляных валов и поднятий с субширотного на северо-восточное, что связано с влиянием сдвиговых дислокаций поперечного разлома [2].

В Днепровско-Донецком прогибе значительная часть соляных поднятий объединяется в крупные соляные валы северо-западного простирания, согласного с простиранием Днепровского грабена и его краевых разломов [3, 4]. Некоторые из них изолированы и не связаны друг с другом, иногда имеют северо-восточное простирание (Ичнянское, Буромское) и ориентированы вкрест простирания прогиба [5]. Наряду с продольной намечается поперечная зональность и решетчатый характер расположения соляных поднятий. В отложениях нижнекаменноугольного структурного этажа были выявлены соляные структурные овоиды (Холмский, Великозагоровский, Дмитриевский, Роменский, Синевский, Качановский, Колонтаевско-Карайкозовский, Валковский, Шевченковский и др.), каждый из которых состоит из одного или нескольких крупных соляных поднятий (часто открытых диапиров) в центре, окруженных глубокими кольцевыми прогибами и расположенных кольцеобразно по периферии малоамплитудных соляных поднятий [5, 6]. Такие овоиды распространены в основном в северной прибортовой зоне и редки в южной. Помимо них выделены валы, объединяющие преимущественно солянокупольные поднятия, а также структурные поля и полосы преимущественно несоляных поднятий.

В Днепровско-Донецком прогибе соляные валы тяготеют к периферическим частям крупных депрессий [7] и склонам выступов [8], а соляные овоиды расположены в пределах впадин фундамента, при этом центральные диапиры или криптодиапиры – у их осевых частей, а малоамплитудные соляные поднятия овоидов – на осложненных разломами склонах впадин [5, 6].

В.И. Китык [9] и В.Г. Гутерман [10] пришли к выводу, что соляные поднятия сформировались в результате отжатия соли из поднимающихся блоков в опускающиеся. Однако трудно представить, что каменная соль, более легкая по сравнению с покрывающими отложениями, течет не снизу вверх, всплывая среди тяжелых покрывающих пород, а, наоборот, сверху вниз.

Последующими буровыми и сейсморазведочными работами было выяснено, что верхнефранские соленосно-карбонатно-терригенные отложения большой мощности накапливались в Днепровско-Донецком прогибе только в конседиментационных впадинах фундамента, а на выступах соленосные отложения отсутствуют. Следовательно, в процессе развития соляных структур соль не могла отжиматься с выступов во впадины, так как на выступах она не отлагалась. Формирование соляных поднятий происходило в

результате течения соли, отлагавшейся в пределах впадин, к которым и приурочены солянокупольные структуры. В них выявлены разнообразные формы соотношений соляных и подсолевых структур: некоторые соляные структуры являются сквозными и под ними установлены поднятия в подсолевых отложениях (Сагайдакское, Хрещатинское, Софиевское, Тваньское, Погарщинское и др.), другие смещены по отношению к поднятиям подсолевого ложа (Северо-Дорогинское и др.) или являются навешенными (Борковское, Колайдинцевское и др.) и расположены в синклиналях, на моноклиналях, осложненных разломами, или на структурных носсах [11].

В.И. Китык и др. [5] сопоставили соляные овоиды Днепровско-Донецкого прогиба с семействами соляных поднятий Северогерманской солянокупольной области [12]. Под семейством соляных поднятий Д. Заннеманн понимал группу соляных штоков, состоящую из древнего первичного материнского штока и окружающих его кольцом вторичных соляных поднятий, при этом шток формировался под действием тектонических движений, а вторичные соляные поднятия – только вследствие галокинеза в результате течения соли из кольцевой первичной компенсационной синклинали, окружающей первичный соляной купол.

На наш взгляд, модель формирования соляных поднятий овоидов была иной. Продолжавшийся после соленакопления процесс прогибания впадин с мощными соленосными толщами в разрезе по системам ступенчатых сбросов привел к образованию на бортах впадин вдоль разломов зон снижения напряжений и резкого перепада мощностей и нагрузок более плотных надсолевых отложений, что привело к течению соли вверх по восстанию на бортах впадин и образованию соляных поднятий в приразломных зонах. В результате на бортах впадин формировались соляные кольца, позднее расчлененные на соляные поднятия, а в центральных погруженных зонах впадин – крупные остаточные соляные подушки, окруженные первичными компенсационными синклиналями. На месте этих подушек как следствие течения соли со склонов к сводам и сформировались длительно развивавшиеся криптодиапиры и диапиры, окруженные глубокими вторичными прислоненными компенсационными синклиналями. Следовательно, поднятия в центре овоидов были вторичными, а первичными – поднятия окружающих их колец. Соляные поднятия в пределах колец более мелкие и малоамплитудные, так как образовались в зонах сокращения и выклинивания франской соленосной толщи на бортах впадин. Криптодиапиры и диапиры в центрах овоидов крупные и большой амплитуды, поскольку они формировались на участках максимальной первичной мощности соленосной толщи. Соляные валы, по-видимому, контролируются крупными разломами на бортах впадин, движения по которым приводили к отжатию соли из впадин на их борта в приразломные зоны.

Таким образом, и в Припятском, и в Днепровско-Донецком прогибах есть первичные соляные поднятия, которые контролируются разломами, расположены в их поднятых крыльях над выступами фундамента и подсолевого ложа, и вторичные соляные поднятия, которые являются навешенными, расположены на моноклиналях и во впадинах подсолевого ложа.

Соляные поднятия первой генерации более ранние, чем поднятия второй генерации. Их активный рост завершился раньше в связи с истощением активной соли в межкупольных зонах и на крыльях поднятий и установлением гравитационного равновесия соляных массивов с покрывающими отложениями. Поэтому соляные поднятия первой генерации в верхней части чехла выражены слабее, чем поднятия второй генерации. Например, наложенный Чернинский вал Припятского прогиба находит отражение во всем комплексе надсолевых отложений, в то время как примыкающая часть приразломного Речицкого вала первой генерации погребена – только под мульдами оседания в триасовых и покрывающих отложениях. В наиболь-

шей степени это характерно для вторичных соляных поднятий Днепровско-Донецкого прогиба, расположенных в центрах овоидов, которые прорывают большую часть или весь комплекс надсолевых отложений, в то время как первичные соляные поднятия слабо выражены или погребены в верхней части чехла.

Для Припятского прогиба характерна более четкая по сравнению с Днепровско-Донецким субширотная линейность в расположении как первичных, находящихся в поднятых крыльях разломов, так и вторичных соляных поднятий, приуроченных к моноклиналям погруженных частей ступеней. Это объясняется особенностями строения подсолевого ложа двух структур и различиями в их формировании в период соленакопления. В Припятском грабене подсолевое ложе разбито субширотными разломами на тектонические ступени, наклоненные на север и на юг от осевой приподнятой части грабена к краевым разломам. Поперечных впадин и выступов здесь нет. В Днепровско-Донецком прогибе отсутствуют протяженные ступени, а в северной прибортовой зоне, в центральной осевой и в меньшей степени в южной прибортовой зоне выделяются многочисленные впадины, разделенные выступами.

Для Припятского прогиба характерно сокращение мощности верхнефранской и среднефаменской соленосных толщ от погруженных к поднятым частям ступеней, тем не менее они довольно выдержаны на территории прогиба, а резкое уменьшение их мощности и замещение несолевыми породами наблюдаются только по их периферии. В Днепровско-Донецком прогибе рифтогенез и вулканизм во время позднефранского соленакопления проявились более интенсивно, и мощные соленосные толщи накопились только в пределах впадин, которые впоследствии и стали локальными очагами галокинеза.

Таким образом, в Припятском и Днепровско-Донецком прогибах закономерности формирования и размещения соляных структур в конечном счете предопределены разломной тектоникой, а своеобразие их проявления обусловлено различиями в строении подсолевого ложа и особенностями его формирования в рифтовую стадию развития.

В окраинно-континентальных рифтах на внутреннем шельфе пассивных окраин континентов развиты соляные диапироиды, на внешнем шельфе и континентальном склоне их сменяют диапиры и криптодиапиры антиклинальной формы, которые на глубине объединяются в соляные валы, ориентированные согласно с простираем шельфа, склона, разломов и блоковых структур. Соляные структуры омолаживаются сверху вниз по континентальному склону в связи с последовательным продвижением проградирующих линз осадочных пород.

В краевых прогибах (Предуральский, Месопотамский, юг Сибирской платформы) соляные поднятия объединяются в протяженные соляные валы, ориентированные согласно с простираем краевых прогибов и их складчатым обрамлением. Они контролируются надвигами и осложняют фронтальные антиклинали.

В областях галокинеза краевых синеклиз (Прикаспийская, Северо-Германско-Североморская, Примексиканская) отмечается концентрическая зональность в размещении соляных поднятий. По периферии они группируются в соляные валы, которые ориентированы согласно простираю их границ и обрамлению и контролируются сбросами, осложняющими моноклинные склоны подсолевых отложений, погружающиеся в них осевым частям. Соляные поднятия асимметричны, их крутые склоны, иногда осложненные карнизами, обращены к осевым частям синеклиз, где соляные поднятия образуют сложные ветвящиеся замкнутые системы и иногда имеют решетчатый характер. Они контролируются сетью продольных и поперечных разломов. Наряду с этим здесь развиты семейства соляных куполов



[12, 13] – это кольца соляных поднятий, в центре которых расположены крупные соляные поднятия первой генерации, контролируемые разломами. Их кольцом окружают более мелкие бескорневые соляные поднятия второй генерации. По периферии краевых синеклиз развиты соляные подушки, к центру они сменяются криптодиапирами и диапирами. Соответственно возрастают размеры и амплитуды соляных поднятий, в центральных наиболее погруженных частях синеклиз иногда развиты купола-гиганты, что связано с увеличением глубины залегания подсолевых отложений и первичной мощности соленосных толщ.

Таким образом, в областях галокинеза разного типа закономерности размещения соляных поднятий в основном определяются разломной тектоникой. Большинство соляных поднятий контролируются сбросами, надвигами и сдвигами и осложняют приразломные поднятия подсолевого ложа. Соответственно ведущим фактором их заложения и развития был тектонический, роль гравитационного фактора, ведущая в развитии соляных поднятий второй генерации, возрастала по мере их роста.

Наиболее перспективны в нефтегазоносном отношении, в том числе по подсолевым и межсолевым отложениям, соляные поднятия первой генерации, которые являются приразломными и осложняют блоковые поднятия. Наибольший интерес представляют их древние, более крутые склоны, к которым прислонены первичные компенсационные синклинали в надсолевых отложениях.

Работа выполнена при финансовом содействии фонда ИНТАС по проекту «Соляная тектоника Припятско-Днепровско-Донецкого бассейна. Украина, Беларусь».

1. Конищев В. С. Соляная тектоника Припятского прогиба. Мн., 1975.
2. Конищев В. С., Ковхута А. М. // Докл. АН Беларуси. 1995. Т. 39. № 5. С. 88.
3. Билык А. А. // Тр. ВНИИГаза. 1962. Вып. 14/22. С. 18.
4. Чирвинская М. В., Соллогуб В. Б. Глубинная структура Днепровско-Донецкого авлакогена по геофизическим данным. Киев, 1980.
5. Китык В. И., Галабуда Н. И., Аверьев В. А. и др. // Эвапориты Украины. Киев, 1985. С. 73.
6. Галабуда Н. И., Малюк Б. И. // Докл. АН УССР. Сер. Б. 1987. № 2. С. 6.
7. Шпак П. Ф. // Геология нефти и газа. 1983. № 7. С. 36.
8. Доленко Г. Н., Варичев С. А., Высочанский И. В. и др. Тектоника и нефтегазоносность Днепровско-Донецкой впадины. М., 1981.
9. Китык В. И. Условия образования соляных структур. Киев, 1963.
10. Гутерман В. Г. // Геофизический сборник. 1968. № 25. С. 61.
11. Кабышев Б. П. // Нефтяная и газовая промышленность. 1975. № 1. С. 15.
12. Sannemann D. // Erdöl-Zeitschrift. Wien; Hamburg, 1963. № 11. S. 499.
13. Волчегурский Л. Ф., Журавлев В. С. // Геотектоника. 1965. № 2. С. 95.

Поступила в редакцию 30.03.1999.

**Радим Гаврилович Гарецкий** – академик НАН Беларуси, доктор геологических наук, профессор, заведующий лабораторией геотектоники Института геологических наук НАН Беларуси.

**Виктор Степанович Конищев** – доктор геологических наук, главный научный сотрудник лаборатории геотектоники Института геологических наук НАН Беларуси.

**Андрей Марленович Ковхута** – кандидат геологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории геотектоники Института геологических наук НАН Беларуси.

УДК 552.578:551.734.5(476-13)

Н.В. СТРЕЛЬЧИК, А.А. МАХНАЧ

## ВЛИЯНИЕ УГЛЕВОДОРОДОВ НА ОКРАСКУ СРЕДНЕДЕВОНСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ЧИСТОЛУЖСКОЙ ПЛОЩАДИ ПРИПЯТСКОГО ПРОГИБА

Study of influence onto the containing rocks by the migrating fluids of ascending oil which express in changing properties of the environment. In particular, the reformed of the clastics rocks colour due to iron's matter was examined.



Решение проблемы сочетания в осадочных породах красной, зеленой и серой окраски в каждом конкретном случае требует ответа на вопрос о ее стадияльно-литогенетической принадлежности. Такая проблема, в частности, характерна для пород подсолевой терригенной толщи Припятского прогиба. Данная статья является попыткой приблизиться к ее решению на примере отложений полоцкого (старооскольского) горизонта живецкого яруса среднего девона, вскрытых на северо-западе Припятского прогиба в скв. Чистолужская 4. Полоцкие породы здесь представлены чередованием песчаников и глинистых алевролитов преимущественно красно- и зеленоцветной окраски, причем зеленые тона свойственны нефтенасыщенным песчанникам.

Для объяснения распределения красной и зеленой окраски пород были исследованы две гипотезы. С одной стороны, процесс образования окраски мог быть обусловлен дифференциацией условий осадконакопления и раннего диагенеза. В этом случае распределение окраски первично и не связано с восстановительным влиянием углеводородов. С другой стороны, вероятно связь изменения окраски с окислительно-восстановительным перераспределением химических элементов под действием углеводородов, насыщение которыми пород произошло на стадии катагенеза.

Методический аппарат исследования включал изучение петрографических шлифов, проведенное авторами, а также рентгенофлюоресцентный и эмиссионный спектральный анализы, выполненные соответственно А.Б. Комаровым и И.Н. Тетеревой в лаборатории физико-химического анализа Института геологических наук НАН Беларуси.

**Литология и палеогеография.** Отложения полоцкого горизонта в разрезе скв. Чистолужская 4 мощностью 144 м представлены неравномерным переслаиванием песчаников, алевролитов и глин (аргиллитов), которые сформировались из продуктов выветривания и разрушения осадочных пород средне-, раннедевонского и позднепротерозойского возраста, а также магматических и метаморфических пород кристаллического фундамента. Песчаники зеленовато-серые и серо-зеленые, тонко- и мелкозернистые (0,1–0,25 мм), кварцевые и полевошпатово-кварцевые, прослоями слюdistые с глинистым цементом. В них нередко встречаются нефтенасыщенные прослойки. Глинисто-алевролитовые породы преимущественно красноцветные, за исключением осадков, встречающихся тонкими прослоями в более грубозернистом материале, где они имеют окраску вмещающих пород.

Наиболее ярко выраженными текстурными особенностями полоцких отложений данной скважины являются встречающиеся практически по всему разрезу различные виды слоистости, преимущественно горизонтальной, а в подошве горизонта – неправильно-волнистой, что характерно для авандельт и приливно-отливных шельфовых обстановок. Горизонтальная слоистость в песчаниках зачастую выражена мелкими пропластками глинистых слоев, что особенно заметно в нефтенасыщенных породах. В разрезе наблюдается также конседиментационная брекчиевидная текстура, образовавшаяся, по-видимому, при оползании ила. Кроме того, в породах встречаются как диагенетические, так и субвертикальные тектонические трещины с незначительным смещением слоев.

Осадконакопление в среднем девоне в Припятском прогибе началось после продолжительного континентального перерыва [1–3]. Седиментация происходила в мелководном морском бассейне, образовавшемся в результате трансгрессии со стороны Уральского палеоокеана. Западная часть Беларуси, в том числе Полесская седловина, представляла собой сушу, которая наряду с Украинским щитом и Белорусским кристаллическим массивом являлась основным источником сноса обломочного материала. Окаймляющая среднедевонский водоем суша в целом представляла собой равнину с незначительным превышением гипсометрических отметок, о чем можно су-

дить по присутствию мелко- и тонкозернистых осадков прибрежных зон, к которым, в частности, относятся и полоцкие отложения Чистолужской площади. На характер аккумуляции осадков, очевидно, значительное влияние оказывали временные и постоянные водотоки с суши, опреснявшие водоем и определявшие перераспределение обломочного материала и его общую фациальную дифференциацию. Вода морского бассейна, по-видимому, только в отдельные промежутки времени имела повышенную соленость; в целом господствовали окислительные условия, чему благоприятствовало низкое содержание органических веществ [3]. Климат в полоцкое время был преимущественно теплым, в отдельные периоды – аридным [1], что способствовало развитию в области сноса гипергенных процессов: создавались условия для активизации физического и химического выветривания коренных пород и осадков, на толще переотложенных продуктов которых могли образоваться латеритные коры выветривания и красноземы.

Таблица 1

Средний химический состав пород полоцкого горизонта скв. Чистолужская 4, мас. %

| Химический состав              | A (n=5) | B (n=23) | C (n=12) | D (n=11) | E     | F     |
|--------------------------------|---------|----------|----------|----------|-------|-------|
| SiO <sub>2</sub>               | 66,65   | 70,05    | 66,23    | 76,62    | 52,00 | 78,33 |
| TiO <sub>2</sub>               | 0,99    | 0,71     | 0,94     | 0,46     | 0,65  | 0,25  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 13,74   | 8,39     | 13,34    | 5,20     | 15,40 | 4,77  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 6,46    | 3,18     | 4,67     | 1,66     | 4,02  | 1,07  |
| MnO                            | н. о.   | 0,01     | 0,01     | 0,02     | –     | –     |
| MgO                            | 1,81    | 1,58     | 1,93     | 1,14     | 2,44  | 1,16  |
| CaO                            | 0,46    | 1,27     | 0,95     | 1,65     | 3,11  | 5,50  |
| K <sub>2</sub> O               | 4,45    | 3,15     | 4,24     | 1,93     | 3,24  | 1,31  |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0,07    | 0,17     | 0,08     | 0,22     | 0,17  | 0,08  |
| S <sub>общ</sub>               | 0,033   | 0,178    | 0,072    | 0,28     | –     | –     |
| Cl <sub>общ</sub>              | 0,14    | 0,44     | 0,14     | 0,73     | –     | –     |

Примечание. Здесь и в табл. 2: A – красноцветные алевролитоглинистые породы; B – зеленоцветные породы; C – зеленоцветные песчаники со значительной примесью глинистого вещества без признаков углеводородов; D – зеленоцветные нефтенасыщенные песчаники без примеси глинистого компонента; E – глинистые породы литосферы [4]; F – песчаные породы литосферы [4]; n – число определений; н. о. – ниже предела обнаружения.

Таблица 2

Среднее содержание некоторых микроэлементов (г/т) в породах полоцкого горизонта скв. Чистолужская 4

| Микроэлемент | A (n=5) | B (n=23) | C (n=12) | D (n=12) | E       | F      |
|--------------|---------|----------|----------|----------|---------|--------|
| Be           | 2,7     | 1,4      | 2,3      | 0,4      | <3,6    | 0      |
| B            | 200     | 100      | 160      | 56       | 310     | 9–31   |
| Sc           | н. о.   | н. о.    | н. о.    | н. о.    | 6,2     | –      |
| Ti           | 5000    | 3000     | 3900     | 1700     | 4300    | 960    |
| V            | 69      | 40       | 55       | 21       | 120     | 20     |
| Cr           | 85      | 40       | 60       | 20       | 410–680 | 68–200 |
| Mn           | 180     | 300      | 310      | 130      | 620     | сл.    |
| Co           | 14      | 12       | 19       | 5        | 8       | 0      |
| Ni           | 38      | 31       | 42       | 20       | 24      | 2–8    |
| Cu           | 18      | 20       | 20       | 20       | 192     | –      |
| Y            | 42      | 23       | 30       | 16       | 28      | 2      |
| Zr           | 380     | 450      | 390      | 480      | 120     | –      |
| Nb           | 17      | 12       | 15       | 7        | 20      | –      |
| Ba           | 250     | 190      | 260      | 280      | 460     | 170    |
| La           | 28      | 18       | 25       | 11       | –       | –      |
| Yb           | 3,6     | 2,2      | 2,9      | 1,4      | –       | –      |
| Pb           | 15      | 18       | 20       | 15       | 20      | 20     |

**Геохимия.** Различия в химическом составе изученных нами пород в основном обусловлены вариациями содержаний породообразующих минералов и цементирующей массы (табл. 1). Так, значительное содержание SiO<sub>2</sub> вызвано присутствием в породе главного породообразующего минерала песчаников – кварца, а повышенные концентрации Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и K<sub>2</sub>O коррелируются с глинистостью и слюдястостью. В химическом составе отражается также присутствие карбонатного и галитового цемента (MgO, CaO и Cl<sub>общ</sub>), а содержание серы в породе трассирует нефтенасыщение. Концентрация железа в красноцветных породах выше, чем в зеленоцветных; и в обоих случаях его содержание превышает кварцевые значения [4]. Микроэлементный состав пород (табл. 2) показывает, что для глинистых разностей по сравнению с песчаными характерно повышенное содержание большинства таких элементов-примесей, как Mn, V, Ni, Cr, Co, Ga, B, Y и др. Аналогичное распределение микроэлементов в породах разного гранулометрического состава устанавливается и другими исследователями [5].

**Окраска пород и углеводороды.** Осадконакопление

в полоцкое время, как уже указывалось, проходило в условиях развивающейся трансгрессии моря и размыва ранее образованной коры выветривания, возможно, латеритного типа, обогащенной железистым и алюминиевым компонентами. Осадки в бассейн седиментации переносились реками и временными водотоками. Железо при этом могло находиться в виде тонких взвесей, коллоидных и истинных растворов (соотношения между ними различны). Железо переносится главным образом в виде золя  $\text{Fe}(\text{OH})_3^{3+}$ , защищенного органическим коллоидом или золем кремнезема; меньшая его часть мигрирует в форме органических соединений окисного и закисного железа, и еще меньшая – в истинных растворах карбоната и бикарбоната, сульфата и хлорида железа [6]. В обстановке осадконакопления с окислительной средой осадка железистое вещество могло сохраниться в неизменной форме. Вследствие этого красноцветность осадков, вероятно, имеет первичный генезис [7, 8].

Наблюдаемое в полоцких отложениях распределение красной, зеленой и серо-зеленой окраски в условиях незначительной фациальной дифференциации бассейна и низкой концентрации органического вещества [9] нельзя объяснить исключительно колебаниями величины окислительно-восстановительного потенциала в ходе седиментогенеза и диагенеза. Следовательно, причины различной окрашенности пород необходимо искать в характере преобразования пород на более поздних этапах.

Разработкой гипотезы вторичного происхождения зеленовато-серой окраски пород в красноцветных толщах занимались многие исследователи, в том числе А.Е. Ферсман, Е.Н. Борисенко, А.Н. Гейслер, А.И. Перельман, И.В. Попов и др. Для нашего случая особо важное значение имеют представления о глеевом катагенезе, сформулированные А.И. Перельманом [10] и развитые Е.Н. Борисенко [8]. Попытаемся объяснить образование зеленовато-серой окраски пород полоцкого горизонта постдиагенетическим восстановлением железа и его частичным выносом бескислородными и бессероводородными подземными водами, что и является существом глеевого катагенеза.

Чистолужская площадь приурочена к северной нефтеперспективной структурной зоне Припятского прогиба и расположена вблизи крупного тектонического нарушения. По этой причине осадочные отложения площади представляли собой зону миграции углеводородов, и процесс глеевого катагенеза мог протекать под воздействием сопутствующих нефти флюидов и самих углеводородов.

В миграции углеводородов важную роль играют восходящие движения сопутствующих глубинных вод, характеризующихся восстановительными условиями среды. Внедрение таких флюидов в коллектор в виде струй и инъекций [11] сопровождается выделением углеводородов из раствора в связи с уменьшением температуры при восходящем движении вод и их смешивании с водами более высокой минерализации [12, 13]. Когда сопутствующие нефти растворы попадают в песчаники, проницаемость которых на несколько порядков выше проницаемости тонкозернистого материала, вода становится основным поровым флюидом, и ее физико-химические свойства способны оказывать влияние на вмещающие породы. При попадании растворов в коллектор местами протекают восстановительные процессы в породах, в результате чего, в частности, становится возможным изменение валентного состояния железа ( $\text{Fe}^{3+} \rightarrow \text{Fe}^{2+}$ ). Последнее, вполне вероятно, может вызвать смену красноцветной окраски пород зеленоцветной.

Алевритово-глинистые породы в противоположность более грубозернистому материалу обладают незначительной проницаемостью и, следовательно, менее подвержены проникновению в них подобных растворов, а значит, и соответствующему преобразованию. Проникновение растворов

происходило по зонам трещиноватости в глинистой части разреза и в местах контакта с песчаниками, что выразилось в пестроцветности пород, имеющих нечеткие очертания границ. Это подтверждается и своеобразной избирательностью окрашенности отложений: по всему разрезу именно алевролитоглинистые породы сохраняют красную, по-видимому, первичную окраску, а песчаники, легче подвергавшиеся преобразованиям, приобрели зеленую, вторичную окраску.

Одним из доказательств влияния на породы флюидов именно глеевого типа является то, что по всему разрезу полочных отложений не были обнаружены следы пирита и марказита – минералов, которые должны были бы образовываться при наличии сероводорода. Повышенные концентрации  $S_{\text{общ}}$  (см. табл. 1) в породах в данном случае связаны с нефтесодержащими прослойками песчаников и обусловлены присутствием серы непосредственно в нефти.

Итак, в разрезе полочкой толщи, вскрытой в скв. Чистолужская 4, красноцветные отложения представлены преимущественно низкопроницаемыми алевролитоглинистыми образованиями, а зеленоцветные – высокопроницаемыми песчаниками. Преобразование первичной, красной, окраски пород во вторичную, зеленую, напрямую связано с миграцией в песчаники углеводородсодержащих флюидов и с превращением окисной формы железа в закисную.

1. Урьев И.И., Анпилогов А.П. Подсолевой девон Припятской впадины. Мн., 1977.
2. Махнач А.С., Корзун В.П., Курочка В.П. и др. Литология и геохимия девонских отложений Припятского прогиба в связи с нефтеносностью. Мн., 1966.
3. Геология СССР: В 48 т. Т. 3. Белорусская ССР. М., 1971.
4. Clarke F.W. // Geol. Surv. Bull. 1924. 770. P. 841.
5. Махнач А.С., Бордон В.Е., Урьев И.И. Геохимия микроэлементов группы железа в живецких и франских отложениях Белоруссии. М., 1974.
6. Страхов Н.М. Основы теории литогенеза: В 3 т. М., 1960–1963. Т. 1–3.
7. Анатольева А.И. Домезозойские красноцветные формации. Новосибирск, 1972.
8. Борисенко Е.Н. Геохимия глеевого катагенеза в породах красноцветной формации. М., 1980.
9. Лапуть В.А. Геохимия нефтегазоносных отложений Белоруссии. Мн., 1983.
10. Перельман А.И. Геохимия эпигенетических процессов. М., 1961.
11. Бека К., Высоцкий И. Геология нефти и газа. М., 1976.
12. Соколов В.А. Миграция газа и нефти. М., 1956.
13. Хант Дж. Геохимия и геология нефти и газа. М., 1982.

Поступила в редакцию 15.05.2000.

**Нина Владимировна Стрельчик** – аспирант Института геологических наук НАН Беларуси. Научный руководитель А.А. Махнач.

**Анатолий Александрович Махнач** – член-корреспондент, доктор геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией литогидрогеохимии Института геологических наук НАН Беларуси.

УДК 911.52 (476).621.039.577.391

Э.Д. ШАГАЛОВА, О.М. ЖУКОВА, М.Г. ГЕРМЕНЧУК, Ж.В. БАКАРИКОВА,  
В.П. РОМАНОВ, Е.В. КВАСНИКОВА

### МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИЗУЧЕНИЯ ПРОЦЕССОВ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ МИГРАЦИИ РАДИОНУКЛИДОВ

The questions of spatial redistribution of radionuclides in a landscape are considered. The dependence between lateral migration parameters on watersheds of the small and average rivers and landscape-geochemical features of a structure of the polluted territory is established. The role of radionuclides lateral transfer in change of gamma expose dose of transit zone and accumulation zone of watershed is appreciated. The forms of a relief being geo-chemical barriers during radionuclides migration are revealed.

После аварии на Чернобыльской АЭС на границе Беларуси и России сформировалось пятно с высоким уровнем радиоактивного загрязнения сложного радионуклидного состава, которое является уникальным научным



полигоном для проведения долговременных радиоэкологических экспериментов на уровне межгосударственной научной политики.

Пространственное распределение радионуклидов, в частности цезия-137, после аварии на ЧАЭС изучено достаточно хорошо. Издано несколько серий карт радиационной обстановки на территории Беларуси и России. В то же время существует настоятельная потребность проведения ландшафтно-геохимической интерпретации данных радиоэкологических исследований для мотивировки картографических прогнозов загрязнения, необходимость изучения тенденций пространственно-временной динамики полей загрязнения в пределах пятен повышенного загрязнения для выявления коллекторов загрязнений и их влияния на формирование дозовых нагрузок на население.

Помимо этого, значительный интерес представляют вопросы пространственного перераспределения радионуклидов в ландшафте, следствием которого могло бы быть вторичное загрязнение прилегающих к загрязненным участкам территорий и возникновение локализаций с повышенными уровнями радиоактивности, а также ответ на часто возникающий вопрос – «расползается» ли радиоактивное загрязнение, и если да, то на какое расстояние.

Научная идея проводимых для решения этой задачи исследований заключается в установлении зависимостей между параметрами горизонтальной миграции на водосборах средних и малых рек и ландшафтно-геохимическими особенностями строения территории, загрязненной радионуклидами, а также в оценке роли латерального переноса в изменении мощности экспозиционной дозы гамма-излучения в элювиальной и аккумулятивной зоне водосборов.

Проведенная работа включала совершенствование методики радиационного мониторинга, разработку единых принципов полевых ландшафтно-радиоэкологических исследований, установление тенденций изменения структуры поля радиоактивного загрязнения.

Представление о физико-географическом районировании территории, положения учения о ландшафтно-геохимических барьерах, поведении радионуклидов в ландшафте и вертикальном перераспределении по профилю почвы, методы статистической обработки результатов эксперимента послужили основой для реализации поставленных задач.

Ландшафт – сложная динамичная неравновесная система, важнейшей характеристикой которой является взаимодействие компонентов природной среды. Вследствие этого ландшафты приобретают признаки и качества, не свойственные отдельным составляющим. Особенность объекта определяет специфику методических приемов, используемых при геохимическом изучении природных комплексов [1, 2]. В отличие от исследований отдельных компонентов, сопровождающихся химическими анализами, обязательным условием ландшафтно-геохимических работ является учет геохимического сопряжения.

Приведем результаты изучения перераспределения радионуклидов в сопряженных ландшафтах на территории ключевого участка, находящегося в Ветковском районе Гомельской области – одном из наиболее пострадавших от аварии на ЧАЭС. Район служит удобной моделью для проведения ландшафтно-геохимического мониторинга, так как представляет собой каскадную ландшафтно-геохимическую систему, состоящую из совокупности связанных между собой потоками вещества и энергии автономных и подчиненных элементарных ландшафтов, что позволяет с геохимических позиций охарактеризовать довольно большую по площади территорию.

Теоретической предпосылкой при проведении работы явилось представление о миграции в ландшафте микроколичеств химических элементов и их накопление на ландшафтно-геохимических барьерах, главной задачей



– выделение на местности таких барьеров и их характеристика с точки зрения концентрации радионуклидов.

В качестве картографической основы использованы топографические карты масштаба 1:10 000 или 1:25 000 с горизонталями, в качестве вспомогательных материалов – ландшафтная, почвенная и геоморфологическая карты масштаба 1:10 000 или крупнее.

В полевой журнал заносили следующие данные: административная принадлежность – страна, область, район, населенный пункт; название или шифр экспериментального маршрута/профиля; номер экспериментальной точки, соответствующий номеру на картографической основе; описание ландшафта; абсолютная отметка точки наблюдения над уровнем моря; гидрологические особенности; состояние поверхности, угодье, характер использования; растительность; рельеф; степень выраженности эрозионных процессов; местоположение точки наблюдения на элементах рельефа; почвообразующие породы, мощность гумусового горизонта, полное название почвы; мощность экспозиционной дозы гамма-излучения (МЭД) на высоте 1–2 см и 1 м.

Пробы почвы отбирали стандартным пробоотборником до глубины 20 см на сопряженных элементах рельефа с одновременным проведением измерений полевым гамма-спектрометром «Violonist».

В ходе полевых работ выяснилось, что самый распространенный вид поймы на экспериментальных полигонах Бартоломеевка – Осово и Светиловичи – низкая пойма, тянущаяся полосой вдоль выпуклых участков берега, имеющая неравномерно задернованную ровную, со слабым (1–5°) наклоном в сторону русла реки, поверхность и сочлененная с высокой поймой слабовыраженным уступом высотой 0,3–1 м. Что касается высокой поймы, то ее гривистая поверхность обусловлена чередованием узких прирусловых валов и разделяющих их ложбинообразных старичных понижений. На одном из участков прируслового вала и старичном понижении заложены опорные разрезы. Пойма местами не задернована, встречается много водорослей, местами – намывные пески.

Пойма сложена аллювиальными отложениями, которые иногда перекрываются маломощным слоем торфа или золовых отложений. Мощность современного аллювия в среднем составляет 13–18 м, залегает он в основном на аллювиальных отложениях первых надпойменных террас, реже – на нерасчлененном комплексе водно-ледниковых, озерных и болотных отложений. Горизонт сложен мелкозернистыми и пылеватыми, реже – среднезернистыми песками. Изредка встречаются маломощные линзы супеси или суглинка.

Профиль «Бартоломеевка» делится на три неординарных по площади самостоятельных участка, каждый из которых состоит из серии почвенных разрезов (точек), заложенных на сопряженных элементах рельефа с одновременным описанием ландшафтно-геохимических особенностей и отбором почвенных проб. Для первого, самого большого участка (точки 1–24), который рассматривается в данной работе в качестве примера, характерен элювиальный с преобладанием выноса ландшафт, представляющий собой водно-ледниковую равнину периода днепровского оледенения. Морфология рельефа – пологоволнистое междуречье с балками и западинами. Абсолютные отметки высот – 120–135 м. Склоны пологие длиной 250–500 м, у подножия заболоченные, заняты лугами, в ряде случаев заливными (точка 14). Почвообразующие и подстилающие породы – водно-ледниковые пески; мощность пород зоны аэрации 3–5 м. Преобладают дерново-подзолистые слабоподзоленные песчаные на глубоких рыхлых песках, часто в разной степени заболоченные почвы. Таким образом, ландшафты экспериментальных полигонов представляют собой водно-ледниковые равнины первой и второй надпойменных террас, пойм средних и малых рек.

В качестве примера приведем описание некоторых элементарных ландшафтов (катен), на которых проводились исследования.

**Катена 1. Точки 3–7.**

*Точка 3.* ½ пологого склона. Почва дерново-подзолистая песчаная на глубоких рыхлых песках. МЭД 57/70 мкР/ч. Старая пашня.

*Точка 4.* ¼ (вверху) очень пологого склона. Почва дерново-подзолистая песчаная на глубоких рыхлых песках. Лес. Сосна, молодые березки, осина, рябина, злаковое разнотравье. МЭД 120/143 мкР/ч.

*Точка 5.* Вершина того же склона. Почва дерново-подзолистая песчаная на глубоких рыхлых песках. Лес. Сосна, в подлеске молодые березы, осина, рябина, злаковое разнотравье. МЭД 137/169 мкР/ч.

*Точка 6.* Краевая часть ложбинообразного понижения. Почва дерново-подзолисто-глееватая. Лес. Береза, дуб, лещина, рябина, осоки. МЭД 122/169 мкР/ч.

*Точка 7.* Дно ложбины. Почва дерново-подзолисто-глееватая песчаная с погребенным гумусовым горизонтом. Смешанный лес. МЭД 135/210 мкР/ч.

**Катены 4–5. Точки 14–18.**

*Точка 14.* Аккумулятивный ландшафт. Подножие склона. Почва дерново-глееватая песчаная на песках. Луг. МЭД 56/110 мкР/ч.

*Точка 15.* 2/3 очень пологого склона длиной около 400 м. Почва дерново-подзолисто-глееватая песчаная. Сосновый лес. МЭД 170/226 мкР/ч.

*Точка 16.* Ниже точки 14 на 20 м. Почва дерново-подзолисто-глееватая песчаная на глубоких рыхлых песках. Лес. Береза, сосна, ольха. МЭД 190/246 мкР/ч.

*Точка 17.* 1/3 склона. Почва дерново-подзолистая с признаками избыточного увлажнения песчаная на глубоких песках. Старопахотная залежь. МЭД 61/86 мкР/ч.

*Точка 18.* 2/3 того же склона высотой 125 м. Почва дерново-подзолисто-глееватая песчаная на песках. Старопахотная залежь. МЭД 62/77 мкР/ч.

При разбивке экспериментального профиля на фрагменты, включающие элементарные ландшафты, оказалось, что в пределах каждого из них хорошо просматривается тенденция к значимому перераспределению радионуклида в направлении от вершины склона к его подножию.

Исходной предпосылкой при оценке миграции радионуклидов в пределах сопряженных ландшафтов служило представление о том, что в первый период после катастрофы на ЧАЭС (условно к первому периоду после катастрофы относится временной интервал с 26 апреля по 10 мая 1986 г. [3]) их пространственное распределение в пределах небольших по площади территорий было достаточно равномерным. В дальнейшем неоднородность распределения цезия-137 обусловлена, по всей вероятности, вторичными процессами перераспределения за счет горизонтального переноса в пределах элементарного ландшафта. Поэтому, усреднив активность цезия-137 в пределах сопряженного ландшафта и приняв эту величину за 100 %, получаем возможность оценить величину выноса (или аккумуляции) радионуклида в различных элементах рельефа.

В зависимости от особенностей рельефа за 100 % может быть принята также и величина активности радионуклида на вершине плоской (бессточной) гряды.

Рассмотрим это положение на конкретном примере (таблица).

На пологом склоне длиной 600 м катены 1 отчетливо выражен вынос радионуклида до середины склона. У подножия склона, представляющего собой краевую часть ложбины, миграционные процессы не выражены, и на дне ложбины вследствие процессов аккумуляции активность цезия-137 в два раза выше первоначальной и почти в три раза выше, чем на склоне. На катенах 2–6 процессы аккумуляции прослеживаются уже с 2/3–3/4 склона.

**Профильная структура распределения цезия-137 в сопряженных элементах рельефа  
элементарных ландшафтов (катен)**

| № точки          | Элемент рельефа | Цезий-137,<br>кБк/м <sup>2</sup> | %<br>к среднему<br>значению | № точки          | Элемент рельефа | Цезий-137,<br>кБк/м <sup>2</sup> | %<br>к среднему<br>значению |
|------------------|-----------------|----------------------------------|-----------------------------|------------------|-----------------|----------------------------------|-----------------------------|
| <b>Катена 1</b>  |                 |                                  |                             | <b>Катена 7</b>  |                 |                                  |                             |
| 5                | Вершина         | 814,0                            | 75,8                        | 25               | Прирусловый вал | 636,4                            | 78,5                        |
| 4                | 1/4 склона      | 740,0                            | 69                          | 26               | Заливная пойма  | 958,3                            | 120,5                       |
| 3                | 1/2 склона      | 740,0                            | 69                          | Среднее значение |                 |                                  |                             |
| 6                | Край ложбины    | 1073,0                           | 100                         | <b>Катена 8</b>  |                 |                                  |                             |
| 7                | Дно ложбины     | 2060,9                           | 192                         | Пахота, 29       | 1/3 склона      | 1520,7                           | 101,2                       |
| Среднее значение |                 |                                  |                             | Пахота, 28       | 2/3 склона      | 1679,8                           | 111,8                       |
| <b>Катена 2</b>  |                 |                                  |                             | Пахота, 27       | 3/4 склона      | 1480,0                           | 98,5                        |
| 8                | 1/3 склона      | 1024,9                           | 83                          | Пахота, 30       | Подножие склона | 1454,1                           | 96,8                        |
| 9                | 2/3 склона      | 1343,1                           | 108,7                       | 31               | Ложбина         | 1520,7                           | 101,2                       |
| 10               | Подножие        | 1350,5                           | 108,8                       | 32               | Заливная пойма  | 1365,3                           | 90,9                        |
| Среднее значение |                 |                                  |                             | Среднее значение |                 |                                  |                             |
| <b>Катена 3</b>  |                 |                                  |                             | <b>Катена 9</b>  |                 |                                  |                             |
| 13               | Вершина         | 888,0                            | 78,9                        | Пахота, 33       | 1/3 склона      | 2105,3                           | 124,4                       |
| 12               | 1/3 склона      | 995,3                            | 88,5                        | Пахота, 34       | 2/3 склона      | 1831,5                           | 110                         |
| 11               | 3/4 склона      | 1494,8                           | 132,9                       | Пахота, 35       | 3/4 склона      | 1850,0                           | 111                         |
| Среднее значение |                 |                                  |                             | 36               | Ложбина         | 1513,3                           | 90,9                        |
| <b>Катена 4</b>  |                 |                                  |                             | 37               | Пойма           | 1024,9                           | 61,5                        |
| 17               | 1/3 склона      | 592                              | 50,8                        | Среднее значение |                 |                                  |                             |
| 15               | 2/3 склона      | 1243,2                           | 106,7                       | <b>Катена 10</b> |                 |                                  |                             |
| 16               | Подножие        | 2223,7                           | 190,8                       | 38               | Вершина         | 906,5                            | 100                         |
| 14               | Заливная пойма  | 603,1                            | 51,7                        | 39               | 1/3 склона      | 1058,2                           | 116,7                       |
| Среднее значение |                 |                                  |                             | 40               | 2/3 склона      | 947,2                            | 104,5                       |
| <b>Катена 5</b>  |                 |                                  |                             | Аллювий, 41      | Пойма           | 717,8                            | 79,2                        |
| 17               | 1/3 склона      | 592,0                            | 97,6                        | Среднее значение |                 |                                  |                             |
| 18               | 2/3 склона      | 880,6                            | 145,1                       | <b>Катена 11</b> |                 |                                  |                             |
| 19               | Подножие        | 344,1                            | 56,7                        | 42               | Вершина         | 928,7                            | 61,7                        |
| Среднее значение |                 |                                  |                             | 43               | 1/3 склона      | 1591,0                           | 105,6                       |
| <b>Катена 6</b>  |                 |                                  |                             | 44               | 2/3 склона      | 1676,1                           | 111,3                       |
| 20               | Вершина         | 1428,2                           | 114,2                       | 45               | 3/4 склона      | 1724,2                           | 114,5                       |
| 22               | 1/3 склона      | 1657,6                           | 132,5                       | 46               | Подножие        | 1887,0                           | 125,3                       |
| 23               | 3/4 склона      | 1554,0                           | 124,2                       | Аллювий, 47      | Пойма           | 1228,4                           | 81,6                        |
| 24               | Пойма           | 370,0                            | 29,6                        | Среднее значение |                 |                                  |                             |
| Среднее значение |                 |                                  |                             | Среднее значение |                 |                                  |                             |
| Среднее значение |                 |                                  |                             | Среднее значение |                 |                                  |                             |

В то же время активность цезия-137 в пойменных (аллювиальных) почвах на 30–50 % ниже, чем на надпойменной террасе и водоразделе. Дело в том, что субаквальные ландшафты характеризуются аккумуляцией и транзитом химических элементов, в том числе радионуклидов, с паводковыми водами. Диффузия радионуклидов интенсивная, возможна их миграция и с мелиоративным стоком. В зависимости от преобладания аккумулятивного или элювиального процесса в этих ландшафтах наблюдается либо увеличение активности цезия-137, либо в той или иной степени выраженное отчуждение за пределы ландшафта.

1. Перельман А. И. Геохимия ландшафта. М., 1975.
2. Ландшафты Белоруссии / Под ред. Г. И. Марцинкевич, Н. К. Клицуновой. Мн., 1989.
3. Чернобыль. Радиоактивное загрязнение природных сред / Под ред. Ю. А. Израэля. Л., 1990.

Поступила в редакцию 11.03.2002.

**Элла Давидовна Шагалова** – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник ЦРКМ.

**Ольга Митрофановна Жукова** – кандидат технических наук, начальник отдела ЦРКМ.

**Мария Григорьевна Герменчук** – кандидат технических наук, заместитель начальника ЦРКМ.

**Жанна Владимировна Бакарикова** – инженер ЦРКМ.

**Виктор Петрович Романов** – кандидат географических наук, заместитель генерального директора по НИР ГП УНП «Браславские озера».

**Елена Валентиновна Квасникова** – кандидат географических наук, ведущий инженер Института глобальных проблем РАН.

### ВЛИЯНИЕ ИНТЕГРАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ НА ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАЗВИТИЕ РЕГИОНАЛЬНЫХ СОЮЗОВ

The article studies theoretical and methodological aspects of geographical research of regional integrational unions and peculiarities of spatial development of the EU as a pattern of regional union.

С активизацией региональных интеграционных процессов во второй половине XX в. актуализировались исследования по определению влияния интеграции на различные стороны межгосударственных отношений, развитие внутривосточных территориальных социально-экономических систем [1]. Наибольшее внимание было уделено экономическим и юридическим аспектам этого влияния, что связано с относительно быстрыми проявлениями воздействия интеграции на эти сферы. Социально-экономическая география приступила к исследованию региональных интеграционных процессов значительно позднее других наук, но в силу своей специфики только в рамках этой науки ведется их комплексное изучение.

Региональная интеграция, по сути, является сложным социально-экономико-географическим процессом, и эта ее сущность отражена в следующих определениях основных понятий.

*Региональная интеграция* – сближение на добровольной основе экономик, обществ и государств региона с целью формирования более эффективного геоэкономического и геополитического куммулятивного субъекта международных отношений. Понятие региональной интеграции одновременно подразумевает «и состояние, и процесс» [2]. *Региональная экономическая интеграция* – основа региональных интеграционных процессов – это экономическое взаимодействие стран региона, обладающих для этого рядом предпосылок, юридически оформленное в межгосударственных соглашениях и регулируемое межгосударственными органами управления на принципах добровольности и консенсуса в принятии решений, приводящее посредством унификации экономических условий на общей территории к углублению международного разделения труда, снижению издержек экономического характера и получению большей экономической выгоды. *Региональный интеграционный союз* – объединение нескольких участников (государств или межгосударственных организаций), представляющих не менее трех стран региона, добровольно делегирующих ряд функций суверенного государства на наднациональный уровень в соответствии с постоянно действующими базовыми договорами (уставом), предназначенное для решения общих экономических, геополитических, военных проблем и проблем в области социального и культурного развития.

Формирование и успешное развитие регионального интеграционного союза возможны лишь при высокой степени организации экономики и общества. На современном этапе наибольшую организационную эффективность показала либерально-демократическая социально-экономическая модель развития стран. Именно те страны, которые добились высокого уровня социально-экономического развития в рамках этой модели, более активны в интеграционных процессах, участвуют в наиболее развитых формах интеграции на самых высших стадиях интеграционного взаимодействия [3].

Региональные интеграционные процессы объединяют различные направления в сближении интегрирующихся стран региона. Экономическая, политическая, институциональная интеграция и унификация права, военная интеграция и другие виды интеграционного взаимодействия осуществляются и могут быть рассмотрены как отдельно, так и в контексте друг друга.



Для объективного анализа развития комплексного, по сущности, регионального союза должны применяться структурно-географический и пространственно-географический анализы указанных направлений интеграционного взаимодействия.

Комплексное географическое исследование региональной интеграции учитывает специфические повторяющиеся этапы в ее развитии – углубление и расширение. Преобладание той или иной тенденции в развитии интеграционных процессов в регионе тесно связано с историческим контекстом и степенью влияния внешних факторов.

В качестве эталона региональной экономической интеграции принято рассматривать Европейский Союз (ЕС). В соответствии с учением об уровнях интеграции, начало которого было положено Я. Вайнером, ЕС – единственное из подобного рода интеграционное объединение, достигшее уровня экономического союза в форме Экономического и валютного союза (ЭВС), что позволило накопить огромный опыт интеграционного строительства, который требует географического изучения и систематизации.

Из имеющегося интеграционного опыта ЕС можно выделить два основных блока: универсальный опыт интеграции и специфический опыт, приобретенный европейскими странами в результате сложившегося уникального исторического контекста развития объединительных процессов.

Анализ пространственного развития ЕС как наиболее успешного регионального интеграционного союза позволяет сделать несколько выводов:

1. ЕС является сложным социально-экономико-географическим образованием системного характера, развивающимся от простых форм организации к сложным с приоритетом пространственной экспансии.

2. В ЕС, благодаря достижению высокого уровня интеграционного взаимодействия (экономический союз – ЭВС), формируется единый хозяйственный комплекс с характерной центропериферической дихотомией пространственной организации.

3. Устойчивое развитие ЕС обеспечивается функционированием инфраструктурно-интеграционной сети – особого формирования, характерного для региональных интеграционных союзов.

Пространственное развитие региональных интеграционных союзов подразумевает укрупнение и усложнение территориальных экономических, социальных, политических систем, развивающихся под влиянием интеграционных процессов в регионе, и происходит в несколько этапов. Первый этап связан с началом формирования общего экономического пространства. Второй – характеризуется усложнением связей в интеграционном союзе, т. е. углублением интеграции и окончательным формированием общего экономического пространства со свободным перемещением факторов производства. Третий этап отличается дальнейшим углублением интеграции, связанным с созданием наднациональных структур и началом формирования единого политико-географического пространства, появлением признаков новой наднациональной государственности [4]. Территориальное расширение регионального союза возможно на каждом этапе, причем чем меньше объем ВВП страны, тем больше шансов у нее войти в существующую группировку. Чем раньше страна примет решение присоединиться к региональному союзу, тем больше у нее возможностей на этом пути, так как с усложнением и расширением интеграционного процесса к странам-кандидатам на вступление в региональный союз предъявляются все более высокие требования. При вступлении новых стран в региональный союз диспропорции между отдельными регионами сохраняются или даже возрастают [5]. Однако региональный союз стремится объединить все страны региона в целях повышения куммулятивной геополитической и геоэкономической значимости на международной арене. Территории с высоким уровнем соци-



ально-экономического развития или обеспеченные необходимыми природными ресурсами являются дополнительным фактором развития регионального союза.

Параллельно с пространственной экспансией в региональном интеграционном союзе постепенно формируется единый хозяйственный комплекс как результат унификации правовых и экономических условий на всей территории союза внутри внешних границ. Территориально-экономическая структура национальных государств трансформируется под воздействием интеграционного фактора. Этот процесс трансформации регулируется несколькими рычагами. В ЕС, например, либерализация движения факторов производства, с одной стороны, а с другой – местные (региональные) налоги уравнивают интересы региона и субъектов хозяйствования в отношении местоположения различных сфер деятельности [6]. К тому же региональная политика, основанная на принципе субсидиарности, дополняет процесс принятия решения о местоположении предприятий и учреждений [7]. На пространственную организацию единого хозяйственного комплекса ЕС значительное влияние оказывают факторы, связанные с переходом экономики и общества в постиндустриальную и информационную эру, а также с развитием процессов глобализации.

В структурном отношении экономическим центром ЕС являются территории наиболее развитых регионов – все регионы стран Бенилюкса, западные регионы Германии, северо-западные регионы Франции. По основным социально-экономическим показателям постиндустриального развития (рассчитанным по статистическим источникам, например [8, 9]), и относительным и абсолютным, этот фокальный район континентальной части ЕС лидирует, что определяется [10]: а) географическим положением, б) структурно-экономической важностью, в) наличием важнейших центров принятия решений. Структурно-экономическое значение преобладает при определении двух дополнительных, примыкающих к главному «центральных» районов, первый из которых представлен регионами Англии, второй – юго-восточными регионами Франции, северными регионами Италии и некоторыми регионами Австрии и южной Германии. Их особенность состоит в определенной географической обособленности от главного фокального района ЕС (так называемые морской физико-географический и швейцарский политико-географический «разрывы»). Остальные регионы ЕС являются периферийными по отношению к главному фокальному и двум глубоко интегрированным с ним, условно называемым «центральными» районами ЕС. В этой схеме присутствует и полупериферия, также определяемая по характерной совокупности показателей постиндустриального развития. (Экономико-географический анализ региональных диспропорций ЕС дан в [11–13].) Далее, на национальном уровне также прослеживается центропериферическая хозяйственно-территориальная структура, представленная столичными регионами в качестве центра и нестоличными – в качестве периферии [14]. На локальном уровне структура та же. Эмпирически трудно опровергнуть наличие тенденции к сохранению центропериферической дихотомии хозяйственно-территориальной структуры регионального интеграционного союза на современном этапе развития.

Активное формирование и успешное функционирование единого хозяйственного комплекса ЕС во многом обусловлены наличием развитой инфраструктурно-интеграционной сети регионального союза. Инфраструктурно-интеграционная сеть (ИИС) представляет собой сложное многоуровневое территориальное образование комплексного характера.

ИИС базируется на производственной и транспортной инфраструктуре региона, сложившейся в так называемую индустриальную эпоху развития экономики. Формально базой развития ИИС является традиционное хозяй-

ство стран региона с его устоявшимися производственными, транспортными и другими связями. Формирование ИИС происходит с установлением новых по типу связей в условиях постиндустриального развития и активизации межстранового обмена в интеграционном взаимодействии. Новые связи, необходимые для интеграционного взаимодействия стран, и новые виды инфраструктуры, обеспечивающие эти связи, и являются определяющими факторами выделения специфического образования ИИС. К новым связям можно отнести формирование связей региональных транснациональных корпораций (ТНК) и межнациональных отраслевых организаций региона, что обусловлено активным применением новых форм организации производства и потребления, а к видам инфраструктуры – новые линейные и безлинейные способы передачи вещества, энергии и информации (Интернет, сотовый роуминг и многое другое).

Важную роль в ИИС играет региональная управленческая и представительско-информационная инфраструктурная сеть регионального интеграционного объединения, обеспечивающая его функционирование. Сопреженное функционирование различного вида инфраструктурных сетей ведет к образованию комплекса или системы связей, обеспечивающих существование и развитие региональных интеграционных объединений, следовательно, ИИС реальна.

Данная сеть начинает свое развитие задолго до формирования регионального интеграционного союза, но является его главным атрибутом. Другими словами, региональный интеграционный союз возникает благодаря наличию достаточно развитой ИИС, способной обеспечить его функционирование.

В ЕС управленческая и представительско-информационная сеть центральных, региональных и местных органов тесно взаимосвязана с инфраструктурными сетями, которые обеспечивают промышленность, сельское хозяйство и нематериальную сферу посредством создания, функционирования автоматизированных баз данных в системе Европейского информационного пространства [15], дающего доступ к производственной и бизнес-информации. Таким образом, инфраструктурно-интеграционная сеть является связующим системным образованием, влияющим на материальное производство и нематериальную сферу в условиях единого рынка.

Географические особенности ИИС характеризуются вертикальной многоуровневой и горизонтальной узловой линейно-точечной структурой, плотностью объектов инфраструктурно-интеграционной сети и степенью коннекционности, отражающей совокупный объем вещества, энергии и информации, принимаемый на определенной территории. Безусловно, наиболее развита ИИС в пределах центральных регионов ЕС – Европейского мегаполиса.

Основной характеристикой ИИС следует считать сохранение тенденции к усилению степени коннекционности на наднациональном уровне, главной функцией – поддержание стабильного развития и безопасности регионального интеграционного союза. Развитие сети регионального интеграционного союза во многом определяет эффективность социально-экономической интеграции в регионе.

Комплексные географические исследования региональных интеграционных объединений позволяют сформировать целостное восприятие процесса региональной интеграции, познать общие закономерности его развития и пространственной организации для дальнейшего моделирования и управления этим сложным процессом с целью скорейшего получения положительных статических и динамических эффектов интеграции.

1. ESDP: European Spatial Development Perspective. Luxembourg, 1999. P. 81.
2. Kohler-Koch B., Schmidberger M. // Lexikon der Politik. 1996. Vol. 5. S. 73.

3. Антипова Е.А., Скуратович В.А. Региональная экономическая интеграция (справочно-аналитический материал). Для студентов специальности Н.05.01.00 – география. Мн., 2000.
4. Шишков Ю. // Заглядывая в XXI век: Европейский Союз и Содружество Независимых Государств. М., 1998. С. 83.
5. Weise C.H. // Vierteljahrsh. zur Wirtschaftsforschung, 1995. H. 2. S. 226.
6. Буссоль Д. // Европейская интеграция: современное состояние и перспективы / Науч. ред. С.И. Паньковский. Мн., 2001. С. 43.
7. Бусыгина И.М. // Региональная политика Европейского Союза и возможности использования ее опыта для России. М., 1995. ДЕИ № 17.
8. Six Periodic Report on the Social and Economic Situation and Development of the Regions of the European Union. Luxembourg, 1999.
9. Regions 1996: Statistical Yearbook. Luxembourg, 1997.
10. Родоман Б.Б. Территориальные ареалы и сети. Очерки теоретической географии. Смоленск, 1999. С. 18.
11. Зайцев С.Н. // Европейский Союз: история, политика, экономика, право: Междунар. науч.-практ. конф. (Минск, 17–18 дек. 1997 г.). Мн., 1998. С. 25.
12. Зайцев С.Н. // Проблемы региональной политики и регионального анализа: IV Всерос. науч. семинар. Смоленск, 2000. С. 74.
13. Зайцев С.Н. // Территориальная дифференциация и регионализация в современном мире: Сб. науч. ст. Смоленск, 2001. С. 132.
14. Бусыгина И. М. // Евро. 1999. № 4. С. 11.
15. Журкин В.В., Максимычев И.Ф., Машлыкин В.Г., Шишков Ю.В. // Европа в многополярном мире. М., 2000. Докл. № 66. С. 77.

Поступила в редакцию 10.06.2002.

**Сергей Николаевич Зайцев** – старший преподаватель кафедры экономической географии зарубежных стран.

УДК 577.486:627 (476)

А.И. ЗАРУБОВ

### СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ЗООПЕРИФИТОННОГО СООБЩЕСТВА В ПАРКОВОМ ВОДОЕМЕ (НА ПРИМЕРЕ КОМСОМОЛЬСКОГО ОЗЕРА г. МИНСКА)

The seasonal dynamics of zooperiphyton communities in park-waters of Minsk were considered. The list of main zooperiphyton groups was done. A species diversity in seasonal aspects was adduced. A numbers of zooperiphyton on dominating macrophytes for each season (ind./cm<sup>2</sup> and ind./mg dry weight of macrophytes) were calculated.

Создание каскада водохранилищ на всем протяжении р. Свислочь в пределах Минска и ближайшем пригороде (Заславское, Крыница, Дрозды, Комсомольское, Чижовское) и переброска воды из Вилии по Вилейско-Минской водной системе значительно повлияли на ее гидробиологический режим, превратив реку в систему небольших водоемов с незначительным течением и мощными процессами осадконакопления. К тому же весьма значительно возросла рекреационная нагрузка на эти водоемы.

Для исследования сезонной динамики зооперифитонного сообщества в качестве тест-водоема по ряду причин было выбрано Комсомольское озеро. Прежде всего оно является первым искусственным водоемом на р. Свислочь и на него в летний период приходится максимальная рекреационная нагрузка, поскольку оно находится в центре г. Минска.

Комсомольское озеро было заложено в 1941 г. для водного благоустройства города и рекреации. Его площадь вместе с островами не превышает 0,4 км<sup>2</sup> при длине 1,5 км и максимальной ширине 0,4 км. Озеро мелководное (преобладающая глубина 1–2 м, максимальная – 4,5 м в приплотинной части) и слабопроточное [1]. Постоянный антропогенный пресс является причиной сильной эвтрофикации, что привело к значительному заилению донных отложений (до 0,5 м) и полному зарастанию дна водоема макрофитами в вегетационный период.

Такая ситуация не могла не сказаться на количественных показателях развития гидробионтов, поскольку живые организмы в первую очередь реагируют на изменение условий существования. В последние годы возрос интерес к экологическому состоянию городских парковых водоемов, особенно к их биологической составляющей, которая представлена преимущественно нектоном, планктоном, бентосом и перифитоном. Большинство работ относится к исследованию зоопланктона, его структуры и динамики [2, 3].

Цель данной статьи – проследить сезонную динамику зооперифитонного сообщества в Комсомольском озере на доминирующих видах высшей водной растительности.

#### Материал и методика

Исследование проводилось с мая 1997 по май 1998 г. с интервалом отбора проб от 5 (вегетационный период) до 14 (осенний и весенний периоды) дней. Тест-объектами служили доминирующие виды высшей водной растительности (ВВР) в искусственных водоемах на р. Свислочь в пределах городской черты: манник большой (*Glyceria maxima* (C. Hartm.) Holub) и манник наплывающий (*Glyceria fluitans* (L.) R. Br.), рдест блестящий (*Potamogeton lucens* L.) и шелковник жестколистный (*Batrachium circinatum* (Sibth.) Spach). Подводные фрагменты этих растений осторожно срезались и помещались в полиэтиленовый пакет, чтобы сохранить образовавшуюся на них эпифитную составляющую. Каждый образец фиксировался раствором формалина, концентрация которого в пробе составляла 2–4 %.

В лабораторных условиях эпифиты при помощи кисточки отделялись с поверхности листьев и стеблей и помещались в стеклянную емкость. Площадь поверхности листьев манника и рдеста измерялась линейкой; листья шелковника укладывались на миллиметровую бумагу и по ней определялась их площадь. Фрагменты стебля принимались за соответствующие им геометрические фигуры – цилиндры, площадь которых высчитывалась, исходя из диаметра и длины. Затем образцы высушивались при температуре 60 °С и измерялся их вес.

Камеральная обработка проб включала идентификацию и тотальный подсчет водных беспозвоночных, которые затем были соотнесены к площади листьев и стеблей (экз./см<sup>2</sup>) и сухому весу ВВР (экз./мг сух. ВВР). Идентификация коловраток проводилась по определителю Л.А. Кутиковой [4], ветвистоусых ракообразных – по определителю Е.Т. Мануйловой [5], веслоногих ракообразных – по определителю В.И. Монченко [6], олигохет и хиромид – по «Определителю водных беспозвоночных России и сопредельных территорий» [7].

Полученный материал статистически обрабатывался с помощью стандартных компьютерных программ.

#### Результаты и их обсуждение

Перифитон, по А.А. Протасову [8], представляет собой экологическую группировку гидробионтов, обитающих на разделе фаз вода – твердый субстрат природного или антропогенного происхождения. Он обладает высокой информативной емкостью, отражающей физико-химические и биологические процессы, происходящие в водоеме в определенном месте и в определенное время. Структурно-функциональные временные изменения имеют разнообразный характер: в динамике зооперифитона можно выделить циклические (повторяющиеся) и поступательные (необратимые) изменения. Последние уже можно квалифицировать как сукцессивный процесс.

В зооперифитонном сообществе в течение года прослеживается динамика не только количественных показателей (численность и биомасса), но и качественных (изменение видового состава).

В Комсомольском озере было установлено 136 таксонов водных беспозвоночных, из которых коловратки составляли 65 видов, ветвистоусые ра-

# География

кообразные – 20, малощетинковые черви – 11, хирономиды – 20 и другие беспозвоночные – 20 (табл. 1). Высокое видовое разнообразие организмов зооперифитона определяется прежде всего многочисленными проявлениями специфики системы взаимосвязей между водой и твердым субстратом, антропогенными факторами и биотическими связями на уровне сообществ и популяций.

Таблица 1

## Таксономический состав зооперифитона Комсомольского озера

| Таксоны                                            | G. m. | G. f. | P. l. | B. c. |
|----------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| 1                                                  | 2     | 3     | 4     | 5     |
| <b>Rotifera</b>                                    |       |       |       |       |
| <i>Ascomorpha ecaudis</i> Perty, 1850              | +     | +     | +     | +     |
| <i>Asplanchna priodonta</i> Gosse, 1850            | +     | –     | +     | +     |
| <i>Bdelloida</i>                                   | +     | +     | +     | +     |
| <i>Brachionus angularis</i> Gosse, 1851            | –     | –     | –     | +     |
| <i>Brachionus calyciflorus spinosus</i> Wierzejski | –     | –     | +     | +     |
| <i>Brachionus nilsoni</i> Ahlstrom, 1940           | +     | +     | –     | –     |
| <i>Brachionus variabilis</i> Hempel, 1896          | –     | +     | –     | –     |
| <i>Brachionus quadridentatus</i> Hermann, 1783     | +     | –     | +     | +     |
| <i>Cephalodella catellina</i> (Muller, 1786)       | –     | +     | –     | –     |
| <i>Cephalodella gibba</i> (Ehrenberg, 1832)        | +     | +     | +     | +     |
| <i>Cephalodella hoodi</i> (Gosse, 1886)            | –     | –     | +     | +     |
| <i>Cephalodella ventripes</i> Dixon-Nutalli, 1901  | +     | –     | –     | +     |
| <i>Cephalodella</i> sp.                            | +     | +     | +     | +     |
| <i>Chromogaster ovalis</i> Bergendal, 1892         | +     | –     | –     | –     |
| <i>Collotheca</i> sp.                              | +     | +     | +     | +     |
| <i>Colurella colurus</i> (Ehrenberg, 1830)         | +     | –     | –     | –     |
| <i>Colurella obtusa</i> (Gosse, 1886)              | +     | +     | +     | +     |
| <i>Conochilus unicornis</i> Rousselet, 1892        | +     | +     | +     | +     |
| <i>Dicranophorus forcipatus</i> (Muller, 1786)     | +     | +     | –     | –     |
| <i>Dissotrocha aculeata</i> (Ehrenberg, 1832)      | +     | +     | +     | –     |
| <i>Enicentrum</i> sp.                              | –     | –     | +     | +     |
| <i>Gastropus stylifer</i> Imhof, 1891              | +     | +     | –     | +     |
| <i>Epiphanes senta</i> (Muller, 1773)              | +     | –     | –     | –     |
| <i>Euchlanis dilatata</i> Ehrenberg, 1832          | +     | +     | +     | +     |
| <i>Filinia longiseta</i> (Ehrenberg, 1834)         | –     | +     | –     | –     |
| <i>Kellicottia longispina</i> (Kellicott, 1879)    | –     | +     | –     | –     |
| <i>Keratella cochlearis</i> (Gosse, 1851)          | +     | +     | +     | +     |
| <i>K. c. robusta</i> (Gosse, 1851)                 | +     | –     | +     | –     |
| <i>K.c. tecta</i> (Gosse, 1851)                    | –     | +     | –     | –     |
| <i>Keratella quadrata</i> (Muller, 1786)           | +     | +     | +     | +     |
| <i>Lecane bulla</i> (Gosse, 1886)                  | –     | +     | +     | +     |
| <i>Lecane closterocerca</i> (Schmarda, 1859)       | +     | +     | +     | +     |
| <i>Lecane hamata</i> Stokew, 1896                  | +     | –     | +     | –     |
| <i>Lecane luna</i> (Muller, 1776)                  | +     | –     | +     | +     |
| <i>Lecane lunaris</i> (Ehrenberg, 1832)            | +     | +     | +     | +     |
| <i>Lecane</i> sp.                                  | –     | –     | +     | –     |
| <i>Lepadella patella</i> (Muller, 1786)            | +     | +     | +     | +     |
| <i>Lepadella ovalis</i> (Muller, 1786)             | +     | +     | +     | +     |
| <i>Monommata</i> sp.                               | –     | +     | +     | +     |
| <i>Mytilina mucronata</i> (Muller, 1773)           | +     | +     | +     | +     |
| <i>Notholca acuminata</i> (Ehrenberg, 1832)        | +     | +     | –     | +     |
| <i>Notholca caudata</i> Carlin, 1943               | –     | –     | +     | –     |
| <i>Notholca squamula</i> (Muller, 1786)            | •     | +     | –     | –     |
| <i>Notommata</i> sp.                               | +     | +     | –     | –     |
| <i>Philodina</i> sp.                               | +     | –     | –     | –     |
| <i>Polyarthra dolychoptera</i> Idelson, 1925       | +     | +     | –     | –     |
| <i>Polyarthra vulgaris</i> Carlin, 1943            | –     | +     | –     | +     |
| <i>Polyarthra</i> sp.                              | –     | –     | –     | +     |
| <i>Proales cryptopus</i> Wulfert, 1935             | –     | –     | +     | –     |
| <i>Proales sordida</i> Gosse, 1886                 | –     | –     | –     | +     |
| <i>Proales</i> sp.                                 | +     | +     | –     | –     |
| <i>Rotaria neptunia</i> (Ehrenberg, 1832)          | –     | –     | –     | +     |
| <i>Rotaria rotatoria</i> (Pallas, 1776)            | +     | +     | +     | +     |
| <i>Rotaria</i> sp.                                 | –     | +     | –     | –     |
| <i>Scandium longicaudum</i> (Muller, 1786)         | +     | +     | +     | +     |



| 1                                                 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---------------------------------------------------|---|---|---|---|
| <i>Stephanoceros fimbriatus</i> (Goldfuss, 1820)  | + | + | + | + |
| <i>Synchaeta oblonga</i> Ehrenberg, 1831          | + | + | — | + |
| <i>Synchaeta pectinata</i> Ehrenberg, 1832        | + | — | — | — |
| <i>Synchaeta</i> sp.                              | + | + | + | + |
| <i>Testudinella patina</i> (Hermann, 1783)        | + | + | + | + |
| <i>Trichocerca cylindrica</i> (Imhof, 1891)       | + | + | + | + |
| <i>Trichocerca elongata</i> (Gosse, 1886)         | — | — | — | + |
| <i>Trichocerca</i> sp.                            | + | + | + | + |
| <i>Trichotria pocillum</i> (Muller, 1776)         | + | + | + | + |
| <i>Trichotria truncata</i> (Whitelegge, 1889)     | + | — | — | — |
| <b>Cladocera</b>                                  |   |   |   |   |
| <i>Acroperus harpae</i> (Baird, 1837)             | + | + | — | + |
| <i>Alona costata</i> Sars, 1862                   | + | + | + | + |
| <i>Alona guttata</i> Sars, 1862                   | — | + | — | — |
| <i>Alona quadrangularis</i> (Muller, 1785)        | + | — | — | — |
| <i>Alonopsis elongata</i> (Sars, 1862)            | + | + | + | + |
| <i>Bosmina longirostris</i> (Muller, 1785)        | + | + | + | + |
| <i>Ceriodaphnia affinis</i> Lilljeborg, 1900      | + | + | + | + |
| <i>Chydorus ovalis</i> (Kurz, 1874)               | + | + | + | + |
| <i>Chydorus sphaericus</i> (Muller, 1785)         | + | + | + | + |
| <i>Daphnia cucullata</i> Sars, 1862               | — | + | — | — |
| <i>Diaphanosoma brachyurum</i> (Lievin, 1848)     | + | + | + | + |
| <i>Graptoleberis testudinaria</i> (Fischer, 1848) | + | + | + | + |
| <i>Peracantha truncata</i> Baird, 1843            | + | + | — | + |
| <i>Pleuroxus aduncus</i> (Jurine, 1820)           | — | — | + | + |
| <i>Pleuroxus striatus</i> Schoedler, 1863         | + | + | — | — |
| <i>Rhynchotalona rostrata</i> (Koch, 1841)        | — | + | — | — |
| <i>Scapholeberis mucronata</i> (Muller, 1783)     | + | + | — | + |
| <i>Sida crystallina</i> (O.F. Muller, 1776)       | — | — | + | — |
| <i>Simocephalus serrulatus</i> (Koch, 1841)       | — | — | + | — |
| <i>Simocephalus vetulus</i> (Muller, 1776)        | + | — | — | + |
| <b>Oligochaeta</b>                                |   |   |   |   |
| <i>Aeolosoma</i> sp.                              | + | — | — | — |
| <i>Chaetogaster limnaei</i> Baer, 1827            | + | + | + | + |
| <i>Chaetogaster</i> sp.                           | + | + | + | — |
| <i>Naididae</i>                                   | + | + | — | — |
| <i>Ophidonais serpentina</i>                      | — | + | — | — |
| <i>Ophidonais</i> sp.                             | + | + | — | — |
| <i>Slavina appendiculata</i> (d'Udekem, 1855)     | + | + | + | + |
| <i>Slavina</i> sp.                                | + | + | — | + |
| <i>Stylaria lacustris</i> (Linnaeus, 1767)        | + | + | + | + |
| <i>Stylaria</i> sp.                               | + | — | — | — |
| <b>Прочие Oligochaeta</b>                         | + | + | + | + |
| <b>Chironomida</b>                                |   |   |   |   |
| <i>Corynoneura celeripes</i> Winner, 1846         | + | — | — | — |
| <i>Cricotopus syvestris</i> (Muller, 1794)        | + | + | + | + |
| <i>Endochironomus albipennis</i> (Meigen, 1830)   | + | — | — | — |
| <i>Endochironomus dispar</i> (Meigen, 1830)       | — | + | — | — |
| <i>Endochironomus tendens</i> Fabricius, 1794     | + | + | + | + |
| <i>Glyptotendipes gnepkoveni</i> Kieffer, 1913    | + | + | + | + |
| <i>Limnochironomus nervosus</i> (Staeger, 1839)   | — | + | — | — |
| <i>Limnochironomus tritonus</i> (Kieffer, 1916)   | + | + | + | + |
| <i>Orthocladius macrocera</i> Kieffer, 1919       | + | — | + | — |
| <i>Orthocladius triquetra</i> Tshernovskij, 1949  | — | — | + | — |
| <i>Paratanytarsus lauterborni</i> (Kieffer, 1924) | + | + | + | + |
| <i>Pentapedilum exsectum</i> (Kieffer, 1911)      | — | — | + | — |
| <i>Polypedilum convictum</i> (Walker, 1856)       | + | + | + | + |
| <i>Polypedilum</i> sp.                            | — | — | — | + |
| <i>Stempellina bausei</i> (Kieffer, 1911)         | — | + | + | — |
| <i>Tanytarsus mancus</i> (Walker, 1856)           | — | + | + | — |
| <i>Tanytarsus</i> sp.                             | — | — | + | — |
| <i>Tendipedini macrophthalma</i> Tshernovskij     | — | + | — | — |
| <i>Thienemanniella flaviforceps</i> Kieffer, 1909 | + | + | + | + |
| <i>Thienemanniella</i> sp.                        | + | + | + | + |
| <b>Прочие</b>                                     |   |   |   |   |
| <i>Ostracoda</i>                                  | + | + | + | + |
| <i>Copepoda</i>                                   | + | + | + | + |

# География

| 1                                 | Окончание |   |   |   |
|-----------------------------------|-----------|---|---|---|
|                                   | 2         | 3 | 4 | 5 |
| <i>Harpacticoida</i>              | +         | + | — | — |
| <i>Nematoda</i>                   | +         | + | + | + |
| <i>Hirudinea</i>                  | +         | + | — | — |
| Другие <i>Insecta</i>             | +         | + | + | + |
| <i>Odonata</i>                    | —         | + | — | — |
| <i>Trichoptera</i>                | —         | + | — | — |
| <i>Plecoptera</i>                 | —         | + | + | + |
| <i>Valvata cristata</i>           | —         | — | + | — |
| <i>Valvata sp.</i>                | +         | + | — | + |
| <i>Limnaea intermedia</i>         | —         | + | + | + |
| <i>Osmylus chrysops (Insecta)</i> | +         | — | + | — |
| <i>Hydra sp.</i>                  | +         | + | + | + |
| Паукообразные                     | +         | + | — | + |
| <i>Gammarus sp.</i>               | +         | + | — | — |
| Клещи                             | +         | + | + | + |
| <i>Ceratopogonida</i>             | +         | + | + | + |
| <i>Ephemeroptera</i>              | +         | + | + | + |
| <i>Tardigrada</i>                 | +         | + | — | + |

Примечание. Здесь и в табл. 2, 3: *G. m.* — манник большой; *G. f.* — манник наплывающий; *P. l.* — рдест блестящий; *B. c.* — шелковник жестколистный.

Количество видов и варьететов зооперифитона существенно меняется в течение года в зависимости от вида ВВР (табл. 2). Доминирующими по численности группами являются *Rotifera*, *Cladocera*, *Chironomida*, *Oligochaeta* и *Copepoda*. Среди коловраток доминируют *Euchlanis dilatata*, *Lepadella ovalis*, *Mytilina mucronata*, *Testudinella patina* и представители отряда *Bdelloidea*; среди веслоногих рачков — *Chydorus ovalis*. Олигохеты представлены такими видами, как *Chaetogaster limnaei*, *Slavina appendiculata* и *Stylaria lacustris*. Из хирономид преобладают *Limnochironomus tritonus*, *Polypedilum convictum*, *Cricotopus silvestris* и *Glyptotendipes gripecoveni* [9].

Таблица 2

Видовое разнообразие зооперифитона на ВВР в парковых водоемах г. Минска в различные гидрологические сезоны года

| Вид макрофита | Месяцы, средняя температура, °С |            |            |                       |                     |                    |                  |
|---------------|---------------------------------|------------|------------|-----------------------|---------------------|--------------------|------------------|
|               | Май, 15,2                       | Июнь, 17,5 | Июль, 23,0 | Сентябрь–октябрь, 7,5 | Ноябрь–февраль, 1,5 | Начало апреля, 2,8 | Апрель–май, 11,1 |
| <i>G. m.</i>  | 48                              | 44         | 35         | 34                    | 21                  | 15                 | 42               |
| <i>G. f.</i>  | 47                              | 49         | 34         | 33                    | 20                  | 21                 | 26               |
| <i>P. l.</i>  | 19                              | 49         | 40         | 29                    | 10                  | —                  | 30               |
| <i>B. c.</i>  | 22                              | 52         | 40         | 8                     | —                   | —                  | 35               |

Довольно стабильное видовое разнообразие в течение всего года характерно для сообществ, заселяющих манник большой и манник наплывающий. В зимний период, когда происходит отмирание вегетативных частей практически всей ВВР, эти макрофиты остаются жизнеспособными, вследствие чего на них концентрируется перифитонное население водоемов. Рдест блестящий и шелковник жестколистный в это время выпадают из состава флоры водоемов и вновь появляются только в апреле, что отражается и на динамике видового богатства зооперифитона. Однако летом (июнь — июль) происходит выравнивание видового разнообразия на всех 4 доминирующих видах ВВР. Как правило, богатство видов выше на старых листьях макрофитов, чем на молодых, вероятно, вследствие их токсичности.

Общая численность зооперифитона не испытывала резких колебаний в течение вегетационного сезона (манник наплывающий — 0,92–6,79 экз./см<sup>2</sup>; рдест блестящий — 0,9–6,75 экз./см<sup>2</sup>) и значительно снижалась только зимой (манник большой и манник наплывающий — 0,11 и 0,2 экз./см<sup>2</sup> соответственно) (табл. 3).

Таблица 3

**Годовая динамика численности зооперифитона на доминирующих видах макрофитов в парковых водоемах г. Минска**

| Вид макрофита                    | Месяцы, средняя температура, °С |                   |                   |                                  |                                |                          |                             |
|----------------------------------|---------------------------------|-------------------|-------------------|----------------------------------|--------------------------------|--------------------------|-----------------------------|
|                                  | Май,<br>15,2±2,4                | Июнь,<br>17,5±3,1 | Июль,<br>23,0±4,0 | Сентябрь–<br>октябрь,<br>7,5±5,1 | Ноябрь–<br>февраль,<br>1,5±2,6 | Начало<br>апреля,<br>2,8 | Апрель–<br>май,<br>11,1±2,8 |
| <i>G. m.</i> , $N_1$<br>$\sigma$ | 2,50±<br>1,624                  | 4,49±<br>1,640    | 2,32±<br>2,125    | 1,92±<br>2,080                   | 1,04±<br>0,724                 | 2,38                     | 22,60±<br>13,600            |
|                                  | 220,56±                         | 270,25±           | 566,76±           | 374,37±                          | 140,53±                        | 632,2                    | 4619,23±                    |
|                                  | 67,356                          | 401,0             | 452,76            | 571,38                           | 191,67                         |                          | 3667,24                     |
| <i>G. f.</i> , $N_1$<br>$\sigma$ | 3,48±<br>1,416                  | 4,11±<br>1,793    | 3,82±<br>2,543    | 1,57±<br>1,141                   | 0,73±<br>0,465                 | 1,76                     | 21,06±<br>10,969            |
|                                  | 859,81±                         | 666,31±           | 346,75±           | 227,58±                          | 117,03±                        | 375,8                    | 5720,77±                    |
|                                  | 376,17                          | 265,22            | 178,62            | 100,47                           | 71,08                          |                          | 2973,91                     |
| <i>P. l.</i> , $N_1$<br>$\sigma$ | 6,19                            | 4,80±<br>1,405    | 2,71±<br>2,218    | 1,80±<br>1,020                   | 1,82±<br>0,185                 | –                        | 10,37                       |
|                                  | 3215,05                         | 2611,90±          | 1042,61±          | 598,24±                          | 433,52±                        | –                        | 4710,2                      |
|                                  |                                 | 620,52            | 878,42            | 440,46                           | 215,97                         |                          |                             |
| <i>B. c.</i> , $N_1$<br>$\sigma$ | 13,56                           | 20,46±            | 8,84±             | 2,89                             | –                              | –                        | 43,44                       |
|                                  |                                 | 5,892             | 1,222             |                                  |                                |                          |                             |
|                                  | 2415,84                         | 3094,83±          | 1370,31±          | 295,45                           | –                              | –                        | 13008,4                     |
|                                  |                                 | 1095,70           | 812,26            |                                  |                                |                          |                             |

Примечание.  $N_1$  – экз./см<sup>2</sup> и  $N_2$  – экз./мг сух. ВВР.

Сезонная динамика биомассы зооперифитона колеблется в широком диапазоне значений: манник большой – 0,007–1,48 мг/см<sup>2</sup>; манник наплывающий – 0,16–4,73 мг/см<sup>2</sup>; рдест блестящий – 0,03–3,72 мг/см<sup>2</sup> и шелковник жестколистный – 0,29–3,4 мг/см<sup>2</sup> [9].

Различия в достижении максимальной биомассы (мг/см<sup>2</sup>) прослеживаются в ряду: манник большой (конец апреля – май и конец сентября) → рдест блестящий (вторая половина мая) → шелковник жестколистный (начало июня) → манник наплывающий (октябрь – ноябрь и май). Вероятно, период оптимального развития зооперифитона связан с биологическими особенностями растения-хозяина. Пик биомассы зооперифитона в весенний период на маннике большом связан с тем, что этот вид макрофитов сохраняет зимой вегетативные части и поэтому ранее других водных растений начинает вегетацию.

Таким образом, видовое разнообразие зооперифитона городских парковых водоемов не претерпевает значительной структурной перестройки в сезонном аспекте, как это происходит в планктонных сообществах.

1. Блакітная кніга Беларусі. Мн., 1994.
2. Камлюк Л.В., Семенюк Г.А., Еремова Н.Г. // Вестн. Белорус. ун-та. Сер. 2. 2002. № 1. С. 40.
3. Кошан Н.А. // Разнообразие животного мира Беларуси: итоги изучения и перспективы сохранения. Мн., 2001. С. 18.
4. Кутикова Л.А. // Коловратки фауны СССР. Л., 1970.
5. Мануйлова Е.Т. // Ветвистоусые рачки фауны СССР. М.; Л., 1964.
6. Монченко В.И. // Фауна Украины. Т. 27. Cyclopidae. Киев, 1974.
7. Определитель водных беспозвоночных России и сопредельных территорий / Под ред. С.Я. Цалопихина. Л., 1994. Т. 1; 1999. Т. 4.
8. Протасов А.А. Пресноводный перифитон. Киев, 1994.
9. Зарубов А.И. // Проблемы ландшафтной экологии животных и сохранения биоразнообразия. Мн., 1999. С. 77.

Поступила в редакцию 05.07.2002.

**Александр Иванович Зарубов** – кандидат биологических наук, доцент кафедры географической экологии географического факультета.

## ВОЗМОЖНОСТИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ ПРИ ПРЕПОДАВАНИИ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ДИСЦИПЛИН

In the article possibilities of telecommunications when teaching geographical discipline are discussed. Shown by Intranet, Internet, multimedia a facility for geographers.

В период развития новых информационных технологий (глобальные сетевые ресурсы, мультимедийные средства передачи изображений и звуков, беспроводные технологии и т. д.) условия преподавания дисциплин переходят на качественно иной уровень. Доступность через среду Internet свободно распространяемых работоспособных программных средств, различных информационных источников (текст, таблицы и базы данных, изображения и др.) и информационных ресурсов (библиотеки, периодические издания, архивы и др.) увеличивает как объем поступающей информации, так и возможности ее предоставления.

Опыт использования информационных технологий на географическом факультете БГУ показывает высокую эффективность усвоения знаний при визуализации информации. Необходимо отметить, что к настоящему времени аппаратное и программное обеспечение факультета достаточно подготовлено для использования информационных технологий в учебном процессе. Географический факультет располагает двумя учебными компьютерными классами (17 единиц персональных компьютеров, объединенных в локальную сеть факультета, университета, Internet), сканерами, мультимедийным проектором, лицензионным программным обеспечением по географическим информационным системам ArcView 3.2 и ArcInfo 8.0.2. Два преподавателя являются сертифицированными пользователями ГИС-продуктов фирмы ESRI Inc. (Redlands, USA).

**Intranet – сеть географического факультета.** С использованием локальной Intranet – сети географического факультета – в преподавании дисциплин «Введение в специальность», «Аппаратно-программные средства ГИС», «Оценка земель и недвижимости» выполняется установка учебного программного обеспечения, размещение и проверка заданий для лабораторных работ, контрольных тестов, методических разработок. Сетевой доступ к общим сканерам и принтерам учебного класса компенсирует недостаток персональных технических средств как для студентов, так и для сотрудников. Локальная сеть факультета активно используется при подготовке курсовых и дипломных работ для предоставления регламентированного доступа к информационным ресурсам компьютера преподавателя, в котором размещаются крупные учебные проекты по электронным атласам, учебным презентациям.

**Сеть Internet (Интернет).** Учебные места студентов, рабочие места преподавателей и сотрудников факультета оборудованы круглосуточным доступом в сеть Internet. В учебном процессе сайты Internet обеспечивают связь в on-line-режиме с библиотечными каталогами Республики Беларусь, например библиотеки БГУ (<http://libr.bsu.by>), Национальной библиотеки Республики Беларусь (<http://natlib.org.by>), Республиканской научно-технической библиотеки (<http://rntb.org.by>), Белорусской сельскохозяйственной библиотеки (<http://www.belal.minsk.by>), а также библиотек России, мира. Электронные библиотечные ресурсы позволяют оперативно получать информацию по нормативным документам географических дисциплин (методики, стандарты и др.), юридическим базам данных с возможностью снятия копий кодексов, законов, подзаконных актов и т. д. Для получения учебной и мето-

дической литературы преподавателями выполняется заказ через книжные Интернет-магазины (<http://rodina.by> и др.).

Современная сеть Internet (особенно ее англоязычный сектор) располагает большими информационными ресурсами по географическим дисциплинам [1]. В ней широко представлены сайты по цифровым коллекциям карт (<http://hcl.harvard.edu>), географическим координатам объектов (<http://www.waypoint.org>), web-атласам (<http://www.gisca.adelaide.edu.au>), распространяемым космоснимкам (<http://www.spotimage.fr>), электронным картам городов, стран и регионов (<http://www.maps.com>). Международная сеть достаточно наполнена и своевременно актуализируется свободно распространяемыми специальными программными продуктами для географов (<http://www.geocomm.com>) по обработке и представлению географической информации. Активное использование географических информационных систем (ГИС) в практике вызвало появление многочисленных сайтов по виртуальным ГИС-курсам (<http://campus.esri.com>), обеспечению технической поддержки ГИС-специалистов в on-line-режиме (<http://www.dataplus.ru>), электронным версиям ГИС-журналов и газет (например, ArcReview на сайте [www.dataplus.ru](http://www.dataplus.ru)). В сети активно проводятся форумы, телеконференции по проблемам географии, размещается информация о конференциях и семинарах (<http://gisa2.gubkin.ru/>). Общение со специалистами-коллегами в режиме реального времени осуществляется также по электронной почте с поддержкой программного обеспечения ICQ.

**Мультимедия.** Развитие и доступность мультимедийных технологий вызвали активный рост создания и появления на рынке программных продуктов мультимедийных географических атласов с речевым сопровождением, двух- и трехмерной графикой, интерактивной навигацией. В образовательном процессе на географическом факультете специальные занятия посвящены представлению и демонстрации с использованием ГИС ArcView 3.2 таких крупных геоинформационных проектов, как комплексный электронный атлас «Наша земля», который разработан под руководством академика А.А. Лютого (Россия) и Дж. Данджермонда (ESRI Inc., USA) [2], геоинформационная система Балтийского региона (BUGIS), выполненная в рамках международной программы «Балтийский университет» [3]. С использованием мультимедийных технологий студентам подробно демонстрируются электронные отчеты с картографическим материалом, представленные в среде Acrobat Reader 4.0, по материалам атласа загрязнения Европы цезием-137 после аварии на ЧАЭС [4].

Соответственно наблюдающаяся тенденция к снижению стоимости матриц лазерных дисков, записывающих CD-RW-приводов делает возможным создание и использование преподавателем собственных мультимедийных продуктов для учебного процесса (учебные презентации, мультимедийные атласы, учебники и т. д.). Так, для студентов, получающих образование географов со знанием геоинформационных технологий, при преподавании специальных дисциплин подготовлены мультимедийные презентации по темам «Введение в ГИС», «Цифровая картография», «Компьютерная графика» [5].

Студенты имеют возможность знакомиться с электронными учебниками, созданными в научных центрах России, например, по основам геоинформационных технологий, с электронными учебниками Пущинского специализированного центра новых информационных технологий «Основы геоинформатики и ГИС-технологий (краткий лекционный курс)», электронным учебником по векторизатору Easy Trace.

**Географические информационные системы.** В настоящее время на рынке информационных технологий возрастает доля геоинформационных продуктов. ГИС одновременно с наращиванием своих узкоспециальных



возможностей по обработке географической информации имеют тенденцию к упрощению интерфейса и предоставлению любому пользователю доступных функций по обработке пространственных данных. Общеизвестно, что геоинформация доминирует в 70 % объема всей циркулирующей информации [6]. В этой связи использование ГИС-пакетов специалистами в своей повседневной деятельности наряду с привычными уже офисными программами становится реальностью. Современные стандартные функциональные возможности ГИС-пакетов позволяют в режиме реального времени по табличным данным оперативно построить или отредактировать тематическую картограмму, подготовить для печати отчет с рисунками, таблицами, фотографиями, картами. Естественно, что для манипулирования значительными по объему и формам представления видами информации необходим достаточно высокий уровень компьютерной грамотности. В этой связи повышается роль постановки образовательного процесса такого качества, который обеспечивал бы систему всеобщего и непрерывного ГИС-образования [7].

Опыт мировой практики показывает, что использование виртуальных компьютерных атласов в школьном процессе, открытые виртуальные ГИС-курсы в Internet и web-географические атласы, виртуальные ГИС-форумы по обсуждению проблемных вопросов, международные студенческие ГИС-ярмарки по представлению выполненных проектов, международный день ГИС, электронные библиотеки ГИС-проектов и литературы и другие формы работы способствуют всеобщему и непрерывному ГИС-образованию. Следствием популяризации знаний по геоинформатике и универсальности применения ГИС-технологий является их активное использование в таких отраслях деятельности человека, как география, экология, архитектура и градостроительство, транспорт, археология, биология, территориальное управление, т. е. управление учреждением, предприятием, населенным пунктом, регионом и др.

Все студенты четвертого курса географического факультета выполняют компьютерный практикум по ГИС-технологиям. На факультете проводятся работы по адаптации возможностей программного ГИС-обеспечения для решения конкретных географических задач, которые типичны для производственной деятельности человека применительно к Беларуси (например, построение моделей рельефа, расчет полей загрязнения, оцифровка топографических карт и т. д.). В этой связи на факультете разрабатываются и апробируются методические инструкции по выполнению текущих и контрольных упражнений по темам «Геопривязка растровых изображений в ArcView 3.2. Работа с инструментом Register and Transform», «Векторизация растровых геоизображений», «Построение картограмм индекса загрязнения атмосферы по городам Беларуси с использованием данных грид-моделей в ArcView 3.2», «Комплексный атлас территории в ArcView 3.2. Геопространственный анализ». В зачетную сессию для студентов разрабатываются тесты по теоретическим и практическим основам ГИС-технологий и проводится компьютерное тестирование.

Студентам географического факультета предлагаются дополнительные возможности для повышения своих знаний в области новых информационных технологий. Так, на факультете с 2001 г. работает кружок «ГИС-лаборатория». Здесь студенты получают компьютерные сведения по географическим информационным системам, выполняются и демонстрируются небольшие самостоятельные студенческие ГИС-проекты, начаты работы над инициативным коллективным ГИС-проектом «Музей землеведения географического факультета БГУ». В рамках данного проекта выполняется инвентаризация фонда минералов музея в ГИС-среде, создается электронная карта месторождений минералов, образцы которых есть в фондах музея,

серия компьютерных слайд-шоу и обучающих презентаций с мультимедийными эффектами.

Дополнительными формами работы со студентами географического факультета с целью ознакомления с новыми информационными технологиями являются ежегодное проведение международного ГИС-дня, систематическое проведение ГИС-семинаров со специалистами организаций и ведомств. На факультете работают ГИС-курсы для лицейского класса СШ № 181, с учащимися СШ № 145 г. Минска выполняются школьные ГИС-проекты, например «Интерактивный мультимедийный атлас школьного мониторинга Вилейско-Минской водной системы (на примере г. Минска)», которые представляются на конкурсы экологических проектов.

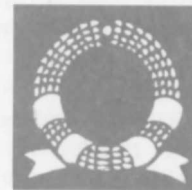
В целом использование телекоммуникаций в процессе преподавания географических дисциплин является высокоэффективным приемом в образовательном процессе и имеет большие перспективы. На наш взгляд, на географическом факультете БГУ необходимо проведение таких организационно-управленческих мероприятий, как организация постоянно действующих реальных и дистанционных ГИС-курсов, создание Internet-сайта географического факультета и его подразделений, развитие web-картографии, развитие SDE-технологий, т. е. сетевых технологий удаленной работы с картографическими материалами, применение данных космосъемок при составлении ГИС-проектов, организация полевых работ с использованием новейших навигационных средств и полевых компьютеров, формирование соответствующих учебно-методических комплексов.

1. Гурьянова Л. В. // Информ. бюл. ГИС-ассоциации. 1997. № 5(12). С. 39.
2. Лебедева Н. // ГИС-обозрение. Весна 1996. С. 18.
3. Ионов В. В. // ГИС-обозрение. Зима 1994. С. 52.
4. Luxembourg. Office for official publication of the European Communities. 1998–2001 (CD-ROM).
5. Гурьянова Л. В. // Современные проблемы школьного и вузовского географического образования и топонимических исследований: Тез. докл. Респ. науч.-практ. конф., Минск, 27–30 нояб. 2001 г. Мн., 2001. С. 40.
6. Журавков М. А., Видякин В. В. ГИС-технологии в прикладной механике. Мн., 2000.
7. Лурье И. К. // Геоинформатика и образование / Сост. Н. В. Разумовская, Е. Г. Кап-ралов, А. В. Симонов. М., 1998. С. 115.

Поступила в редакцию 05.06.2002.

**Лариса Васильевна Гурьянова** – кандидат географических наук, старший преподаватель кафедры почвоведения и геологии.

# Наши юбиляры



## ВИКТОР ВАСИЛЬЕВИЧ САМОХВАЛ



Исполнилось 60 лет начальнику главного управления учебной и научно-методической работы БГУ, доктору химических наук Виктору Васильевичу Самохвалу.

В.В. Самохвал родился 2 октября 1942 г. в д. Заполье Клецкого района Минской области. После окончания средней школы поступил на физический факультет БГУ, который закончил в 1964 г., и с этого времени вся трудовая и научная деятельность Виктора Васильевича связана с университетом. Он является примером ученого-физика по образованию, который активно работал в области физической химии: был главным инженером сектора химии полупроводников проблемной лаборатории полупроводниковой техники, доцентом кафедры физической химии. Результаты научной работы В.В. Самохвала на этой кафедре были отражены в кандидатской диссертации (1970 г.) «Исследование термодинамических свойств некоторых сплавов алюминия (Al-Ti, Al-V, Al-Cr, Al-Mn, Al-Sb, Al-Ga-Sb)», в которой была

предложена общая оригинальная методика получения термодинамических данных для широко применяемых в современной технике тугоплавких алюминидов. Успех работы был предопределен использованием гальванических элементов с твердым электролитом – фторидом кальция. Дальнейшая научная деятельность В.В. Самохвала была направлена на изучение как анионпроводящих твердых электролитов, так и керамик, где электроперенос наряду с ионами осуществляется и неионными носителями тока. Полученные результаты были обобщены в докторской диссертации (2001 г.) «Высокотемпературный сопряженный перенос зарядов в твердых электролитах и смешанных ионно-электронных проводниках». Частично работа выполнялась на базе лаборатории физической химии твердого тела НИИ физико-химических проблем БГУ и заключалась в разработке материалов для высокотемпературных топливных элементов. Установлено, что перенапряжение восстановления кислорода в высокотемпературных электрохимических устройствах с твердым электролитом на основе диоксида циркония и катодами из соединений манганитов лантана стронция существенно уменьшается при активации поверхности катодов слоем оксида празеодима или кобальтита лантана стронция и применении для формирования электрода добавок оксида висмута или купрата висмута, снижающих температуру спекания керамического материала электрода.

Результаты исследований анионпроводящих твердых электролитов на основе диоксидов циркония и тория, фторида кальция, оксида висмута широко используются при создании оригинальных устройств для новой техники. В.В. Самохвалом, в частности, были предложены твердые электролиты на основе неполнозамещенных триполифосфатов трехвалентных металлов, обладающие высокой проводимостью при комнатной температуре и стабильными электролитическими свойствами во влажной среде. Кроме того, обоснована возможность создания прозрачных твердоэлектролитных покрытий на металлах и их сплавах с электрохимическим управлением содержания растворенного кислорода в защищаемом объекте.

В.В. Самохвал обладает большими организаторскими способностями: в 1973–1985 гг. он являлся заместителем декана химического факультета по учебной работе, а с 1991 г. возглавляет главное управление учебной и научно-методической работы. Одновременно он активный преподаватель: для студентов химического факультета им разработаны курсы «Физическая химия твердого тела», «Физико-химические методы исследования твердых тел», «Физика твердого тела», издано учебное пособие «Методы исследования переноса заряженных частиц в оксидных материалах» (1994 г.).

Результаты научной работы Виктора Васильевича отражены в более чем 100 публикациях. Его вклад в развитие химической науки и образования отмечен знаком Министерства образования СССР «За отличные успехи в работе» (1981 г.), знаком Министерства образования Республики Беларусь «Отличник образования Республики Беларусь» (1996 г.), Почетной грамотой Совета Министров Республики Беларусь (2001 г.).

Коллеги и друзья Виктора Васильевича сердечно поздравляют его с юбилеем и желают крепкого здоровья и успехов в научной и педагогической деятельности.

## РЕФЕРАТЫ

УДК 661.728.8+538.945

Башмаков И.А., Говор Л.В., Соловьева Л.В., Капуцкий Ф.Н. Получение и электрические свойства углеродных сетчатых структур, легированных кобальтом и никелем // Вестн. Белорус. ун-та. Сер. 2. 2002. № 3.

На основе карбоксилированного нитроцеллюлозного предшественника с гексагональным сетчатым узором пор получены углеродные сетчатые структуры типа пчелиных сот, легированные магнитными наночастицами кобальта и никеля. Процесс введения наночастиц кобальта и никеля в углеродную сетку охарактеризован с помощью систематического измерения удельного сопротивления в интервале температур от 4,2 до 295 К.

Библиогр. 6 назв., ил. 3.

УДК 541.182.642

Щукин Г.Л., Беланович А.Л., Карпушенков С.А., Савенко В.П. // Электрохимически-плазменный синтез высокодисперсных диоксидов титана и циркония в водных растворах // Вестн. Белорус. ун-та. Сер. 2. 2002. № 3.

Исследованы особенности формирования ультрадисперсных частиц диоксидов титана и циркония в растворе азотной кислоты. Установлено, что при анодно-плазменной эрозии титана и циркония в водных растворах  $\text{HNO}_3$  можно формировать ультрадисперсные высокотемпературные частицы  $\text{TiO}_2$  – рутила и моноклинного  $\text{ZrO}_2$ .

Библиогр. 9 назв., табл. 1, ил. 2.

УДК 541.183+534.2

Кондратьев А.В., Кулак А.И. Электрохимическое поведение полупроводниковых электродов в условиях ультразвуковой кавитации // Вестн. Белорус. ун-та. Сер. 2. 2002. № 3.

Экспериментально установлено увеличение (на 10–20 %) фототока в фотоэлектрохимической ячейке на основе полупроводникового диоксида титана при действии ультразвуковой кавитации. Впервые теоретически обоснована возможность повышения скорости электронного переноса на границе раздела фаз полупроводник – реакционная среда (электролит) за счет импульсного локального увеличения давления и изменения энергии реорганизации среды в местах асимметрично схлопывающихся кавитационных пузырьков.

Библиогр. 13 назв., ил. 1.

УДК 547.517

Ковганко В.Н., Станишевский Л.С. Азометины в синтезе 3,3-диметил-4-нитро-5-арилциклогексанонов // Вестн. Белорус. ун-та. Сер. 2. 2002. № 3.

Разработан удобный метод синтеза 3,3-диметил-4-нитро-5-арилциклогексанонов. Он включает катализируемую трифторуксусной кислотой конденсацию 5-нитро-4,4-диметилпентан-2-она с азометинами с образованием соответствующих ненасыщенных кетонов и их дальнейшую внутримолекулярную циклизацию, приводящую к целевым циклогексанолам.

Библиогр. 6 назв.

УДК 678.745.842–134.432.2:543.544

Якимцова Л.Б., Чеботарь С.С., Матусевич Ю.И., Круль Л.П. Гидрогели на основе сополимеров акриламида с акриловой кислотой, чувствительные к изменению pH среды // Вестн. Белорус. ун-та. Сер. 2. 2002. № 3.

Синтезированы сополимеры, содержащие 70 мол. % звеньев акриламида и 30 мол. % звеньев акриловой кислоты или акрилата натрия. Радиационным сшиванием сополимеров в водных растворах получены гидрогели. Определены зависимости величин гель-фракции и степени набухания в дистиллированной воде от дозы облучения. Установлено, что сшивание сополимера акриламида с акрилатом натрия протекает более интенсивно по сравнению с сополимером акриламида с акриловой кислотой. При этом степень набухания оказывается на порядок выше. Набухание сшитого сополимера при увеличении pH раствора от 5,5 до 12 возрастает в 50–60 раз.

Библиогр. 13 назв., ил. 3.

УДК 595.768.49

Нестерова О.Л. Таксономическое разнообразие листоедов (*Coleoptera, Chrysomelidae*) фауны Беларуси // Вестн. Белорус. ун-та. Сер. 2. 2002. № 3.

Приводятся результаты исследования фауны жуков-листоедов Беларуси. Список листоедов представлен 358 видами, которые относятся к 67 родам из 13 подсемейств.

По количеству родов самыми богатыми являются подсемейства *Alticinae* (19) и *Chrysomelinae* (16), далее идут *Galerucinae* (10); *Criocerinae* и *Cytrinae* имеют по 4 рода, остальные подсемейства включают от 3 до 1 рода.

По видовому разнообразию доминирующим является подсемейство *Alticinae* (146), выделяются также *Chrysomelinae* (58), *Cryptocephalinae* (40), *Donaciinae* (29), *Galerucinae* (26) и

*Cassidinae* (24). Остальные подсемейства имеют до 11 видов. Подсемейства *Orsodacninae*, *Synetinae* и *Hispiinae* представлены только одним видом.

Для изучения специфики белорусской фауны листоедов проведены сравнительные исследования фаун Беларуси и Прибалтики.

Библиогр. 5 назв., табл. 2, ил. 4.

УДК 595.794.799 (476)

Хвир В. И. Новые данные по половому и строителюму поведению самцов одиночной осы *Bembix rostrata* (*Sphecidae*, *Hymenoptera*) из Беларуси // Вестн. Белорус. ун-та. Сер. 2. 2002. № 3.

Впервые для Беларуси описано половое и строительное поведение самцов *Bembix rostrata*. Обнаружено, что одни самцы принимают перед спариванием стереотипные позы ухаживания, а другие – нет. Последнее зависит от сезона и, по всей видимости, времени выхода имаго. Отмечается также возможность территориального поведения самцов рассматриваемого вида.

Библиогр. 6 назв., ил. 1.

УДК 541.144.7+581(132+174)

Самович Т. В., Аверина Н. Г., Шалыго Н. В., Кудряшов А. П., Юрин В. М. Фотодинамический эффект и особенности накопления предшественников хлорофилла клетками хлореллы, обработанными аминокислотами и 1,10-фенантролином // Вестн. Белорус. ун-та. Сер. 2. 2002. № 3.

Показано, что при обработке клеток хлореллы (*Chlorella* sp.) глутаминовой кислотой (ГК) в сочетании с 1,10-фенантролином (Ф) в темноте накапливается только магний-протопорфирин IX монометилловый эфир (MgПМЭ). Порфирины, накопленные в темноте, действуют как фотосенсибилизаторы и вызывают повреждение клеток на свету. Определены оптимальные концентрации Ф и ГК, которые вызывают максимальное накопление MgПМЭ в темноте. Замена ГК на глутамин усиливает накопление порфирина в среднем на 18 %.

Библиогр. 15 назв., табл. 3.

УДК 595.426

Бесядка Е., Цихоцка М., Мороз М. Д., Мухин Ю. Ф. Фауна водных клещей (*Acar:Hydracarina*) биологического заказника «Споровский» // Вестн. Белорус. ун-та. Сер. 2. 2002. № 3.

При изучении фауны водных клещей биологического заказника «Споровский» установлено, что видовой состав клещей относительно богат. Выявлено 27 видов, среди которых *Hydrachna cruenta* (O.F. MÜLLER, 1776); *Oxus longisetus* (BERLESE, 1886); *Piona imminuta* (PIERSIG, 1897); *Forelia liliacea* (O.F. MÜLLER, 1776); *Arrenurus albator* (O.F. MÜLLER, 1776); *Arrenurus bicuspidator* BERLESE, 1885; *Arrenurus fimbriatus* (KOENIKE, 1885) оказались новыми для фауны Беларуси.

Библиогр. 6 назв., табл. 1.

УДК 632.4:635.64

Пискун С. Г., Поликсенова В. Д., Анохина В. С. Внутривидовая дифференциация возбудителя фузариозного увядания томатов // Вестн. Белорус. ун-та. Сер. 2. 2002. № 3.

Изучена внутривидовая неоднородность возбудителя фузариозного увядания томатов микромицета *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (Sacc.) Snyder and Hansen. Выявлены 18 моноспоровых изолятов, различающихся по морфологическим и культуральным признакам (инкубационному периоду, характеру роста на искусственных питательных средах, интенсивности и типу спороношения), патогенности.

Библиогр. 10 назв., табл. 2.

УДК 616.831-008.811.1-0.53.31-07

Семак И. В., Корик Е. О., Канапацкая И. А., Наумова М. В., Кульчицки В. А. Нарушение прооксидантно-антиоксидантного баланса в печени крыс при эндотоксемии // Вестн. Белорус. ун-та. Сер. 2. 2002. № 3.

Изучалось функциональное состояние антиоксидантной системы в печени крыс в условиях моделирования септического шока. Обнаружено подавление внутриклеточной антиперекисной защиты при эндотоксемии вследствие нарушения согласованной работы ферментов, генерирующих и разрушающих  $H_2O_2$ . Вместе с тем наблюдается активация микросомальной глутатион S-трансферазы, супероксиддисмутазы, а также перераспределение цитозольных глутатион S-трансфераз в пользу изоферментов, обладающих высокой пероксидазной активностью. Очевидно, что, несмотря на активизацию отдельных внутриклеточных защитно-приспособительных механизмов, печень при эндотоксемии становится крайне чувствительной к окислительному стрессу.

Библиогр. 30 назв., табл. 1, ил. 1.



УДК 591.5:592

Мороз М.Д., Гигиняк Ю.Г., Вежновец В.В. **Фауна водных беспозвоночных родникового комплекса «Иканы»** // Вестн. Белорус. ун-та. Сер. 2. 2002. № 3.

Рассмотрены результаты исследований фауны водных беспозвоночных родникового комплекса «Иканы». Обнаружены 29 видов к следующим таксономическим группам: *Coleoptera* – 3 вида; *Heteroptera* – 2; *Trichoptera* – 2; *Plecoptera* – 2; *Ephemeroptera* – 2; *Diptera* – 2; *Tardigrada* – 1; *Crustacea* – 6; *Turbellaria* – 2; *Cnidaria* – 1; *Nematoda* – 1; *Oligochaeta* – 1; *Hirudinea* – 3 и *Mollusca* – 1 вид. Среди обнаруженных водных беспозвоночных определен интерес представляет находка редких для Беларуси видов – *Agabus guttatus* (PAYKULL, 1798), *Velia caprai* TAMANINI, 1947, *Leuctra hippopus* KEMPNI, 1899; *Bryocampus zschokkeri* (SCHMEIL, 1893) и *Potamocypis fulva* (BRADY, 1868).

Библиогр. 19 назв., табл. 2.

УДК 631.416

Галай Е.И. **Экспериментальное обоснование снижения подвижности солей в органоминеральных композициях на основе техногенных рассолов и торфа** // Вестн. Белорус. ун-та. Сер. 2. 2002. № 3.

Определены предельные дозы техногенных рассолов, не вызывающие разрушения структуры торфа и не уменьшающие его водоудерживающую способность. Обосновано снижение подвижности соединений рассолов с помощью добавок торфа.

Библиогр. 3 назв., табл. 1, ил. 2.

УДК 333.322.3(476)

Томашевич А.В. **География жилищного строительства и качества жилья в сельской местности Беларуси** // Вестн. Белорус. ун-та. Сер. 2. 2002. № 3.

Исследована динамика и география жилищного строительства в сельской местности Беларуси. Рассмотрена территориальная дифференциация ввода жилья на 1000 жителей. По 118 районам республики проведен анализ различий в качестве жилья по ряду показателей: ветхость построек, наличие водопровода, канализации, способ отопления домов.

Библиогр. 5 назв., табл. 2, ил. 4.

УДК 631.445.1

Клебанович Н.В. **Обменный алюминий в дерново-подзолистых почвах Беларуси различной кислотности** // Вестн. Белорус. ун-та. Сер. 2. 2002. № 3.

На дерново-подзолистых суглинистых и супесчаных почвах исследовано влияние уровней обменной кислотности почвы (рН в KCl) на содержание обменного алюминия. Установлено, что существенное содержание обменного алюминия может быть только при сильнокислой реакции среды, а известкование снижает уровень этого показателя до безопасных для растений уровней.

Библиогр. 17 назв., табл. 4.

УДК 625 8:631.4

Зайко С.М., Вашкевич Л.Ф., Горблюк А.В. **Сравнительная урожайность сельскохозяйственных культур на торфяных и минеральных почвах, образовавшихся после сработки торфа** // Вестн. Белорус. ун-та. Сер. 2. 2000. № 3.

Изучена динамика изменения урожайности сельскохозяйственных культур на торфяных почвах в зависимости от мощности торфяного слоя и на минеральных почвах, образовавшихся после сработки торфа.

Установлено, что урожайность сельскохозяйственных культур не всегда находится в прямой зависимости от мощности торфа у торфяных, а также от степени оторфованности и гумусированности у антропогенных минеральных почв, образовавшихся после сработки торфа.

Библиогр. 16 назв., табл. 5.

УДК 631.4+631.02

Чертко Н.К., Дорохова В.В., Куликов Я.К. **Торфование дерново-подзолистых глееватых связносупесчаных почв как способ оптимизации их свойств и повышения плодородия** // Вестн. Белорус. ун-та. Сер. 2. 2002. № 3.

Показано положительное влияние торфа в дозе 100–400 т/га абсолютно сухого вещества за длительный период времени в системе севооборота на оптимизацию физических и агрохимических свойств почв.

Библиогр. 4 назв., табл. 4.

УДК 551.247

Гарецкий Р.Г., Конищев В.С., Ковхута А.М. **Закономерности размещения соляных структур в областях галокинеза** // Вестн. Белорус. ун-та. Сер. 2. 2002. № 3.

Установлено, что большинство соляных поднятий областей галокинеза – унаследованные приразломные, которые группируются в соляные валы; меньшая часть – наложенные, находящиеся на моноклиналах ступеней или в прогибах подсолевого ложа. Приразломные являются

соляными поднятиями первой генерации. Они формировались под влиянием тектонического фактора в результате течения соли в ослабленные зоны разломов. Наложенные являются поднятиями второй генерации. Ведущим фактором их формирования был гравитационный. Наибольший интерес в нефтегазоносном отношении представляют соляные поднятия первой генерации.

Библиогр. 13 назв.

УДК 552.578:551.734.5(476-13)

Стрельчик Н.В., Махнач А.А. Влияние углеводов на окраску среднедевонских отложений Чистолужской площади Припятского прогиба // Вестн. Белорус. ун-та. Сер. 2. 2002. № 3.

Рассмотрен вопрос влияния предваряющих нефть флюидов на изменение окраски терригенных пород полоцкого возраста, характеризующихся повышенным содержанием железистого компонента.

Библиогр. 13 назв., табл. 2.

УДК 911.52 (476).621.039.577.391

Шагалова Э.Д., Жукова О.М., Герменчук М.Г., Бакарикова Ж.В., Романов В.П., Квасникова Е.В. Методические основы изучения процессов горизонтальной миграции радионуклидов // Вестн. Белорус. ун-та. Сер. 2. 2002. № 3.

Рассмотрены вопросы пространственного перераспределения радионуклидов в ландшафте. Установлена зависимость между параметрами латеральной миграции на водосборах малых и средних рек и ландшафтно-геохимическими особенностями строения территории. Оценена роль латерального переноса радионуклидов в изменении МЭД в элювиальной и аккумулятивной зонах водосборов. Выявлены формы рельефа, являющиеся геохимическими барьерами в процессе миграции радионуклидов.

Библиогр. 3 назв., табл. 1.

УДК 338:91(4)

Зайцев С.Н. Влияние интеграционных процессов на пространственное развитие региональных союзов // Вестн. Белорус. ун-та. Сер. 2. 2002. № 3.

Анализируются теоретические и методологические аспекты географического исследования региональных интеграционных союзов и особенности пространственного развития ЕС как регионального союза.

Библиогр. 15 назв.

УДК 577.486:627 (476)

Зарубов А.И. Сезонная динамика зооперифитонного сообщества в парковом водоеме (на примере Комсомольского озера г. Минска) // Вестн. Белорус. ун-та. Сер. 2. 2002. № 3.

Рассмотрена сезонная динамика зооперифитонного сообщества на 4 доминирующих видах высшей водной растительности. Рассчитана численность зооперифитона на площадь поверхности и сухую массу макрофитов. Среди 136 таксонов, установленных в течение года, доминировали коловратки, хирономиды, олигохеты и ветвистоусые ракообразные.

Библиогр. 9 назв., табл. 3.

УДК 551.48

Гурьянова Л.В. Возможности телекоммуникаций при преподавании географических дисциплин // Вестн. Белорус. ун-та. Сер. 2. 2002. № 3.

Рассматриваются возможности использования телекоммуникаций (сетей Intranet, Internet, мультимедийных продуктов, ГИС-технологий) на примере постановки учебного процесса на географическом факультете БГУ.

Библиогр. 7 назв.

**УКАЗАТЕЛЬ  
статей, опубликованных в 2002 г.**

**ХИМИЯ**

|                                                                                                                                                                                                        |   |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|----|
| Альфер С.А., Скумс В.Ф. Влияние температуры и давления на электросопротивление сульфида свинца.....                                                                                                    | 1 | 24 |
| Альфер С.А., Скумс В.Ф. Влияние температуры и давления на электросопротивление некоторых халькогенидов 2-й группы.....                                                                                 | 2 | 10 |
| Башмаков И.А., Говор Л.В., Соловьева Л.В., Капуцкий Ф.Н. Получение и электрические свойства углеродных сетчатых структур, легированных кобальтом и никелем..                                           | 3 | 3  |
| Божко О.В., Шабловский В.О., Мечковский С.А. Микромасштабная фронтальная хроматография кобальта(II), никеля(II) и меди(II) на активированном угле, модифицированном фосфатом титана(IV).....           | 1 | 20 |
| Гаевская Т.В., Ракович Е.В., Бабицкая Л.С. Электрохимическое осаждение сплавов кобальт-бор.....                                                                                                        | 2 | 3  |
| Дегтярик М.М., Гапоник П.Н., Ивашкевич О.А., Григорьев Ю.В., Воробьев А.Н. Комплексные соединения 1-арилтетразолов с хлоридом и тетрафторборатом меди(II).....                                         | 1 | 8  |
| Капуцкий Ф.Н., Василенко И.В., Костюк С.В., Гапоник Л.В. Полимеризация гексена-1 на модифицированном металлоорганическом катализаторе.....                                                             | 2 | 15 |
| Ковганко В.Н., Станишевский Л.С. Азотметины в синтезе 3,3-диметил-4-нитро-5-арилциклогексанонов.....                                                                                                   | 3 | 15 |
| Кондратюк А.В., Кулак А.И. Электрохимическое поведение полупроводниковых электродов в условиях ультразвуковой кавитации.....                                                                           | 3 | 10 |
| Пантелеева С.М., Желудкович Т.М., Карпукович Н.В., Трифонова А.Н., Мечковский С.А. Влияние бренстедовской кислотности на межфазное распределение $Co^{2+}$ и $Cu^{2+}$ в системах почва – раствор..... | 2 | 6  |
| Сергеева О.В., Сташенок В.Д., Рахманов С.К., Кулакович О.С., Свиридов В.В. Формирование нитевидных серебряных структур при восстановлении иодида серебра различной дисперсности.....                   | 1 | 3  |
| Соловьева Л.В., Башмаков И.А., Клевеченя Д.И., Капуцкий Ф.Н. Использование палладия из отработанных технологических растворов для получения промотированных медно-хромовых оксидных катализаторов..... | 1 | 16 |
| Щукин Г.Л., Беланович А.Л., Карпушенков С.А., Савенко В.П. Электрохимически-плазменный синтез высокодисперсных диоксидов титана и циркония в водных растворах.....                                     | 3 | 7  |
| Якимцова Л.Б., Чеботарь С.С., Матусевич Ю.И., Круль Л.П. Гидрогели на основе сополимеров акриламида с акриловой кислотой, чувствительные к изменению pH среды.....                                     | 3 | 17 |

**БИОЛОГИЯ**

|                                                                                                                                                                                                            |   |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|----|
| Бесядка Е., Цихоцка М., Мороз М.Д., Мухин Ю.Ф. Фауна водных клещей (Acari:Hudracarina) биологического заказника «Споровский».....                                                                          | 3 | 32 |
| Бибилов Ю.А., Джус М.А., Зубкевич Г.И., Сауткина Т.А., Тихомиров В.Н., Черник В.В. О флоре Минского района.....                                                                                            | 1 | 48 |
| Дитченко Т.И., Голубович В.П., Юрин В.М., Фигловский В.А., Кудряшов А.П. Анализ натрий-калиевой селективности плазматической мембраны растительной клетки при действии фунгицидов триазоловой природы..... | 1 | 29 |
| Камлюк Л.В., Семенюк Г.А., Ерёмов Н.Г. Доминантный комплекс и сезонная динамика развития зоопланктона в водохранилищах урбанизированных территорий.....                                                    | 1 | 40 |
| Ледак Е.А., Сенчук В.В. Окисление дигидроксибензолов тиреоид-пероксидазой человека.....                                                                                                                    | 2 | 18 |
| Лиморова И.М. Влияние фенольных соединений растений на рост и синтез внеклеточных ферментов бактерий <i>Erwinia carotovora</i> subsp. <i>atroseptica</i> .....                                             | 1 | 45 |
| Мороз М.Д., Гигиняк Ю.Г., Вежновец В.В. Фауна водных беспозвоночных родникового комплекса «Иканы».....                                                                                                     | 3 | 46 |
| Найдун С.Н., Юрин В.М. Влияние условий гипо- и гипертермии на функционирование хлорных каналов плазмалеммы клеток <i>Nitella flexilis</i> .....                                                            | 2 | 22 |
| Нестерова О.Л. Таксономическое разнообразие листоедов (Coleoptera, Chrysomelidae) фауны Беларуси.....                                                                                                      | 3 | 23 |
| Нестерова О.Л., Лопатин И.К. Виды-двойники в фауне листоедов (Coleoptera, Chrysomelidae) Восточной Европы и Северной Азии.....                                                                             | 2 | 39 |
| Нечипуренко Н.И., Маслова Г.Т. Патогенетические особенности травматических и ишемических поражений периферических нервов в условиях воздействия гипербарической оксигенации.....                           | 1 | 33 |
| Пискун С.Г., Поликсенова В.Д., Анохина В.С. Внутривидовая дифференциация возбудителя фузариозного увядания томатов.....                                                                                    | 3 | 36 |

|                                                                                                                                                                                                                          |   |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|----|
| Прокулевич В.А., Евтушенко А.Н., Лысак В.В., Фомичев Ю.К. Генетическое изучение бактерий рода <i>Erwinia</i> .....                                                                                                       | 1 | 56 |
| Савицкий Б.П., Цвирко Л.С., Буневич А.Н., Кочко Ю.П., Гаевский В.И. Трихинеллез в Беловежской пуще (прикладные и теоретические аспекты).....                                                                             | 2 | 25 |
| Самович Т.В., Аверина Н.Г., Шалыго Н.В., Кудряшов А.П., Юрин В.М. Фотодинамический эффект и особенности накопления предшественников хлорофилла клетками хлореллы, обработанными аминокислотами и 1,10-фенантролином..... | 3 | 29 |
| Семак И.В., Корик Е.О., Канапацкая И.А., Наумова М.В., Кульчицкий В.А. Нарушение прооксидантно-антиоксидантного баланса в печени крыс при эндотоксемии.....                                                              | 3 | 41 |
| Сидоров А.В., Казакевич В.Б. Модуляция температурой синапсов, образованных гигантским дофаминергическим нейроном, в ЦНС <i>Lymnaea stagnalis</i> .....                                                                   | 1 | 37 |
| Хвир В.И. Новые данные по половому и строительному поведению самцов одиночной осы <i>Bembix rostrata</i> (Sphecidae, Hymenoptera) из Беларуси.....                                                                       | 3 | 26 |
| Цинкевич В.А., Александрович О.Р. Новые и редкие виды жесткокрылых (Insecta: Coleoptera) фауны Беларуси.....                                                                                                             | 2 | 30 |
| Чумаков Л.С., Бородин О.И. Структура сообществ цикадовых в различных биотопозах региона Игналинской АЭС.....                                                                                                             | 2 | 33 |
| Шпаковский Я.И. О флоре лесных урочищ в окрестностях д. Крыжовка.....                                                                                                                                                    | 2 | 36 |
| Юркова М.П., Чумаков Л.С., Лемеза Н.А. Восстановление кустарничково-травянистого яруса после пожара в сосняке багульниковом.....                                                                                         | 1 | 52 |

## ГЕОГРАФИЯ

|                                                                                                                                                                           |   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|----|
| Брилевский М. Н., Гагина Н. В. Методические подходы к геоэкологической оценке сельскохозяйственных территорий.....                                                        | 1 | 61 |
| Витченко А.Н. Оценка агроэкологического потенциала ландшафтов Беларуси применительно к возделыванию рапса в пожнивных посевах.....                                        | 1 | 79 |
| Войтешенко И.С., Кулагин А.П., Таранчук В.Б. Геоинформационная поддержка лесного и воздушного мониторинга.....                                                            | 2 | 43 |
| Галай Е.И. Экспериментальное обоснование снижения подвижности солей в органо-минеральных композициях на основе техногенных рассолов и торфа.....                          | 3 | 52 |
| Гарецкий Р.Г., Конищев В.С., Ковхута А.М. Закономерности размещения соляных структур в областях галокинеза.....                                                           | 3 | 75 |
| Губин В.Н. Линеаментная тектоника Беларуси.....                                                                                                                           | 1 | 92 |
| Гурьянова Л.В. Возможности телекоммуникаций при преподавании географических дисциплин.....                                                                                | 3 | 98 |
| Жмодяк Р.А., Явид П.П. Развитие тематического картографирования в Беларуси.....                                                                                           | 1 | 67 |
| Зайко С.М., Вашкевич Л.Ф., Горблюк А.В. Сравнительная урожайность сельскохозяйственных культур на торфяных и минеральных почвах, образовавшихся после сработки торфа..... | 3 | 64 |
| Зайцев С.Н. Влияние интеграционных процессов на пространственное развитие региональных союзов.....                                                                        | 3 | 88 |
| Зарубов А.И. Сезонная динамика зооперифитонного сообщества в парковом водоеме (на примере Комсомольского озера г. Минска).....                                            | 3 | 92 |
| Иотко С.Г. Экономико-географические аспекты реинтеграции постсоветских государств (на белорусско-российском примере).....                                                 | 2 | 60 |
| Клебанович Н.В. Обменный алюминий в дерново-подзолистых почвах Беларуси различной кислотности.....                                                                        | 3 | 60 |
| Красовский К.К. Урбанизация в Беларуси: пространственно-временная динамика.....                                                                                           | 2 | 64 |
| Кузьмин С.И. Сравнительный геоморфологический анализ рельефа ландшафтов Германии и Беларуси в границах поозерско-вайхельского оледенения.....                             | 2 | 84 |
| Ковриго П.А. Микроклимат болотных экосистем и его оптимизация.....                                                                                                        | 1 | 74 |
| Новик А.А. О генезисе гляцигенных рытвин в ледниковом комплексе.....                                                                                                      | 2 | 76 |
| Райский В.В., Карпиченко А.А., Райская О.В., Гагина Н.В. Геоэкологическая оценка урбанизированных территорий (на примере учебных и жилых зон БГУ).....                    | 2 | 49 |
| Самсоник В.П. Изменение водного режима почв осушенных территорий Национального парка «Беловежская пуща».....                                                              | 1 | 99 |
| Стрельчик Н.В., Махнач А.А. Влияние углеводородов на окраску среднедевонских отложений Чистолужской площади Припятского прогиба.....                                      | 3 | 79 |
| Томашевич А.В. География жилищного строительства и качества жилья в сельской местности Беларуси.....                                                                      | 3 | 55 |
| Фалопеева М.А. Ландшафтно-градостроительный анализ территории г. Минска.....                                                                                              | 2 | 70 |
| Хомич С.А. Основные элементы геоэкологического обеспечения водохозяйственной рекультивации.....                                                                           | 1 | 85 |
| Чертко Н.К., Дорохова В.В., Куликов Я.К. Торфование дерново-подзолистых глееватых связнопесчаных почв как способ оптимизации их свойств и повышения плодородия.....       | 3 | 71 |

|                                                                                                                                                                               |   |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|----|
| Шагалова Э.Д., Жукова О.М., Герменчук М.Г., Бакарикова Ж.В., Романов В.П., Квасникова Е.В. Методические основы изучения процессов горизонтальной миграции радионуклидов ..... | 3 | 83 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|----|

|                                                                                                                                              |   |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|----|
| Штефан Л.В., Доминиковская Д.А. Клинопироксены из трубок взрыва Жлобинского поля как индикаторы магматических этапов образования пород ..... | 2 | 80 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|----|

|                                                                                              |   |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|---|----|
| Яцухно В.М. Ландшафт в контексте сохранения историко-культурного и природного наследия ..... | 2 | 55 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|---|----|

#### ХРОНИКА

|                                                                                     |   |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------|---|----|
| Аношко В.С., Брилевский М.Н. Игнати Домейко .....                                   | 2 | 97 |
| Витченко А.Н., Яцухно В.М. Геоэкология и содержание качества окружающей среды ..... | 2 | 95 |

|                                                                 |   |     |
|-----------------------------------------------------------------|---|-----|
| Жумарь П.В. Ландшафтная экология в Европе на рубеже веков ..... | 1 | 105 |
|-----------------------------------------------------------------|---|-----|

|                                                                                                                                   |   |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|-----|
| Пирожник И.И., Яцухно В.М. Геополитическая трансформация стран Центральной и Восточной Европы и постсоветского пространства ..... | 1 | 104 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|-----|

#### НАШИ ЮБИЛЯРЫ

|                                   |   |     |
|-----------------------------------|---|-----|
| Людмила Васильевна Кахнович ..... | 1 | 107 |
| Иван Иванович Пирожник .....      | 1 | 107 |
| Сергей Кимович Рахманов .....     | 1 | 108 |
| Виктор Васильевич Самохвал .....  | 3 | 102 |

#### ПАМЯТИ УЧЕНОГО

|                                     |   |     |
|-------------------------------------|---|-----|
| Вадим Васильевич Свиридов .....     | 2 | 98  |
| Григорий Лазаревич Старобинец ..... | 1 | 112 |

#### РЕЦЕНЗИИ

|                                                                                                                  |   |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|----|
| Лопух П.С. С.А. Хомич. Геоэкологические аспекты водохозяйственной рекультивации нарушенных земель Беларуси ..... | 2 | 93 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|----|

|                                                                                                                                                                                                                                                                                      |   |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|-----|
| Тиво П.Ф. Рекомендации по экологически безопасному использованию осушенных ПТК на примере колхоза «Полесье» Любанского района Минской области / В.С. Аношко, С.М. Зайко, А.С. Мееровский, Л.Ф. Вашкевич, В.Я. Тарута, А.В. Горблюд, А.П. Романович, Л.Н. Глацкова, С.С. Бачила ..... | 1 | 110 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|-----|

|                |   |     |
|----------------|---|-----|
| Рефераты ..... | 1 | 114 |
|                | 2 | 99  |
|                | 3 | 103 |



## CONTENTS

## CHEMISTRY

|                                                                                                                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Bashmakov I.A., Govor L.V., Solovyova L.V., Kaputsky F.N.</i> Preparation and electric properties of carbon network structures incorporated by cobalt and nickel.....      | 3  |
| <i>Shchukin G.L., Belanovich A.L., Karpushenkov S.A., Savenko V.P.</i> Plasma-electrochemical synthesis ultrafine dioxides of titanium and zirconium in water solutions.....  | 7  |
| <i>Kondratyuk A.V., Kulak A.I.</i> Electrochemical behavior of semiconductor electrodes under ultrasonic cavitation conditions.....                                           | 10 |
| <i>Kovganko V.M., Stanishevsky L.S.</i> Azomethynes in synthesis of 3,3-dimethyl-4-nitro-5-arylcylohehanones.....                                                             | 15 |
| <i>Yakimtsova L.B., Chebotar' S.S., Matusovich Yu.I., Krul' L.P.</i> Hydrogels based on copolymers of acrylamide with acrylic acid sensitive to change of pH environment..... | 17 |

## BIOLOGY

|                                                                                                                                                                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Nesterova O.L.</i> The taxonomic diversity of Belarus leaf beetles ( <i>Coleoptera</i> , <i>Chrysomelidae</i> ) fauna.....                                                                                  | 23 |
| <i>Khvir V.I.</i> New data of the sexual and building behavior of the males in digger wasp <i>Bembix rostrata</i> ( <i>Sphecidae</i> , <i>Hymenoptera</i> ) from Belarus.....                                  | 26 |
| <i>Samovitch T.V., Averina N.G., Shalygo N.V., Kudryashov A.P., Yurin V.M.</i> Photodynamic effect and porphyrin accumulation in cells <i>Chlorella</i> pretreated with aminoacid and 1,10-phenanthroline..... | 29 |
| <i>Biesiadka E., Cichocka M., Moroz M. D., Mukhin Yu.F.</i> Fauna of water mites ( <i>Acar: Hydracarina</i> ) of the biological reserve «Sporovski».....                                                       | 32 |
| <i>Piskun S.G., Polyksenova V.D., Anokhina V.S.</i> Intraspecific differentiation of fusarium wilt causal agent of tomato.....                                                                                 | 36 |
| <i>Semak I.V., Koryk E.O., Kanapatskaya I.A., Naumova M.V., Kulchitsky V.A.</i> Alteration of prooxidant-antioxidant balance in liver of rats underendotoxemia.....                                            | 41 |
| <i>Moroz M.D., Hihiniak Yu.G., Veznovec V.V.</i> Fauna of aquatic invertebrate in the «Ikany» spring complex.....                                                                                              | 46 |

## GEOGRAPHY

|                                                                                                                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Galay E.I.</i> An experimental ground of reduction of salt mobility in organomineral compositions on the basis of technogenetic solution and peat.....                      | 52 |
| <i>Tomashewich A.V.</i> The geography of house-building and quality of housing in rural localities in Belarus.....                                                             | 55 |
| <i>Clebanovich N.V.</i> Exchange aluminium in turf-podzolic soil of Belarus of different acidity.....                                                                          | 60 |
| <i>Zaiko S.M., Vashkevich L.F., Gorbliuk A.V.</i> Comparative crop-yielding ability of peat and mineral soils formed after the wearing off of peatland.....                    | 64 |
| <i>Chertko N.K., Dorokhova V.V., Kulikov Y.K.</i> Peat fertilization of soddy-podzolic gley soils as a way of optimization of their properties and increases of fertility..... | 71 |
| <i>Garetsky R.G., Konischev V.S., Kovkhuto A.M.</i> Distribution of the salt structures in the halokinetic areas.....                                                          | 75 |
| <i>Strelchik N.V., Makhnach A.A.</i> The influence of hydrocarbons on the middle devonian rock' colour of the Chistoluzhskaya area of the Pripyat Trough.....                  | 79 |
| <i>Shagalova E.D., Zukova O.M., Germenchuk M.G., Bakarikova G.V., Romanov V.P., Kvasnikova E.V.</i> The methods of study the radionuclides horizontal migration processes..... | 83 |
| <i>Zaitsev S.N.</i> The influence of integration processes on spatial development of regional unions.....                                                                      | 88 |
| <i>Zarubov A.I.</i> The seasonal dynamics of zooperiphyton community in park water-body Korn-somolskoye.....                                                                   | 92 |
| <i>Huryanova L.V.</i> Possibilities of telecommunications when teaching geographical discipline.....                                                                           | 98 |

## OUR JUBILEE

|                                          |     |
|------------------------------------------|-----|
| Victor Vasilievich Samokhval.....        | 102 |
| Summary.....                             | 103 |
| Index of articles published in 2002..... | 107 |