

ВЕСТНИК БГУ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ БЕЛОРУССКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

ИЗДАЕТСЯ С ФЕВРАЛЯ 1969 ГОДА
ОДИН РАЗ В ЧЕТЫРЕ МЕСЯЦА

СЕРИЯ 2

3, 2011

Главный редактор

В.Г. РУДЬ

Редакционная коллегия серии:

О.А. ИВАШКЕВИЧ (*ответственный редактор*),

Е.А. АНТИПОВА, Г.А. БРАНИЦКИЙ, С.В. БУГА, А.Н. ВИТЧЕНКО, Б.П. ВЛАСОВ, И.В. ВОЙТОВ,
С.А. ВОРОБЬЕВА (*ответственный секретарь*), Т.В. ГАЕВСКАЯ, В.Н. ГУБИН, А.Н. ЕВТУШЕНКОВ,
В.В. ЕГОРОВ, Я.К. ЕЛОВИЧЕВА (*зам. ответственного редактора*), Л.В. КАМЛЮК, Ф.Н. КАПУЦКИЙ,
В.В. КАРПУК, Н.В. КЛЕБАНОВИЧ, А.И. ЛЕСНИКОВИЧ, В.В. ЛЫСАК, Н.П. МАКСИМОВА, Г.И. МАРЦИНКЕВИЧ,
Т.М. МИХЕЕВА, И.И. ПИРОЖНИК, В.Д. ПОЛИКСЕНОВА (*зам. ответственного редактора*), В.А. ПРОКУЛЕВИЧ,
В.В. САМОХВАЛ, Д.В. СВИРИДОВ, И.В. СЕМАК, Л.С. СТАНИШЕВСКИЙ, А.Г. ЧУМАК, В.М. ЮРИН

МИНСК
БГУ

Учредитель:
Белорусский государственный университет

ВЕСТНИК БГУ

Серия 2: Хим. Биол. Геогр. 2011. № 3

Свидетельство о государственной регистрации № 1080

На русском и белорусском языках

Почтовый адрес редакции: 220030, Минск, ул. Бобруйская, 7.
Адрес редакции: ул. Кальварийская, 9, каб. 101, 105. Тел. 259-70-74, 259-70-75.
E-mail: vestnikbsu@bsu.by

Редактор отдела *И.А. Лешкевич*
Редактор стилистический *Л.А. Меркуль*
Технический редактор *В.П. Швед*

Набор и верстка выполнены в редакции журнала *И.Е. Янович, В.П. Швед*

Подписано в печать 17.10.11. Формат 60×84 1/8. Бумага офс. Печать офс.
Гарнитура Times New Roman. Усл. печ. л. 16,27. Уч.-изд. л. 16,74.
Тираж 290 экз. Заказ 647.

Цена: для индивидуальных подписчиков – 15 580 руб. (Белпочта), 14 440 руб. (Белсоюзпечать);
для организаций – 41 843 руб. (Белпочта), 39 117 руб. (Белсоюзпечать).

Отпечатано с оригинала-макета заказчика в РУП «Издательский центр БГУ».
220030, Минск, ул. Красноармейская, 6.
ЛП № 02330/0494178 от 03.04.09.

БГУ – 90 ЛЕТ

Дорогие друзья!

Мы на пороге знаменательного события – 90-летия Белорусского государственного университета, флагмана высшего образования в Республике Беларусь. И хотя 90 лет – возраст солидный, наш университет молод и полон творческой энергии как никогда ранее.

Его история начиналась в трудные 20-е годы минувшего столетия. Несмотря на разруху и голод, Президиум ЦИК Советов депутатов Белоруссии 25 февраля 1919 г. принял постановление об открытии в Минске первого в истории белорусского народа высшего учебного заведения. Датой же рождения БГУ считается день официального открытия – 30 октября 1921 г. В его создании и становлении огромную роль сыграли первый ректор БГУ В.И. Пичета, академик Е.Ф. Карский, известные ученые К.А. Тимирязев, Д.Н. Прянишников, А.А. Фортунатов.

Дальнейшая история нашего университета неразрывно связана с судьбой белорусского народа, с которым он прошел сложный и славный путь. Для БГУ 1920–1930-е гг. были и трудными и плодотворными: значительно расширилась его материальная база, открылись новые факультеты и кафедры, сформировался основной состав преподавательских кадров, усилились международные связи.

Однако в дальнейшие планы развития БГУ вмешалась война, и он возобновил свою деятельность только в 1943 г. под Москвой. Сразу же после освобождения республики от немецко-фашистских захватчиков университет в июле 1944 г. вернулся в Минск. После войны пришлось практически полностью восстанавливать его инфраструктуру, заново налаживать учебный процесс. В 1950–1980-е гг. БГУ значительно укрепил свои позиции, став ведущим вузом не только республики, но и всей страны. Были созданы новые факультеты, построены учебные корпуса и общежития, открыты отраслевые НИИ, значительно расширилось международное сотрудничество.

В независимой Беларуси еще больше вырос авторитет нашего университета как кузницы высококвалифицированных кадров для всех отраслей народного хозяйства, международного центра фундаментальных и прикладных исследований.

Сегодня Белорусский государственный университет является ведущим высшим учебным заведением в национальной системе образования нашей страны, крупным научным, инновационно-производственным и культурным центром. В его состав входят 18 факультетов, на которых обучается более 28 тыс. студентов по 55 специальностям и 258 специализациям, 4 научно-исследовательских института, 25 научно-исследовательских и научно-методических центров, 10 унитарных производственных предприятий, 13 институтов и других учреждений образования.

Являясь классическим университетом, БГУ успешно выполняет образовательную, интеллектуальную, культурную и социальную функции и строит свою работу на основе единства образовательного процесса и научной деятельности, связи их с практикой, воспитания обучающихся в духе патриотизма и профессионализма.

В процессе подготовки высококвалифицированных специалистов происходит постоянное обновление учебных программ, открываются новые перспективные специальности и специализации, широко применяются информационные и инновационные технологии. Все более эффективно используются образовательные программы повышения квалификации и переподготовки работников образования, науки, промышленности, культуры, структур управления.

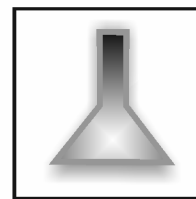
БГУ входит в 1000 лучших университетов мира.

Поздравляя профессорско-преподавательский состав, студентов, аспирантов, сотрудников с юбилеем университета, хочу пожелать всем крепкого здоровья, большого личного счастья, дальнейших успехов на благо нашей alma mater.

*Ректор Белорусского государственного университета
академик С.В. Абламейко*

90
ЛЕТ

Химия



УДК 541.64/66-313:577.121.2:616-08

Л.П. КРУЛЬ, Д.А. БЕЛОВ, Г.В. БУТОВСКАЯ

СТРУКТУРА И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БИОДЕГРАДИРУЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИЛАКТИДОВ

Phase structure and thermal mechanical properties of individual poly-L-lactides and poly-D,L-lactides with different molecular-mass characteristics and their blends as well in the form of solution (trichloromethane) cast films aged at 50 °C have been studied by X-ray diffraction, simultaneous thermal gravimetry – differential scanning calorimetry, and thermal mechanical analysis. An effect of super additive increasing of the crystallinity degree and the temperature for polymer transformation into viscous-flow state has been revealed upon addition of stereoregular poly-L-lactide to amorphous poly-D,L-lactide.

Полилактиды являются полимерами 2-гидроксипропионовой (молочной) кислоты и, подобно другим высокомолекулярным соединениям на основе α -гидроксикислот и их производных, обладают способностью к биодegradации и биосовместимостью. Сочетание этих свойств обеспечивает возможность использования получаемых из них полимерных материалов не только как биоразлагаемой упаковки, но и в качестве полимеров медицинского назначения [1, 2]. В настоящее время в отечественной медицинской практике при хирургических операциях в челюстно-лицевой области, направленных на лечение костных переломов, применяют титановые фиксирующие элементы. Основным недостатком таких фиксаторов является необходимость их удаления путем повторной операции после заживления кости. В связи с этим значительный интерес представляет замена титановых фиксаторов на фиксаторы из биодegradируемых полимеров, в частности полилактидов.

Основное требование, которое предъявляется к биодegradируемым полимерным фиксаторам, – обеспечение надежного соединения костных отломков и постепенное, по мере их сращивания, выведение из организма. Для этого необходимо сочетание достаточно высокой начальной устойчивости полимерного имплантата к воздействию механической нагрузки при температуре живого организма и такой скорости биодegradации полимера, которая должна быть сопоставима со скоростью восстановления костной ткани в процессе остеосинтеза.

В связи с этим исследования структуры и физико-химических свойств полилактидов, направленные на поиск путей получения полимерных материалов со свойствами, которые обеспечивают возможность их эффективного использования в качестве биодegradируемых имплантатов в хирургических операциях по сращиванию костных отломков, являются весьма актуальными.

Цель работы – установление зависимости термомеханических свойств полимерных материалов из полилактидов от стереорегулярности и молекулярно-массовых характеристик макромолекул, фазовой структуры полимера, а также разработка способов модифицирования аморфного атактического полилактида добавками кристаллизующегося стереорегулярного полилактида для создания полимерных имплантатов временного действия, предназначенных для использования в челюстно-лицевой хирургии взамен титановых фиксаторов.

Экспериментальная часть

Объектами исследования явились как произведенные промышленным способом поли-L-лактид и поли-D,L-лактид фирмы Galactic (Бельгия), так и специально синтезированные поли-D,L-лактиды.

При синтезе поли-D,L-лактида в лабораторных условиях в качестве мономера использовали D,L-лактид или D,L-молочную кислоту, в качестве катализатора – хлорид или октоат олова(II), в качестве растворителя – *o*-ксилол. D,L-Лактид очищали путем перекристаллизации из этилацетата. Катализаторы полимеризации производства Sigma-Aldrich использовали без дополнительной очистки. *o*-Ксилол производства ЗАО «Мосреактив» (х. ч.) очищали перегонкой при атмосферном давлении. Использовали фракцию с температурой кипения 144 °С. Синтез поли-D,L-лактида из D,L-лактида в присутствии хлорида олова(II) в качестве катализатора проводили в 77 % растворе мономера в *o*-ксилоле при концентрации катализатора 0,51 мас. %, продолжительность синтеза при 144 °С составляла 15 ч. Поли-D,L-лактид из D,L-молочной кислоты синтезировали в две стадии, при этом на первой стадии (превращение D,L-молочной кислоты в D,L-лактид) в качестве катализатора использовали металлический цинк (температура 33 °С, давление 10 мм рт. ст.). Подробно методика синтеза приведена в [3].

Характеристики молекулярно-массового распределения полилактидов определялись методом гель-проникающей хроматографии. Использовали хроматограф фирмы Shimazu. Применяли колонку Nucleogel GPC LM-5, калибровку проводили при помощи стандартов полиметилметакрилата с молекулярной массой 625÷49600. Анализ элюата осуществляли на рефрактометрическом детекторе. Скорость элюирования составляла 1 мл/мин, температура 25±0,1 °С. Путем компьютерной обработки хроматограмм с использованием программного обеспечения Shimazu (Class VP) получены значения среднечисловой (\bar{M}_n) и среднемассовой (\bar{M}_w) молекулярных масс, а также отношения \bar{M}_w/\bar{M}_n , характеризующего полидисперсность полимера.

Для исследования структуры и свойств полилактидов были взяты образцы в виде пленок толщиной 100÷500 мкм, полученных из растворов полимеров в трихлорметане. Растворы полилактидов с концентрацией 100 г/л выливали в стеклянные чашки Петри и выдерживали при комнатной температуре до испарения растворителя. В качестве растворителя использовали трихлорметан производства ЗАО «Мосреактив» (х. ч.) без дополнительной очистки. После испарения трихлорметана пленки дополнительно высушивали при 50 °С в течение 2 сут.

Характеристики молекулярно-массового распределения исследуемых образцов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Молекулярно-массовые характеристики полилактидов

Полимер	\bar{M}_n	\bar{M}_w	\bar{M}_w/\bar{M}_n
	10 ⁴		
Поли-L-лактид*	9,1	16,3	1,79
Поли-D,L-лактид	10,7	24,1	2,25
То же**	1,3	1,6	1,27
То же**	4,0	15,4	3,90
То же***	0,5	–	–

Примечание. * Промышленные образцы производства фирмы Galactic (Бельгия); ** образцы, синтезированные в лабораторных условиях (мономер – D,L-лактид); *** образец, синтезированный в лабораторных условиях (мономер – D,L-молочная кислота).

Фазовую структуру полилактидов оценивали методом широкоугольной дифракции рентгеновских лучей на дифрактометре HZG 4A с использованием $\text{CuK}\alpha$ -излучения и Ni-фильтра. Степень кристалличности χ^p рассчитывали как отношение I_k/I_o , где I_k – интегральная интенсивность дифракции на кристаллических областях, I_o – общая интегральная интенсивность. Значение I_k определяли по разности I_o и I_a , где I_a – интегральная интенсивность аморфного гало.

Исследование процессов кристаллизации и плавления кристаллитов полилактидов и их смесей проводили методом ДСК. Кривые ДСК регистрировали и обрабатывали на термоанализаторе NETZSCH STA 449C в режиме ДСК/ТГ. Измерения проводили в атмосфере азота в интервале температур 30÷200 °С, используя алюминиевые тигли. Навеска образца составляла 5÷10 мг, скорость нагрева – 5 °/мин. Для калибровки в качестве стандарта применяли индий. Теплоту и температуру переходов рассчитывали с помощью компьютерной программы. Температуру начала и окончания пере-

ходов определяли как точки пересечения касательных соответственно к левой и правой частям кривых ДСК с базовой линией.

Степень кристалличности по данным ДСК ($\chi^{\text{ДСК}}$) рассчитывали по уравнению

$$\chi^{\text{ДСК}} = (\Delta H_{\text{пл}} - \Delta H_{\text{х.к}}) / \Delta H^{\circ}_{\text{пл}},$$

где $\Delta H_{\text{пл}}$ – энтальпия плавления, $\Delta H_{\text{х.к}}$ – холодной кристаллизации, $\Delta H^{\circ}_{\text{пл}}$ – плавления полностью кристаллического полимера. В соответствии с [4] $\Delta H^{\circ}_{\text{пл}}$ принимали равной 106 Дж/г.

Термомеханический анализ (ТМА) выполняли на аппарате УИП-70 производства ЦКБ ОП АН СССР. Эксперимент проводили в воздушной среде при скорости нагревания 5 °С/мин. Давление, приложенное к образцу в процессе ТМА, составляло 0,05 МПа. Теплостойкость оценивали по кривым зависимости относительной деформации продавливания ε , % от температуры T , °С.

Результаты и их обсуждение

Возможность использования полилактидов в качестве биодеградируемых имплантатов при хирургических операциях по сращиванию костных отломков определяется прежде всего способностью полимера выдерживать заданную механическую нагрузку при температуре организма, т. е. его термомеханическими свойствами. На кривых ТМА полилактидов (рис. 1) имеются точки перегиба, отвечающие температурам релаксационных переходов полимера, а именно стеклования $t_{\text{ст}}$ и течения $t_{\text{т}}$. Их величины зависят как от стереорегулярности цепи, так и молекулярно-массовых характеристик макромолекул, в первую очередь от их длины. Для поли-D,L-лактида и поли-L-лактида с близкими значениями среднечисловой молекулярной массы \bar{M}_n (около 10^5), но отличающимися стереорегулярностью и имеющими соответственно аморфную и аморфно-кристаллическую фазовую структуру, величины $t_{\text{ст}}$ практически одинаковы и составляют 60 и 63 °С соответственно, тогда как величины $t_{\text{т}}$ различаются более чем на 60 °С (106 и 170 °С соответственно). При этом для аморфно-кристаллического поли-L-лактида величины $t_{\text{т}}$ близки к температуре плавления кристаллитов $t_{\text{пл}}$. Влияние давления, приложенного к образцам полилактидов в процессе ТМА, описано ранее в [5].

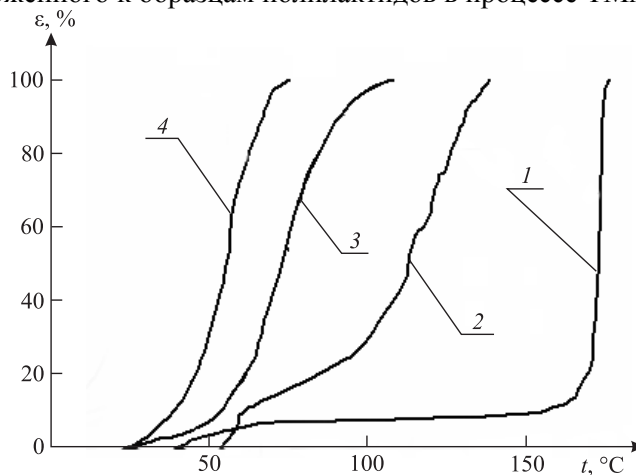


Рис. 1. Термомеханические кривые поли-L-лактида (1) и поли-D,L-лактидов (2–4).

$\bar{M}_n = 9,1 \cdot 10^4$ (1); $1,07 \cdot 10^5$ (2); $4,0 \cdot 10^4$ (3) и $1,3 \cdot 10^4$ (4); ε – относительная деформация продавливания образца

При изучении зависимости температур релаксационных переходов полилактидов от длины полимерной цепи наряду с образцами, приведенными в табл. 1, использовали продукты, полученные при радиационной и биодеструкции промышленно производимых поли-L-лактида и поли-D,L-лактида. Данные рис. 2 показывают, что при уменьшении длины цепи аморфного поли-D,L-лактида значения $t_{\text{т}}$ снижаются монотонно, тогда как значения $t_{\text{ст}}$, мало изменяющиеся при уменьшении \bar{M}_n от $1,07 \cdot 10^5$ до $4,5 \cdot 10^4$, резко снижаются при достижении $\bar{M}_n = 4,0 \cdot 10^4$. При этом они оказываются меньше температуры живого организма, что не позволяет использовать такие материалы в качестве хирургических имплантатов. Величины $t_{\text{ст}}$ и $t_{\text{т}}$ аморфно-кристаллических материалов из поли-L-лактидов практически не зависят от молекулярной массы, оставаясь заведомо более высокими, чем температура живого организма, поэтому поли-L-лактиды предпочтительнее в качестве имплантатов по сравнению с поли-D,L-лактидами. В целом можно заключить, что фазовая структура полилактидов, задаваемая стереорегулярностью цепей, а также условиями формования материалов, оказывает более существенное влияние на температуры их релаксационных переходов, чем длина макромолекул.

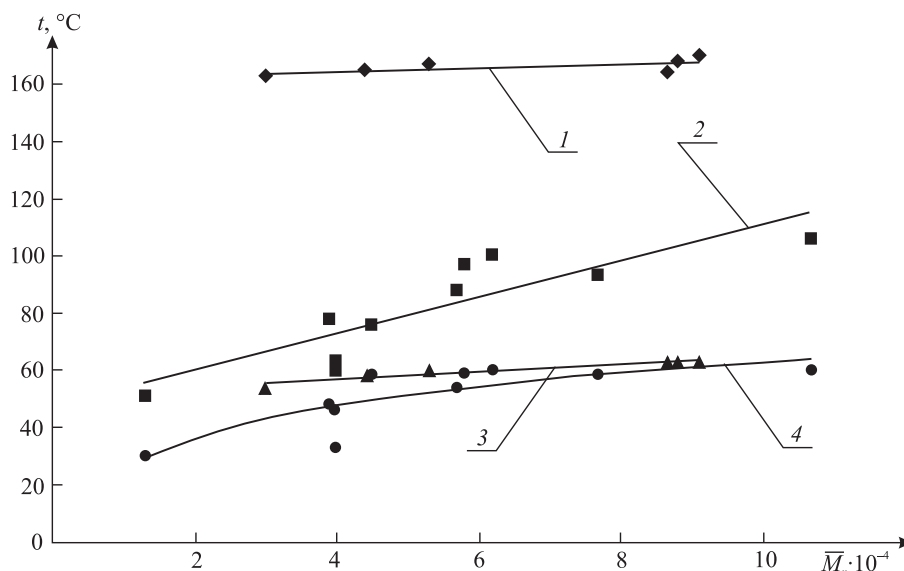


Рис. 2. Зависимость температур течения (1, 2) и стеклования (3, 4) поли-L-лактоидов (1, 3) и поли-D,L-лактоидов (2, 4) от среднечисловой молекулярной массы

По результатам термомеханических исследований можно определить температурные условия переработки аморфных и аморфно-кристаллических полилактоидов в готовые изделия из полимера в вязкотекучем релаксационном состоянии, а также температурные режимы эксплуатации изделий, изготовленных из полилактоидов. Например, при формовании полилактоидных имплантатов методом литья под давлением температура в обогреваемой зоне литьевой машины при использовании аморфных поли-D,L-лактоидов должна превышать температуру течения, прямо пропорциональную их молекулярной массе, тогда как в случае аморфно-кристаллического поли-L-лактоида полимер должен быть нагрет до более высокой температуры, превышающей температуру плавления его кристаллитов. Однако, поскольку при быстром охлаждении расплава поли-L-лактоида процессы кристаллизации не успевают развиваться, фазовая структура литьевых изделий может оказаться аморфной. Высокой степени кристалличности изделий из поли-L-лактоида, достигающей 39 %, удается достичь в процессе формования из раствора полимера в трихлорметане при медленном испарении растворителя [6]. При использовании в качестве имплантатов изделий из аморфных поли-D,L-лактоидов необходимо учитывать, что температуру организма без необратимой деформации способны выдержать лишь полимеры, молекулярная масса которых превышает $1,3 \cdot 10^4$, тогда как имплантаты из аморфно-кристаллического поли-L-лактоида даже с короткими цепями не переходят в вязкотекучее состояние вплоть до температуры плавления их кристаллитов, превышающей 160 °C.

Фазовая структура полилактоидов предопределяет не только показатели механических свойств полимерных материалов на их основе при определенной температуре, но и их устойчивость к деструктивным процессам. В свою очередь, фазовая структура предопределяется степенью стереорегулярности макромолекул. Так, аморфно-кристаллические полилактоиды на основе стереорегулярных макромолекул имеют лучшие механические свойства и более высокую устойчивость к биодegradации по сравнению с аморфными. Вместе с тем аморфно-кристаллические полилактоиды дороже и менее доступны. Смешение аморфно-кристаллических и аморфных полилактоидов позволяет не только уменьшать стоимость материалов, но и регулировать механические свойства и скорость биодegradации изделий. Однако сведения о структуре и свойствах смесей полилактоидов ограничены. Опубликованные работы [7–9] посвящены исследованию кристаллической структуры стереокомплексов на основе конфигурационных изомеров полилактоида (L-изомера и D-изомера), а также термических и диэлектрических свойств смесей аморфного поли-D,L-лактоида и аморфно-кристаллического поли-L-лактоида. Фазовая структура смесей из полилактоидов с различной стереорегулярностью до постановки наших исследований была изучена мало. Это затрудняло прогнозирование физико-химических свойств полимерных материалов на их основе. В связи с этим было проведено исследование структуры и свойств смесей конфигурационных изомеров полилактоидов.

В качестве компонентов смесей использовали промышленные высокомолекулярные поли-L-лактоид и поли-D,L-лактоид с близкими молекулярно-массовыми характеристиками. Надмолекулярная структура пленок формировалась в процессе испарения трихлорметана из растворов полимеров и последующей термообработки при 50 °C.

Рентгенофазовый анализ смесей поли-L-лактида и поли-D,L-лактида показал, что экспериментально определенная степень кристалличности смесевых пленок χ_3^p превышает аддитивную $\chi_{адд}^p$, которая была рассчитана из содержания кристаллизующегося поли-L-лактида и степени кристалличности χ_3^p , достигаемой при формировании пленок из индивидуального поли-L-лактида (табл. 2). При этом даже при 25 % содержании поли-L-лактида в смеси на рентгенограмме наблюдались отчетливые рефлексы при 2Θ , равном 16,7 и 19,1 °, характерные для структуры L-изомера. Кроме того, на рентгенодифрактограммах смесей по мере увеличения содержания нестереорегулярного изомера отмечалось уменьшение ширины B основного рефлекса (при $2\Theta = 16,7^\circ$) на половине его высоты (см. табл. 2). Такое изменение интерпретируется как возрастание размеров кристаллитов, пропорциональное наблюдаемому снижению величины B .

Таблица 2

Результаты рентгенофазового анализа смесей поли-L-лактида и поли-D,L-лактида

Содержание поли-L-лактида в смеси, %	$\chi_{адд}^p$, %	χ_3^p , %	B , °
0	0	0	–
25	9,2	29	0,26
50	18,5	37	0,32

Повышение степени кристалличности и увеличение размеров кристаллитов при переходе к смесям конфигурационных изомеров полилактида объясняется, вероятно, эффектом разбавления при кристаллизации из смесевых растворов. Действительно, в смесевом растворе, содержащем атактические (поли-D,L-лактид) и стереорегулярные (поли-L-лактид) макромолекулы, концентрация кристаллизующегося стереорегулярного полимера ниже, чем в растворе индивидуального поли-L-лактида той же концентрации, что и смесевое раствора. В результате в процессе испарения формируется меньшее число зародышей кристаллизации, между которыми в процессе роста кристаллитов распределяются стереорегулярные цепи. Как следствие, образующиеся кристаллиты имеют большие размеры, чем кристаллиты, возникающие из индивидуального, более концентрированного по стереорегулярному полимеру раствора, а образец в целом – более высокую по сравнению с аддитивным значением степень кристалличности.

Однако сверхаддитивное повышение степени кристалличности в смесях стереорегулярного и нестереорегулярного полилактидов фиксируется только методом рентгенофазового анализа. При исследовании релаксационных и фазовых переходов в смесях конфигурационных изомеров полилактидов методом ДСК на кривых при любом содержании поли-L-лактида в смеси наблюдается пик плавления, при этом степень кристалличности $\chi_3^{ДСК}$, определенная по площади этого пика, совпадает с рассчитанной по уравнению аддитивности (табл. 3). Очевидно, что различие в результатах, полученных методами рентгенофазового анализа и ДСК, вызвано более низкой по сравнению с индивидуальным поли-L-лактидом устойчивостью к воздействию повышенных температур тех кристаллических образований, которые обуславливают сверхаддитивное увеличение степени кристалличности, наблюдаемое при рентгенофазовом анализе смесей. Можно предположить, что при кристаллизации смесей стереорегулярного и нестереорегулярного полилактидов из растворов происходит образование двух типов кристаллической структуры. Кристаллическая структура первого типа в такой же степени устойчива к термическому воздействию, что и кристаллическая структура индивидуального поли-L-лактида. Кристаллическая структура второго типа разрушается при температурах, более низких по сравнению с $t_{пл}$ индивидуального поли-L-лактида. Сверхаддитивный вклад этой метастабильной части общей кристаллической структуры проявляется на рентгенодифрактограммах.

Таблица 3

Результаты ДСК смесей поли-L-лактида и поли-D,L-лактида

Содержание поли-L-лактида в смеси, %	$\chi_3^{ДСК}$, %	$t_{пл}^*$, °C			$\Delta H_{пл}$, Дж/г
		$t_{пл}^n$	$t_{пл}^m$	$t_{пл}^k$	
0	0	–	–	–	–
25	9,0	161,4	167,4	173,2	9,6
50	18,0	163,8	169,8	173,9	18,8
75	27,8	168,2	173,4	177,4	29,5
100	39,0	169,8	174,4	176,6	52,0

Примечание. $t_{пл}^n$, $t_{пл}^m$ и $t_{пл}^k$ – температуры начала плавления, максимума скорости плавления и завершения плавления соответственно.

На кривых ДСК смесей стереорегулярного и нестереорегулярного полилактидов пики плавления, относящиеся к стабильной и метастабильной кристаллической структуре поли-L-лактида, не разрешены. Однако с уменьшением содержания поли-L-лактида в смеси пик плавления смещается в сторону более низких температур (табл. 4). В этом случае даже при минимальном содержании поли-L-лактида в смеси (25 %) величина температуры плавления композиции отличается от таковой для индивидуального поли-L-лактида в смеси не более чем на 7 °С, т. е. вклад низкоплавкой метастабильной кристаллической структуры поли-L-лактида в смеси в суммарную $t_{пл}$ невелик. Экстраполяцией температуры плавления смеси к нулевому содержанию поли-L-лактида в ней можно получить значение $t_{пл}$ метастабильной кристаллической фазы, равное 165 °С. Для основной стабильной кристаллической фазы, которая формируется в смесевых пленках в процессе их приготовления, величина $t_{пл}$, как и в пленках из индивидуального поли-L-лактида, составляет 174 °С.

Таблица 4

Результаты термомеханического анализа смесей поли-L-лактида и поли-D,L-лактида

Содержание поли-L-лактида, %	$t_{ст}$	t_f
	°С	
0	60	102
25	46	146
50	61	157
75	62	165
100	63	170

Увеличение степени кристалличности в смесях полилактидов обусловлено, скорее всего, интенсификацией кристаллизационных процессов в цепях стереорегулярного поли-L-лактида, который способен к кристаллизации вследствие регулярности структуры макромолекул. При кристаллизации из раствора этого полимера в отсутствие поли-D,L-лактида степень кристалличности достигает 37÷39 %, т. е. наличие поли-D,L-лактида в смесевых композициях способно обеспечить дополнительную кристаллизацию поли-L-лактида. Вероятно, наблюдаемый эффект связан с усилением межцепного взаимодействия между участками цепей стереорегулярного и нестереорегулярного полилактидов. Детали механизма этого процесса до конца не ясны. Можно предполагать, что увеличению степени кристалличности полимера в смеси способствует идентичность химической природы элементарного звена обоих полимеров.

Ранее увеличение степени кристалличности в композициях на основе полилактидов отмечалось только для смесей двух кристаллизующихся полимеров, в частности смесей кристаллизующегося полилактида с полипропиленом [10] и с белками сои [11]. Эффект возрастания степени кристалличности для композиции, состоящей из 50 % полипропилена и 50 % кристаллизующегося полилактида, объяснялся тем, что полилактид при кристаллизации совместно с полипропиленом образует кристаллическую решетку, параметры которой ближе к полипропилену, чем к полилактиду. Наблюдаемое для смесей аморфного поли-D,L-лактида и аморфно-кристаллического поли-L-лактида возрастание степени кристалличности не сопровождается изменением параметров кристаллической решетки (на рентгенограммах не отмечается сдвигов положения пиков). Однако размер кристаллитов поли-L-лактида при формовании пленки из раствора смесей поли-L-лактида с поли-D,L-лактидом увеличивается пропорционально содержанию поли-D,L-лактида в смеси. В данном случае речь может идти только о росте доли макромолекул поли-L-лактида, входящих в кристаллическую решетку при кристаллизации из раствора.

Кроме того, можно допустить, что в кристаллизации способны участвовать не только цепи поли-L-лактида, но и те фрагменты поли-L,D-лактидных цепей, которые обладают некоторой степенью стереорегулярности. Это касается смеси с минимальным содержанием поли-L-лактида (25 %), для которой экспериментально определенное значение χ_s^p (29 %) выше, чем то, которое могло бы быть достигнуто при 100 % кристалличности входящего в состав смеси поли-L-лактида, а именно 25 %. В итоге кристаллиты на основе смесей включают определенную долю слабоупорядоченных цепей D,L-изомера. Поскольку температура плавления полилактидов весьма чувствительна к степени совершенства кристаллитов, то увеличение их дефектности приводит к некоторому падению среднего ее значения.

На термомеханических кривых смесей стереорегулярного поли-L-лактида и нестереорегулярного поли-D,L-лактида наблюдаются не две температуры релаксационного перехода из высокоэластического в вязкотекучее состояние, отвечающие индивидуальным полимерам, а одна [12]. При этом она оказывается близкой к таковой для стереорегулярного поли-L-лактида, даже если его содержание в

смеси составляет всего 25 %. Следовательно, по данным ТМА, обнаруживается эффект сверхаддитивного увеличения температуры течения при введении в аморфный поли-D,L-лактид добавок аморфно-кристаллического поли-L-лактида. Количественно для каждого состава смеси он может быть оценен как отношение величины смеси t_T , определенной экспериментально $[(t_T)_{\text{эксп}}]$, к величине смеси, рассчитанной по уравнению аддитивности $[(t_T)_{\text{адд}}]$. Зависимости эффекта сверхаддитивного увеличения температур течения смесей поли-D,L-лактида с поли-L-лактидом от содержания поли-L-лактида в смеси (рис. 3) были получены как для смесей промышленных высокомолекулярных полимеров, так и для смесей промышленного высокомолекулярного поли-L-лактида с низкомолекулярным поли-D,L-лактидом, синтезированным из D,L-молочной кислоты. Данные, приведенные на рис. 3, свидетельствуют о том, что эффект сверхаддитивного увеличения температуры течения при введении в атактический аморфный поли-D,L-лактид добавок кристаллизующегося поли-L-лактида наблюдается независимо от величины среднечисловой молекулярной массы поли-D,L-лактида при изменении ее в пределах от $5 \cdot 10^3$ до $1,05 \cdot 10^5$. Однако молекулярная масса поли-D,L-лактида сказывается на величине эффекта сверхаддитивного возрастания температур течения в смесях поли-L-лактида с поли-D,L-лактидом. Этот эффект для композиций на основе низкомолекулярного поли-D,L-лактида выражен сильнее, чем для композиций на основе высокомолекулярного поли-D,L-лактида, причем в обоих случаях эффект увеличивается при уменьшении содержания поли-L-лактида в смеси.

Таким образом, исследование кристаллизации смесей стереорегулярных и нестереорегулярных полилактидов показало возможность формирования упорядоченной надмолекулярной организации с крупными кристаллитами и степенью кристалличности, превышающей аддитивное значение. Термомеханические свойства композиций конфигурационных изомеров с высоким содержанием нестереорегулярного полимера близки к свойствам индивидуального стереорегулярного полимера. Введение в доступный и дешевый атактический поли-D,L-лактид относительно небольших количеств стереорегулярного поли-L-лактида позволяет получить композицию, теплостойкость которой близка к теплостойкости дорогого и менее доступного поли-L-лактида. Варьируя состав композиции и тем самым ее фазовую структуру, в принципе можно регулировать деформационно-прочностные свойства, а также степень устойчивости материала к биодegradации, что особенно важно для создания широкой гаммы биодegradуемых полимерных материалов медицинского назначения.

1. Garlotta D. // J. Polym. Environ. 2001. Vol. 9. № 2. P. 63.
2. Auras R. // Macromol. Biosci. 2004. Vol. 4. № 9. P. 835.
3. Белов Д.А., Бычкова А.Н., Климовцова И.А. // Материалы, технологии, инструменты. 2006. Т. 11. № 2. С. 56.
4. Sarasua J.R., Lopez A.A., Valerdi P., Maiza I. // J. Mater. Sci. 2005. Vol. 40. P. 1855.
5. Белов Д.А., Круль Л.П., Поликарпов А.П., Климовцова И.А. // Вестн. БГУ. Сер. 2. 2007. № 3. С. 30.
6. Krul L.P., Volozhyn A.I., Belov D.A. et al. // Biomol. Eng. 2006. Vol. 23. № 1. P. 77.
7. Yuan Y., Ruckenstein E. // Polym. Bull. 1998. Vol. 40. P. 485.
8. Ren J., Adachi K. // Macromolecules. 2003. Vol. 36. P. 5180.
9. Anderson K.S., Hillmyer M.A. // Polymer. 2006. Vol. 47. P. 2030.
10. Reddy N., Nama D., Yang Y. // Polym. Degrad. Stab. 2008. Vol. 93. P. 233.
11. Zhang J., Jiang L., Zhu L. // Biomacromolecules. 2006. Vol. 7. № 5. P. 1551.
12. Круль Л.П., Белов Д.А., Бутовская Г.В. и др. // Докл. НАН Беларуси. 2009. Т. 53. № 1. С. 68.

Поступила в редакцию 24.06.11.

Леонид Петрович Круль – доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой высокомолекулярных соединений, специалист в области физической химии высокомолекулярных соединений. Внес значительный вклад в разработку физико-химических основ модифицирования синтетических полимеров. Автор монографии, посвященной структуре и свойствам привитых полимерных материалов, двух учебных пособий по высокомолекулярным соединениям и более 400 научных публикаций и патентов. Отличник образования Республики Беларусь, Заслуженный работник БГУ.

Дмитрий Александрович Белов – кандидат химических наук, ассистент кафедры высокомолекулярных соединений, специалист в области растворов полимеров и полимеров медицинского назначения. Автор 6 научных статей, 14 тезисов докладов и 1 патента.

Галина Васильевна Бутовская – кандидат химических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории структурно-химического модифицирования полимеров НИИФХП БГУ, специалист в области химической кинетики и физической химии высокомолекулярных соединений, а также в области международного научно-технического сотрудничества. Автор более 100 научных публикаций и патентов.

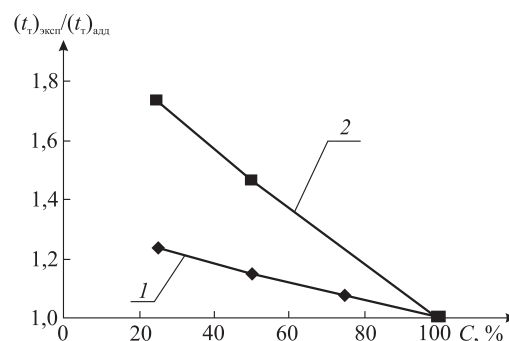


Рис. 3. Зависимость эффекта сверхаддитивного увеличения температуры течения смесей поли-L-лактида с поли-D,L-лактидом с $\bar{M}_n = 9,1 \cdot 10^4$ (1) и с $\bar{M}_n = 9,1 \cdot 10^4$ (2) от содержания поли-L-лактида в смеси

ФОТОХИМИЧЕСКИЙ, СОЛЬВОТЕРМИЧЕСКИЙ И СОНОХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ НАНО- И МЕЗОСТРУКТУРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

The paper reviews the current status of the researches at the Chair of Inorganic Chemistry in the synthesis of nanostructures and mesostructured materials with the use of photocatalytic lithography, thermally-induced polycondensation of oxoacids and sonochemical treatment of active metals and their alloys.

В последние годы развитие теории и практики неорганического синтеза было связано прежде всего с разработкой новых подходов к созданию неорганических структур со сложной организацией, а также методов получения мезопористых материалов и метастабильных полиморфных форм кристаллических веществ. Именно в этих направлениях в последнее десятилетие развиваются исследования на кафедре неорганической химии с широким привлечением в качестве химико-синтетических средств фотохимических, сольвотермических и сонохимических методов.

1. Фотохимический синтез планарных металлических структур субмикронного разрешения

Ранее в рамках исследований, выполнявшихся в течение многих лет на кафедре неорганической химии и в НИИ физико-химических проблем БГУ, было показано, что заряджение поверхностных состояний при облучении пленок диоксида титана (аморфного, аморфно-кристаллического) может быть использовано для селективного химического осаждения металлов, и на этой основе были разработаны принципиально новые фотолитографические процессы [1, 2]. Дальнейшие исследования в этом направлении позволили установить, что в случае наноструктурных пленок TiO_2 , допированных ионами металлов, могут реализовываться и чисто химические механизмы формирования скрытого изображения, не связанные с эффектами фотозаряджения и, следовательно, не подверженные растеканию зарядов [3]. В основе этих фотопроцессов лежит генерация промежуточных валентных состояний таких металлов, как палладий и золото, которые способны стабилизироваться в наноструктурных оксидных матрицах. В системах такого рода фотогенерированное скрытое изображение конвертируется в проявляемое, образованное каталитически активными металлическими частицами в результате диспропорционирования одновалентного палладия (золота) [4, 5], а эффективность первичного фотопроцесса может быть резко увеличена за счет эффектов удвоения квантового выхода при использовании в качестве химических сенсibilizаторов оксалатов и аналогичных соединений, способных отдавать два электрона при захвате одной фотодырки из TiO_2 [5]. Разработанный фотокаталитический литографический процесс позволяет получать металлические рисунки (дорожки, каталитические площадки для выращивания углеродных нанотрубок [5, 6] и др.) с микронным разрешением при использовании для экспонирования УФ-излучения, причем рисунки можно получать как на диэлектрических, так и на проводящих подложках, поскольку скрытое изображение формируется в результате протекания не электрохимических, а фотохимических процессов.

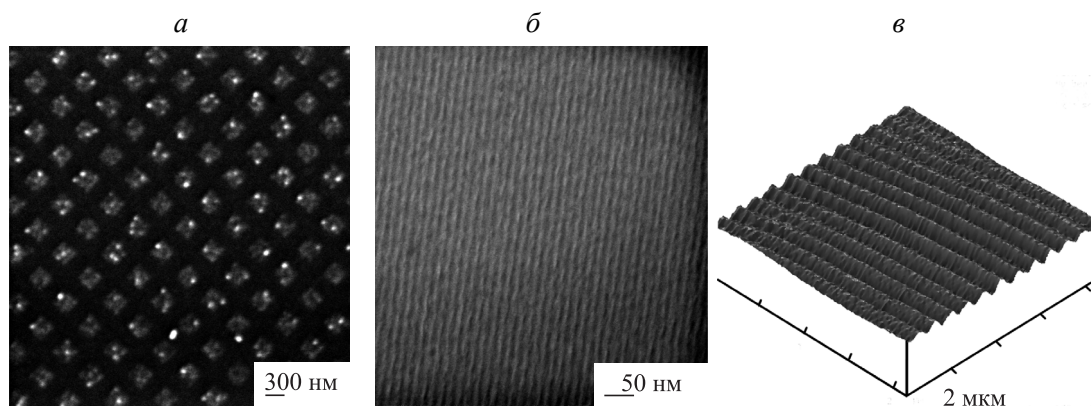


Рис. 1. Никелевые рисунки субмикронного разрешения, полученные с помощью электронно-лучевого облучения (а) и синхротронного облучения 13,5 нм (б). Атомно-силовое изображение участка рисунка в виде параллельных линий шириной 100 нм (в)

Кардинальным образом повысить разрешение и перейти в область субмикронных размеров генерируемых металлических элементов можно путем использования для экспонирования электронного пучка либо синхротронного излучения. Выполненные исследования показали, что указанные средства экспонирования в сочетании с последующим химическим осаждением никеля позволяют получать никелевые рисунки с размером элементов 100 нм и менее (рис. 1). Еще одним дополнительным фак-

тором, обеспечивающим повышение предельной разрешающей способности процессов фотоселективного осаждения с использованием пленок $\text{TiO}_2:\text{Pd}^{2+}$, является дополнительное повышение числа центров роста никелевой фазы (до 1800 проявляемых палладиевых центров в расчете на 1 мкм^2) при переходе к указанным источникам облучения по сравнению с традиционным экспонированием УФ-светом. Высокая чувствительность таких фотолитографических систем позволяет формировать рисунки при очень малых дозах облучения (менее 380 мКл/см^2 в случае экспонирования электронным пучком), а с ростом дозовой нагрузки изображение инвертируется (наблюдается переход от негативного рисунка к позитивному) с сохранением высокого разрешения [7, 8] (см. рис. 1). Это, в частности, позволяет при варьировании интенсивности облучения получать металлические рисунки позитивного и негативного типа на одних и тех же фоточувствительных слоях $\text{TiO}_2:\text{Pd}^{2+}$ при унифицированной постобработке экспонированных слоев. При этом рисунки разных типов могут формироваться на различных участках поверхности одного и того же образца, что расширяет возможности по получению планарных металлических элементов со сложной структурной организацией.

2. Сольвотермический синтез оксидных нано- и микрофаз

Одним из традиционных для кафедры неорганической химии научных направлений является разработка новых методов синтеза оксидных и оксидно-гидроксидных систем. В последние годы новый импульс этим исследованиям дало использование сольвотермических методов синтеза, открывающих возможность получения широкого круга метастабильных соединений и позволяющих эффективно регулировать габитус получаемых кристаллов. В частности, было установлено, что изменение условий сольвотермического синтеза является мощным средством управления процессами поликонденсации оксокислот и, в частности, позволяет влиять на структурные характеристики и относительную устойчивость прекурсоров растущей оксидной фазы [9–11]. В случае полимолибденовой кислоты, для которой характерна заторможенность оксалационных реакций, а процесс роста фазовых образований характеризуется большим индукционным периодом, за счет изменения концентрации маточного раствора можно «замораживать» зародыши на различных стадиях роста и созревания и в дальнейшем осуществлять их доращивание и рекристаллизацию в тех же сольвотермических условиях [9, 11].

Это позволяет получать очень широкий круг оксид-молибденовых частиц различной структуры и уровня дисперсности, включая сферические наночастицы, иглы и 2D-кристаллы (наноленты), правильные призматические кристаллы гексагонального MoO_3 (рис. 2). Последние представляют особый интерес, поскольку обладают слоистой структурой, что позволяет им выступать в качестве эффективных лубрикантных материалов, способных, в отличие от традиционно используемого в этом качестве дисульфида молибдена, функционировать при высоких температурах (до $500 \text{ }^\circ\text{C}$) без потери антифрикционных свойств. При этом наличие у триоксида молибдена выраженной редокс-активности создает особо благоприятные условия для его электрохимического соосаждения с металлами, поскольку обеспечивает быстрое и эффективное зарастание инкорпорируемых частиц MoO_3 матричным металлом (в частности, никелем) [9, 12]. Это позволяет получить металл-оксидные композиты с относительно высоким содержанием оксидного компонента ($5\div 7 \text{ вес. \%}$) из суспензионных электролитов с низкой концентрацией оксидных частиц ($0,1\div 0,5 \text{ г/л}$), в то время как для инкорпорирования диэлектрических частиц необходимо использовать высококонцентрированные суспензии (до 100 г/л). Исследования, выполнявшиеся совместно с НИИФХП БГУ, позволили также проследить за ролью морфологических факторов в формировании физико-механических свойств металл-оксидных композитов. Было показано, что инкорпорирование в металлическую матрицу-носитель сферических частиц MoO_3 размером $100\div 150 \text{ нм}$ приводит к получению дисперсионно-упрочненных композитных покрытий фрикционного типа, в то время как композиты на основе микрокристаллов слоистого MoO_3 обладают выраженными самосмазывающими свойствами (коэффициент трения $\sim 0,02$) [10].

Возможность эффективного управления поликонденсационными процессами за счет варьирования условий сольвотермического синтеза оксидных фаз открывает возможность осаждения одного оксида

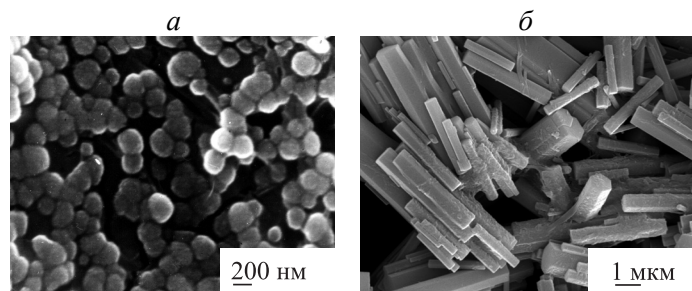


Рис. 2. Сферические наночастицы (а) и призмы гексагонального MoO_3 (б), полученные сольвотермическим методом

на частицы другого, что позволяет получать частицы со структурой типа «ядро – оболочка» [9]. В частности, нанесение на частицы MoO_3 оболочки из WO_3 дает возможность полностью стабилизировать электролиты осаждения композитов (в отсутствие оболочки триоксид молибдена постепенно растворяется, причем образующиеся молибдаты катализируют выделение водорода и делают электролит неработоспособным). В то же время наличие у WO_3 собственной редокс-активности обеспечивает осаждение металл-матричного композита из низкоконцентрированных суспензионных электролитов при сохранении физико-механических свойств, аналогичных тем, которые характерны для композитов Ni-MoO_3 .

3. Sonoхимический синтез металл-оксидных мезофаз

Возникший в последние годы интерес к изучению химического действия ультразвука связан прежде всего с возможностью создания в реакционной среде выражено неравновесных условий, что открывает широкие возможности для инициирования химических реакций, в том числе при синтезе неорганических нанофаз. Исследования, выполняющиеся на кафедре неорганической химии совместно с Университетом г. Байрот и Институтом Макса Планка, по изучению коллоидов и межфазных поверхностей (Германия) показали, что использование ультразвука высокой интенсивности (50 Вт/см^2) существенно расширяет синтетические возможности и открывает перспективы создания новых материалов для различных приложений. В частности, было установлено, что под действием высокоинтенсивного ультразвука на поверхности активных металлов (алюминия, магния и их сплавов) происходит формирование металлической пены, пронизанной большим числом мезопор. Таким образом, могут быть получены поверхностные пористые слои толщиной $200 \div 300 \text{ нм}$, хорошо связанные с металлической подложкой и имеющие открытые поры (рис. 3). В основе механизма формирования металлической пены в условиях облучения интенсивным ультразвуком лежит депассивация облучаемого металла и его селективное травление под действием кавитационных струй [13, 14]. Этот процесс протекает в условиях термомеханического воздействия на металлическую матрицу со стороны ударных волн и химического действия радикальных частиц, генерированных в кавитационных пузырьках. В результате происходит образование монокристаллических металлических ламелей, покрытых пленкой гидратированного оксида (бемита в случае алюминия), который в процессе ультразвуковой обработки постепенно конвертируется в безводную форму. Внутренняя структура пор диаметром $4 \div 7 \text{ нм}$ хорошо прослеживается на электронных микрофотографиях, полученных для микротомированных образцов (рис. 3).

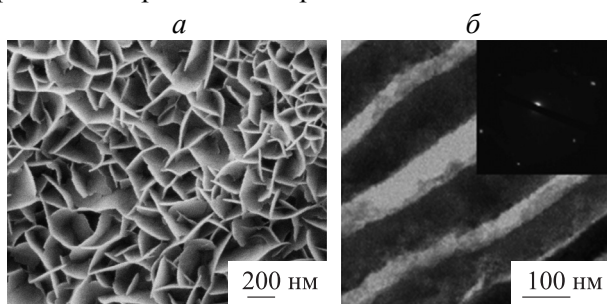


Рис. 3. Поверхность алюминия после обработки высокоинтенсивным ультразвуком в водной среде (сканирующая электронная микроскопия) – а; металлические ламели в пористом слое (просвечивающая электронная микроскопия) – б

Синтезированные таким образом мезопористые материалы открывают новые возможности по получению металл-полимерных композитов (в том числе и в одну стадию, когда образование металлической пены сопровождается соноиндуцированной полимеризацией в порах), а также металлических катализаторов в пористых носителях (при ультразвуковой обработке сплавов образование пористых структур проходит одновременно с фазовой сегрегацией с выделением более устойчивых к растворению компонентов, например, нанофазы благородного металла). Особый интерес представляет возможность создания на основе металлической пены контейнерных структур за счет осаждения на их поверхность полиэлектролитных слоев; при этом в ряде случаев получение пористого слоя и заполнение пор капсулируемым веществом может происходить в одну стадию. Поскольку изменение pH приводит к конформационным трансформациям в полиэлектролитных мембранах и сопровождается изменением их проницаемости, то полученные таким образом «распределенные» контейнерные структуры способны открываться и выпускать содержимое при изменении кислотности среды. В частности, нами была продемонстрирована возможность создания на этой основе самозалечивающихся покрытий, способных обеспечить эффективную активную антикоррозионную защиту за счет выпуска инкорпорированного ингибитора коррозии при локальном изменении pH в результате протекания коррозионного процесса. В свою очередь, подавление коррозии ведет к закрытию устьев поверхностных пор, т. е. система в целом характеризуется наличием внутренней обратной связи.

1. Sviridov V.V., Sokolov V.G., Branitskii G.A. // Signal AM. 1984. Bd. 12. S. 211.
2. Свиридов В.В. // Несеребряные фотографические процессы / Под ред. А.Л. Каргужанского. Л., 1984. С. 242.
3. Бык Т.В., Sokolov V.G., Gaevskaya T.V. et al. // Electrochem. Solid-State Lett. 2007. Vol. 10. P. 63.
4. Бык Т.В., Sokolov V.G., Gaevskaya T.V. et al. // J. Photochem. Photobiol. 2008. Vol. 193. P. 56.
5. Скорб Е.В., Соколов В.Г., Бык Т.В. и др. // Химия высоких энергий. 2008. Т. 42. С. 1.
6. Жданок С.А., Горбатов С.В., Михайлов А.А. и др. // Инж.-физ. журн. 2008. Т. 81. С. 203.
7. Скорб Е.В., Соколов В.Г., Гаевская Т.В., Свиридов Д.В. // Теоретическая и экспериментальная химия. 2009. Т. 45. С. 32.
8. Skorb E.V., Sokolov V.G., Gaevskaya T.V. et al. // Nanotechnology. 2010. Vol. 21. P. 315301.
9. Sviridova T.V., Stepanova L.I., Sviridov D.V. // Molybdenum: Characteristics, Production and Applications / Ed. by M. Ortiz et al. New York, 2011.
10. Sviridova T.V., Sviridov D.V. // Physics, Chemistry and Application of Nanostructures / Ed. by V.E. Borisenko et al. Singapore, 2009. P. 361.
11. Свиридова Т.В., Степанова Л.И., Казаченко В.П. // Весці НАН Беларусі. Сер. хім. навук. 2005. № 2. С. 51.
12. Степанова Л.И., Бодрых Т.И., Пуровская О.Г., Свиридова Т.В. // Нанотехника. 2005. № 2. С. 54.
13. Skorb E.V., Mõhwald H., Irrgang T. et al. // Chem. Comm. 2010. Vol. 46. P. 7897.
14. Skorb E.V., Fix D., Shchukin D.G. et al. // Nanoscale. 2011. Vol. 3. P. 985.

Поступила в редакцию 01.07.11.

Дмитрий Вадимович Свиридов – доктор химических наук, профессор, декан химического факультета. Область научных интересов – прикладная фотохимия, фото- и электрокатализ, химия наноструктурированных систем. Автор более 300 публикаций, в том числе 6 монографий и 4 учебных пособий.

УДК 541.138:539.216

Е.А. СТРЕЛЬЦОВ

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ОСАЖДЕНИЕ ТОНКИХ ПЛЕНОК И НАНОСТРУКТУР ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ХАЛЬКОГЕНИДОВ МЕТАЛЛОВ

Thermodynamic and kinetic aspects of chalcogenide semiconductors electrosynthesis (by the example of PbSe and PbTe) and new line of investigation of the lead chalcogenides nanostructures electrodeposited onto wide-bandgap oxide (TiO₂) have been considered.

Метод электрохимического осаждения (ЭО) широко известен благодаря гальванотехнике – нанесению покрытий в виде металлов и их сплавов (гальваностегия) и изготовлению металлических копий (гальванопластика). Эти процессы впервые осуществил еще в середине XIX в. российский ученый Б. Якоби. Интенсивное исследование закономерностей электрохимического формирования полупроводниковых покрытий (в значительной степени на основе соединений типа A^{IV}B^{VI} и A^{IV}B^{VI}) следует отнести к концу 1970-х и началу 1980-х гг. Это было связано как с развитием солнечной энергетики, базирующейся на использовании тонких слоев полупроводниковой природы, так и с различными практическими приложениями полупроводниковых халькогенидов в микро- и оптоэлектронике.

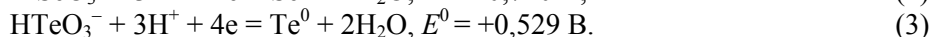
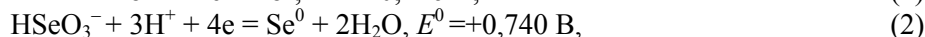
Для получения пленок халькогенидов обычно применяют различные физические методы: молекулярно-лучевую эпитаксию, технологию «горячей стенки», импульсного лазерного испарения и др. В последние десятилетия наблюдается усиливающийся интерес к развитию электрохимических технологий формирования пленок полупроводниковых халькогенидов. Метод ЭО относительно прост и весьма экономичен: в нем не используется дорогостоящее оборудование (в том числе вакуумные установки), исключаются операции высокотемпературного отжига и литографии. Кроме того, метод весьма экологичен, обладает высокой селективностью, позволяет вести осаждение на электроды-подложки сложной формы и больших размеров. Электроосаждение в потенциостатическом или потенциодинамическом режиме дает возможность получать тонкопленочные структуры полупроводников, а в комплексе с другими электрохимическими методами – проводить мониторинг процесса образования новой фазы, необходимый для корректировки микроструктуры полупроводникового халькогенида.

В научном коллективе, возглавляемом автором данной статьи, большое внимание было уделено электросинтезу селенида (PbSe) и теллурида свинца (PbTe), а также их твердых растворов. Эти полупроводниковые материалы широко применяются в термовольтаических системах (преобразующих ИК-излучение в электрическую энергию), охлаждающих и нагревающих элементах, использующих явления Пельтье и Томпсона. Еще одно перспективное направление связано с созданием различных оптических приборов: ИК-детекторов, работающих при комнатной температуре в интервале длин

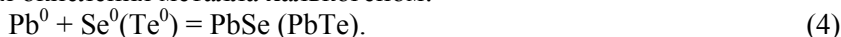
волн 2÷4,5 мкм, диодных лазеров с перестраиваемой длиной волны (3÷30 мкм) и др. Электроосаждение осуществлялось как в виде тонких поликристаллических пленок [1–7], так и в виде различных нано- и гетероструктур [8–11], а также композиционных сверхрешеток [1, 5, 12, 13].

В данной статье на примере PbSe и PbTe рассмотрим термодинамические (выбор потенциалов электросинтеза) и кинетические аспекты электросинтеза бинарных халькогенидов металлов, а также новые направления использования наноструктур этих полупроводников, полученных методом ЭО на поверхности широкозонных оксидов (TiO₂).

Обычно ЭО PbSe и PbTe проводится из кислых водных растворов, содержащих соединения халькогенов(IV) и растворимую соль свинца(II) [1–7]. Один из возможных путей электросинтеза PbSe и PbTe заключается в электрохимическом восстановлении компонентов окисленных форм свинца и халькогенов до простых веществ [1, 5], например:



Далее следует химическая стадия окисления металла халькогеном:



Образование бинарных соединений в соответствии с уравнениями (1) – (4) возможно только в том случае, когда потенциал электрода достигает потенциала образования простых веществ.

В растворах, содержащих только индивидуальные компоненты (свинец, селен, теллур), в случае катодной поляризации рабочего электрода при $E < E_{\text{Se(IV)/Se(0)}}$ осаждается селен (интервал потенциалов *A* на рис. 1 *a*), при $E < E_{\text{Te(IV)/Te(0)}}$ – теллур (интервал потенциалов *B* на рис. 1 *a*), при $E < E_{\text{Pb}^{2+}/\text{Pb}^0}$ – свинец. Соответствующие катодные поляризационные кривые изображены в виде полярографических волн, что связано с диффузионным лимитированием процессов при достаточно небольших (около 50 мВ) катодных перенапряжениях.

При совместном осаждении свинца и халькогена вид поляризационной кривой может быть представлен двояким образом (рис. 1 *б, в*). Если процессы осаждения металла и халькогена протекают параллельно и независимо, то результирующая кривая является итогом аддитивного вклада каждого из

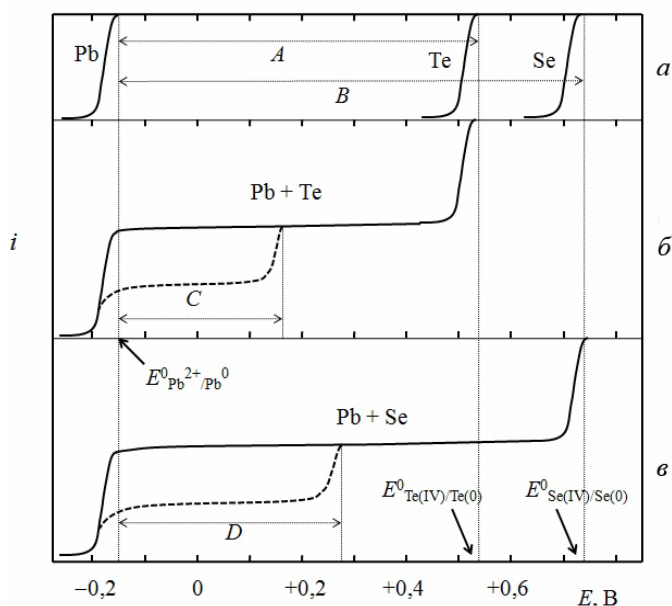


Рис. 1. Поляризационные кривые индивидуального (*a*) и совместного (*б, в*) катодного соосаждения свинца и теллура из водных электролитов.

Стрелками указаны стандартные редокс-потенциалы для процессов образования простых веществ. Потенциалы приведены относительно н. в. э.

процессов (сплошные линии на рис. 1 *б, в*). Однако такой случай практически не реализуется при совместном осаждении Se(Te) и Pb (также таких металлов, как Cd, Zn, Sn, In, Bi, Ag, Cu [1, 5]). Это связано с тем, что на селен и теллур металлы осаждаются с недо-напряжением [14–22], т. е. при $E < E_{\text{Pb}^{2+}/\text{Pb}^0}$ (underpotential deposition – UPD). В результате этого на катодной поляризационной кривой регистрируется дополнительная волна катодного тока (пунктирные линии на рис. 1 *б, в*). Интервал потенциалов UPD свинца на селен и теллур отличается приблизительно на 100 мВ (отрезки *C* и *D* на рис. 1). Это позволяет изменять состав осаждаемых пленок и получать сверхрешеточные структуры при периодическом варьировании уровня катодной поляризации [2, 13].

Как известно, UPD металлов на поверхность инородных электродов, в том числе и халькогенсодержащих, характеризуется поверхностным лимитированием процесса – образованием монослоев, субмонослоев,

адатомов (3D-зародыши при этом не образуются) [14–22]. Это связано с формированием прочных связей металл – Se(Te), энергия которых превышает связи металл – металл (другими словами, UPD металла на халькоген происходит, если соответствующие халькогениды характеризуются отрицательными величинами $\Delta_f G^0$).

Процесс UPD свинца на халькогены протекает на массивных Те-электродах, адатомах, субмонослоях и монослоях селена и теллура, а также поверхностных атомах селена и теллура, образующих структуру селенидов и теллуридов. Рассмотрим более подробно процесс UPD свинца на селенсодержащие электроды. На рис. 2 *a* представлен процесс катодного осаждения свинца на PbSe.

Образование фазового осадка свинца происходит при $E < -0,4$ В. Пик анодного тока *B* отвечает окислению Pb^0 при анодном скане потенциала. Процесу UPD свинца соответствует пик *C* (см. рис. 2 *a*). Очевидно, что осаждение адатомов свинца Pb_{ad} происходит при потенциалах приблизительно на 400 мВ более положительных, чем потенциал начала формирования 3D-зародышей. Образование связей адатомов свинца с селеном приводит к тому, что их анодное окисление требует дополнительных затрат энергии. На поляризационной кривой это проявляется в смещении пика *A* относительно пика *C* (т. е. система в значительной степени необратима).

Для электросинтеза PbSe и PbTe нами было предложено сочетать процесс UPD адатомов Pb и процесс осаждения Se(Te) в условиях перенапряжения (области потенциалов *C* и *D* на рис. 1). Общая суммарная схема электросинтеза халькогенидов в этом случае также описывается уравнениями (1) – (4). В работах [1–7] было показано, что образуются хорошо закристаллизованные пленки халькогенидов, состоящие из хаотически ориентированных кристаллитов с размерами $40 \div 80$ нм. Преимущество использования процесса 2D зародышеобразования свинца по сравнению с 3D зародышеобразованием состоит в том, что при этом практически исключается появление фазы металла, которая к тому же менее реакционноспособна по сравнению с адатомами. Подход, использующий явление электрохимической адсорбции адатомов металла на халькогенах, можно рассматривать как электрохимический аналог осаждения атомных слоев элементов в вакууме (atomic layer deposition), например, в методе молекулярно-лучевой эпитаксии.

Обязательным условием получения однофазной системы (халькогенида без примеси халькогенов) является жесткий контроль скорости осаждения Se(Te). Это достигается использованием малых концентраций ($0,1 \div 1$ ммоль/дм³) окисленных форм халькогена, поскольку процесс их соосаждения протекает в диффузионном режиме. Еще одно обязательное условие – использование небольших величин (единицы милливольт) недонапряжения (т. е. приближение потенциала электрода к нернстовскому значению). Это связано с тем, что только вблизи E_{Pb^{2+}/Pb^0} степень заполнения поверхностных атомов халькогена адатомами свинца $\theta \rightarrow 1$, что обеспечивает стехиометрию бинарного соединения. При больших недонапряжениях (и соответственно при $\theta < 1$) происходит образование двухфазной системы халькогенида и халькогена.

С учетом сказанного важно располагать информацией о величинах недонапряжений ΔE_{UPD} на конкретных электродах и факторах, их определяющих. Проведенные исследования показали, что недонапряжение осаждения атомных слоев металлов на халькогенсодержащие электроды зависит от его природы, например, величина ΔE_{UPD} различна на теллуре и теллуридах [15]. На селене, допированном небольшими количествами свинца ($1 \div 5$ ат. %), также наблюдается изменение величины ΔE_{UPD} [8, 9].

Влияют на величину ΔE_{UPD} и полупроводниковые свойства электрода. Так, на частицах PbSe, осажденных на поверхность широкозонного полупроводникового оксида TiO₂, величина ΔE_{UPD} меньше, чем на поверхности пленки PbSe, нанесенной на золото (см. рис. 2). Электродная система TiO₂ – квантоворазмерные частицы PbSe(PbTe) представляет значительный интерес для разработки фотовольтаических преобразователей солнечной энергии *третьего* поколения. Поглощающие видимую часть солнечного спектра квантоворазмерные частицы (КРЧ) выступают в роли спектральных сенсibilizаторов более широкозонных оксидных полупроводников (как правило, TiO₂, ZnO) [23].

В электрохимической системе TiO₂/PbSe/Pb_{ad} происходит стабилизация адатомов металла к процессу окисления – на ЦВА отсутствует соответствующий анодный пик (рис. 2 *b*). Аналогичный эф-

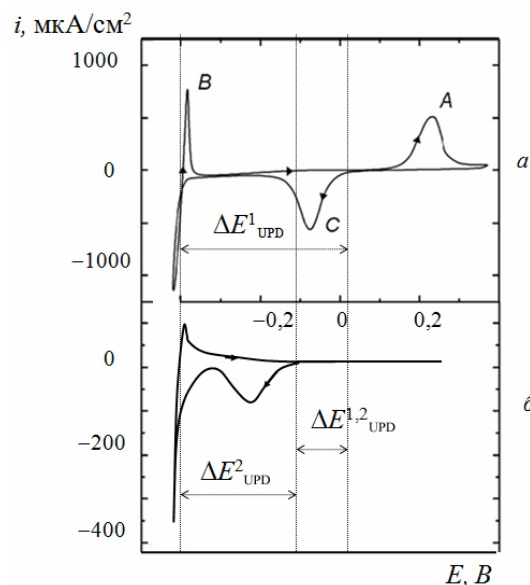


Рис. 2. Циклические вольтамперограммы для Au/PbSe (*a*) и Ti/TiO₂/PbSe-электродов (*b*) в растворе состава 50 мМ Pb(NO₃)₂ + 0,1 М HNO₃. На золото осаждена пленка PbSe толщиной 1 мкм. На поверхность Ti/TiO₂-электрода электрохимически осажден PbSe в количестве 0,25 мкмоль/см². Скорость развертки потенциала 20 мВ/с. Потенциалы приведены относительно н. х. с. э.

фekt наблюдается и при исследовании UPD металлов на халькогенах на поверхности монокристаллического кремния [24].

Нами было установлено, что электрохимически осажденные на поверхность пленок TiO_2 наночастицы PbSe обладают сенсibiliзирующим действием – генерируют анодный фототок в видимой части спектра (рис. 3). Природа анодного тока связана с переносом фотоэлектрона из зоны проводимости селенида в оксид и окислением компонентов электролита, например, катионов Ti^{3+} фотодырками (вставка на рис. 3). Широкозонный оксид является эффективным коллектором фотоэлектронов, препятствуя, таким образом, их рекомбинации с фотодырками. Фототок зависит от природы редокс-систем в растворе и подвержен временной деградации, что указывает на частичное участие фотодырок в коррозионном процессе (окислении селенида).

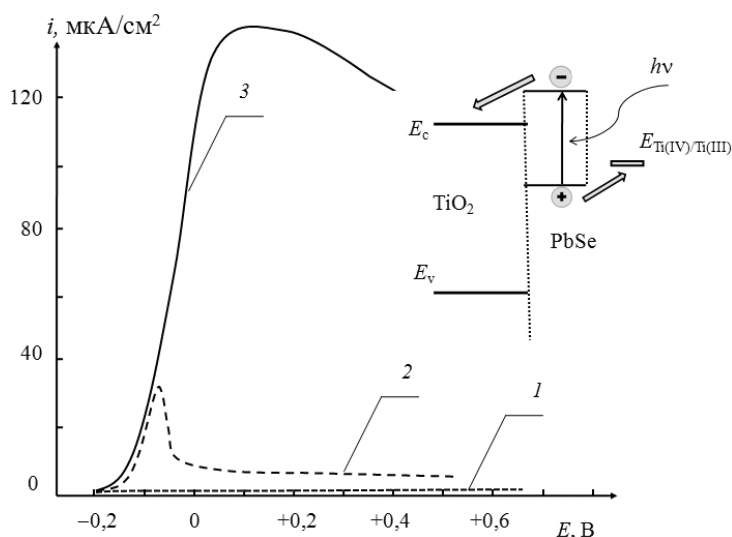


Рис. 3. Анодные поляризационные кривые для $\text{TiO}_2(\text{I})$ и $\text{TiO}_2/\text{PbSe}_{\text{нано}}$ (2, 3) в растворах:

1, 2 – 0,1 M NaSCN; 3 – 0,01 M $\text{Ti}_2(\text{SO}_4)_3$ + 0,1 M Na_2SO_4 (pH 1).

$\lambda = 400\text{--}700$ нм, $J = 100$ мВт/см²; $dE/dt = 20$ мВ/с.

На вставке приведена энергетическая диаграмма гетероструктуры $\text{TiO}_2/\text{PbSe}_{\text{нано}}$ /редокс-система $\text{Ti}(\text{IV})/\text{Ti}(\text{III})$. Потенциалы приведены относительно н. х. с. э.

Следует отметить, что в настоящее время системы типа «широкозонный оксид – квантоворазмерный халькогенид» интенсивно исследуются, причем используются преимущественно коллоидные полупроводники [23]. Преимущество электрохимического подхода к формированию гетероструктур указанного типа состоит в том, что для наночастиц халькогенида, сформированных путем электросинтеза, характерен «тесный» контакт с оксидной матрицей (отсутствуют различные адсорбционные слои, характерные для коллоидных частиц). В этом случае можно ожидать высокой скорости зарядового транспорта между КРЧ халькогенидов и TiO_2 . Кроме того, электрохимическое зародышеобразование селенидной нанопазы происходит на участках поверхности оксида, выступающих в роли каналов тока катодной реакции.

Изложенное не исчерпывает все направления исследования и использования электрохимически осажденных наноструктур халькогенидов металлов. Перспективы развития представляются многообещающими в связи с рассмотренными принципиальными возможностями контроля стадий зародышеобразования на атомарном уровне.

Изложенное не исчерпывает все направления исследования и использования электрохимически осажденных наноструктур халькогенидов металлов. Перспективы развития представляются многообещающими в связи с рассмотренными принципиальными возможностями контроля стадий зародышеобразования на атомарном уровне.

1. Streltsov E.A., Osipovich N.P., Ivanou D.K. // Focus on Surface Science Research / Ed. P. Norris. New York, 2005. P. 1.
2. Streltsov E.A., Osipovich N.P., Ivashkevich L.S. et al. // Electrochim. Acta. 1998. Vol. 43. № 8. P. 869.
3. Стрельцов Е.А., Осипович Н.П., Ивашкевич Л.С., Ляхов А.С. // ЖПХ. 1998. Т. 71. № 10. С. 1651.
4. Streltsov E.A., Osipovich N.P., Ivashkevich L.S., Lyakhov A.S. // Electrochim. Acta. 1999. Vol. 44. № 15. P. 2645.
5. Стрельцов Е.А. // Вестн. НАН Беларуси. Сер. хим. наук. 2000. № 4. С. 15.
6. Ivanova Yu.A., Ivanou D.K., Streltsov E.A. // Electrochemistry Communications. 2007. Vol. 9. № 4. P. 599.
7. Ivanova Yu.A., Ivanou D.K., Streltsov E.A. // Electrochimica Acta. 2008. Vol. 53. № 15. P. 5051.
8. Ivanov D.K., Osipovich N.P., Poznyak S.K., Streltsov E.A. // Surf. Sci. 2003. Vol. 532-535. P. 1092.
9. Иванов Д.К., Позняк С.К., Осипович Н.П., Стрельцов Е.А. // Электрохимия. 2004. Т. 40. № 10. С. 1217.
10. Streltsov E.A., Poznyak S.K., Osipovich N.P. // J. Electroanal. Chem. 2002. Vol. 518. № 2. P. 103.
11. Осипович Н.П., Стрельцов Е.А. // Электрохимия. 2000. Т. 36. № 1. С. 5.
12. Streltsov E.A., Osipovich N.P., Ivashkevich L.S., Lyakhov A.S. // Electrochim. Acta. 1998. Vol. 44. № 2-3. P. 407.
13. Стрельцов Е.А., Осипович Н.П., Ивашкевич Л.С., Ляхов А.С. // Докл. АН Беларуси. 1997. Т. 41. № 5. С. 65.
14. Osipovich N.P., Streltsov E.A., Susha A.S. // Electrochem. Commun. 2000. Vol. 2. № 12. P. 822.
15. Ragoisha G.A., Bondarenko A.S., Osipovich N.P., Streltsov E.A. // J. Electroanal. Chem. 2004. Vol. 565. P. 227.
16. Bondarenko A.S., Ragoisha G.A., Osipovich N.P., Streltsov E.A. // Electrochem. Commun. 2005. Vol. 7. № 6. P. 631.

17. Ivanou D.K., Streltsov E.A., Fedotov A.K., Mazanik A.V. // *Thin Solid Films*. 2005. Vol. 487. № 1-2. P. 49.
 18. Рабчинский С.М., Багаев С.И., Стрельцов Е.А. // *Электрохимия*. 2006. Т. 42. № 8. С. 1.
 19. Bondarenko A.S., Ragoisha G.A., Osipovich N.P., Streltsov E.A. // *Electrochem. Commun.* 2006. Vol. 8. № 6. P. 921.
 20. Ragoisha G.A., Bondarenko A.S., Osipovich N.P. et al. // *Electrochim. Acta*. 2008. Vol. 53. № 11. P. 3879.
 21. Иванова Ю.А., Иванов Д.К., Стрельцов Е.А. // *ТЭХ*. 2009. Т. 45. № 1. С. 27.
 22. Ragoisha G.A., Streltsov E.A., Rabchynski S.M., Ivanou D.K. // *Electrochim. Acta*. 2011. Vol. 56. № 10. P. 3562.
 23. Rühle S., Shalom M., Zaban A. // *ChemPhysChem*. 2010. Vol. 11. P. 2290.
 24. Иванова Ю.А., Иванов Д.К., Стрельцов Е.А. // *Теоретическая и экспериментальная химия*. 2009. Т. 45. № 1. С. 27.

Поступила в редакцию 20.06.11.

Евгений Анатольевич Стрельцов – доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой электрохимии. Область научных интересов – электрохимический синтез халькогенидных соединений, фотоэлектрохимия полупроводников, электрохимия атомных слоев металлов, электрохимическое материаловедение. Автор 1 монографии, более 100 статей, 4 книг, 8 авторских свидетельств и патентов, типовой программы для вузов по курсу «Неорганическая химия», программы-минимум кандидатского экзамена по специальности 02.00.01 – неорганическая химия.

УДК 541.10

А.И. ЛЕСНИКОВИЧ

КАФЕДРА ОБЩЕЙ ХИМИИ И МЕТОДИКИ ПРЕПОДАВАНИЯ ХИМИИ: ОТ ИСТОКОВ ДО НАШИХ ДНЕЙ

The short review of the general chemistry and chemistry teaching methodology department activity since organization is noticed. The role of the V.F. Tikavii at the department making and progress, development of the inorganic ionite and heat resistant coating, computerization of the training is emphasized. The information of his pupil's investigations is cited. The scientific and methodological action of the department's collaborators at the present stage, their management planning, international cooperation and association with Research Institute for Physical and Chemical Problems are represented.

История создания кафедры общей химии и методики преподавания химии уходит в глубь десятилетия, предшествовавшего созданию химического факультета БГУ. (На протяжении ее существования название неоднократно изменялось.) С 1928 по 1937 г. заведующим кафедрой общей и неорганической химии был наш земляк профессор Эмиль Викентьевич Змачинский [1]. Он много внимания уделял проблемам преподавания химии и вопросу табличного оформления Периодической системы Д.И. Менделеева, которому посвятил статью, опубликованную в 1937 г. в «*J. Chem. Education*». Очевидно, что в дальнейшем, независимо от того, присутствовала в названии кафедры общая химия или нет, в учебном процессе она была обязательно, поскольку преподавание химии на соответствующих нехимических факультетах университета начинается с общей и неорганической химии. Увеличение объема работы на таких факультетах побудило декана Ф.Н. Капуцкого принять в конце 1965 г. решение о создании кафедры общей химии. Такая кафедра была создана в 1966 г., возглавил ее Виктор Федорович Беляев, работавший до этого доцентом кафедры органической химии.

В 1973 г. кафедра общей химии была реорганизована с учетом необходимости расширения научно-методической работы и стала называться кафедрой общей химии и методики преподавания химии. Кафедру возглавил Вадим Федорович Тикавый и заведовал ею до 1995 г., а работал на кафедре до 2002 г. – последнего года своей жизни.

В.Ф. Тикавый родился 9 октября 1930 г. в д. Ковали Бобруйского района Минской области. Вся его жизнь, начиная со студенческих лет, была связана с химическим факультетом БГУ, который Вадим Федорович закончил в 1955 г. После окончания аспирантуры и защиты в 1958 г. кандидатской диссертации он начал свою трудовую деятельность, пройдя путь от ассистента до профессора, заведующего кафедрой. В течение 15 лет – с 1978 по 1993 г. являлся деканом химического факультета.

В.Ф. Тикавый – автор 21 изобретения и более 200 научных работ, о результатах которых кратко будет сказано далее. Несколько поколений выпускников высших учебных заведений с благодарностью вспоминают «Пособие по химии для поступающих в вузы» (издания 1979 и 1986 гг.) Ф.Н. Капуцкого и В.Ф. Тикавого, которое помогло им поступить в высшие учебные заведения. К примеру, будучи Председателем Президиума НАН Беларуси, М.В. Мясникович отмечал, что оно помогло и ему.

В.Ф. Тикавый, работавший сначала на кафедре аналитической химии, где он под руководством Г.Л. Старобинца защитил диссертацию, развил на кафедре неорганической химии, а затем на своей кафедре и в НИИФХП исследования по синтезу и изучению свойств неорганических полимерных материалов и многоосновных кислот, в частности, фосфатов циркония, хрома, алюминия и некоторых других материалов подобного состава, т. е. фосфатную тематику. Указанные материалы находят применение в качестве неорганических ионообменников и термостойких покрытий специального назначения, а также термостойких клеев. Одним из первых научных направлений деятельности кафедры общей химии и методики преподавания химии было исследование сорбции из водно-органических сред сорбентами различной природы (доценты М.Л. Павлович и И.Б. Станкевич). Л.И. Продан в течение многих лет проводила исследования по физико-химическому анализу многокомпонентных систем на основе фосфатов. В результате ею совместно с Н.Ф. Ермоленко и Е.А. Проданом была опубликована монография «Триполифосфаты и их применение». С институтом атомной энергии им. И.В. Курчатова велись работы по синтезу и использованию для очистки воды непосредственно в горячих контурах атомных паросиловых установок ионообменников на основе фосфата циркония. По заказу НПО «Энергия» группой под руководством В.А. Корпуса были разработаны термостойкие покрытия, использованные для теплоизоляции отдельных узлов ракетно-космической системы «Энергия – Буран». После успешного запуска этой системы главный конструктор НПО «Энергия» в письме на имя ректора Л.И. Киселевского выразил благодарность ему «и сотрудникам кафедры общей химии, при непосредственном участии которых решена проблема создания высокотемпературных неорганических материалов для теплозащиты узлов и агрегатов изделия».

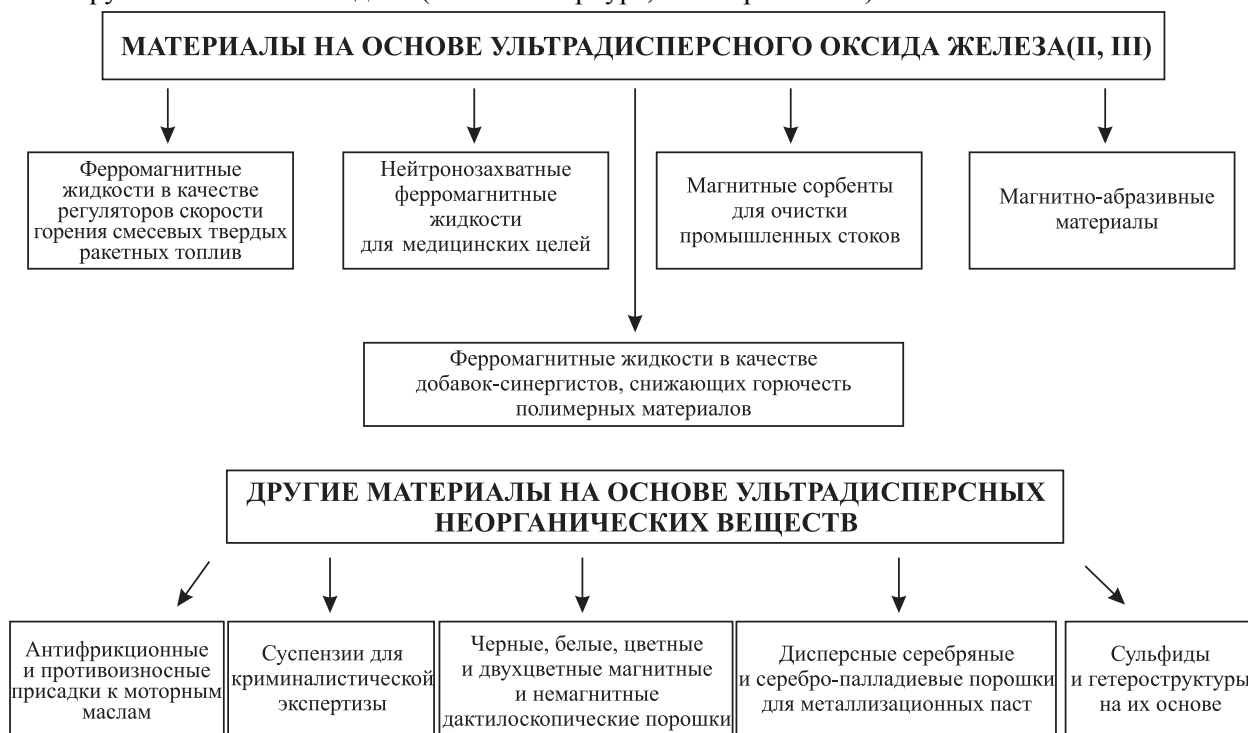
Ученик В.Ф. Тикавого доцент К.Н. Лапко продолжает разрабатывать термостойкие материалы на основе фосфатных композиций. Их использование позволило создать широкий ассортимент термостойких материалов с рабочими температурами до 1600 °С: теплоизолирующие покрытия, клеевые композиции для склеивания металлов, керамики, стекла, дерева, графита; огнеупорные материалы – футеровки, бетоны, цементы, ремонтные и кладочные растворы; композиционные материалы (в том числе текстолиты); безобжиговая керамика, краски, компаунды. Материалы не горючи, не токсичны, производство их безотходно и не требует сложного оборудования. По ряду составов получены авторские свидетельства и патенты. Разработка «Термостойкие материалы на основе фосфатных клеевых композиций» получила серебряную медаль на Московском международном салоне инноваций и инвестиций в 2006 г. и диплом Международного конгресса-выставки «Высокие технологии. Инновации. Инвестиции» в Санкт-Петербурге в 2007 г. В течение последних десяти лет успешно выполнено 6 контрактов (Китай, Индия, Республика Корея).

Учеником В.Ф. Тикавого кандидатом химических наук В.О. Шабловским разработаны технологии получения неорганических сорбентов на основе гидроксидов, фосфатов и алюмосиликатов многовалентных металлов для удаления тяжелых металлов из питьевой воды и гальваностокков, а также извлечения радионуклидов цезия и стронция из высокоминерализованных растворов. Разработаны способы получения угольных гемосорбентов сферической грануляции для выведения из крови человека метаболитов и токсинов со средней молекулярной массой. Получены металлокерамические мембраны с изменяющимся знаком и величиной заряда поверхности с целью очистки питьевой воды и жирных пищевых продуктов от коллоидных примесей и бактерий.

В области фундаментальных исследований по фосфатам, начатых под руководством В.Ф. Тикавого, следует отметить работы, выполняющиеся А.Ф. Селевичем, выпускником кафедры общей химии и методики преподавания химии. Им разработан инженерно-химический подход [2] к синтезу и изучению взаимодействия в вязких трудно кристаллизующихся системах, содержащих летучий компонент, – метод тонкого слоя (МТС). С применением МТС изучено взаимодействие в системах $M_2O_3 - P_2O_5 - H_2O$ для большинства трехвалентных металлов Периодической системы: металлы главной подгруппы III группы, переходные металлы IV периода, лантаноиды, а также Y и Bi. На основании полученных данных созданы эффективные методики синтеза более 200 фосфатов трехвалентных металлов, среди которых более 100 веществ получено впервые.

Начиная с 1995 г. руководство кафедрой общей химии и методики преподавания химии осуществляет автор данной статьи, краткие биографические сведения о котором и сведения о научной деятельности имеются в [3–6], при этом в [6] включен список основных научных работ за период с 1964 по 2005 г. Из публикаций более позднего времени можно упомянуть учебное пособие [7], книгу [8], обзор [2] и серию научно-методических статей [9]. По базе данных Web of Knowledge, средняя цитируемость автора в расчете на одну статью составила 7,75, а h-индекс равен 18.

Научно-исследовательская работа кафедры, выполняемая с участием студентов и аспирантов, тесно связана с научными исследованиями лаборатории химии конденсированных сред НИИ физико-химических проблем БГУ, с тем направлением, которое можно отнести к химической инженерии (рисунк). В рамках сотрудничества с коллективом лаборатории, считавшейся некоторое время лабораторией двойного подчинения (НИИФХП и НИЧ БГУ), и непосредственно с ведущим научным сотрудником лаборатории С.А. Воробьевой разработан метод межфазного получения металлов, оксидов, гидроксидов и солей, проведено систематическое исследование свойств полученных соединений [2]. С применением названного и других методов разработаны магнитные сорбенты для очистки стоков промышленных предприятий, отработана технология производства, получены и исследованы в Государственном криминалистическом центре МВД дактилоскопические порошки и суспензии. Суспензии для выявления следов пальцев рук на влажных, жирных и липких поверхностях, не имеющие аналогов в странах СНГ, используются в криминалистической практике. Рецептуры разработанных дактилоскопических порошков защищены 12 патентами Республики Беларусь, а их применение регламентировано 12 техническими условиями Республики Беларусь. Разработанные порошки и проявители награждены бронзовой медалью IV Московского салона инноваций и инвестиций (2004 г.) и дипломом Международной выставки-конгресса «Высокие технологии. Инновации. Инвестиции» 1 степени с вручением золотой медали (Санкт-Петербург, сентябрь 2006 г.).



Материалы на основе высокодисперсных веществ

А.Н. Кудлашом разработаны условия проведения межфазного синтеза для получения наноразмерных полупроводниковых неорганических соединений (сульфид кадмия, сульфид цинка, гетероструктуры типа ядро/оболочка CdS/ZnS), являющихся перспективными с точки зрения создания материалов с заданными оптическими и электрофизическими свойствами. На основе наночастиц кобальта создана присадка к индустриальному маслу И-40А, в результате сравнительных испытаний противозносных и антифрикционных свойств оно было рекомендовано для механизмов, работающих при высоких нагрузках.

Эти и многие другие разработки и соответствующие исследования связаны также с кафедрой неорганической химии нашего факультета, где они выполнялись в интересах военно-промышленного комплекса СССР под руководством В.В. Свиридова. В свое время В.Ф. Тикавый был доцентом кафедры неорганической химии и многие свои исследования начинал именно на этой кафедре. То же относится и к автору статьи, который на кафедре неорганической химии прошел путь от студента (учился в группе, в которой вел занятия В.Ф. Тикавый, был членом СНО с 1-го курса) до профессора, кроме того, со дня создания НИИФХП и до 1990 г. заведовал лабораторией высокотемпературных

реакций, преобразованной позже в лабораторию химии конденсированных сред. Нынешний заведующий лабораторией химии конденсированных сред академик О.А. Ивашкевич выполнил кандидатскую и докторскую работы (руководитель работ А.И. Лесникович) в области химии ракетного топлива. Эти работы стимулировали развитие исследований по синтезу и изучению свойств производных тетразола, которые выполняются с участием кафедры общей химии и методики преподавания химии ее аспирантами (руководитель доктор химических наук П.Н. Гапоник) и доцентом А.Н. Богатиковым, исследования которым реакции комплексообразования N моно- и N,C дифункциональнозамещенных тетразолов с солями меди(II), никеля(II) и кобальта(II) позволили найти метод разделения и очистки мономеров 1- и 2- метил-5-винилтетразолов, а исследование комплексов с хлоридом меди выявило безопасный и надежный метод хранения изомеров (комплексы хранились 15 лет, затем из них были выделены мономеры, из которых получены полимерные композиции). Исследования проводились совместно с Ленинградским ХТИ им. Ленсовета и НПО «Алтай». По результатам было организовано производство мономера.

Совместные исследования с ОИЯИ (на нейтронном пучке и EXAFS-спектроскопия, Дубна) и ИНХ СО РАН впервые позволили синтезировать тетразолиевые комплексы хлорида меди, имеющие ферромагнитное упорядочение. В результате дальнейших работ по изучению свойств и структуры комплексов установлены закономерности и объяснено появление ферромагнетизма в хлоридных комплексах, спрогнозирован и целенаправленно проводится синтез комплексных соединений, обладающих ферромагнитным упорядочением.

В эпоху междисциплинарных исследований не удивительно, что тетразольная тематика стыкуется с нанотехнологическим направлением. Благодаря исследованиям, проводимым старшим научным сотрудником, кандидатом химических наук С.В. Войтеховичем и младшим научным сотрудником М.Н. Ничик в лаборатории конденсированных сред НИИФХП БГУ в сотрудничестве с зарубежными учеными из университетов Гамбурга и Чикаго, впервые показано, что 1-монозамещенные-5-меркаптотетразолы могут быть использованы в качестве стабилизаторов при получении наночастиц сульфида кадмия и золота [10].

В течение последних 20 лет на кафедре одним из направлений НИР является разработка под руководством профессора И.Е. Шимановича в рамках тесного сотрудничества с Институтом порошковой металлургии НАН Беларуси химических методов получения и модификации эксплуатационных свойств пористых неорганических и металлических материалов. Эти материалы находят широкое применение в качестве наполнителей для катализаторов, фильтрующих устройств, элементов тепловых труб, в мембранных технологиях. И.Е. Шиманович – автор метода свободных поверхностей, широко применяемого в практике исследования твердофазных реакций, одной из первых в Европе технологий получения высокопористых (до 98 %) ячеистых металлов. Он дал научное и экспериментальное обоснование внедрения в практику химических методов улучшения эксплуатационных свойств пористых материалов на металлической и керамической основе, разработал научные и практические основы производства керамических мембран.

Во второй половине 1970-х гг. по инициативе В.Ф. Тикавого на кафедре появилось новое направление методических исследований – поиск путей эффективного использования компьютерной техники в учебном процессе по неорганической химии. Ассистент Г.А. Кожушков совместно с сотрудниками механико-математического факультета и вычислительного центра (А.В. Вавилова и В.С. Шумляев) разработал комплекс обучающе-контролирующих программ для созданной в БГУ уникальной по тем временам электронно-вычислительной обучающей системы ЭВОС. В конце 1970-х – начале 1980-х гг. методические исследования в области компьютеризации учебного процесса проводились совместно с химическим факультетом МГУ им. М.В. Ломоносова и кафедрой дидактики Люблинского университета (научные руководители В.Ф. Тикавый и В.В. Свиридов). Интерес к новому подходу в обучении разрастался стремительно, и в первой половине 1980-х гг. в выполнении НИР «Разработка общих принципов применения АОС в обучении студентов химических специальностей университетов» участвовал 21 сотрудник пяти кафедр химического факультета. Показателем высокой оценки результатов деятельности явилось то, что в 1984 г. на химическом факультете БГУ с большим успехом было проведено выездное заседание Научно-методического совета по химии Минвуза СССР и факультет длительное время считался головной организацией Советского Союза в области компьютеризации университетского химического образования.

Смена поколений компьютерной техники привела к трансформации направления работы. В 1997 г. состоялось подключение БГУ к World Wide Web, и в том же году в Беларуси впервые для

стран СНГ А.А. Рагойша начал публиковать серию статей по методике использования научных веб-ресурсов. Эта тематика развивалась и реализовывалась сначала в спецкурсе, затем в курсе «Поиск химической информации в Интернете и в электронных базах данных» и, наконец, в общем для всех студентов химического факультета курсе «Информационные технологии в химии» (А.А. Рагойша). Учебно-методические материалы по курсу «Информационные технологии в химии» размещены на сайте «ABC Chemistry: Азбука веб-поиска для химиков» (www.abc.chemistry.bsu.by). Аудитория сайта – более 10 тыс. посетителей в месяц из стран Европы, Азии и Северной Америки. Раздел «Free Full-Text Journals in Chemistry» в каталогах зарубежных университетов, библиотек и научных обществ позиционируется как один из основных онлайн-справочников по данной тематике.

В течение приблизительно 20 лет В.Ф. Тикавым, И.Е. Шимановичем, В.Н. Хвалюком, А.А. Рагойшей активно проводилась научно-методическая работа, установлены тесные связи с МГУ, закрепленные договорами о сотрудничестве. Работа была направлена на совершенствование теории и практики преподавания общей и неорганической химии. Позже к этой работе подключились В.А. Красицкий и А.Н. Богатиков. В конце 1980-х гг. научно-методическими исследованиями занимался и доцент кафедры Ю.Г. Орлик, работающий с 1994 г. профессором в университетах Колумбии и в 2000 г. основавший там двуязычный журнал «Journal of Science Education». Он – автор нескольких книг, в том числе на испанском языке – «Активные методы обучения химии» (Мексика, 2002 г.) и русскоязычной книги воспоминаний «О тех, кого помню и люблю...» (Богота, 2009 г.). Кафедра продолжает поддерживать тесные связи с Ягеллонским университетом (Краков), обмениваясь визитами преподавателей, чтением лекций и выполнением совместных исследований по разработке методики проведения занятий и контролю самостоятельной работы студентов. Налажено сотрудничество с университетами Гродно, Витебска, Пинска по созданию учебных программ, частных методик, стажировке преподавателей.

Важнейшим достижением явилась разработка методической базы и внедрение в педагогический процесс модульного принципа обучения, называемого также «блочным» или «рейтинговым». Для успешной реализации модульного принципа обучения кафедрой заложены теоретические основы организации соответствующей этому принципу самостоятельной работы студентов. Ее методическая база представлена рядом пособий, а также материалами компьютерной поддержки изучения курса, размещенными на сайте БГУ в сетевой обучающей платформе eUniversity.

На основе оригинальных методических подходов сотрудниками кафедры опубликован ряд статей и учебных пособий, относящихся к проблемам структурирования учебного материала по общей и неорганической химии, методики организации контроля и самоконтроля учебной деятельности студентов, обоснования содержания лекционных и практических занятий. Среди них – учебное пособие «Полимерное строение неорганических соединений» В.Ф. Тикавого, которое уже много лет широко используется в учебном процессе в университете. Совместно с кафедрой общей химии МГУ им. М.В. Ломоносова при участии И.Е. Шимановича и В.Ф. Тикавого впервые составлена и издана в издательстве «Высшая школа» (Москва) в 1985 г. таблица-справочник «Периодическая система элементов», а в 1990 и 1995 гг. также ее компактные варианты. Широкое признание среди преподавателей, студентов и школьников получило (первое издание в 1989 г.) справочное учебное руководство [11], переведенное на английский язык в издательстве «Мир» (Москва), изданное в 1990 г. и переизданное в 1995 г. Отметим ряд учебных пособий, изданных в 2009 и 2010 гг. [12–14].

На кафедре последние 15 лет ведется целенаправленная работа по разработке методического обеспечения процесса химического образования в Беларуси от школьного до вузовского уровней. Преподаватели кафедры принимают участие в создании новых учебных программ по химии для средней школы. В частности, по поручению Министерства образования Республики Беларусь кафедра разработала типовую программу по курсам общей и неорганической химии для биологических, географических и военных факультетов университетов. Созданы учебно-методические комплексы по курсам общей и неорганической химии для биологического и географического факультетов.

Кафедра выступила инициатором и организатором межвузовской программы «Пути реализации обучающе-исследовательского принципа в системе многоуровневого университетского образования». Выработана концепция обучающе-исследовательского принципа и его реализации, в том числе в применении к преподаванию [15]. Обучающе-исследовательский принцип в школьном преподавании химии стал основой кандидатской диссертации А.Н. Братенниковой.

Под руководством Заслуженного работника образования Республики Беларусь (2009) профессора И.Е. Шимановича на кафедре организованы и работают авторские коллективы по подготовке серии

школьных учебников и учебно-методических пособий по химии. Результатом их деятельности явился выход в свет целого ряда учебников для средней школы: «Вселенная», «Природоведение», «Химия» для 8, 9, 10 и 11-х классов на русском и белорусском языках, а также ряда учебно-методических изданий, учебных программ, стандартов образования и различных учебных пособий и руководств (всего более 60).

В 1996 г. при кафедре организован учебно-информационный центр по химическому образованию. Основными задачами центра являются сбор, обработка, систематизация и распространение информации по химическому образованию; обеспечение доступа основных потребителей (учителей, преподавателей вузов, студентов, школьников) к передовым технологиям в области химического образования; координация работы школьных и вузовских преподавателей химии.

Один из видов деятельности центра – олимпиады школьников по химии. На протяжении 20 лет доцент кафедры В.Н. Хвалюк является председателем жюри заключительного этапа Республиканской олимпиады школьников по химии, руководителем авторского коллектива по разработке заданий теоретического и практического туров III и заключительного этапов Республиканской олимпиады школьников по химии, с 1992 г. – член жюри и методической комиссии Всесоюзной олимпиады школьников по химии, преобразованной затем в Международную Менделеевскую олимпиаду (ММО) школьников стран СНГ и Балтии. Он активно участвует в подготовке команды школьников Республики Беларусь к ММО. За последние 10 лет командами завоевано 13 золотых, 26 серебряных и 19 бронзовых медалей. Результаты выступления команды школьников Республики Беларусь на ММО показали высокий уровень развития отечественной системы школьного образования. В результате целенаправленной работы В.Н. Хвалюка в 1994–1995 гг. команда школьников была приглашена для участия в Международной олимпиаде по химии (IChO). С 1996 г. В.Н. Хвалюк руководил командой школьников Республики Беларусь на IChO и возглавлял отборочные и тренировочные сборы по ее подготовке. За последние 10 лет командами школьников Беларуси на IChO было завоевано 5 золотых, 20 серебряных и 18 бронзовых медалей. Это несомненный вклад в дело повышения имиджа нашей страны на международной арене. Информация об участии школьников страны в республиканских, международных, Менделеевских и всесоюзных химических олимпиадах систематизируется на сайте «Хімічныя алімпіяды Беларусі: ілюстраваная гісторыя» (superhimiki.at.tut.by). В 2008 г. сайт стал лауреатом Республиканского конкурса контент-проектов в номинации «Образование».

С 2001 г. В.Н. Хвалюк возглавляет жюри секции «Химия» республиканского конкурса научно-исследовательских работ школьников Беларуси. Много внимания уделяет работе с учителями химии школ страны, активно работающими с талантливой молодежью. Он – соавтор учебных пособий «Химия, 8» и «Химия, 10» и «Химия, 11» для учащихся средних общеобразовательных школ Республики Беларусь, изданных на русском и белорусском языках, редактор и соавтор сборников задач по химии для учащихся 8-, 9- и 10-х классов, научный редактор и соавтор серии книг, содержащих задания и решения всех этапов Республиканской олимпиады по химии с 1999 г., изданных в издательстве «Народная асвета».

С 2009 г. кафедра общей химии и методики преподавания химии активизировала деятельность по международному научно-техническому сотрудничеству, в том числе и по ряду новых направлений не только в виде научно-исследовательских работ в рамках контрактов с зарубежными партнерами, но и путем координации действий по международным программам, проведения международных совещаний, семинаров, подготовки международных проектов.

Осуществление координационной деятельности по программе ЮНЕСКО «Человек и биосфера» (МАБ) проводится на базе Секретариата Белорусского национального комитета по программе МАБ (А.И. Лесникович – председатель, Н.М. Рыбянец – заместитель председателя) при постоянном взаимодействии с национальными учреждениями и ведомствами, а также с Секретариатом МАБ ЮНЕСКО (штаб-квартира в Париже), Бюро ЮНЕСКО в Москве, зарубежными национальными комитетами по программе «Человек и биосфера». Сотрудничество с национальными, зарубежными и международными организациями осуществляется на основе контрактов и договоров. Проведена научно-организационная деятельность по созданию кафедры ЮНЕСКО в области естественно-научного образования. Сотрудники кафедры приняли участие в подготовке, организации и проведении ряда международных конференций, семинаров и совещаний в Беларуси и за рубежом.

Проведены научно-организационные работы в рамках проекта ЮНЕСКО по поддержке научно-практического семинара «Интегрированные формы обучения в фундаментальной химии» – первого

национального мероприятия, посвященного Году химии, объявленному Организацией Объединенных Наций в 2011 г., на базе кафедры двойного подчинения, общей и неорганической химии БГУ – НАН Беларуси – как примера структуры для осуществления интегрированных форм обучения, способствовавшей за период 2005–2009 гг. подготовке 24 дипломных и 16 курсовых работ на базе НАН Беларуси [16].

Кафедра общей химии эффективно использует сотрудничество с НИИФХП БГУ и с Институтом общей и неорганической химии НАН Беларуси, в том числе в рамках кафедры двойного подчинения, а также ГНПО «Научно-практический центр по биоресурсам». Именно в интеграции науки и образования на всех его уровнях кафедра общей химии и методики преподавания химии видит перспективы своего развития.

Дополнительные сведения о кафедре общей химии и методики преподавания химии можно найти по адресу: <http://www.bsu.by/ru/main.aspx?guid=5611>.

1. Браницкий Г. А. // Вестн. БГУ. Сер. 2. 2001. № 3. С. 16.
2. Лесникович А. И., Воробьева С. А., Селевич А. Ф. // Весці НАН Беларусі. Сер. хім. навук. 2009. № 1. С. 12.
3. Беларуская энцыклапедыя: у 18 т. Мн., 1999. Т. 9. С. 219.
4. Национальная академия наук Беларуси. Персональный состав. Мн., 2003. С. 96.
5. Весці НАН Беларусі. Сер. хім. навук. 2006. № 2. С. 121.
6. Лесникович А. И. // 45 лет в науке: Сб. ст. Мн., 2006.
7. Лесникович А. И., Красицкий В. А. // Избранные главы неорганической химии. Атом. Молекула. Вещество: Учеб. пособие. Мн., 2006.
8. Мясникович М. В., Лесникович А. И., Дедков С. М. // Наука в Беларуси на современном этапе. Мн., 2006.
9. Лесникович А. И. // Хімія: праблемы выкладання. 2009. № 12 (96). С. 60.
10. Nichick M. N., Voitekhovich S. V., Shavel A. et al. // Polyhedron. 2009. Vol. 28. P. 3138.
11. Общая химия в формулах, определениях, схемах / И. Е. Шиманович и др.; Под ред. В. Ф. Тикавого. Мн., 1996.
12. Шиманович И. Е., Красицкий В. А., Рагойша А. А. и др. Общая и неорганическая химия. Задачи, вопросы и упражнения. Мн., 2010.
13. Общая и неорганическая химия: Учебное руководство по курсу для студентов нехимических специальностей / И. Е. Шиманович и др. Мн., 2010.
14. Красицкий В. А. Учение о радиоактивности: история и современность. Мн., 2009.
15. Лесникович А. И. // III Академ. чтения «Образование и наука по рубежу XXI века: проблемы и перспективы развития. Мн., 1997. С. 180.
16. Интегрированные формы обучения в области фундаментальной химии // Материалы науч.-практ. семинара, 3–4 дек. 2009 г. Мн., 2010.

Поступила в редакцию 17.06.11.

Анатолий Иванович Лесникович – академик НАН Беларуси, доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой общей химии и методики преподавания химии, Заслуженный работник БГУ. Сфера научных интересов – кинетика и механизм твердофазных реакций, термический анализ, регулирование процессов горения конденсированных систем, химическая инженерия в синтезе неорганических соединений и наноразмерных систем, обучающе-исследовательский подход в образовании, методика преподавания химии. Автор более 400 работ, 80 патентов, нескольких книг.

УДК 544.2 + 544.3

Г. Я. КАБО, А. В. БЛОХИН, Е. В. ПАВЛЕЧКО

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА КАФЕДРЕ ФИЗИЧЕСКОЙ ХИМИИ В 2000–2010 ГГ.

The presented review contains the most significant results of thermodynamic properties investigation for plastic crystals, fullerene hydrides and low-temperature ionic liquids carried out at the Chair of Physical Chemistry in 2000–2010. A list of authors' publications in foreign scientific journals and monographs is presented.

Полноценное университетское образование невозможно без активного участия в фундаментальных исследованиях по актуальным направлениям современной науки преподавателей, аспирантов, студентов. В области химии приоритетными целями [1] признаны: установление на основе прецизионных измерений физико-химических свойств веществ, методов прогнозирования «состав-свойства», обоснование оптимальных путей синтеза веществ, материалов, энергоносителей и технологий их получения и использования.

Развивая на кафедре физической химии химического факультета и в лаборатории термодинамики органических веществ НИИФХП БГУ исследования в области термодинамики органических веществ,

созвучные названным целям, группа сотрудников (доктора химических наук, профессора Г.Я. Кабо и А.В. Блохин, кандидаты химических наук, доценты В.В. Дикий и Е.В. Павлечко, кандидаты химических наук Д.Г. Зайцев, М.П. Шевелева, А.Г. Кабо, А.Б. Базылева, Л.С. Карпушенкова, А.А. Стречень, М.Б. Черепенников) в 2000–2010 гг. получила ряд уникальных научных результатов, обеспечила высокие темпы и качество подготовки научных кадров высшей квалификации (один доктор и 11 кандидатов химических наук). Преподавателями и сотрудниками были опубликованы обзоры [2–4, 6, 9] и главы коллективных монографий [5, 7, 8] (издательства Springer, Royal Society of Chemistry, American Chemical Society). Признание международного научного сообщества получили журнальные публикации [10–50] (более 1000 цитирований по данным Scopus). Сотрудники кафедры принимали участие в совместных проектах исследований термодинамических свойств с Национальным институтом стандартов и технологии США (NIST USA) и рядом лабораторий России и Германии, в том числе в рамках ИЮПАК и ИНТАС.

1. Пластические кристаллы [3, 4, 10–23]

Пластические кристаллы – такие молекулярные кристаллические фазы, в которых при неизменных положениях центров масс молекул возможно вращение молекул. Эти структурные особенности проявляются в термодинамических, механических, диэлектрических и спектральных свойствах кристаллов. Прямые физические методы лишь подтверждают наличие прыжковых переориентаций молекул в пластических кристаллах органических соединений, но не позволяют определить число доступных энергетических уровней неэквивалентных ориентаций молекул n_{op} и разность энергий между ними $\Delta_{op}E$.

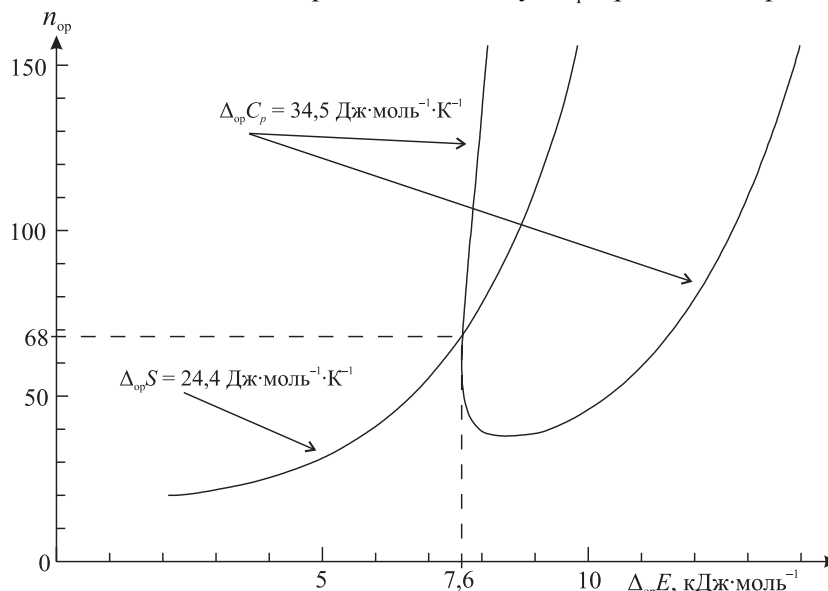


Рис. 1. Изоэнтропийная $\Delta_{op}S(T_{tr})$ и изотеплоемкостная $\Delta_{op}C_p(T_{tr})$ кривые в координатах $n_{op} - \Delta_{op}E$ для 1,1-дихлорциклогексана при $T_{tr} = 225 \text{ К}$

На основе большого массива термодинамических данных для циклических спиртов, галогенциклоалканов, клеточных углеводов и производных адамантана предложены (Блохин, Базылева, Кабо) физические модели пластических кристаллов органических веществ [21]. Модельные расчеты сводились к поиску числа неэквивалентных ориентаций молекул n_{op} и разности энергий между этими ориентациями $\Delta_{op}E$. Эти величины должны были одновременно удовлетворять значениям ориентационных вкладов $\Delta_{op}S$ и $\Delta_{op}C_p$, полученных из экспериментальных значений $C_p(T)$, температуры и энтальпии твердофазного перехода. Решение находили как точку пересечения изоэнтропийных $\Delta_{op}S(n_{op}, \Delta_{op}E) = \text{const}$ и изотеплоемкостных $\Delta_{op}C_p(n_{op}, \Delta_{op}E) = \text{const}$ кривых, построенных для температуры фазового перехода (рис. 1). Установлено, что наилучшее согласование с величинами $\Delta_{op}S$ и $\Delta_{op}C_p$ для различных пластических кристаллов органических веществ достигается использованием моделей энергетических ориентационных уровней, генерируемых следующими соотношениями:

$$\Delta_i^j E = \sum_{k=i}^{j-1} f(k) \cdot \Delta_{op}E,$$

$$f_a(k) = \begin{cases} 1, & \text{если } k=1 \\ 0, & \text{если } k>1 \end{cases}, \quad f_o(k) = 2^{1-k}, \quad f_e(k) = k^{-1},$$

где $f(k)$ – функция распределения молекулярных ориентаций по энергии. Расчеты на основе трех моделей (a , b и v) приводят к близким значениям n_{op} и $\Delta_{op}E$ для различных пластических кристаллов. Предложенные методы являются сегодня практически безальтернативными способами оценки чисел неэквивалентных ориентаций молекул и их энергетических параметров в пластических кристаллах органических веществ.

2. Фуллерены и клеточные углеводороды [2, 8, 24–28]

Для термодинамического обоснования условий синтеза фуллеренов и определения термодинамического аспекта их реакционной способности в 2000 г. (Дикий, Кабо) была измерена теплоемкость фуллерена C_{60} , проведена экспертиза экспериментальных данных по энтальпиям сгорания $\Delta_c H$, давлению насыщенного пара $P_{нас}$ и теплоемкости $C_p(T)$ фуллеренов C_{60} и C_{70} , методами статистической термодинамики выполнены расчеты термодинамических свойств этих фуллеренов в состояниях кристалла и идеального газа.

Показано (Дикий, Кабо), что фазовый переход в твердом фуллерене C_{60} при $T_{trs} = 260,7$ К обусловлен вращением его молекул в узлах кристаллической решетки с потенциальным барьером $V_0 \approx 5,0$ кДж·моль⁻¹. Высокая химическая активность фуллеренов C_{60} и C_{70} в реакциях гидрирования рассмотрена с позиций создания аккумуляторов водорода и химической функционализации фуллеренов.

Обоснованы (Кабо, Карпушенкова, Дикий) методы теоретического расчета молекулярных данных и термодинамических свойств гидридов $C_{60}H_{2n}$ в кристаллическом и идеально-газовом состоянии. Установлено, что энтальпия гидрирования фуллерена $C_{60}(г) + n H_2(г) = C_{60}H_{2n}(г)$, равная $\Delta_r H/n = -(60 \div 80)$ кДж·моль⁻¹ для $n = 1, 2, 3, 9, 18$, существенно ближе к величинам

энтальпий гидрирования ароматических углеводородов (около -68 кДж·моль⁻¹), чем алкенов и циклоалкенов ($-(110 \div 120)$ кДж·моль⁻¹). Энтропии гидрирования $\Delta_r S/n = -(115 \div 125)$ Дж·моль⁻¹·К⁻¹ примерно постоянны в рядах фуллеренов, алкенов, ароматических углеводородов.

Рассчитаны (Кабо, Карпушенкова, Павлечко) зависимости равновесных составов продуктов гидрирования $C_{60}H_{36}$ при различных давлениях и температурах (рис. 2) и показано, что реакцию $C_{60} + 18 H_2 = C_{60}H_{36}$ можно реализовать в циклическом режиме [8]. Установлено, что прямой синтез $C_{60}H_{60}$ при $T > 300$ К практически невозможен даже при давлении 10 кбар. Следует отметить большой интерес к приведенным результатам специалистов, изучающих эволюцию веществ в межзвездном пространстве [8].

3. Низкотемпературные ионные жидкости [5–7, 9, 29–50]

Низкотемпературные ионные жидкости – соли с органическими катионами, имеющие температуру плавления ниже 373 К. Эти соединения обладают уникальным набором физико-химических свойств: широким температурным диапазоном существования жидкой фазы (ΔT до 400 К), чрезвычайно низким давлением пара ($< 10^{-10}$ Па при 300 К), большой электропроводностью и плотностью, высокой селективностью в экстракционных и каталитических системах и т. п.

Наши исследования термодинамических свойств ионных жидкостей (пионерские в этой области) инициировали директор Термодинамического исследовательского центра Национального института стандартов и технологий США (NIST TRC) М. Frenkel и руководитель группы экспериментального исследования свойств жидкостей этого института доктор J.W. Magee в 2001 г., которые предоставили для изучения образец гексафторфосфата 1-бутил-3-метилимидазолия $[C_4mim][PF_6]$ высокого качества. Авторами данной статьи было доказано, что эта ионная жидкость испаряется с разложением [29].

Впервые в мире [31, 32] методом Кнудсена были определены (Зайцев, Кабо, Павлечко) давления насыщенного пара и энтальпии испарения $\Delta_v H$ ряда *bis*(трифторметилсульфонил)амидов 1-алкил-3-метилимидазолия $[Rmim][NTf_2]$. Доказано, что сконденсированный после испарения образец *bis*(трифторметилсульфонил)амида 1-этил-3-метилимидазолия $[C_2mim][NTf_2]$ аналогичен по составу исходному образцу в ячейке Кнудсена.

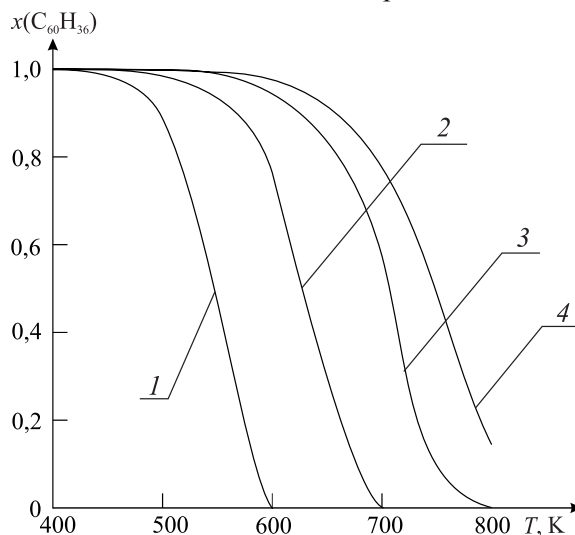


Рис. 2. Зависимость равновесной мольной доли $C_{60}H_{36}$ от общего давления и температуры в реакции разложения газообразного $C_{60}H_{36}$:
1 – 1 бар, 2 – 10, 3 – 50, 4 – 100 бар

Разработан (Кабо, Стречень, Павлечко) корреляционный метод прогнозирования энтальпий испарения низкоплавких ионных жидкостей [32], основанный на известном уравнении Стефана и позволяющий вычислять трудноизмеримые для ионных жидкостей молярные энтальпии испарения $\Delta_v H_m$ через поверхностное натяжение σ и молярный объем V_m жидкостей:

$$\Delta_v H_m = A \cdot \sigma \cdot V_m^{2/3} \cdot N_A^{1/3} + B,$$

где $A = 1,21 \cdot 10^{-2}$, $B = 2,4$ кДж·моль⁻¹.

Установлено (Блохин, Павлечко, Кабо), что существуют различные виды полиморфизма ионных жидкостей в кристаллическом состоянии, при этом температуры плавления полиморфных модификаций вещества могут различаться на 5÷15 К (рис. 3). Получены спектральные доказательства того, что

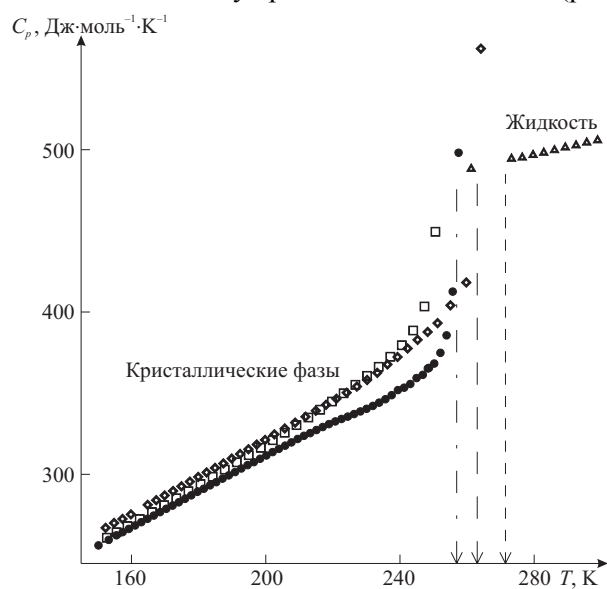


Рис. 3. Температурная зависимость теплоемкости [C₂mim][NTf₂].

Вертикальные линии со стрелкой соответствуют температурам плавления полиморфных модификаций

конформационный состав различных полиморфных модификаций также различен.

На основе измерений теплоемкости большого количества ионных жидкостей (Блохин, А.Г. Кабо, Павлечко, Кабо) доказано, что объемные теплоемкости (C_p/V) ионных жидкостей различной природы обладают удивительным постоянством [48]. Так, например, среднее значение объемной теплоемкости по выборке из 19 ионных жидкостей при 298,15 К равно $\langle C_p/V \rangle = (1,95 \pm 0,02)$ Дж·см⁻³·К⁻¹, а отклонения опытных значений от среднего не превышают 5 %.

Разработан (Кабо, Стречень, Павлечко) метод вычисления теплоемкости ионных жидкостей C_p [41], в котором теплоемкость представляется в виде функции

$$C_p = f(c_{vib}, T, M),$$

где c_{vib} – вклад в теплоемкость внутримолекулярных колебаний, T – температура, M – молярная масса.

Проведена исчерпывающая экспертиза результатов экспериментальных исследований теплоемкостей ионных жидкостей до 2010 г. и подготовлен обзор (Павлечко [9]) с рекомендованными величинами.

Выполнены квантовохимические расчеты структурных параметров ионов и ионных пар ионных жидкостей, определены параметры поверхностей потенциальной энергии взаимного расположения ионов (Павлечко), проведены расчеты термодинамических свойств ионных жидкостей в состоянии идеального газа (Павлечко, Кабо), показана хорошая согласованность экспериментальных и рассчитанных величин стандартной энтропии для ряда имидазолиевых ионных жидкостей.

Разработаны оригинальные методы измерения энтальпий реакций синтеза ионных жидкостей из 1-метилимидазола и 1-галогеналканов [47, 49] и доказано термодинамическое подобие солей щелочных металлов и имидазолиевых ионных жидкостей (Павлечко, Кабо, А.Г. Кабо, Блохин). Определены кинетические параметры реакций синтеза ряда имидазолиевых ионных жидкостей, позволяющие рассчитывать параметры реакторов для их синтеза (Павлечко, Фираго).

В 2004–2007 гг. совместными усилиями нашей группы (руководитель Г.Я. Кабо, исследователи Павлечко, Блохин, А.Г. Кабо) и групп из Университета Блеза Паскаля, Клермон-Ферран, Франция (руководитель профессор V. Mayer), ИНЭОС РАН, г. Москва (руководитель профессор Я.С. Выгодский), ИФТТП НАН Беларуси, г. Минск (руководитель профессор С.Е. Демьянов) и МУПП, г. Могилев (руководитель профессор Г.Н. Роганов) был реализован проект ИНТАС-Беларусь № 03-50-5526 «Исследование зависимости между структурой и физико-химическими свойствами новых экологически чистых растворителей – ионных жидкостей» (координатор профессор А. Heintz, Университет г. Росток, Германия).

В 2006 г. были выполнены исследования теплоемкости эталона ионной жидкости [C₆mim][NTf₂] (Блохин, Кабо, Павлечко) в рамках международного проекта ИЮПАК «Термодинамика ионных жидкостей, смесей ионных жидкостей и разработка стандартизованных систем» (№ 2002-005-1-100), в котором участвовали более 10 групп исследователей из США, Германии, Японии и др. (координатор проекта профессор К. Marsh, Университет г. Кантербури, Новая Зеландия).

Некоторые наши статьи [9, 29, 31, 32, 37, 38] входили в топ-листы научных журналов (Journal of Chemical Thermodynamics, Journal of Physical Chemistry A, Journal of Chemical and Engineering Data, Thermochimica Acta).

1. Бучаченко А.Л. // Успехи химии. 1999. Т. 68. № 2. С. 99.
2. Дикий В.В., Кабо Г.Я. // Там же. 2000. Т. 69. № 2. С. 107.
3. Блохин А.В., Черепенников М.Б., Кабо Г.Я. // Выбранные науковыя працы Беларускага дзяржаўнага ўніверсітэта. Т. 5. Хімія. Мн., 2001. С. 429.
4. Блохин А.В. // Химические проблемы создания новых материалов и технологий: Сб. ст. / Под ред. О.А. Ивашкевича. Мн., 2003. Вып. 2. С. 200.
5. Magee J.W., Kabo G.J., Frenkel M. // Ionic liquids IIIA: Fundamentals, Progress, Challenges, and Opportunities. Properties and Structure. ACS Symposium Series 901 (Ed. by R.D. Rogers, K.R. Seddon). Am. Chem. Society. Washington, 2005. P. 160.
6. Павлечко Е.В. // Химические проблемы создания новых материалов и технологий: Сб. ст. / Под ред. О.А. Ивашкевича. Мн., 2008. Вып. 3. С. 447.
7. Kabo G., Paulechka Y.U., Frenkel M. // T. Letcher, E. Wilhelm (Eds.). Heat Capacities of Liquids and Vapours. RSC, 2010. P. 390.
8. Kabo G.J., Karpushenkava L.S., Paulechka Y.U. // F. Cataldo, S. Iglesias-Groth (Eds.). Carbon Materials: Chemistry and Physics. Vol. 2. Fullerenes. The Hydrogenated Fullerenes. Springer, 2010. P. 55.
9. Paulechka Y.U. // J. Phys. Chem. Ref. Data. 2010. Vol. 39. № 3. P. 033108-1.
10. Kabo G.J., Kozyro A.A., Frenkel M., Blokhin A.V. // Mol. Cryst. Liq. Cryst. 1999. Vol. 326. P. 333.
11. Kabo G.J., Blokhin A.V., Charapennikau M.B. et al. // Thermochim. Acta. 2000. Vol. 345. P. 125.
12. Черепенников М.Б., Блохин А.В., Кабо А.Г., Гусаков А.Г. // Весці НАН Беларусі. Сер. хім. навук. 2001. № 2. С. 43.
13. Charapennikau M.B., Blokhin A.V., Kabo G.J. et al. // Thermochim. Acta. 2002. Vol. 382. P. 109.
14. Черепенников М.Б., Кабо Г.Я., Блохин А.В., Гусаков А.Г. // Журн. физ. химии. 2003. Т. 77. № 3. С. 428.
15. Charapennikau M.B., Blokhin A.V., Kabo G.J., Kabo A.G. // J. Chem. Thermodyn. 2003. Vol. 35. P. 145.
16. Kabo G.J., Blokhin A.V., Kabo A.G. // Chemical problems of the development of new materials and technologies: Сб. ст. / Под ред. О.А. Ивашкевича. Мн., 2003. Вып. 1. P. 176.
17. Charapennikau M.B., Blokhin A.V., Kabo G.J. et al. // Thermochim. Acta. 2003. Vol. 405. P. 85.
18. Блохин А.В., Кабо А.Г., Шиманович М.П. и др. // Весці НАН Беларусі. Сер. хім. навук. 2004. № 3. С. 47.
19. Bazyleva A.B., Blokhin A.V. et al. // J. Chem. Thermodyn. 2005. Vol. 37. P. 643.
20. Bazyleva A.B., Kabo G.J., Paulechka Y.U. et al. // Thermochim. Acta. 2005. Vol. 436. P. 56.
21. Bazyleva A.B., Kabo G.J., Blokhin A.V. // Physica B: Condens. matter. 2006. Vol. 383. P. 243.
22. Bazyleva A.B., Blokhin A.V. et al. // Thermochim. Acta. 2006. Vol. 454. P. 65.
23. Bazyleva A.B., Blokhin A.V. et al. // J. Chem. Thermodyn. 2008. Vol. 40. P. 509.
24. Кабо А.Г., Блохин А.В., Маркин А.В. и др. // Весці НАН Беларусі. Сер. хім. навук. 2006. № 1. С. 44.
25. Karpushenkava L.S., Kabo G.J., Bazyleva A.B. et al. // Thermochim. Acta. 2007. Vol. 459. P. 104.
26. Karpushenkava L.S., Kabo G.J., Diky V.V. // Fullerenes, Nanotubes and Carbon Nanostructures. 2007. Vol. 15. P. 227.
27. Карпушенкова Л.С., Кабо Г.Я. // Журн. физ. химии. 2008. Т. 82. № 7. С. 1321.
28. Karpushenkava L.S., Kabo G.J., Bazyleva A.B. // J. Mol. Struct.: THEOCHEM. 2009. Vol. 913. P. 43.
29. Paulechka Y.U., Kabo G.J., Blokhin A.V., Vydrov O.A., Magee J.W., Frenkel M. // J. Chem. Eng. Data. 2003. Vol. 48. P. 457.
30. Kabo G.J., Blokhin A.V., Paulechka Y.U. et al. // Ibid. 2004. Vol. 49. P. 453.
31. Paulechka Y.U., Zaitsau Dz.H., Kabo G.J., Strechan A.A. // Thermochim. Acta. 2005. Vol. 439. P. 158.
32. Zaitsau Dz.H., Kabo G.J., Strechan A.A. et al. // J. Phys. Chem. A. 2006. Vol. 110. P. 7303.
33. Zaitsau Dz.H., Paulechka Y.U., Kabo G.J. // Ibid. 2006. Vol. 110. P. 11602.
34. Blokhin A.V., Kabo G.J., Paulechka Y.U. // J. Chem. Eng. Data. 2006. Vol. 51. P. 1377.
35. Blokhin A.V., Paulechka Y.U., Kabo G.J. // Thermochim. Acta. 2006. Vol. 445. P. 75.
36. Sumartschenkova I.A., Verevkin S.P., Vasil'tsova T.V. et al. // J. Chem. Eng. Data. 2006. Vol. 51. P. 2138.
37. Paulechka Y.U., Kabo G.J., Blokhin A.V. et al. // J. Chem. Thermodyn. 2007. Vol. 39. P. 158.
38. Paulechka Y.U., Blokhin A.V., Kabo G.J., Strechan A.A. // Ibid. 2007. Vol. 39. P. 866.
39. Strechan A.A., Paulechka Y.U., Kabo A.G. et al. // J. Chem. Eng. Data. 2007. Vol. 52. P. 1791.
40. Shevelyova M.P., Zaitsau Dz.H., Paulechka Y.U. et al. // Ibid. 2007. Vol. 52. P. 1360.
41. Strechan A.A., Paulechka Y.U., Blokhin A.V., Kabo G.J. // J. Chem. Thermodyn. 2008. Vol. 40. P. 632.
42. Blokhin A.V., Paulechka Y.U., Strechan A.A., Kabo G.J. // J. Phys. Chem. B. 2008. Vol. 112. P. 4357.
43. Strechan A.A., Kabo A.G., Paulechka Y.U. et al. // Thermochim. Acta. 2008. Vol. 474. P. 25.
44. Павлечко Е.В., Кабо Г.Я. // Журн. физ. химии. 2008. Т. 82. № 8. С. 1586.
45. Paulechka Y.U., Kabo G.J., Emel'yanenko V.N. // J. Phys. Chem. B. 2008. Vol. 112. P. 15708.
46. Paulechka Y.U., Kabo G.J., Blokhin A.V. et al. // Ibid. 2009. Vol. 113. P. 9538.

47. Paulechka Y.U., Kabo A.G., Blokhin A.V. // Ibid. 2009. Vol. 113. P. 14742.
48. Paulechka Y.U., Kabo A.G., Blokhin A.V. et al. // J. Chem. Eng. Data. 2010. Vol. 55. P. 2719.
49. Kabo G.J., Paulechka Y.U., Kabo A.G., Blokhin A.V. // J. Chem. Thermodyn. 2010. Vol. 42. P. 1292.
50. Paulechka Y.U., Kohut S.V., Blokhin A.V., Kabo G.J. // Thermochim. Acta. 2010. Vol. 511. P. 119.

Поступила в редакцию 14.06.11.

Геннадий Яковлевич Кабо – доктор химических наук, профессор кафедры физической химии. Соросовский профессор (1995 г.), лауреат премии им. А.Н. Севченко (1996 г.) за цикл работ «Исследование термодинамических свойств органических веществ». Область научных интересов – химическая термодинамика органических веществ, термодинамическое обоснование энерго- и ресурсосберегающих технологий. Автор более 250 научных публикаций, из них 5 монографий, 150 статей (70 – в журналах и коллективных монографиях дальнего зарубежья). Награжден медалью Ассоциации им. М.С. Цвета за вклад в развитие хроматографии (2002 г.).

Андрей Викторович Блохин – доктор химических наук, профессор кафедры физической химии, заведующий лабораторией термодинамики органических веществ НИИФХП БГУ. Область научных интересов – термохимия органических соединений; альтернативные возобновляемые источники сырья и топлива. Автор более 140 научных публикаций, из них 62 статей (37 – в журналах дальнего зарубежья).

Евгений Владимирович Павлечко – кандидат химических наук, доцент кафедры электрохимии. Область научных интересов – физико-химические свойства низкотемпературных ионных жидкостей и углеродных наноматериалов. Автор более 120 научных публикаций, из них 50 статей (39 – в журналах и коллективных монографиях дальнего зарубежья). Награды: International Association on Chemical Thermodynamics Doctorate Award (2006 г.), лауреат премии Специального фонда Президента Республики Беларусь за личный вклад в работу с одаренными детьми (2010 г.).

УДК 541.182

В.В. ПАНЬКОВ

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ СИНТЕЗА МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ОКСИДОВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ НОВЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАГНИТНЫХ И ПРОВОДЯЩИХ МАТЕРИАЛОВ

Achievements of BSU physical chemistry department in the area of multicomponent functional oxide material synthesis using modern solid state chemistry methods are investigated. Development of atomistic approaches in research of electric, magnetic material properties will move interests of modern materials science into the area of physical chemistry. The article is dedicated to researches made at the physical chemistry department since 2000.

Одна из самых актуальных проблем современной химии твердого тела заключается в создании новых материалов с уникальными свойствами. Расширение спектра таких материалов в настоящее время происходит путем усложнения их состава. При этом современные технологии синтеза уже способны осуществить конструирование новых веществ на атомарном уровне, а это открывает практически безграничные возможности для варьирования набора составляющих элементов, особенно если иметь в виду нанообъекты и гетероструктуры.

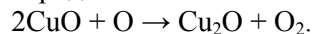
Вместе с тем создание новых многокомпонентных веществ потребовало углубленного понимания физико-химических основ материаловедения как необходимого инструмента для обеспечения управляемых свойств таких систем. Важным моментом здесь явилось понимание того факта, что особенно микроструктуры определяют наряду с химическим составом уникальность и многофункциональность практически важных свойств таких материалов. Развитие атомистических представлений при изучении электрических и магнитных свойств соединений, в том числе и оксидов, смещает сегодняшние приоритеты в области материаловедения в сторону физической химии.

Цель таких исследований состоит в описании свойств материалов на основе атомистических физических моделей, которые могли бы быть сформулированы с помощью уравнений состояния.

Начало исследованиям оксидных материалов, а именно изучению механизма и кинетики процессов их образования, было положено на кафедре физической химии академиком Н.Н. Павлюченко.

Существенным вкладом в это направление явилось и изучение под руководством профессора А.А. Вечера физико-химических процессов синтеза анионпроводящих высокотемпературных твердых электролитов и электропроводящих керамик. Он также обратил внимание на возможность использования энергии рекомбинации атомарного кислорода для пилотируемой космонавтики. Как было показано в [1, 2], за счет этой энергии можно получить в гальваническом элементе типа топливного существенную электрическую мощность. На специально созданных источниках атомарного кислорода на кафедре была экспериментально доказана возможность утилизации энергии рекомбинации

атомарного кислорода в топливном элементе, твердый электролит которого представляет собой в том числе и многокомпонентный оксид. Цикл исследований сравнения кинетики взаимодействия молекулярного и атомарного кислорода с переходными металлами [3, 4] дал возможность в ряде случаев получить неожиданные результаты. Так, например, было установлено, что окисление меди атомарным кислородом происходит до оксида Cu_2O , а не CuO , как в молекулярном кислороде, последнее было связано с так называемым процессом «рекомбинационного восстановления» – взаимодействием решеточного кислорода с атомарным кислородом:



Оказывается, атомарный газ – это особая среда и физикохимия материалов в этой среде может быть совершенно неожиданной [3, 4]. Современные исследования в этой области, проводимые в лабораториях NASA, подтверждают этот вывод.

В последние годы научными сотрудниками группы А.А. Вечера был проведен ряд исследований возможности использования в качестве катодов топливных элементов многокомпонентных оксидов в системах манганитов кальция, неодима, гадолиния, иттрия [5]. А.А. Вечер обратил внимание на существующую возможность связи атомной и водородной энергетики. Например, хорошо известно, что в настоящее время требует решения ряд задач, связанных с производством, хранением, транспортировкой и использованием водорода. В связи с этим было предложено [6] направлять вырабатываемый методом электролиза в «провальные часы» работы АЭС водород на синтез аммиака с последующим использованием его в топливных элементах для производства электроэнергии.

Получение субмикронных порошкообразных материалов с определенной формой частиц представляет собой достаточно сложную задачу, ибо имеющие практическое применение порошки являются в основном многокомпонентными системами. В связи с этим их синтез зачастую приводит к многофазности конечного продукта из-за незавершенности диффузионных процессов, протекающих в низкотемпературной области. Повышение же температуры синтеза неизменно ведет к увеличению размеров частиц. Еще одним существенным моментом синтеза многокомпонентных порошков является необходимость сохранения на различных этапах процесса высокой степени гомогенности распределения исходных компонентов. С целью ограничения диффузионных процессов как на стадии синтеза, так и на стадии спекания и, как следствие, снижения размеров кристаллитов были разработаны новые варианты метода синтеза наноразмерных порошкообразных материалов с разделенными кристаллитами, основанные на применении инертного компонента. Этот метод был использован нами для получения порошков гексаферритов [7]. На основе обнаруженного явления топохимического превращения $\text{Fe}(\text{OH})_2$, происходящего с минимальной энергией активации в температурной области менее $600\text{ }^\circ\text{C}$, предложен эффективный способ синтеза наноразмерных наночастиц гексаферритов, имеющих оптимальные магнитные характеристики для магнитной записи информации [8].

В настоящее время на кафедре для синтеза наноматериалов успешно применяется метод аэрозольного пиролиза [9]. Его использование позволило установить физико-химические закономерности синтеза нанопорошков ферритов. Для этих соединений исследованы процессы магнетизма в такой важной области, как переход в суперпарамагнитное состояние. Было показано, что данный переход объясняется делокализацией спинов электронов на поверхности наночастиц вследствие более слабых обменных взаимодействий [10–13]. Разработаны методики получения нанокompозитов, состоящих из серебра и магнитных соединений железа, основанные на термодеструкции комплексного соединения – феррицианида серебра и пиролизе аэрозолей водных растворов нитратов серебра и железа, что дает возможность получать однородные по составу и морфологии антимикробные нанокompозиты с размерами частиц ($30\div 60\text{ нм}$).

В кооперации с НИИФХП БГУ проводятся исследования магнитных нанокompозитов в системе SiO_2 – оксид железа, синтезируемых золь-гель-методом. Оказалось, что пленки, полученные на основе композита SiO_2 - γ - Fe_2O_3 , представляют интерес для использования в качестве резистивных сенсоров влажности, датчиков магнитного поля и т. д. [14, 15]. Было установлено структурно-фазовое состояние оксида железа в нанокompозите SiO_2 - Fe_2O_3 . С помощью высокочувствительной сквид-магнитометрии исследованы особенности поведения композитных материалов, содержащих магнитные фазы оксидов железа в наноразмерном состоянии ($2\div 5\text{ нм}$). Показано, что магнитные характеристики композитов зависят не только от размеров частиц и фазового состояния оксида железа, но и от состояния поверхности, а также особенностей их взаимодействия с матрицей диоксида кремния. В нанокompозите SiO_2 - γ - Fe_2O_3 , полученном золь-гель-методом, обнаружена повышенная термическая

стабильность кубической структуры магнитоактивной фазы $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$, частичный переход которой в $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ наблюдается лишь при температурах выше 1100 °С.

Разработаны методики синтеза гетерокомпозигов, содержащих частицы магнитной фазы $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$, поверхностно модифицированные полупроводниковыми (SnO_2 , $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$, In_2O_3) и диэлектрическими (SiO_2 , Al_2O_3) пленками. Испытаны реологические характеристики суспензий на основе этих гетерокомпозигов в условиях воздействия электрического и магнитного полей. Показана перспективность некоторых из испытанных материалов для создания электромагнитореологических суспензий [16].

Т.А. Савицкой с сотрудниками установлена зависимость реологических свойств и агрегативной устойчивости золь кремнезема, содержащих соединения Fe, Co и Ni, от концентрации и порядка введения в золь солей этих металлов, что позволило предложить простой способ золь-гель-синтеза матричных нанокомпозигов на основе диоксида кремния и оксидов $3d$ -металлов, относящихся в соответствии с их магнитными свойствами и структурой к магнитно-мягким материалам, которые могут быть использованы в высокочастотных устройствах, а также для создания носителей записи информации [17].

При исследовании новых соединений, имеющих перспективу в области разработки электрохимических устройств для водородной энергетики и катализа, основным объектом являлись многокомпонентные оксиды на основе никелатов, обладающие, в отличие от известных соединений, большой кинетической стабильностью в эксплуатационных условиях [18].

Совместно с французскими исследователями из Института Нееля (г. Гренобль) методом нейтронной дифракции определены локализация вакансий в кристаллической решетке и изменение стехиометрии по кислороду в зависимости от температуры для электрон-ионных проводников системы $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{NiO}_{4-\delta}$ ($x > 1,4$). Обнаружено существенное отличие температурных зависимостей их электрохимических характеристик (термическое расширение, электропроводность, параметры кристаллической структуры) от известного и наиболее распространенного в настоящее время катодного материала топливных элементов $\text{La}_2\text{NiO}_{4+\delta}$. Установлено, что данный эффект обусловлен изменением валентного состояния никеля, которое при нагревании переходит от равновесия $\text{Ni}^{3+}/\text{Ni}^{4+}$ к равновесию $\text{Ni}^{2+}/\text{Ni}^{3+}$ [18, 19].

При синтезе нового соединения $\text{Sr}_3\text{Bi}_{0,65}\text{Ni}_{1,25}\text{O}_{6-z}$ в системе Sr – Bi – Ni – O впервые обнаружен эффект, который, как оказалось, носит общий характер для соединений с электрон-ионной проводимостью, а именно гистерезисный характер температурной зависимости удельного сопротивления. Сделан вывод, что это явление возникает за счет процессов упорядочения и разрушения ассоциатов вакансий кислорода.

Интересно, что если рассматривать высокотемпературные сверхпроводники, которые также обладают перовскитоподобной структурой, то наилучшие характеристики среди них имеют сложные оксиды системы Sr – Bi – Cu – O, которая очень похожа на изучаемую нами систему Sr – Bi – Ni – O. В связи с этим установленные закономерности могут иметь значение для подходов к объяснению не установленного пока механизма высокотемпературной сверхпроводимости. В этой же системе впервые синтезирован многокомпонентный оксид $\text{BiSr}_5\text{Ni}_2\text{O}_{10-\delta}$, кристаллическая структура которого, как показало исследование с помощью полнопрофильного анализа (метод Ритвельда), является комбинацией двух структурных типов – типа NaCl (фрагмент включает ионы Bi, Sr, O) и типа перовскита (фрагмент включает ионы Ni, Sr, O). Ионы Bi, Ni, Sr₁ имеют октаэдрическое окружение из ионов кислорода, а ион Sr₂ окружают девять ионов кислорода [20].

Вторую половину XX в. без преувеличения можно назвать эрой микроэлектроники. В течение этого времени мир был свидетелем технологической революции, ставшей возможной благодаря цифровой логике с основанными на ней информационными технологиями. Однако в любых устройствах, от первого транзистора до современных, поражающих своими вычислительными возможностями микропроцессоров, микроэлектроника в основном использует только одно свойство электрона – его заряд. В то же время электрон, как было сказано, имеет еще одну, правда, сугубо квантовомеханическую характеристику – собственный угловой момент – спин (и связанный с ним магнитный момент). Эта характеристика вплоть до недавнего времени не использовалась. Однако в настоящее время ситуация изменилась, и на авансцену вышла новая технология – спинтроника (spintronics – от spin transport electronics). Наличие дополнительной «степени свободы» – спина у носителей тока и возможность управлять свойствами спинтронных структур с помощью магнитного поля открывают заманчивые перспективы к расширению возможностей существующих устройств микроэлектроники.

Коммерческое использование спинтронных структур, работающих при обычных комнатных температурах, находится пока еще в стадии разработки. Это обусловлено прежде всего низкими темпера-

турами Кюри известных ферромагнитных полупроводников, являющихся спиновыми инжекторами. В этой связи, как и во многих научных центрах, на кафедре физической химии совместно с учеными из Центра по материаловедению НАН Беларуси и ИОНХ РАН проводятся исследования по поиску и синтезу новых высокотемпературных ферромагнитных полупроводников. В частности, была проведена работа по изучению фазовых равновесий для наиболее известного комнатнотемпературного спинового инжектора $Zn_{1-x}Co_xO_{1+\delta}$ [21]. Разработана методика и проведен поиск кислородной матрицы оптимального состава для материалов с полупроводниковым характером проводимости и ферромагнитным упорядочением катионной подрешетки, что обеспечивает работу электронных устройств при комнатных температурах, в системах твердых растворов галлатов и ферритов – шпинелей.

Дальнейший поиск новых соединений для синтеза спинтронных пленочных гетероструктур может быть оптимизирован с помощью предложенного на кафедре метода их получения, основанного на использовании диффузионных пар, что способствует устранению переходных слоев на интерфейсах с подложкой [22].

Фундаментальные исследования перехода объемоподобных материалов в нанокристаллическое упорядочение открывают в настоящее время пути получения новых структур с особыми и практически востребованными свойствами. Однако даже успешное решение задачи синтеза оказалось недостаточным для обеспечения проявления этих особых свойств наноматериалов в условиях длительной эксплуатации в первую очередь из-за релаксационных процессов на гетерофазных границах и в интерфейсных областях. Поэтому проблема воздействия на приграничные области нанофазных переходов и стабилизация состояния около интерфейсных областей путем внешних воздействий неравновесными методами отличаются актуальностью и новизной [23]. Нами совместно с Центром по материаловедению НАН Беларуси методом ионно-лучевого распыления-осаждения исследованы наноразмерные гетероструктуры $CoTiO_{2-x}$, гексаферрит бария, определены условия формирования ультратонких пленок кобальта в гранулированном и массивном виде. Были предложены модели процессов роста и возникновения переходных интерфейсных слоев в гетероструктурах Co/SiO_2 , $Ni_{88}Fe_{12}/Al_2O_3$, объясняющие особенности их морфологии [24–25].

На протяжении ряда лет кафедра физической химии поддерживает инновационные связи с ОПРУП «Феррит» (НАН Беларуси). Выполненная при совместном участии с предприятием научная разработка по исследованию твердых растворов многокомпонентных ферритовых систем позволила перейти от использования дорогостоящих компонентов типа оксида никеля на значительно более дешевое сырье – оксид магния. Это дало возможность ОПРУП «Феррит» успешно конкурировать как по качеству, так и по цене со многими производителями ферритовой продукции. Одной из перспективных разработок, которая ведется на кафедре в настоящее время, является получение многокомпонентных ферритов для помехоподавления и создания безэховых камер. Проведенные в последнее время исследования позволили выявить структурные и химические неоднородности межзеренных границ в таких магнитных материалах. При этом была установлена поверхностная сегрегация катионов Ca, Ba, La на границах зерен и преимущественное расположение Al_2O_3 и SiO_2 на боковых гранях кристаллитов матрицы, направленных вдоль оси легкого намагничивания [26, 27].

Научное сотрудничество с НИИФХП и группой ученых из Университета г. Авейро (Португалия), где работают выпускники кафедры физической химии в области изучения транспортных свойств, электрохимии и термодинамики ионных и смешанных ионно-электронных проводников на основе многокомпонентных оксидов, дало в последние годы ряд новых результатов. Так, показана возможность синтеза методом пленочного литья газоплотных мембран из никелата лантана. На основании зависимости скорости переноса кислорода от толщины мембраны разработана и проверена методом нелинейных наименьших квадратов модель переноса кислорода через мембрану La_2NiO_4 [28]. В результате накопления прямых и косвенных данных о связи кислородной нестехиометрии со свойствами сложных оксидов, включая равновесное давление кислорода, проводимость и термоЭДС, была предложена концепция, позволяющая представлять равновесия точечных дефектов в сложных оксидах путем статистического анализа возможных конфигураций с учетом влияния первой и второй координационных сфер рассматриваемого дефекта. Данная модель дает возможность описывать объекты, в которых поведение активных частиц отклоняется от идеального раствора [29, 30].

Сегодняшний прогресс в производстве элементов для электронных приборов (компьютеры, мобильные телефоны, телевизоры и т. д.) заставил полностью оставить процессы намотки трансформаторов и дросселей. Современная автоматическая сборка основана только на использовании электрических деталей в компактном чип-исполнении. Технология получения таких современных компонентов для электроники существует в Беларуси на ПО «Монолит». Несмотря на огромную конкуренцию

мировых производителей, необходимость создания данной технологии была обусловлена важностью сохранения собственного производства элементной базы для приборов, в том числе и военной техники. Основным компонентом изделий в чип-исполнении является феррит. На кафедре на протяжении нескольких лет проводилась научно-исследовательская работа по разработке собственных марок ферритов, позволяющих уйти от использования зарубежных аналогов. Основным требованием к такому материалу является низкая (менее 900 °С) температура его спекания [31]. Были определены взаимозависимые методы низкотемпературного синтеза и спекания ферритов – шпинелей с начальной магнитной проницаемостью более 350 единиц. Разработан метод низкотемпературного синтеза активированных нанодисперсных порошков магний-медь-цинковых ферритов, что позволяет использовать их как более дешевый материал для ферритовой составляющей в чип-элементах. Определены кинетика и механизм уплотнения ферритовых порошков после их механохимической активации, установлено, что причинами интенсификации процесса спекания в этом случае являются: изменение степени аморфизации частиц и вида дефектов в их приграничных слоях вследствие механохимических превращений, происходящих при диспергировании [32].

1. Zheludkevich M.L., Gusakov A.G., Voropaev A.G. et al. // Protection of Materials and Structures from Space Environment, Space Technology Proceedings. 2004. Vol. 5. Pt. 4. P. 351.
2. Gusakov A.G., Voropaev A.G., Zheludkevich M.L. et al. // J. Phys. Chem. and Chem. Phys. 1999. Vol. 1. P. 5311.
3. Zheludkevich M.L., Gusakov A.G., Voropaev A.G., Vecher A.A. // Oxidation of Metals. 2004. Vol. 62. № 3-4. P. 223.
4. Zheludkevich M.L., Gusakov A.G., Voropaev A.G. et al. // Oxidation of Metals. 2004. Vol. 61. P. 39.
5. Тихонова Л.А., Полуян А.Ф., Глушко А.Н. и др. // Электрохимия. 2005. Т. 41. № 3. С. 296.
6. Авдеева М.Ж., Вечер А.А., Паньков В.В. // Вестн. БГУ. Сер. 2. 2007. № 3. С. 46.
7. Паньков В.В. // Сб. статей к 40-летию ИФТТП НАН Беларуси и 90-летию его основателя академика Н.Н. Сироты. Мн., 2003. С. 163.
8. Паньков В.В. // Неорган. материалы. 2004. Т. 40. № 9. С. 1118.
9. Паньков В.В. // Вестн. БГУ. Сер. 2. 2007. № 2. С. 2.
10. Ивановская М.И., Толстик А.И., Котиков Д.А., Паньков В.В. // Журн. физ. химии. 2009. Т. 83. № 12. С. 2283.
11. Паньков В.В. // Неорган. материалы. 2004. Т. 40. № 9. С. 1118.
12. Ivanovskaya M., Kotsikau D., Pankov V., Fedotova Y. // E-MRS FALL MEETING / Ed. by Prof. V. Skorokhod. September 14–18, 2009. Warsaw, 2009. P. 63.
13. Ивановская М.И., Толстик А.И., Паньков В.В. // Неорган. материалы. 2009. Т. 45. № 11. С. 1398.
14. Ивановская М.И., Котиков Д.А., Любина Ю., Паньков В.В. // Журн. общей химии. 2010. Т. 80. № 10. С. 1598.
15. Паньков В.В., Ивановская М.И., Котиков Д.А. // Химические проблемы создания новых материалов и технологий: Сб. ст. / Под ред. О.А. Ивашкевича. Мн., 2008. Вып. 3. С. 24.
16. Ивановская М.И., Паньков В.В., Котиков Д.А., Зырянов В.В. // Неорган. материалы. 2009. Т. 45. № 8. С. 981.
17. Savitskaya T.A., Sidsky V.V., Gaishun V.E. et al. // J. of Automation, Mobile Robotics & Intelligent Systems. 2009. Vol. 3. № 4. P. 91.
18. Makhnach L.V., Pankov V.V., Strobel P. // Material Chemistry and Physics. 2008. Vol. 111. P. 125.
19. Савченко В.Ф., Паньков В.В., Махнач Л.В., Емельянова И.И. // Неорган. материалы. 2006. Т. 42. № 7. С. 869.
20. Новицкая М.В., Махнач Л.В., Паньков В.В. // Свиридовские чтения: Сб. ст. Мн., 2010. Вып. 6. С. 108.
21. Нипан Г.Д., Кецко В.А., Кольцова Т.Н. и др. // Неорган. материалы. 2006. Т. 51. № 12. С. 1.
22. Паньков В.В., Стогний А.И., Кошевар В.Д., Кецко В.А. // Там же. 2008. № 9. С. 1.
23. Dzibrou D., Grishin A.M., Kawasaki H. et al. // J. of Physics. 2008. № 100. P. 2035.
24. Стогний А.И., Новицкий Н.Н., Янушкевич К.И. и др. // Свиридовские чтения: Сб. ст. Мн., 2006. Вып. 3. С. 156.
25. Garad H., Fettar F., Ortega L. et al. // 22nd General Conference of the Condensed Matter Division of the European Physical Society, 25–29 August, Sapienza Universita' di Roma. Rome, 2008. P. 36.
26. Полупроводниковый ферритмагнитный материал: пат. № 2007105127 Россия / Г.Д. Нипан, В.А. Кецко, В.В. Паньков, Т.Н. Кольцова, А.И. Стогний, К.И. Янушкевич; заявл. 12.02.2007.
27. Паньков В.В., Котиков Д.А., Чернякова К.В. и др. // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2008. № 8. Т. 74. С. 32.
28. Shaula A.L., Naumovich E.N., Viskup A.P. et al. // Solid State Ionics. 2009. Vol. 180. P. 812.
29. Marozau I.P., Kharton V.V., Viskup A.P. et al. // J. of the European Ceramic Society. 2006. Vol. 26. P. 1371.
30. Kharton V.V., Waerenborgh J.C., Viskup A.P. et al. // J. of Solid State Chemistry. 2006. Vol. 179. P. 1273.
31. Паньков В.В., Ольшевская О.П., Оноприенко О.В. // Журн. прикл. химии. 2006. Т. 79. Вып. 1. С. 160.
32. Паньков В.В., Новиков В.П., Куницкий Л.И. // Неорган. материалы. 2004. Т. 40. № 8. С. 928.

Поступила в редакцию 26.05.11.

Владимир Васильевич Паньков – доктор химических наук, профессор кафедры физической химии. Область научных интересов – твердофазный синтез керамических магнитных, конструкционных, проводящих материалов; занимается решением фундаментальных проблем оценки реакционной способности и механизмов протекания процессов в многокомпонентных оксидных системах; создал научное направление, связанное с разработкой модифицированных методов керамического синтеза новых материалов электронной техники. Автор 380 научных работ, в том числе 2 монографий, 11 изобретений и патентов.

**РАЗВИТИЕ ХИМИИ МАЛЫХ ЦИКЛОВ НА КАФЕДРЕ ОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ
В ПОСЛЕДНЕЕ ДЕСЯТИЛЕТИЕ**

The paper considers progress and achievements of the department of organic chemistry over the past 10 years. Work went in four main areas: a study of the mechanism of Kulinkovich reaction, search for a new reactions involving combinations of RMgX/Ti(OiPr)_4 , a study of reactions of hydroxycyclopropanes with retention or disclosure of the three-membered cycle and development of methodologies for fine organic synthesis based on transformation of cyclopropanes. The most prominent achievement is the total synthesis of epothilone D – a macrocycle with taxol-like antitumor activity performed by a group of professor O.G. Kulinkovich.

Одним из основных направлений исследований кафедры органической химии в течение многих лет является химия напряженных карбо- и гетероциклических систем с 3–4 атомами в кольце (оксиранов, циклопропанов, тиранов, азиридинов). Начало фундаментальным научным исследованиям на кафедре в этой области было положено известным химиком-органиком профессором Николаем Александровичем Прилежаевым, руководившим кафедрой с 1924 по 1934 г. В БГУ Н.А. Прилежаев продолжил исследования открытой им в 1908 г. реакции окисления непредельных соединений надкислотами в эпоксиды (реакция Прилежаева). В 1950–1960-х гг. химия оксиранов получила на кафедре новое развитие благодаря исследованиям, которыми руководил профессор Иван Григорьевич Тищенко. Позже в 1970-е гг. благодаря усилиям тогда еще аспиранта Олега Григорьевича Кулинковича на кафедре были начаты работы по новой тематике, касающейся синтеза и реакций галогенциклопропановых систем. В конце 1980-х гг. в группе О.Г. Кулинковича на стыке органической химии, металлокомплексного катализа и химии полимеров была открыта катализируемая изопророксидом титана(IV) реакция сложных эфиров с реактивами Гриньяра, приводящая к образованию гидроксициклопропанов [1, 2]. Необычное превращение вызвало всплеск интереса к титанкатализируемым реакциям магнийорганических соединений ряда ведущих научных групп, получило всемирное признание и в настоящее время называется реакцией Кулинковича [3, 4]. Работы по данной тематике под руководством профессора О.Г. Кулинковича были главными на кафедре органической химии и в лаборатории элементарного синтеза последние десять лет и велись по четырем основным направлениям: изучение механизма открытой реакции, поиск новых превращений с участием комбинации реагентов RMgX/Ti(Oi-Pr)_4 , исследование реакций гидроксициклопропанов с сохранением или раскрытием трехчленного цикла, а также развитие методологий тонкого органического синтеза на основе трансформаций циклопропановых соединений [5–7].

Первоначально был предложен механизм реакции через промежуточное образование неустойчивых диалкоксититанацклопропановых интермедиатов, выступающих в этом превращении как синтетические эквиваленты 1,2-дикарбаниона [1, 2]. Однако этот механизм требовал экспериментальных подтверждений. В работе О.Л. Эпштейна и А.Л. Савченко было показано, что в реакции сложного эфира с гексадейтерированным изопроропилмагнийбромидом в присутствии каталитических количеств Ti(Oi-Pr)_4 образуется пентадейтерированный продукт, что подтверждает образование диалкоксититанацклопропана за счет β -элиминирования в промежуточном диалкилтитане [8]. Многочисленные наблюдения за особенностями реакций с участием диалкоксититанацклопропанов, анализ газообразных продуктов взаимодействия EtMgBr с Ti(Oi-Pr)_4 [9], обобщение большого количества данных литературы дали основание предположить, что реакционноспособной частицей является не сам диалкоксититанацклопропан, а его производное, алкилированное реактивом Гриньяра по атому титана (ат-комплекс) [10]. Новые экспериментальные данные, полученные Д.Г. Канановичем, позволили глубже понять химизм процессов, происходящих в условиях реакции Кулинковича, уточнить ее механизм, стереохимические особенности и разработать улучшенную методику синтеза *цис*-1,2-дизамещенных циклопропанолов [11, 12] (схема 1). В ходе изучения стереохимии циклизации β -металлокетонов был разработан способ трансформации 2-алкилиденциклоалканонов в алкилзамещенные бициклические циклопропанолы [13].

При поиске новых химических превращений с участием диалкоксититанацклопропановых реагентов было обнаружено, что аллиловые спирты и их производные способны этилироваться действием этилмагнийбромида в присутствии тетраизопророксида титана. В результате получают продукты формального S_{N}' замещения (схема 2) [14]. Циклические аллиловые эфиры также этилируются в этих условиях, образуя ценные для органического синтеза ненасыщенные спирты [15]. Производные оптически активных вторичных аллиловых спиртов дают хиральные продукты этилирования [16, 17]. В.Е. Исаков обнаружил, что изопроропилмагнийбромид в присутствии Ti(Oi-Pr)_4 индуцирует ранее не-

описанное восстановительное сочетание гомоллиловых спиртов с терминальной двойной связью в направлении «голова-к-голове» [18]. Предполагаемый механизм этих реакций включает стадии образования соответствующих титанацклопентановых интермедиатов (схема 2).

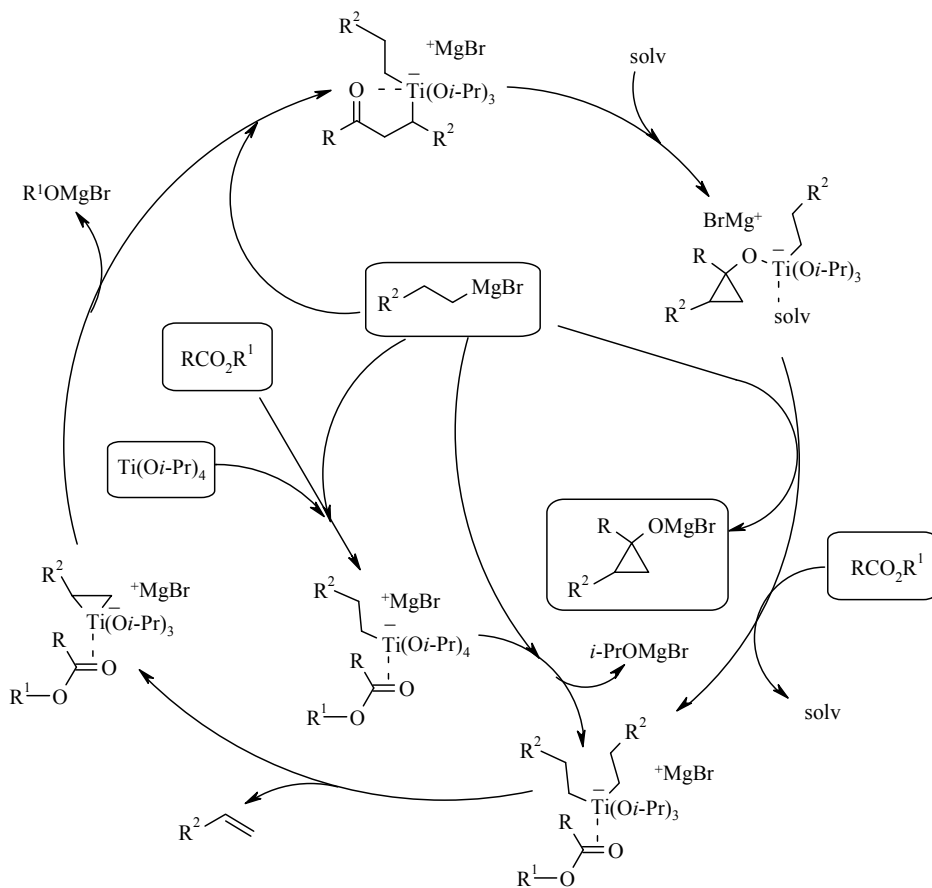


Схема 1

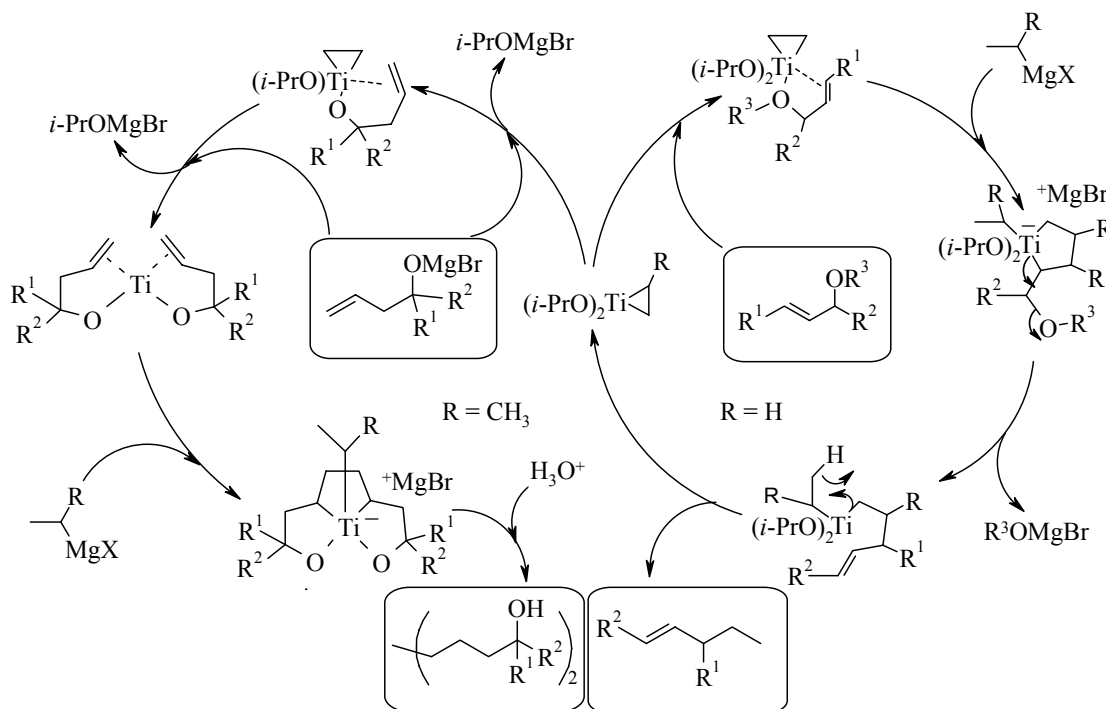


Схема 2

Если ввести в реакцию EtMgBr с $\text{Ti}(\text{Oi-Pr})_4$ в отсутствие ненасыщенного субстрата, то генерирующийся титанацклопропан реагирует с присутствующим $\text{Ti}(\text{Oi-Pr})_4$ с выделением этилена и образованием предположительно изопропоксида титана(III) (Е.А. Матюшенков) [9]. Полученный таким образом реагент проявляет интересные восстановительные свойства. В частности, Д.Г. Чуриков показал, что в мягких условиях реагент позволяет превращать изоксазолы и изоксазолины в кетонамины и альдоли соответственно [19].

Гидроксициклопропаны обладают богатыми химическими свойствами и могут вовлекаться в реакции с раскрытием цикла и образованием полезных для органического синтеза полифункциональных соединений. Наряду с разработанными ранее на кафедре методиками получения кетонов или β -галогенкетонов через раскрытие трехуглеродного цикла гидроксициклопропанов по связи С1–С3 (схема 3, пути А и Б) были найдены способы их превращения в эпоксикетоны через окислительное раскрытие цикла каталитическим окислением кислородом воздуха (путь В, Д.А. Асташко) [20]; в β -нитрозокетоны и соответствующие изоксазолы с помощью алкилнитритов (путь Г, Д.Г. Чуриков) [21]; в 2-замещенные аллилбромиды через индуцируемую MgBr_2 катионную циклопропил-аллильную изомеризацию сульфатов циклопропанолов (путь Д, Ю.Ю. Козырьков) [22, 23]. С использованием последнего превращения были найдены условия для стереоселективного получения аллилбромидов с (*E*)-тризамещенной двойной связью из сульфатов 1,2-диалкилзамещенных циклопропанолов [24]. Проведение этой реакции под действием перхлората магния в присутствии основания позволяет получать 1,3-диены с (*E*)-1,2-дизамещенной двойной связью [25].

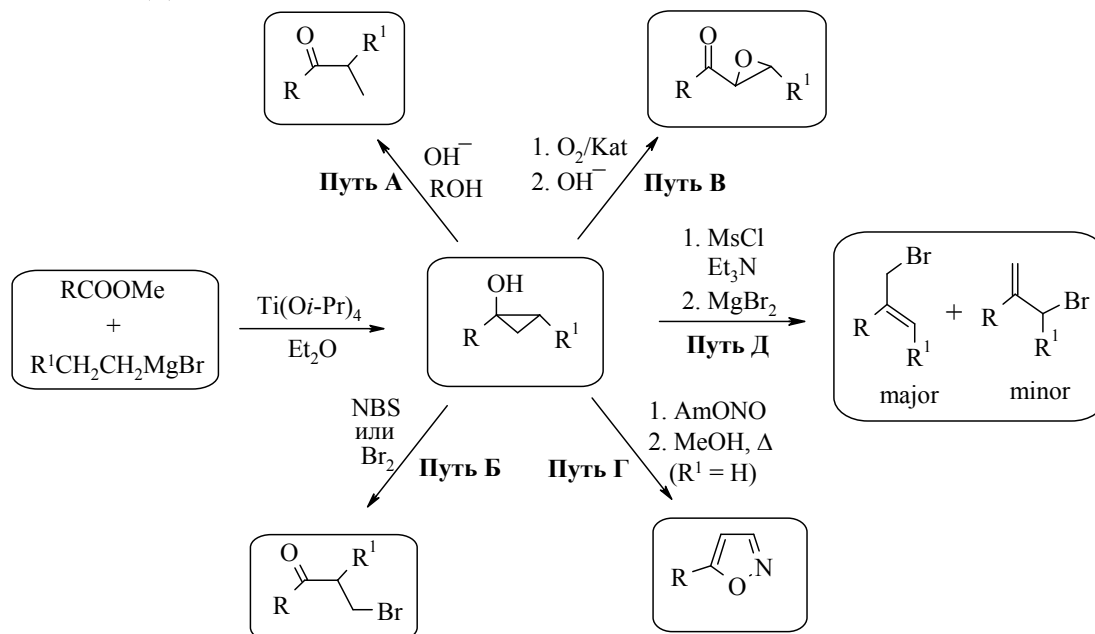


Схема 3

В.Н. Коваленко разработал метод синтеза полезных хиральных строительных блоков с метильными разветвлениями реакциями раскрытия трехчленного цикла эфиров оптически активных 2,2-дихлор-3-метил-циклопропановых кислот, которые, в свою очередь, были получены расщеплением на энантиомеры соответствующей рацемической кислоты с помощью (*R*)-(+)- или (*S*)-(-)- α -фенилэтиламина (схема 4) [26].

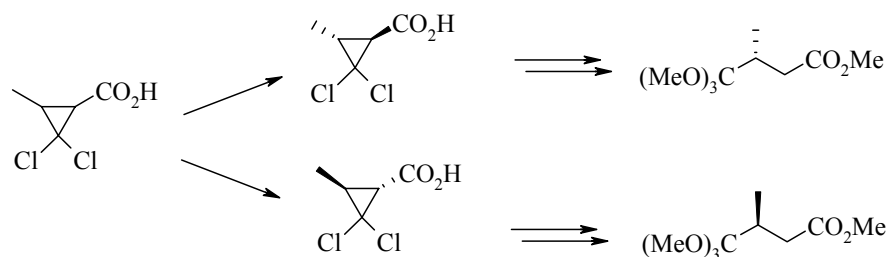


Схема 4

А.В. Бекишем была проведена дифференциация карбоксильных групп яблочной кислоты с использованием последовательности реакций образования и расщепления трехчленного цикла (схема 5) [27].

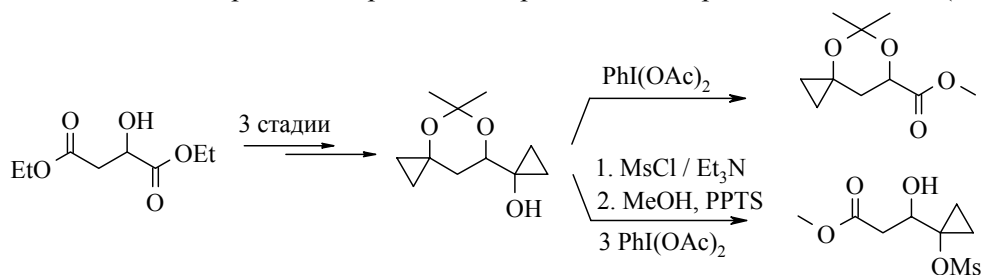


Схема 5

Значительное число работ последнего десятилетия посвящено направленному органическому синтезу природных, биологически активных, практически полезных соединений и их фрагментов. «Изюминкой» осуществленных синтезов является изящное использование синтетического потенциала малых циклов или диалкоксититанацклопропановых реагентов на ключевых стадиях.

Так, Д.Н. Бобровым был осуществлен синтез биологически активных пиранонов [28, 29] и исходя из них – замещенных бензопиридинов [28] и пиразолопиридинов [29], содержащих трифторметильный заместитель (схема 6).

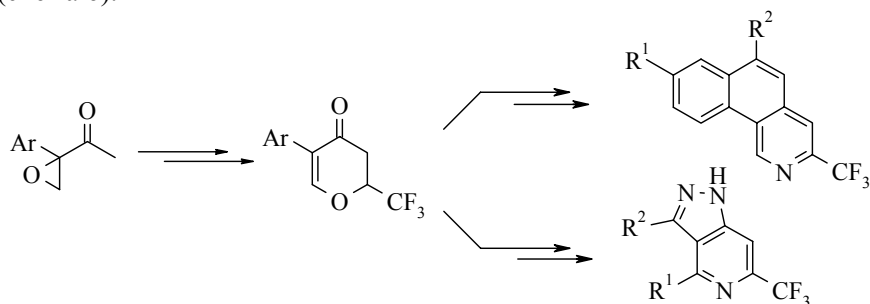


Схема 6

Циклопропанола были использованы в синтезе гетероциклических соединений. В работе М.В. Райман и А.В. Пукина реакция раскрытия трехчленного цикла по связи С1–С3 была использована в синтезе замещенных пирролов, которые далее были превращены в 4,5,6,7-тетрагидро-1Н-пирроло[3,2-с]пиридины и 4,5,7,8,9,9а-гексагидро-3Н-пирроло[2,3-г]индолизины [30] (схема 7).

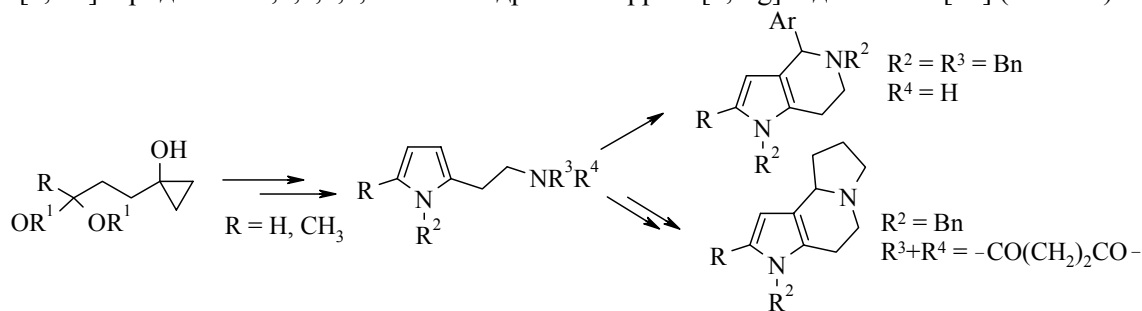


Схема 7

Распространение реакции Кулинковича на эфиры α-аминокислот, осуществленное И.Л. Лысенко [31], позволило синтезировать такие гетероциклические алкалоиды, как (±)-α- и (±)-β-конгидрин, 1-(S)-метиленопирролизидин и (-)-гелиотридан (схема 8) [32, 33].

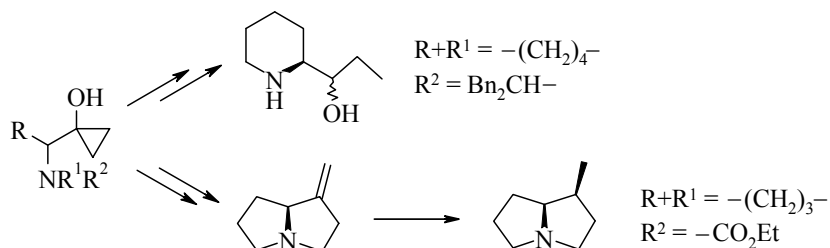


Схема 8

Реакция этилирования аллиловых спиртов была с успехом применена в синтезе феромонов насекомых-вредителей, таких как сливовая плодовая жорка (*Grafolita funebrana*), чайная листовертка (*Adoxophyes* sp.) [15] и западный кукурузный жук (*Diabrotica virgifera virgifera*) (схема 9) [16].

компоненты феромонов:

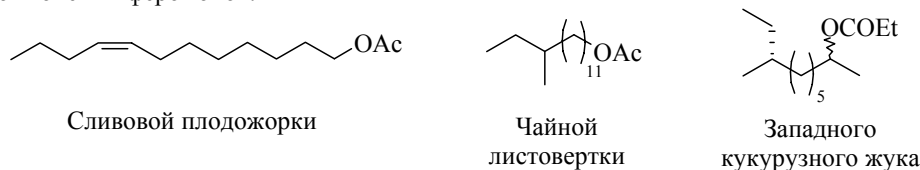


Схема 9

С использованием разработанных на кафедре методов получения и трансформаций циклопропановых и оксирановых соединений осуществлены синтезы большого числа природных и биологически активных соединений, среди которых производные ряда 6,8-диоксабицикло[3.2.1]октанов (*эндо*- и *экзо*-бrevикомин, фронталин) [34, 35], входящие в состав феромонных композиций насекомых-вредителей сосны; соединения с метилразветвленным углеродным скелетом – феромоны обыкновенного соснового пилильщика *Diprion pini* (ацетат и пропионат (2*S*,3*R*,7*R*)-3,7-диметилтридекан-2-ола) и рыжего соснового пилильщика *Neodiprion sertifer* ((2*S*,3*S*,7*S*)-диприонилацетат и пропионат) [36–38]; изопреноидные спирты ипсенол и ипсдиенол – компоненты феромона опасного вредителя лесов Беларуси жука короеда-типографа [39]; (+)-диспарлюр – феромон непарного шелкопряда и шелкопряда-монашенки (схема 10) [40] и многие другие соединения.

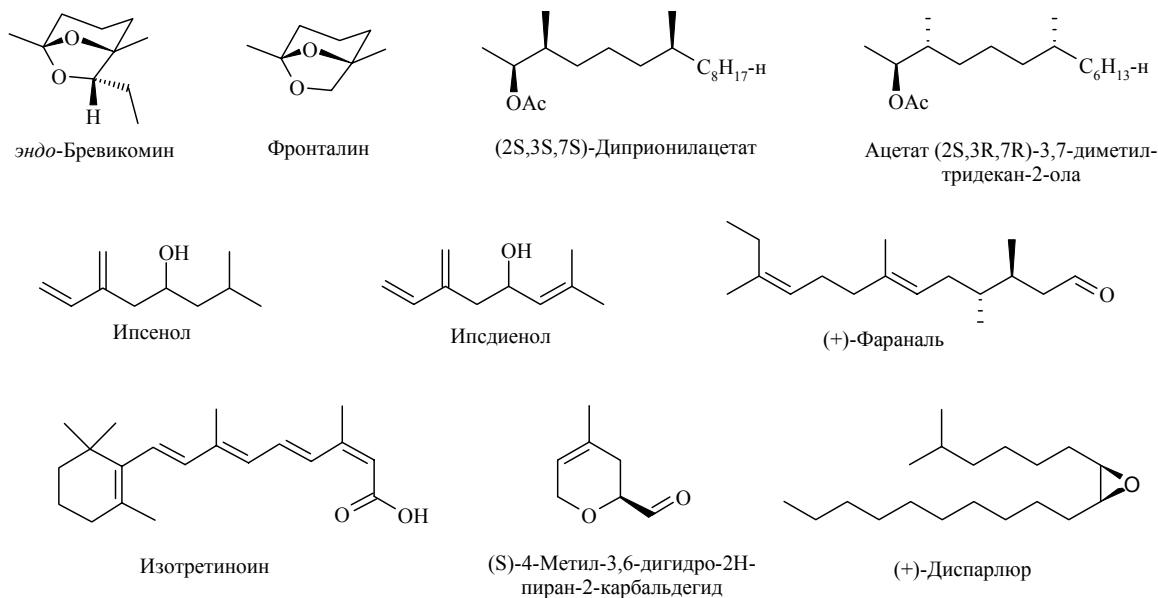


Схема 10

Исходя из 1-(2,2-диэтоксиэтил)циклопропанола [41], И.В. Минеева осуществила синтез большого числа соединений изопреноидного строения, в том числе изотретиноина [42] – действующего вещества лекарственных препаратов для лечения некоторых заболеваний кожи, (+)-фараналья – феромона фараонова муравья *Monomorium pharaonis* [43], (S)-4-метил-3,6-дигидро-2Н-пиран-2-карбальдегида [43] – соединения, используемого в синтезе макроциклического противоопухолевого соединения лаулималид (схема 10).

Наиболее ярким научным результатом в области направленного органического синтеза является проведенный группой профессора О.Г. Кулинковича полный синтез эпотилона D [44–47] – соединения из группы эпотилонов, которые считаются перспективными противоопухолевыми препаратами с таксолородобной активностью (схема 11). Разработка оригинальной схемы синтеза продолжалась несколько лет, за это время были получены различными способами фрагменты молекулы [44, 45, 47]. Полный синтез эпотилона D удалось осуществить аспиранту А.Л. Гурскому [46]. Примечательно, что в схеме синтеза этого соединения гидроксциклопропановые интермедиаты суммарно были использованы 6 раз для создания углеродного скелета молекулы либо для защиты сложноэфирных групп в промежуточных соединениях. Эпотилон D содержит 5 асимметрических центров и 2 двойные связи

определенной конфигурации, а работы по его получению являются наиболее сложными из когда-либо осуществленных в Беларуси в области направленного асимметрического синтеза.

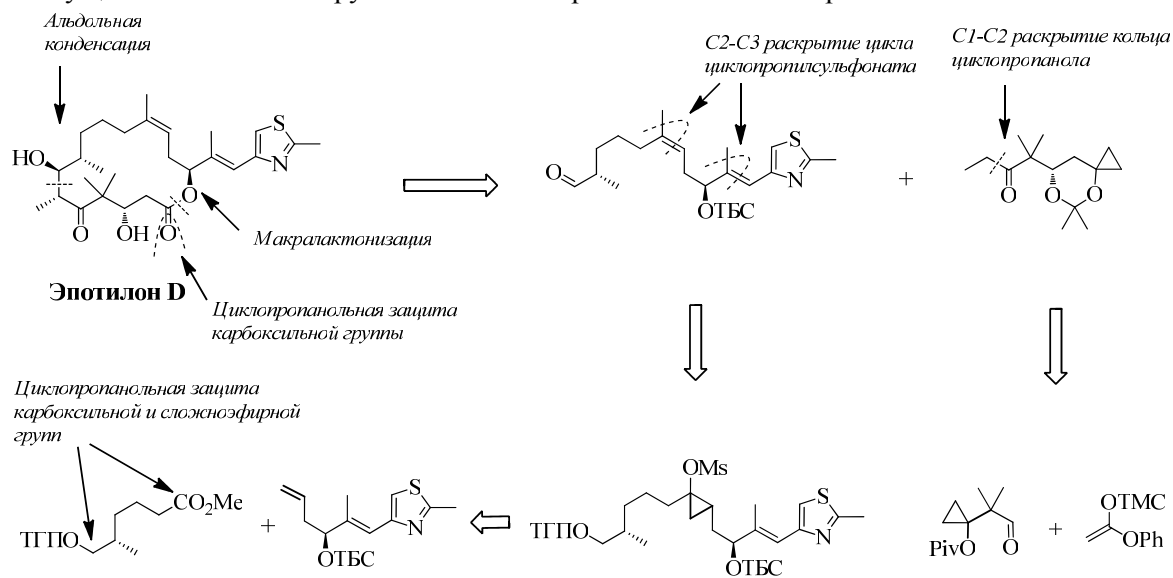


Схема 11

Таким образом, за последние 10 лет благодаря научным исследованиям кафедры органической химии и лаборатории элементоорганического синтеза под руководством профессора О.Г. Кулинковича существенно развилась синтетическая методология, основанная на применении циклопропановых, оксирановых систем и диалкоксититанацклопропановых реагентов для получения функционально замещенных соединений различных классов. Научные работы кафедры и лаборатории в этой области, опубликованные с 2000 г., были процитированы более 830 раз (по данным базы ISI Web of Knowledge на июнь 2011 г.), что свидетельствует о большом интересе к ним мировой научной общественности. Несомненно, химия малых циклов преподнесет нам еще немало интересных научных находок в будущем.

1. Кулинкович О.Г., Свиридов С.В., Василевский Д.А., Притыцкая Т.С. // Журн. орган. химии. 1989. Т. 25. С. 2244; J. Org. Chem. USSR (Engl. Transl.). 1989. Vol. 25. P. 2027.
2. Kulinkovich O.G., Sviridov S.V., Vasilevski D.A. // Synthesis. 1991. P. 234.
3. Wolan A., Six Y. // Tetrahedron. 2010. Vol. 66. P. 15.
4. Wolan A., Six Y. // Ibid. 2010. Vol. 66. P. 3097.
5. Kulinkovich O.G., de Meijere A. // Chem. Rev. 2000. Vol. 100. № 8. P. 2789.
6. Kulinkovich O.G. // Ibid. 2003. Vol. 103. № 7. P. 2597.
7. Кулинкович О.Г. // Изв. Акад. наук. Сер. хим. 2004. Т. 53. № 5. С. 1022; Russ. Chem. Bull. 2004. Vol. 53. № 5. P. 1065.
8. Эпштейн О.Л., Савченко А.Л., Кулинкович О.Г. // Там же. 2000. Т. 49. № 2. С. 376; Ibid. 2000. Vol. 49. № 2. P. 378.
9. Matiushenkov E.A., Sokolov N.A., Kulinkovich O.G. // Synlett. 2004. № 1. P. 77.
10. Kulinkovich O.G. // Pure Appl. Chem. 2000. Vol. 72. № 9. P. 1715.
11. Kulinkovich O.G., Kananovich D.G. // Eur. J. Org. Chem. 2007. № 13. P. 2121.
12. Kananovich D.G., Kulinkovich O.G. // Tetrahedron. 2008. Vol. 64. № 7. P. 1536.
13. Kananovich D.G., Zubrytski D.M., Kulinkovich O.G. // Synlett. 2010. № 7. P. 1043.
14. Kulinkovich O.G., Epstein O.L., Isakov V.E., Khmel'nitskaya E.A. // Ibid. 2001. № 1. P. 49.
15. Matyushenkov E.A., Churikov D.G., Sokolov N. A., Kulinkovich O.G. // Журн. орган. химии. 2003. Т. 39. № 4. С. 514; Russ. J. Org. Chem. 2003. Vol. 39. № 4. P. 478.
16. Isakov V.E., Kulinkovich O.G. // Tetrahedron Lett. 2008. Vol. 49. № 49. P. 6959.
17. Kulinkovich O., Isakov V., Kananovich D. // Chem. Record. 2008. Vol. 8. № 5. P. 269.
18. Isakov V.E., Kulinkovich O.G. // Synlett. 2003. № 7. P. 967.
19. Churykau D.H., Zinovich V.G., Kulinkovich O.G. // Synlett. 2004. № 11. P. 1949.
20. Kulinkovich O.G., Astashko D.A., Tyvorskii V.I., Ilyina N.A. // Synthesis. 2001. № 10. P. 1453.
21. Churykau D.H., Kulinkovich O.G. // Synlett. 2006. № 20. P. 3427.
22. Kozyrkov Y.Y., Kulinkovich O.G. // Ibid. 2002. № 3. P. 443.
23. Kulinkovich O.G., Kozyrkov Y.Y., Bekish A.V. et al. // Synthesis. 2005. № 10. P. 1713.
24. Kananovich D.G., Hurski A.L., Kulinkovich O.G. // Tetrahedron Lett. 2007. Vol. 48. № 48. P. 8424.
25. Kozyrkov Y.Y., Kulinkovich O.G. // Synlett. 2004. № 2. P. 344.
26. Kovalenko V.N., Kulinkovich O.G. // Tetrahedron: Asymmetry. 2011. Vol. 22. № 1. P. 26.

27. Bekish A.V., Kulinkovich O.G. // *Tetrahedron Lett.* 2005. Vol. 46. № 41. P. 6975.
28. Tyvorskii V.I., Bobrov D.N., Kulinkovich O.G. et al. // *Tetrahedron.* 2000. Vol. 56. № 37. P. 7313.
29. Tyvorskii V.I., Bobrov D.N., Kulinkovich O.G. et al. // *Ibid.* 2001. Vol. 57. № 10. P. 2051.
30. Raiman M.V., Pukin A.V., Tyvorskii V.I. et al. // *Ibid.* 2003. Vol. 59. № 28. P. 5265.
31. Лысенко И.Л., Кулинкович О.Г. // *Журн. орган. химии.* 2001. Т. 37. № 9. С. 1306; *Russ. J. Org. Chem.* 2001. Vol. 37. № 9. P. 1238.
32. Лысенко И.Л., Бекиш А.В., Кулинкович О.Г. // *Там же.* 2002. Т. 38. № 6. С. 918; *Ibid.* 2002. Vol. 38. № 6. P. 875.
33. Лысенко И.Л., Кулинкович О.Г. // *Там же.* 2005. Т. 41. № 1. С. 73; *Ibid.* 2005. Vol. 41. № 1. P. 70
34. Tyvorskii V.I., Astashko D.A., Kulinkovich O.G. // *Tetrahedron.* 2004. Vol. 60. P. 1473.
35. Асташко Д.А., Кулинкович О.Г., Тыворский В.И. // *Журн. орган. химии.* 2006. Т. 42. № 5. С. 736; *Russ. J. Org. Chem.* 2006. Vol. 42. № 5. P. 719.
36. Bekish A.V., Prokhorevich K.N., Kulinkovich O.G. // *Tetrahedron Lett.* 2004. Vol. 45. № 27. P. 5253.
37. Bekish A.V., Prokhorevich K.N., Kulinkovich O.G. // *Eur. J. Org. Chem.* 2006. № 22. P. 5069.
38. Prokhorevich K.N., Kulinkovich O.G. // *Tetrahedron: Asymmetry.* 2006. Vol. 17. № 21. P. 2976.
39. Матюшенков Е.А., Кулинкович О.Г. // *Журн. орган. химии.* 2006. Т. 42. № 4. С. 509; *Russ. J. Org. Chem.* 2006. Vol. 42. № 4. P. 491.
40. Коваленко В.Н., Масалов Н.В., Кулинкович О.Г. // *Там же.* 2009. Т. 45. № 9. С. 1333; *Ibid.* 2009. Vol. 45. № 9. P. 1318.
41. Минеева И.В., Кулинкович О.Г. // *Там же.* 2009. Т. 45. № 11. С. 1634; *Ibid.* 2009. Vol. 45. № 11. P. 1623.
42. Минеева И.В., Кулинкович О.Г. // *Там же.* 2008. Т. 44. № 9. С. 1277; *Ibid.* 2008. Vol. 44. № 9. P. 1261.
43. Mineyeva I.V., Kulinkovich O.G. // *Tetrahedron Lett.* 2010. Vol. 51. № 14. P. 1836.
44. Bekish A.V., Isakov V.E., Kulinkovich O.G. // *Ibid.* 2005. Vol. 46. № 41. P. 6979.
45. Hurski A.L., Sokolov N.A., Kulinkovich O.G. // *Tetrahedron.* 2009. Vol. 65. № 17. P. 3518.
46. Hurski A.L., Kulinkovich O.G. // *Tetrahedron Lett.* 2010. Vol. 51. № 27. P. 3497.
47. Коваленко В.Н., Соколов Н.А., Кулинкович О.Г. // *Журн. орган. химии.* 2010. Т. 46. № 11. С. 1694; *Russ. J. Org. Chem.* 2010. Vol. 46. № 11. P. 1702.

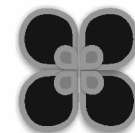
Поступила в редакцию 01.07.11.

Евгений Александрович Матюшенков – кандидат химических наук, заведующий кафедрой органической химии. Область научных интересов – направленный органический синтез; химия малых циклов; металлокомплексный катализ; феромоны насекомых. Опубликовал более 30 работ, в том числе статьи в международных научных журналах, материалы по результатам участия в конференциях, заявки на патенты.

Юрий Юрьевич Козырьков – кандидат химических наук, доцент кафедры органической химии. Область научных интересов – направленный органический синтез; химия малых циклов; металлокомплексный катализ. Опубликовал более 20 работ, в том числе статьи в международных научных журналах, материалы по результатам участия в конференциях, заявки на патенты.

90
ЛЕТ

Биология



УДК 581.1:575.2

В.М. ЮРИН, Т.И. ДИТЧЕНКО

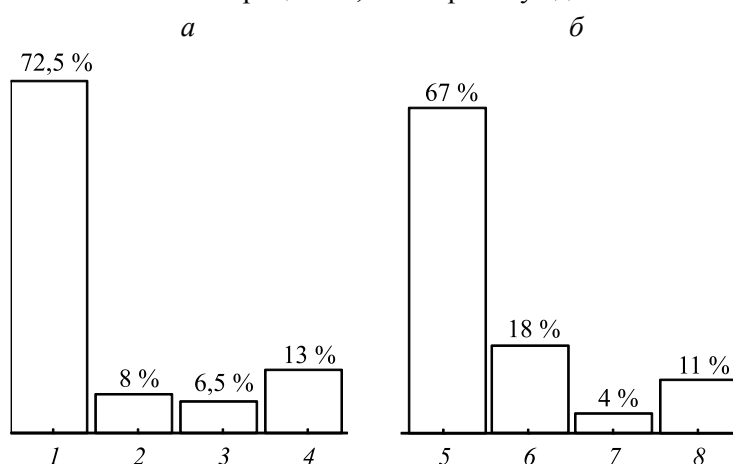
ФИТОБИОТЕХНОЛОГИЯ – НОВОЕ НАПРАВЛЕНИЕ В УЧЕБНОЙ И НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ КАФЕДРЫ ФИЗИОЛОГИИ И БИОХИМИИ РАСТЕНИЙ

The main directions of phytobiotechnology scientific researches development at the Plant Physiology and Biochemistry department are considered. Significant amount of scientific results and methodological developments indicate that the department in recent years significantly expanded and improved teaching and research facilities for training in plant biotechnology.

Растительные клетки являются уникальными источниками ценных биологически активных веществ разной химической природы, которые обладают не только широким спектром лечебного действия, но и применяются в парфюмерии, пищевой промышленности, сельском хозяйстве.

Клетки и ткани высших растений, выращиваемые на питательных средах *in vitro* в строго контролируемых условиях, все шире используются в фитобиотехнологии. Название «фитобиотехнология» образовано от четырех слов греческого происхождения: *phyton* – растение, *bios* – жизнь, *teken* – искусство, *logos* – наука. Следовательно, это наука об использовании растительных объектов в технике и промышленном производстве. Фитобиотехнология рассматривается как часть общей биотехнологии, хотя по своим теоретическим и методологическим принципам ее можно выделить в самостоятельную дисциплину.

Обширное царство растений – потенциально неограниченный источник клеток и тканей, которые могут быть введены в культуру, и, как следствие, существуют неограниченные возможности для создания новых фитобиотехнологических процессов, в которых нуждается человечество.



Применение вторичных метаболитов в различных областях (а) и отдельных классов соединений в фармакопии (б):

1 – фармацевтические средства; 2 – пищевые добавки; 3 – пигменты; 4 – другие продукты; 5 – алкалоиды; 6 – сердечные гликозиды; 7 – стероиды; 8 – другие вещества

В последние годы много усилий было направлено на идентификацию в культуре растительных тканей продуктов вторичного метаболизма, представляющих собой ценные лекарственные средства. На рисунке указаны основные области применения и классы вторичных метаболитов растений, ис-

пользуемых в фармакопии [1]. Биомасса культивируемых клеток растений с начала 1980-х гг. используется в качестве источника важных продуктов. Однако существующие трудности и нерешенные вопросы сдерживают широкомасштабное их применение, обуславливают нерентабельность биотехнологических производств многих ценных видов растений.

Принципиальной проблемой является низкое содержание вторичных метаболитов в культуре растительных клеток. Это можно объяснить тем, что в искусственных условиях *in vitro* происходит частичная потеря способности к реализации генетической информации, относящейся к вторичному метаболизму. Правда, существуют культуры, которые содержат в равном количестве или даже превосходят по содержанию продукта *in vivo* в целом растении [2, 3]. Для экономически оправданного получения ценных биологически активных веществ необходима разработка приемов, обеспечивающих увеличение продуктивности культуры клеток растений.

На выход вторичных метаболитов в культурах растительных клеток и тканей влияют многие факторы, однако все способы регуляции вторичного метаболизма в культуре *in vitro* можно разделить на две группы: физиологическая и генетическая. В основе физиологического регулирования лежит изучение физических и химических условий культивирования растительных клеток, оптимальных для образования вторичных метаболитов. Уделяя серьезное внимание проблеме влияния состава среды (регуляторы роста, источники углерода (сахара), минеральные вещества, элиситоры и др.) и внешних условий культивирования (свет, аэрация, температура) на эффективность синтеза вторичных метаболитов, усилия экспериментаторов, таким образом, направлены на подбор сред, которые обеспечивают как рост культуры, так и образование продуктов вторичного метаболизма. Однако в большинстве случаев состав среды, который необходим для максимального роста, отличается от состава, необходимого для образования вторичных метаболитов. В связи с этим на практике обычно применяется двухфазный способ культивирования. На первом этапе клетки выращивают на стандартной среде, т. е. создают оптимальные условия для роста и накопления биомассы, а на втором – их пересаживают на «продуцирующую» среду, после чего метаболизм клеток сдвигается в сторону синтеза продуктов вторичного метаболизма [4].

За последние годы на кафедре физиологии и биохимии растений получены стабильно растущие каллусные ткани и клеточные суспензии ряда лекарственных растений: эхинацеи пурпурной, шалфея лекарственного, сирени обыкновенной, каллизи душистой, пажитника греческого, катарантуса розового, барвинка малого и др. Представленные виды содержат различающиеся по химической структуре и физико-химическим свойствам группы вторичных метаболитов и характеризуются разнообразием фармакологических эффектов. При изучении влияния химических и физических условий культивирования на продукцию биологически активных веществ в клеточных культурах указанных лекарственных растений установлено следующее [5, 6]:

1. Применение гормональных эффекторов позволяет регулировать образование вторичных соединений в культивируемых растительных клетках, однако в каждом отдельном случае необходим поиск оптимальных условий. Действие фитогормонов специфично и зависит от вида растения, природы вторичного соединения и т. п. Тем не менее для каллусных культур эхинацеи пурпурной и шалфея лекарственного показано, что снижение концентрации 2,4-дихлорфеноксиуксусной кислоты (2,4-Д) либо полное ее исключение из состава питательной среды сопровождается существенным повышением уровня таких вторичных метаболитов, как фенолкарбоновые кислоты (ФК). Замена 2,4-Д на α -нафтилуксусную кислоту также способствует возрастанию уровней накопления указанных соединений. Данная закономерность отмечается и в случае анализа содержания L-триптофана, а также триптамина – основного предшественника всех алкалоидов индольного ряда в каллусной культуре барвинка малого, а также активности фермента триптофандекарбоксилазы (ТДК) в каллусной ткани катарантуса розового.

2. Увеличение концентрации сахарозы в питательной среде до 4÷5 % способствует повышению содержания вторичных метаболитов: гидроксикоричных кислот (ГК) в каллусной культуре эхинацеи пурпурной, флавоноидов в каллусах пажитника греческого, ФК в каллусах шалфея лекарственного, фенольных соединений (ФС) в каллусных культурах сирени обыкновенной и каллизи душистой.

3. Снижение содержания либо полное исключение из состава питательной среды таких макроэлементов, как азот и фосфор, приводит к замедлению роста клеток, но позволяет активизировать процессы вторичного метаболизма. Эта закономерность проявляется при анализе содержания ФС в клеточных культурах сирени обыкновенной, ГК в каллусах эхинацеи пурпурной, флавоноидов в каллусах пажитника греческого.

4. Использование элиситоров, в частности салициловой и жасминовой кислот, позволяет повысить содержание таких метаболитов, как ФС, в каллусах шалфея лекарственного, ГК в каллусах эхинацеи пурпурной, а также водорастворимых сахаров в каллусах каллизии душистой.

5. Выраженное стимулирующее действие света на образование вторичных соединений в культуре клеток показано на примере ФК в каллусах шалфея лекарственного, флавоноидов в каллусах пажитника греческого, ГК в каллусных тканях эхинацеи пурпурной, ФС в каллусной культуре сирени обыкновенной. Существенное повышение активности ТДК обнаружено в каллусах катарантуса розового, культивируемых на свету, по сравнению с темнотой.

6. Температурные оптимумы для роста культуры клеток и биосинтеза вторичных метаболитов, как правило, не совпадают. В частности, оптимальными для роста каллусов эхинацеи пурпурной являются температуры 24÷27 °С, тогда как для накопления ГК – 21 °С. В случае каллусной культуры шалфея лекарственного наиболее благоприятной для роста считается температура 24 °С, тогда как стимуляция накопления ФК в наибольшей степени проявляется при снижении температуры до 18 °С.

7. Оригинальным приемом экзогенного физического воздействия, направленного на повышение степени дифференцировки растительных клеток в культуре *in vitro* и, следовательно, на образование вторичных метаболитов, является действие слабыми дозами электрического тока, что было установлено на примере каллусных культур катарантуса розового и эхинацеи пурпурной.

Новым развиваемым на кафедре подходом, способствующим увеличению выхода ценных метаболитов, является иммобилизация клеток и тканей растений. Как показано в ряде работ [7, 8], процесс иммобилизации оказывает значительное влияние на образование продуктов вторичного метаболизма. Биосинтез физиологически активных веществ в иммобилизованных клетках растений происходит с большей скоростью и более высокой активностью по сравнению с нативными.

В последние годы с помощью иммобилизованных препаратов удалось увеличить эффективность процессов, используемых в самых разных областях человеческой деятельности (медицина, энергетика, пищевая промышленность, микроэлектроника, утилизация отходов и т. д.) [9, 10].

Использование иммобилизованных клеток позволяет за счет более продолжительной стационарной фазы роста увеличить наработку биомассы, в свою очередь, низкая скорость роста способствует высокому выходу вторичных метаболитов благодаря взаимодействию клеток на/в носители между собой, преодолеть процесс агрегации и генетических изменений; также повышается механическая устойчивость [11].

В то же время практика применения иммобилизованных клеток основана главным образом на эмпирическом подходе. Условия иммобилизации и инкубации, материал носителя, процессы пермеаблизации клеток и другие процедуры подбираются опытным путем. Это зачастую не позволяет добиться оптимальных условий технологического процесса, рационально использовать потенциал иммобилизованной клетки. В этой связи возникла настоятельная потребность всестороннего изучения влияния процедуры иммобилизации на ход физиолого-биохимических процессов, протекающих в растительных клетках.

Целью проводимых на кафедре работ является выявление механизмов первичных мембранотропных эффектов и последующих изменений внутриклеточных процессов в клетках растений в условиях иммобилизации, а также разработка способов повышения содержания в них физиологически активных соединений.

В этом направлении с использованием различных растительных объектов в настоящее время установлены следующие закономерности [12–14]:

- включение клеток в Са-альгинатный гель повышает их жизнеспособность по сравнению с иммобилизованными в агаре и свободными клетками при хранении в различных условиях освещенности и температуры;
- альгинатные гели активируют транспорт нитратов и снижают входящие потоки калия по сравнению с суспендированными клетками;
- мембранотропные эффекты отрицательно заряженных полисахаридов выражаются в увеличении неселективной ионной проводимости плазматической мембраны и обусловлены взаимодействием с липидным бислоем;
- в процессе хранения отмечается изменение соотношения хлорофилла *a* и хлорофилла *b*. В наибольшей степени стабилизирующее влияние полисахаридных гелей (особенно агара) сказывается на состоянии фотосинтетических пигментов, в частности, на содержании хлорофилла *a*;
- включение растительных клеток в Са-альгинатные гранулы приводит к повышению содержания биологически активных веществ, стимуляции активности ключевых ферментов биосинтеза вторичных метаболитов, а также к более эффективной экскреции синтезированных продуктов в питательную среду.

Увеличение биосинтеза физиологически активных соединений иммобилизованными растительными клетками связано с изменением баланса первичного и вторичного метаболизма в сторону последнего и обусловлено воздействием целого комплекса различных факторов, на которые мы уже указывали.

Важным элементом в подготовке высококвалифицированных специалистов является обеспечение знаний в различных областях биотехнологии. В этой связи преподавателями кафедры для студентов-биотехнологов читается общий курс «Иммобилизованные клетки и ферменты», который связан с такими дисциплинами, как молекулярная биология, биохимия, биофизика, микробиология, физиология растений, физиология человека и животных. Целью курса является формирование у студентов знаний о приемах иммобилизации, физиолого-биохимических особенностях иммобилизованных препаратов и представлений об их промышленном использовании. На лабораторных занятиях по данной дисциплине студенты осваивают технику проведения процедуры иммобилизации растительных клеток в различные полисахаридные носители, определяют жизнеспособность и физиологическую активность полученных препаратов и таким образом приобретают практические навыки работы с иммобилизованными растительными клетками.

К биотехнологическому направлению относятся и научные исследования сотрудников кафедры в области разработки биологических методов для оценки состояния окружающей среды на основе электроальгологического анализа.

Используемые химические методы хотя и имеют определенное значение для выявления веществ в воздухе, воде, почве и т. д., но не дают полного представления о воздействии веществ на живые системы. Это связано с ограниченным количеством определяемых в среде химических соединений и малочисленностью величин предельно допустимых концентраций, трудоемкостью и дороговизной проведения химического анализа; возможным появлением более токсичных соединений в процессе биотрансформации и отсутствием оценки биологической полноценности тестируемой среды. Кроме того, продукты распада и сочѳтанного действия поллютантов могут оказаться токсичнее анализируемых исходных соединений [15].

В этой связи для осуществления эффективного экологического мониторинга необходимо создание экономичных высокоинформативных интегральных методов, позволяющих осуществлять контроль биологической безопасности среды и прогнозировать состояние экосистем. К таким методам относится биотестирование, суть которого заключается в регистрации реакции различных живых организмов (тест-объект), выращенных в контролируемых условиях, на действие проб среды.

Для решения указанной проблемы нами разрабатываются высокоинформативные интегральные приемы контроля качества воды и почв с использованием клеток харовой водоросли [15, 16]. Функционирование предлагаемой системы основано на регистрации электрофизиологических показателей (ответ в виде электрического сигнала) при действии проб, что позволяет осуществлять инструментальную регистрацию с выводом на монитор компьютера. Данная разработка характеризуется экологическим и экономическим эффектами, которые позволяют уменьшить затраты на проведение физико-химического анализа, а также повысить надежность оценок. При этом социальный эффект выражается в обеспечении обнаружения загрязнения на ранних этапах, что дает возможность своевременно наметать мероприятия, способствующие сохранению здоровья человека и окружающей среды.

Для повышения уровня подготовки будущих специалистов биологов-биотехнологов по вопросам, касающимся процедур биотестирования, преподаватели кафедры читают общий курс «Ксенобиология» для студентов 5-го курса очного и 6-го курса заочного отделений и проводят лабораторные занятия, на которых студенты осваивают методы качественного и количественного анализа отдельных ксенобиотиков, определения мембранотропной и других видов их биологической активности.

С целью обеспечения возможности для полноценной самостоятельной работы студентов, а также широкомасштабного внедрения информационных технологий в учебный процесс сотрудниками кафедры проведена значительная работа по созданию учебно-методических комплексов и наполнению учебными материалами Сетевой образовательной платформы (СОП) «e-University». По дисциплинам, закрепленным за кафедрой физиологии и биохимии растений, разработаны учебно-методические материалы для организации самостоятельной работы студентов, включающие программу курса (типовую или учебную); учебные материалы (учебные пособия, курсы лекций, ссылки на ресурсы в Интернете и т. п.); методические рекомендации к лабораторным занятиям; темы рефератов, эссе; тестовые задания для промежуточного либо итогового контроля, самоконтроля знаний студентов и др. Использование студентами информационных материалов, размещенных в СОП «e-University», безусловно, позволяет более рационально организовать изучение того или иного курса.

Таким образом, на кафедре физиологии и биохимии растений за последние годы создана учебно-методическая и научная база для подготовки специалистов по биотехнологии растений. При этом в качестве приоритетных направлений развития фитобиотехнологии выступают получение клеточных линий-продуцентов биологически активных веществ, создание препаратов иммобилизованных растительных клеток и ферментов, разработка высокоинформативных интегральных методов контроля состояния окружающей среды на основе использования в качестве тест-объектов растительных клеток. Интеграция в учебный процесс научных результатов, полученных сотрудниками кафедры при выполнении научно-исследовательских проектов в рамках Государственных программ прикладных и фундаментальных научных исследований («Биоинженерия и биобезопасность», «Биорациональные пестициды», «Фундаментальные основы биотехнологий» и др.), направлена на обеспечение высокого уровня профессиональной подготовки студентов.

1. Collinge M. // Trends Biotechnol. 1986. Vol. 4. P. 299.
2. Mulabagal V., Tsay H.-S. // International J. of Applied Science and Engineering. 2004. Vol. 2. P. 298.
3. Endreb R. Plant Cell Biotechnology. Berlin; Heidelberg, 1994.
4. Валиханова Г. Ж. Биотехнология растений. Алматы, 1996.
5. Юрин В. М., Дитченко Т. И., Шапчиц М. П., Ромашко С. Н. // Тр. БГУ. Физиологические, биохимические и молекулярные основы функционирования биосистем. Мн., 2008. Т. 3. Ч. 2. С. 118.
6. Юрин В. М., Дитченко Т. И., Молчан О. В. и др. // Тр. БГУ. Физиологические, биохимические и молекулярные основы функционирования биосистем. Мн., 2009. Т. 4. Ч. 2. С. 168.
7. Gontier E., Sangwan B.S., Barbotin J.N. // Plant Cell Reports. 1994. Vol. 13. P. 533.
8. Rosevear A., Lambe C.A. // Plant Cell Culture. Advances in Biochemical Engineering. Biotechnology Series. 1985. Vol. 31. P. 37.
9. Иммобилизованные клетки и ферменты: Пер. с англ. / Под ред. Дж. Вудворта. М., 1988.
10. Brodelius B., Mosbach K.D., Zenk M.H. // FEBS Letter. 1979. Vol. 103. P. 93.
11. Dögnenburg H. // Process Biochemistry. 2004. Vol. 39. P. 1369.
12. Рудковская Е. Е. Индуцированные полисахаридами изменения ионного транспорта через плазмалемму иммобилизованных растительных клеток: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Мн., 1998.
13. Юрин В. М., Молчан О. В., Ромашко С. Н., Дитченко Т. И. // Тр. БГУ. Физиологические, биохимические и молекулярные основы функционирования биосистем. Мн., 2009. Т. 4. Ч. 1. С. 211.
14. Юрин В. М., Дитченко Т. И., Молчан О. В. и др. // Современные проблемы биохимии: Учеб. пособие / Под ред. А. П. Солодкина, А. А. Чиркина. Витебск, 2010. С. 336.
15. Юрин В. М. Основы ксенобиологии. Мн., 2001.
16. Юрин В. М. Биоэлектрогенез растений. Мн., 2008.

Поступила в редакцию 27.05.11.

Владимир Михайлович Юрин – доктор биологических наук, профессор кафедры физиологии и биохимии растений. Область научных интересов – функционирование и регуляция транспортных процессов на плазматической мембране растительных клеток, молекулярно-мембранные механизмы действия пестицидов, скрининг химических соединений и экологический мониторинг, а также физиолого-биохимические основы функционирования иммобилизованных растительных препаратов и клеток. Автор более 550 научных работ, в том числе 4 монографий, более 10 учебных пособий и курсов лекций, нескольких научно-популярных книг. Имеет 7 авторских свидетельств. Создал республиканскую научную школу в области электрофизиологии и ксенобиологии.

Татьяна Ивановна Дитченко – кандидат биологических наук, доцент кафедры физиологии и биохимии растений. Область научных интересов – культивирование *in vitro* клеток и тканей растений для получения биологически активных веществ, электрофизиологический анализ воздействия пестицидов на ион-транспортные свойства плазмалеммы растительной клетки. Автор более 100 научных работ, в том числе 6 учебно-методических пособий.

УДК 581.9+582.28

В.Д. ПОЛИКСЕНОВА, В.В. ЧЕРНИК

РАЗВИТИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО РАЗНООБРАЗИЮ И РЕСУРСНОЙ ОЦЕНКЕ РАСТЕНИЙ И МИКРОМИЦЕТОВ

The scientific directions, the history of their development, the main results of researches of flora and phytopathogenic fungi of the central region of Belarus.

Исследования флоры и микробиоты на кафедре ботаники имеют давние научные традиции. Они восходят к трудам известных ученых в области альгологии, лишенологии, микологии, фитопатологии, флористики и геоботаники, которые в различные периоды возглавляли кафедру или работали в БГУ и в значительной мере определили основные научные направления.

Первоначальный этап научных исследований на кафедре ботаники связан с разносторонним изучением водорослей. Эта работа была начата известным альгологом профессором Н.М. Гайдуковым, который возглавил кафедру в 1924 г. Он изучал их разнообразие, морфологию, систематику, интересовался экологией и физиологией, исследовал распространение ассоциаций водорослей в зависимости от мест обитания. С его именем в Беларуси связано зарождение экспериментальных работ по альгологии, в том числе и по цитологии водорослей. В 1925 г. профессор Н.М. Гайдуков опубликовал сводку по флоре водорослей СССР и обширную библиографию. Широко известны его исследования по хроматической адаптации синезеленых водорослей (цианобактерий) к спектральному составу света, подтвердившие теорию Энгельмана, учеником которого он являлся. Будучи широко образованным биологом, профессор Н.М. Гайдуков оказывал также существенную помощь в формировании научных коллекций ресурсных видов овощных культур открытого по инициативе Н.И. Вавилова Белорусского отделения Всесоюзного института прикладной ботаники и новых культур – предшественника нынешнего Белорусского НИИ овощеводства.

В дальнейшем альгологические исследования были продолжены членом-корреспондентом АН УССР профессором Я.В. Роллом, доцентами Н.Д. Акимовой, В.К. Горовец и в итоге сосредоточились в НИЛ гидроэкологии, которую возглавила выпускница кафедры ботаники доктор биологических наук Т.М. Михеева.

В 1934–1937 гг. под руководством преподававшего на кафедре академика АН БССР профессора М.П. Томина были начаты работы по изучению лишайников Беларуси. М.П. Томиным были найдены и описаны виды неизвестных ранее лишайников (позднее четыре вида названы в его честь), дан анализ распространения лишайников в нашей республике и смежных областях России и Украины. Профессором М.П. Томиным издан один из первых определителей лишайников Беларуси. Под влиянием этих работ доцентом Н.О. Цеттерман впервые в республике было проведено исследование видового состава и экологии лишайников обширного рода *Cladonia*, собран значительный гербарный материал, который впоследствии был передан в Академию наук БССР и вместе с личным гербарием М.П. Томина лег в основу лишайникового гербария. В дальнейшем изучением разнообразия лишайников в различных регионах Беларуси занимались А.С. Шуканов, В.К. Горовец, А.И. Стефанович, В.В. Голубков, А.П. Яцына.

Следующий этап, положивший начало научным исследованиям растительности (в геоботаническом и ресурсном аспектах), начался в 1938 г., когда кафедру возглавил известный луговед и болотовед З.Н. Денисов. В связи с необходимостью развития кормовой базы для животноводства им и его учениками были изучены флористический состав, организация и динамика луговых фитоценозов, разработана методика инвентаризации сенокосов и пастбищ на территории Беларуси, внедрены в практику рекомендации по их улучшению и использованию (1950-е гг.).

С расширением и углублением ресурсных исследований связаны работы профессора А.Н. Ипатьева, племянника Н.И. Вавилова, который заведовал кафедрой систематики растений в 1965–1966 гг. Творчески развивая взгляды академика Н.И. Вавилова в области биогеографии, использования мировых ресурсов полезных растений, он за период работы на кафедре подготовил две монографии: «Овощные растения Земного шара» и «Дифференциальная систематика и дифференциальная география растений». Его научные интересы были связаны с морфогенетическим направлением – созданием гетерозисных форм растений, в частности овощных; применением новых методов влияния на морфогенез растений, в том числе методов индуцированного мутагенеза.

Начатые З.Н. Денисовым и А.Н. Ипатьевым исследования ресурсов получили свое развитие. В середине 1970-х гг. было проведено масштабное изучение запасов лекарственного растительного сырья на территории Минской области и разработаны рекомендации по их рациональному использованию. Изучение растительных ресурсов, понимаемых в настоящее время более широко – как ресурсы различных признаков и свойств растений и грибов, всего биоразнообразия, продолжается на кафедре и в настоящее время. В частности, выявлен ряд растений и грибов, которые могут быть использованы для биоконтроля фитопатогенов.

Микологическое и фитопатологическое направления исследований связаны с именем лауреата Государственной премии СССР, академика АН БССР Н.А. Дорожкина, который начал работу на кафедре еще в 1933 г., а с 1948 по 1971 г. (с перерывами) ее возглавлял. Около 40 лет академик Н.А. Дорожкин готовил кадры специалистов в БГУ и других научных учреждениях, сформировал в Беларуси школу фитопатологов и отчасти микологов, заложил основные направления, связанные с изучением

фитопатогенных микромицетов. Под его руководством с 1933 по 1971 г. на кафедре была выполнена серия актуальных исследований возбудителей микозов картофеля, зерновых, бобовых, ряда технических и овощных культур. Особое внимание уделялось изучению биологии и экологии патогенных микромицетов, что позволило создать фундаментальную базу для разработки мер профилактики и борьбы с патогенами растений. Академик Н.А. Дорожкин всегда подчеркивал, что исследования грибов, в том числе фитопатогенных, должны проводиться в конкретных условиях их обитания. Поэтому в середине 1960-х гг., одновременно с развернувшимися исследованиями флоры и растительности Беларуси, на кафедре началось изучение таксономических групп грибов в различных фитоценозах республики. Внимание микологов кафедры привлекли в первую очередь пероноспорные и мучнисторосяные грибы, усилиями З.Н. Кудряшовой, А.С. Шуканова, А.И. Стефановича составлены первые списки представителей этих порядков, обитающих в лесных, луговых, болотных сообществах и в агрофитоценозах. В дальнейшем исследования в этом направлении развивались и были обобщены по мучнисторосяным и ржавчинным грибам в диссертационной работе И.С. Гириловича.

С 1971 по 1996 г. кафедре систематики растений, которая со временем стала вновь называться кафедрой ботаники, возглавлял профессор А.С. Шуканов. Как миколог и фитопатолог, он развивал направления, которые были заложены академиком Н.А. Дорожкиным, а как ботаник совместно с доцентом Ю.А. Бибиковым возглавлял флористические исследования.

На кафедре сформировалась научная тематика, объединившая общими задачами изучение флоры и микобиоты. Отныне она выполняется в рамках крупных фундаментальных международных и республиканских программ: «Человек и биосфера», «Охрана природы», «Биологическое разнообразие», «Биологические ресурсы», «Ресурсы растительного мира».

Значительные результаты получены в области флористических исследований. Еще в первые послевоенные годы преподаватели кафедры приняли участие в составлении первой пятитомной «Флоры БССР» (академики АН БССР Н.А. Дорожкин, М.П. Томин, профессор Л.Н. Никонов, доцент Н.О. Цеттерман) [1].

Систематические исследования флоры и микобиоты центральной части Беларуси были начаты преподавателями и студентами кафедры ботаники сразу с момента возвращения из эвакуации в Минск и вскоре приняли планомерный характер. В 1960-е гг. изучалась юго-западная часть Белорусского Поозерья [2], в дальнейшем – флора Налибокской пуши – одного из наиболее интересных во флористическом отношении регионов центральной части Беларуси. По собранным материалам издана монография «Флора Налибокской пуши» (1980). В 1980–1990-е гг. флористические и микологические исследования проводились в основном в восточных районах Минской и на западе Могилевской областей [3, 4].

Конец XX и начало XXI в. характеризуются возрастанием антропогенной нагрузки на природные экосистемы, что сопровождается негативными изменениями естественных фитоценозов. В связи с этим научные интересы сотрудников кафедры сосредоточились на изучении флоры Минской области и ее изменений под влиянием антропогенного фактора. Особенно большое внимание было уделено изучению флоры северо-западной части Минской области, в первую очередь Мядельского района, где расположены крупные оздоровительные центры. Это, несомненно, создает чрезвычайно большую нагрузку на все природные объекты, и в частности на окрестности озер Нарочь, Мясстро, Рудаково, Большие Швакшты, систему Голубых озер. В итоге по всем обследованным районам впервые были составлены флористические списки. В соответствии с принципом сохранения разнообразия растений в естественных местах их обитания были разработаны научные обоснования для организации на обследованной территории 4 республиканских и 11 областных и местных ботанических заказников (Ю.А. Бибиков), многие из которых вошли позднее в состав организованного ГНП «Нарочанский».

В 1999 г. были проведены исследования крупнейшего ГНП «Беловежская пуца». Кафедра ботаники в первую очередь сосредоточила свое внимание на изучении флоры как объекта, который реально характеризует биоразнообразие растительного мира любого региона и, находясь под воздействием различных факторов, проявляет определенную динамичность, что ведет как к исчезновению отдельных видов, так и к появлению новых заносных видов растений.

На основании собственных сборов, а также тщательной критической обработки гербарных материалов Гербариев ГНП «Беловежская пуца» и БГУ (свыше 27 тысяч гербарных листов) было документально подтверждено, что на территории пуши произрастает 978 видов высших сосудистых растений, из них 153 вида, выявленные сотрудниками кафедры ботаники, ранее не указывались для дан-

ной территории. Впервые собран материал по микромицетам и опубликованы списки фитопатогенных мучнисторосяных (66 видов), пероноспорных (28 видов), ржавчинных (61 вид) грибов, а также сапротрофных водных гифомицетов (40 видов) [5]. По результатам всех полученных материалов установлено, что за последние 25–30 лет в видовом составе флоры Беловежской пуши произошли значительные изменения, на этом основании сделан выбор ботанических объектов, пригодных для мониторинга [6].

Исследование разнообразия растений и фитопатогенных грибов проводилось также и на других охраняемых территориях – в ГНП «Браславские озера», Полесском радиационном заповеднике, Прилукском заказнике и др.

Ведущие специалисты кафедры приняли участие в написании таких изданий, как «Чырвоная Кніга Рэспублікі Беларусь», «По страницам Красной Книги» (Ю.А. Бибиков, Т.А. Сауткина, Г.И. Зубкевич; А.С. Шуканов – член редколлегии).

Большое внимание уделяется также критической обработке различных таксономических групп высших растений (сем. *Scrophulariaceae*, *Chenopodiaceae*, *Polygonaceae*, *Polygalaceae*, *Fabaceae*, *Valerianaceae*, *Ranunculaceae*, *Compositae*, *Onagraceae* и др.) и грибов (р. *Alternaria*). Это позволило ученым кафедры стать соавторами таких капитальных трудов, как «Определитель высших растений Беларуси» (Т.А. Сауткина, Г.И. Зубкевич, М.А. Джус, В.Н. Тихомиров, 1999 г.), «Атлас Республики Беларусь» (М.А. Джус, 2002 г.), «Флора Беларуси. Сосудистые растения». Т. 1 (М.А. Джус, В.Н. Тихомиров, 2009 г.).

В последнее десятилетие наиболее интенсивно изучается флора и микобиота центрального региона Белорусской гряды. Эти исследования дали возможность не только провести детальный анализ таксономического состава высших растений данной территории, но и позволили впервые выявить комплексы редких и охраняемых видов растений, которые находятся вне зоны охраны и могут войти в состав будущих ботанических заказников. На обследованной территории выделено 13 таких флористических комплексов, а в целом установлено 160 видов растений, подлежащих различным режимам охраны (в том числе 88 видов из основного списка и 72 вида, которые нуждаются в профилактической охране). Свыше 250 видов отнесены к категории редких для изученного региона и Беларуси в целом. Всего здесь отмечено 1578 видов и межвидовых гибридов растений [7].

На 730 видах растений этого региона зарегистрирован 571 вид фитопатогенных микромицетов из 6 отделов. Среди них 113 видов указаны впервые для обследованной территории [8], а 2 вида р. *Alternaria* – новые для Беларуси (М.Н. Федорович). Доминируют митоспоровые грибы (195 видов), широко представлены ржавчинные (139 видов), мучнисторосяные грибы (90 видов) и пероноспоральные грибоподобные организмы (131 вид). На основании анализа трофических связей фитопатогенов установлено, что 45 видов грибов поражают как культивируемые, так и дикорастущие виды растений, которые могут являться резерватами первичной инфекции для экономически значимых культур.

По результатам многолетних исследований созданы электронные информационные системы (базы данных), аккумулирующие сведения о видовом составе и распространении на территории центрального региона Белорусской гряды высших растений и фитопатогенных грибов, включая охраняемые, редкие, хозяйственно ценные, вредоносные и потенциально опасные виды. В эти системы внесены сведения по материалам не только текущих сборов, но и крупнейшего вузовского Гербария БГУ, содержащего свыше 40 тысяч единиц хранения. Обширный материал гербария является базой для исследования сравнительной динамики растительного мира отдельных регионов страны. Созданная информационная система содержит ценные сведения для наполнения Кадастра растительного мира Беларуси.

Биологическое разнообразие проявляется не только на видовом, но и на внутривидовом уровне, что отражает генетический полиморфизм, связанный с адаптивной эволюцией живых организмов. Новым направлением, которое развивается с конца 1990-х гг., является изучение у высших растений особенностей внутри- и межпопуляционной морфологической изменчивости сложных в систематическом отношении видовых комплексов. В ходе этой работы выявлены достоверные различия между близкими видами *Pteridium pinetorum* C.N. Page et R.R. Mill и *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn, а также установлено влияние экологических факторов на изменчивость систематически значимых признаков у данных видов. Изучена морфологическая изменчивость близкородственных видов комплекса *Solidago virgaurea* L. s. l., видов родов *Diphasiastrum* и *Epipactis*, проведен анализ внутри- и межпопуляционной изменчивости *Pilosella officinarum* F. Schultz et Sch. Bip. [9–11].

Что касается грибов, то существенное влияние на структуру их популяций оказывает как внешняя среда, так и вмешательство человека во взаимоотношения между растением и фитопатогеном (внедрение новых сортов, применение пестицидов и др.), что приводит к образованию более агрессивных рас и биотипов, возрастанию паразитизма, к миграции и смене на растениях-хозяевах доминирующих патотипов. В этой связи исследована динамика внутривидового разнообразия и проанализированы адаптивные микроэволюционные процессы в популяциях некоторых наиболее вредоносных патогенов овощных культур (В.Д. Поликсенова, А.К. Храмцов, С.Г. Сидорова, М.А. Стадниченко). Подобного рода исследования приобретают особую информативность в том случае, если проводятся в режиме мониторинга. Так, для *Cladosporium fulvum* Ске., возбудителя кладоспориоза томата, в результате 30-летних исследований установлено, что количество рас в популяции патогена колеблется волнообразно: при появлении нового гена вирулентности их общее число вначале возрастает за счет появления новых сложных рас с различной комбинацией генов, а в последующие годы снижается и стабилизируется за счет доминирования 1–3 из вновь образовавшихся рас [12]. Отмечена закономерная связь количества вирулентных рас *C. fulvum* с колебаниями солнечной активности. Выявленная закономерность дает возможность прогнозировать потерю устойчивости существующими сортами и планировать сроки сортосмены. С учетом закономерностей динамики популяционной структуры патогена в перспективной селекции томата рекомендовано применять ген устойчивости Cf6. Идентифицированные по генам вирулентности расы *C. fulvum* использованы в совместных исследованиях с Институтом генетики и цитологии НАН Беларуси для картирования гена Cf6 на коротком плече хромосомы 1 *Solanum lycopersici* L. [13]. Сведения о популяционной структуре фитопатогенов позволили сотрудникам кафедры разработать методики диагностики устойчивых форм растений и стать соавторами болезнеустойчивых сортов овощных культур (В.Д. Поликсенова, А.К. Храмцов).

В последнее время все большее внимание уделяется проблемам, связанным с проникновением и расселением чужеродных (неаборигенных) растительных организмов и их воздействием на аборигенную флору. В некоторых регионах широкое расселение неаборигенных видов приводит к исчезновению дикорастущих растений, что является основной угрозой биоразнообразию. Наряду с чужеродными видами растений и вместе с ними проникают и патогенные грибы.

Весьма актуальна эта проблема и для Беларуси. Потенциальная возможность для обитания на ее территории широкого спектра чужеродных видов обеспечивается значительным разнообразием и различием природно-климатических условий в северной и южной частях страны, трансграничным характером речных бассейнов, размещением на границе крупных ботанико-географических областей, высокой степенью трансформированности растительного покрова. Через территорию Беларуси, расположенную на пересечении важнейших транспортных путей, происходит массовое перемещение грузов, товаров и людей.

В ходе исследований за последние годы выявлено более 20 новых для флоры страны адвентивных видов, среди них паслен рогатый (*Solanum cornutum* Lam.), вех луковичконосный (*Cicuta bulbifera* L.), дисфания низкая (*Dysphania pumilio* (R.Br.) Mosyakin et Clemants), колючестебельник сердцевидный (*Truellum sagittatum* (L.) Soják), камыш сытевый (*Scirpus cyperinus* (L.) Kunth), полевица зимующая (*Agrostis hiemalis* (Walt.) Britt.), гребенник ежистый (*Cynosurus echinatus* L.), клейтония пронзеннолистная (*Claytonia perfoliata* Donn ex Willd.), календула полевая (*Calendula arvensis* L.), ежовник мелкоколосковый (*Echinochloa microstachya* (Wiegand) Rydb.) [14–16].

Таким образом, исследования биоразнообразия растений и микромицетов имеют систематический и разносторонний характер, позволяют решать как фундаментальные, так и прикладные, в том числе образовательные, задачи.

1. Поликсенова В. Д. // Актуальные проблемы изучения фито- и микобиоты: Сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 25–27 окт. 2004 г. Мн., 2004. С. 3.

2. Зубкевич Г. И., Бибиков Ю. А., Сауткина Т. А. и др. // Вестн. БГУ. Сер. 2. 1984. № 3. С. 28.

3. Бибиков Ю. А., Зубкевич Г. И., Сауткина Т. А. и др. // Там же. 1990. № 2. С. 35.

4. Шуканов А. С., Черник В. В. // Там же. 1996. № 3. С. 61.

5. Гирилович И. С., Гулис В. И., Храмцов А. К., Поликсенова В. Д. // Микология и фитопатология. 2003. Т. 37. Вып. 3. С. 20; Там же. 2005. Т. 39. Вып. 4. С. 24.

6. Джус М. А., Сауткина Т. А., Тихомиров и др. // Бот. журн. 2001. Т. 86. № 9. С. 128.

7. Черник В. В., Джус М. А. // Вестн. БГУ. Сер. 2. 2011. № 3. С. 54.

8. Храмцов А. К., Поликсенова В. Д. // Биоразнообразие: проблемы и перспективы сохранения: Материалы Междунар. науч. конф., посвящ. 135-летию со дня рождения И.И. Спрыгина, Пенза, 13–16 мая 2008 г.: в 2 ч. Пенза, 2008. Ч. 1. С. 407.

9. Тихомиров Вал. Н. // Бот. журн. 2004. Т. 89. № 4. С. 652.
10. Тихомиров Вал. Н. // Там же. 2009. Т. 94. № 8. С. 1159.
11. Пинчук В.В., Тихомиров В.Н. // Там же. Сер. 2. 2010. № 1. С. 39.
12. Поликсенова В.Д. Микозы томата: возбудители заболеваний, устойчивость растений. Мн., 2008.
13. Грушецкая З.Е., Лемеш В.А., Поликсенова В.Д., Хотылева Л.В. // Генетика. 2007. Т. 43. № 11. С. 1511.
14. Джус М.А. // Вестн. БГУ. Сер. 2. 2004. № 3. С. 25.
15. Джус М.А. // Особо охраняемые природные территории Беларуси. Мн., 2010. Вып. 5. С. 139.
16. Джус М.А. // Материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 85-летию Березинского заповедника «Заповедное дело в Республике Беларусь: итоги и перспективы», п. Домжерицы, 22–25 сент. 2010 г. / Редкол.: В.С. Ивкович (отв. ред.). Мн., 2010. С. 153.

Поступила в редакцию 28.06.11.

Валентина Дмитриевна Поликсенова – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующая кафедрой ботаники. Область научных интересов – видовое и популяционное разнообразие, биология фитопатогенных грибов, их взаимоотношения с высшими растениями и микроорганизмами; устойчивость растений к фитопатогенам и пути ее достижения (методы диагностики и отбора; источники устойчивости; индуцированная устойчивость). Автор свыше 180 научных, 7 научно-методических, около 40 учебно-методических публикаций, в том числе 3 монографий, 5 учебных пособий для биологических факультетов университетов, в том числе 2 – с грифом Министерства образования Республики Беларусь. Имеет 4 свидетельства селекционера на болезнестойчивые сорта и гибриды томата, авторское свидетельство на изобретение (РБ) и патент (СССР). Научный руководитель НИР, входящих в Государственные программы ориентированных фундаментальных исследований.

Владимир Владимирович Черник – кандидат биологических наук, доцент. Область научных интересов – флористика, анатомия растений, растительные ресурсы. Автор более 100 научных и научно-методических публикаций, в том числе 1 коллективной монографии и 3 учебных пособий по систематике и морфологии растений для студентов-биологов. Ответственный исполнитель НИР, входящих в Государственные программы ориентированных фундаментальных исследований по разделу «Высшие растения».

УДК 571.27

В.А. ПРОКУЛЕВИЧ, М.И. ПОТАПОВИЧ

ВЕТЕРИНАРНЫЕ ПРЕПАРАТЫ НА ОСНОВЕ ИНТЕРФЕРОНА

Chicken, porcine and bovine interferon alpha genes were cloned in *Escherichia coli* and induction with IPTG or lactose results in high level accumulation of interferon alpha proteins in bacterial cells.

Chicken, porcine and bovine interferons from *E. coli* inclusion bodies were purified and tested for antiviral activity. Using these proteins new forms of injection preparations for the treatment and prophylaxis of animal's diseases were developed. Interferon-based preparations in question showed high immunostimulating and protective activity in animals.

Профилактика и лечение заболеваний животных требует обеспечения необходимыми ветеринарными препаратами. Основными профилактическими средствами против вирусных и бактериальных инфекций являются соответствующие вакцины. Для лечения заболеваний бактериальной этиологии выпускается огромное количество антибиотиков, однако антивирусных лечебных ветеринарных препаратов практически не существует. В этом плане перспективными считаются препараты на основе интерферонов.

Интерфероны – это белковые молекулы, которые синтезируются клетками всех видов животных – от рыб до человека. С точки зрения ветеринарии интерфероны интересны своими антивирусными и иммуномодулирующими свойствами. При этом стоит отметить, что интерфероны не относятся к чужеродным соединениям, а являются атрибутом самого организма с определенной долей видоспецифичности, т. е. свиной интерферон максимально проявляет свою активность у поросят и свиней, бычий – у крупного рогатого скота, куриный – у кур и т. д.

Интерфероны по своим свойствам могут претендовать на роль лечебно-профилактических препаратов при вирусных, бактериальных и смешанных бактериально-вирусных инфекциях, а также высокоэффективных иммуномодулирующих и антистрессовых агентов. Они могут выступать в качестве модификаторов действия других терапевтических лекарств, например антибиотиков, в десятки раз усиливая антибактериальный эффект и нейтрализуя отрицательное воздействие на иммунную систему.

Генно-инженерные методы создания продуцентов различных интерферонов и разработка схем биотехнологического производства высокоочищенных белков интерферонов дадут в руки ветеринаров высокоэффективные препараты нового поколения, которые во многом смогут заменить антибио-

тики и окажут помощь в борьбе с вирусными инфекциями при безвакциной профилактике и безопасной терапии моно- и смешанных инфекций сельскохозяйственных животных.

На кафедре микробиологии в рамках государственных программ «Ветеринарные препараты», ГНТП «Промышленные биотехнологии», межгосударственной целевой программы Евразийского экономического сообщества «Инновационные биотехнологии», хоздоговорных тематик ведутся разработки новых ветеринарных препаратов для животноводства на основе собственных белков животных и птицы – интерферонов. Поставлена задача создать полный биотехнологический процесс от конструирования высокоэффективных штаммов-продуцентов до получения препаративных форм, от разработки научно-технической документации до организации производства, от проведения фармакологических испытаний до утверждения инструкций по применению новых препаратов в животноводстве. В настоящей статье представлены основные результаты, полученные при выполнении поставленной задачи.

Создание штаммов-продуцентов интерферонов животных и птицы

На первом этапе необходимо было синтезировать последовательности ДНК, соответствующие структурным участкам генов интерферонов животных и птицы, поместить их в высокоэффективную систему экспрессии и сконструировать штаммы бактерий, продуцирующие целевые белки. С использованием созданных специфических праймеров амплифицированы гены куриного, свиного и бычьего лейкоцитарных α -интерферонов. Продукты амплификации отсекарованы и клонированы в вектор экспрессии. В результате получены высокоэффективные продуценты куриного, свиного и бычьего альфа-интерферонов. Уровень накопления целевого белка составляет от 30 до 40 % от общего белка клеток [1–11].

Получение субстанций рекомбинантных α -интерферонов

Разработан способ получения субстанций куриного, бычьего и свиного интерферонов путем культивирования бактерий, наследующих рекомбинантные плазмиды, в жидкой полноценной питательной среде LB в ферментере объемом 4 л. Накопление сырой биомассы в конце процесса ферментации достигает 25 г/л. Практически весь целевой белок локализуется внутриклеточно, образуя нерастворимую в обычных условиях фракцию в виде телец включения.

На следующем этапе были созданы оригинальные методы солюблизации, рефолдинга и очистки целевого белка. Чистота субстанции подтверждалась с помощью ВЭЖХ. При таких условиях культивирования и очистки из 1 л культуры получали до 500 мг очищенного белка альфа-интерферона [12]. Затем субстанции стабилизировали и использовали для получения препаративных форм ветеринарных препаратов.

Разработка препаративных форм препаратов на основе интерферонов

Препаративная форма – конечный результат создания любых лечебно-профилактических препаратов, как медицинских, так и ветеринарных. Она должна соответствовать установленным требованиям и обладать свойствами, определяющими максимальную функциональность действующего вещества (веществ) препарата, быть удобной в пользовании.

Эксперименты с различными полимерными композициями позволили решить поставленную задачу. Суть решения заключается в том, что препаративная форма включает α -интерферон, стабилизаторы и воду. В качестве стабилизаторов выступают жирорастворимые витамины в виде коллоидных частиц с локализованными на поверхности остатками полиэтиленоксида, оказывающих стабилизирующее действие на интерферон и усиливающих его иммуномодулирующую и противовирусную активность с пролонгированным характером действия. Результатом изобретения, защищенного патентами Республики Беларусь [13] и ЕврАзЭС [14], является увеличение сохранения активности интерферона в жидкой лекарственной форме и повышение эффективности его лечебного действия за счет содержащихся в растворе витаминов, а также стабилизирующего действия коллоидных частиц жирорастворимых витаминов, обуславливающих пролонгированность действия препарата.

Ветеринарные препараты на основе интерферонов животных

Успешное конструирование штаммов-сверхпродуцентов интерферона, разработка сложнейших методов рефолдинга и очистки белков, создание оригинальной препаративной формы – все это позволило разработать большую линейку моно- и поликомпонентных ветеринарных препаратов, предназначенных для решения самых разнообразных задач ветеринарии. Главной отличительной особенностью всех разработанных препаратов является их видоспецифичность, соответствующая видоспецифичности входящих в их состав интерферонов. Появились препараты, отдельно предназначенные для про-

филактики и лечения заболеваний свиней, крупного рогатого скота. В разработке находятся препараты для кур, лошадей, собак. Это уникальные в своем роде препараты, действующим началом в которых являются защитные белки, полностью идентичные собственным белкам животных. Таким образом, создана возможность лечить животных не чужеродными для них веществами, а их собственными средствами защиты, просто увеличивая в нужное время концентрацию этих веществ в организме путем введения препаратов, содержащих интерфероны.

Всего создано три группы ветпрепаратов:

I. Монокомпонентные препараты, содержащие в качестве действующего вещества интерферон, который обладает следующими основными видами активности:

- противовирусный эффект;
- подавление роста и развития внутриклеточных инфекционных агентов невирусной природы (хламидии, риккетсии, бактерии, микоплазмы, простейшие);
- увеличение лизоцимной активности сыворотки крови;
- увеличение бактерицидной активности сыворотки крови;
- антиоксидантное и антистрессовое действие;
- стимуляция макрофагов и усиление фагоцитоза;
- усиление продукции антител;
- активизация естественных киллерных клеток;
- стимуляция освобождения гистамина базофилами;
- подавление гиперчувствительности замедленного типа.

Основные характеристики разработанных монокомпонентных препаратов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Основные характеристики монокомпонентных препаратов на основе интерферонов животных

Препарат	Действующие вещества	Сфера применения
«Интерферон свиной рекомбинантный» ТУ ВУ 790624352.001-2010	Свиной рекомбинантный интерферон	Желудочно-кишечные и острые респираторные заболевания вирусной этиологии. Показаны к применению при угрозе распространения любых вирусных заболеваний, вызываемых как ДНК-, так и РНК-содержащими вирусами. Как иммуностимуляторы препараты применяют при иммунодефицитных состояниях животных, вызванных стрессами и неблагоприятными условиями содержания, кормления, транспортировки, при вакцинациях
«Интерферон бычий рекомбинантный» ТУ ВУ 790624352.002-2010	Бычий рекомбинантный интерферон	

II. Бикомпонентные препараты, содержащие в качестве действующего вещества интерферон и антибактериальный агент (антибиотик) и предназначенные для лечения смешанных бактериально-вирусных инфекций.

Бикомпонентные противоинфекционные препараты обладают рядом преимуществ перед известными противовирусными и антибактериальными монофункциональными средствами профилактики и лечения продуктивных сельскохозяйственных животных.

В бифункциональных препаратах интерферон проявляет все перечисленные свойства, однако необходимо обратить особое внимание на то, что интерфероны многократно усиливают антибактериальное действие антибиотиков, входящих в состав препарата, снимая их иммунодепрессивное действие на организм животного.

В свою очередь антибиотик, входящий в состав препарата, на фоне повышенной лизоцимной и бактериостатической активностей сыворотки крови животного, индуцируемых интерфероном, обеспечивает полное и быстрое подавление жизнедеятельности чувствительных патогенных бактерий в низких терапевтических концентрациях при сокращенных сроках лечения, а также:

- обладает пролонгированным действием;
- не проявляет иммунодепрессивного эффекта на организм животного;
- за счет комплексного воздействия резко снижает угрозу возникновения лекарственной устойчивости и рецидивов при лечении.

Характеристика разработанных бикомпонентных препаратов представлена в табл. 2.

Основные характеристики бикомпонентных препаратов на основе интерферонов животных и антибиотиков

Препарат	Действующие вещества	Сфера применения
Раствор «Гентаферон-С» ТУ ВУ 790624352.003-2010 Раствор «Гентаферон-Б» ТУ ВУ 790624352.004-2010	Гентамицина сульфат, интерферон свиной рекомбинантный Гентамицина сульфат, интерферон бычий рекомбинантный	Для лечения инфекций бактериальной и смешанной (бактериально-вирусной) этиологии, в частности, заболеваний, вызываемых чувствительными к гентамицину сульфату микроорганизмами
«Энрофлоксаферон-С» ТУ ВУ 790624352.005-2010 «Энрофлоксаферон-Б» ТУ ВУ 790624352.006-2010	Энрофлоксацин, интерферон свиной рекомбинантный Энрофлоксацин, интерферон бычий рекомбинантный	Для лечения инфекционных заболеваний бактериальной и смешанной (бактериально-вирусной) этиологии, в частности, заболеваний, вызываемых чувствительными к энрофлоксацину микроорганизмами
Раствор «Линкоферон-С» ТУ ВУ 790624352.008-2010 Раствор «Линкоферон-Б» ТУ ВУ 790624352.012-2010	Линкомицина гидрохлорид, интерферон свиной рекомбинантный Линкомицина гидрохлорид, интерферон бычий рекомбинантный	Для лечения инфекционных заболеваний бактериальной и смешанной (бактериально-вирусной) этиологии, в частности, болезней, вызванных чувствительными к линкомицину микроорганизмами, устойчивыми к пенициллинам и другим антибиотикам
«Тилоферон-С» ТУ ВУ 790624352.010-2011 «Тилоферон-Б» ТУ ВУ 790624352.011-2010	Тилозин, интерферон свиной рекомбинантный Тилозин, интерферон бычий рекомбинантный	Для лечения инфекционных заболеваний бактериальной и смешанной (бактериально-вирусной) этиологии, в частности, болезней, вызванных чувствительными к тилозину микроорганизмами

III. Поликомпонентные препараты, содержащие в качестве действующего вещества интерферон и комплекс витаминов А, D₃, Е и С в оптимальных физиологических соотношениях.

Поликомпонентные препараты обладают ярко выраженным синергическим действием, при этом усиливаются как эффекты интерферона, так и витаминов, входящих в состав препаратов.

Характеристики разработанных поликомпонентных препаратов представлены в табл. 3.

Таблица 3

Основные характеристики поликомпонентных препаратов на основе интерферонов животных и витаминов

Препарат	Действующие вещества	Сфера применения
«Тетравитферон-С» ТУ ВУ 790624352.015-2011 «Тетравитферон-Б» ТУ ВУ 790624352.016-2010	Витамины А, D ₃ , Е, С, интерферон свиной рекомбинантный Витамины А, D ₃ , Е, С, интерферон бычий рекомбинантный	Для профилактики гиповитаминозов и заболеваний, развивающихся на их фоне. Как иммуномодуляторы при иммунодефицитных состояниях животных, вызванных неблагоприятными условиями содержания

Таким образом, разработан широкий спектр препаратов, главными компонентами которых являются белки интерферонов животных. Аналогов этим препаратам нет ни в одной стране мира. Все они прошли регистрационные процедуры и в процессе широких производственных испытаний показали высокую эффективность. Препараты: раствор «Гентаферон-С», раствор «Гентаферон-Б», «Интерферон свиной рекомбинантный» и «Интерферон бычий рекомбинантный» выпускаются на предприятиях РУП «Минский завод ветеринарных препаратов» и ООО «Научно-производственный центр БелАгроГен».

1. Потапович М.И., Прокулевич В.А. // Материалы Междунар. науч. конф. «От классических методов генетики и селекции к ДНК-технологиям». Мн., 2007. С. 117.

2. Потапович М.И., Николайчик Е.А., Прокулевич В.А. // Материалы Междунар. науч. конф. «Современное состояние и перспективы развития микробиологии и биотехнологии», Минск, 2–6 июня 2008 г.: в 2 т. Мн., 2008. Т. 1. С. 301.

3. Потапович М.И., Прокулевич В.А. // Вестн. БГУ. 2008. № 2. С. 34.

4. Прокулевич В.А., Шаблич Н.М., Желдакова Р.А., Шолух М.В. // Материалы Междунар. науч. конф. «Современное состояние и перспективы развития микробиологии и биотехнологии», Минск, 2–6 июня 2008 г.: в 2 т. Мн., 2008. Т. 2. С. 37.

5. Желдакова Р.А., Крупенько Н.А., Прокулевич В.А. Там же. С. 114.

6. Потапович М.И., Николайчик Е.А., Прокулевич В.А. // Докл. НАН Беларуси. 2009. Т. 53. № 2. С. 72.

7. Потапович М.И., Трубицына М.В., Николайчик Е.А., Прокулевич В.А. // Материалы Междунар. школы-конф. «Генетика микроорганизмов и биотехнология», Пушино, 21–24 окт. 2008 г. М., 2008. С. 72.

8. Потапович М.И., Николайчик Е.А., Прокулевич В.А. // Материалы Междунар. науч. конф. «Генетика и биотехнология XXI века. Фундаментальные и прикладные аспекты», Минск, 3–6 дек. 2008 г. Мн., 2008. С. 260.

9. Трубицына М.В., Потапович М.И., Прокулевич В.А. // Тр. БГУ: в 7 т. Сер. «Физиологические, биохимические и молекулярные основы функционирования биосистем». Мн., 2008. Т. 3. Ч. 1. С. 80.
10. Нашкевич Н.Н., Потапович М.И., Ульяновченко С.А. и др. // Там же. 2010. Т. 4. Ч. 1. С. 13.
11. Patarovich M.I., Trubitsyna M.V., Prokulevich V.A. // Proceedings of International Life Sciences Student's Conference, Киев, Украина, 19–23 авг. 2009 г. Киев, 2009. С. 99.
12. Потапович М.И., Шолух М.В., Голенченко С.Г., Прокулевич В.А. // Материалы 14 Междунар. Пущинской школы-конф. мол. ученых «Биология – наука XXI века», Пущино, 2010 г.: в 2 т. М., 2010. Т. 1. С. 279.
13. Препарат, обладающий антивирусным и антимикробным действиями: пат. РБ а20080606 от 10.02.2010 / В.А. Прокулевич и др.
14. Препарат на основе интерферона: пат. 014669 ЕврАзЭС / В.А. Прокулевич и др.; заявл. 08.06.2009; опубл. 30.12.2010.

Поступила в редакцию 30.06.11.

Владимир Антонович Прокулевич – доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой микробиологии. Область научных интересов – генетика микроорганизмов, биотехнология, разработка и создание ветеринарных препаратов. Автор более 120 научных публикаций.

Максим Иосифович Потапович – заведующий НИЛ биотехнологии кафедры микробиологии. Область научных интересов – молекулярная биология, биотехнология, иммунология, биохимия. Автор 17 научных публикаций.

УДК 591.9 + 598.2 (476)

В.В. ГРИЧИК

ПОДВИД В СИСТЕМЕ БИОХОРОЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ВИДА (на материале орнитофауны Беларуси)

The differences in the subspecies structure interpretation of 22 belarusian bird species are discussed. It is shown that a subspecies category reflects distinct chorological differentiation levels depending on the precise species concept: a biospecies or a geospecies.

Во второй половине XX в. по мере формирования представлений о популяции как элементарной форме существования вида в природе, биохорологической и эволюционной единице одним из направлений популяционной биологии стало исследование уровней изоляции между популяциями одного вида и определение границ внутривидовых, видовых и надвидовых группировок [1]. В этот же период были предприняты и первые попытки интеграции в популяционную биологию таксономической категории подвида, которую стали определять как совокупность фенотипически сходных популяций одного вида [2], или группировку надвидового уровня. Такое определение предполагает рассмотрение подвида в качестве одной из ключевых биохорологических единиц, а процесс выделения подвида и установления их границ – как основу для выявления границ популяций, что представляет интерес не только в теоретическом плане, но и для решения конкретных практических задач в связи с пониманием популяции как единицы управления биологическим разнообразием [3].

Особые подходы к исследованию популяционной структуры видовых ареалов сложились в орнитологии. Это обусловлено накоплением данных о путях миграций и регионах зимовок перелетных птиц. Уже в первой половине XX в. стало известно, что у многих видов гнездовой ареал дифференцируется на хорологические группировки, различающиеся по путям миграций и регионам зимовок [4, 5]. Эти группировки стали именовать географическими популяциями, картируя их ареалы на основе анализа данных, полученных кольцеванием и мечением птиц. Накопление информации об ареалах географических популяций у перелетных птиц представляет большой интерес, с одной стороны, для определения межконтинентальных связей региональных фаун, в частности, в целях прогнозирования путей распространения вирусных и бактериальных заболеваний (в том числе пандемических), переносимых птицами.

С другой стороны, попытки увязать популяционно-хорологические представления с «традиционной» таксономией стали стимулом для формирования особой концепции вида и подвида («концепция геоспециес»), предполагающей иерархическое ранжирование этой категории с целью отражения в таксономии и номенклатуре всех группировок внутривидового уровня, обладающих хотя бы малейшей морфологической специфичностью [6]. Такой подход приводит к выделению гораздо большего количества таксономических единиц, нежели в рамках традиционной биологической концепции вида; для их обозначения зачастую используется не только триноминальная, но и квадриноминальная номенклатура.

Материал и методика

На основе исследования коллекционных материалов (около 5 тысяч экземпляров птиц из различных регионов Беларуси в коллекциях Зоологического музея БГУ, Зоологического музея МГУ, Зооло-

гического института РАН (г. Санкт-Петербург) и автора) проведено определение подвидовой принадлежности выборок по таксономически дифференцированным видам орнитофауны Беларуси и определение границ ареалов подвидов. Установлено, что у 23 видов гнездящиеся популяции таксономически неоднородны и представлены двумя или тремя гнездящимися подвидами (16 видов) либо наряду с гнездящимися подвидами также популяциями, переходными к другому подвиду (7 видов). Во всех случаях были приняты трактовки в рамках традиционной биологической концепции вида и подвида.

Полученные результаты использованы в качестве основы для сравнения с соответствующими таксономическими трактовками, принятыми немецким исследователем О. Олексасом [7, 8], который, основываясь на «концепции геоспециес» и обработав материалы Зоологического музея БГУ и ряда немецких коллекций, выделил для территории Беларуси гораздо большее число подвидов, ряд из которых описывает в качестве новых.

Результаты и их обсуждение

Основные различия между двумя существующими трактовками внутривидовой таксономической структуры орнитофауны Беларуси кратко представлены в таблице.

Подвидовая принадлежность таксономически дифференцированных видов птиц орнитофауны Беларуси в разных таксономических трактовках

Вид	Подвиды в рамках биологической концепции (согласно [9])	Подвиды в рамках «концепции геоспециес» (согласно [7, 8])
1	2	3
Тетерев <i>Lyrurus tetrix</i> L., 1758	<i>L. t. viridanus</i> Lorenz, 1891, переходные фенотипы (юг Гомельской обл.); <i>L. t. tetrix</i> L., 1758 (остальная территория)	<i>L. t. pripjatikus</i> Oleksas, 2009 (бассейн р. Припять); таксономический статус остальных популяций не определен
Вертишейка <i>Jynx torquilla</i> L., 1758	<i>J. t. torquilla</i> L., 1758 (вся территория)	<i>J. t. arborea</i> Brehm, 1831 (бассейн р. Припять); <i>J. t. strigata</i> Oleksas, 2009 (восток Беларуси)
Зеленый дятел <i>Picus viridis</i> L., 1758	<i>P. v. viridis</i> L., 1758 (вся территория)	<i>P. v. viridis</i> L., 1758 (север Беларуси); <i>P. v. romaniae</i> Stresemann, 1919 (бассейн р. Припять)
Пестрый дятел <i>Dendrocopos major</i> L., 1758	<i>D. m. pinetorum</i> Brehm, 1828, переходные фенотипы (Брестская обл., запад Гродненской обл.); <i>D. m. candidus</i> Stresemann, 1919 (бассейн р. Припять); <i>D. m. major</i> L., 1758 (остальная территория)	<i>D. m. candidus</i> Stresemann, 1919 (бассейн р. Припять); <i>D. m. piceatus</i> Oleksas, 2009 (центр Беларуси); <i>D. m. silvaticus</i> Oleksas, 2009 (восток Беларуси); <i>D. m. sachtlebeni</i> Oleksas, 2009 (север Беларуси)
Белоспинный дятел <i>Dendrocopos leucotos</i> Bechstein, 1803	<i>D. l. carpathicus</i> Buturlin, 1907 (Брестская обл.); <i>D. l. leucotos</i> Bechstein, 1803 (остальная территория)	<i>D. l. carpathicus</i> Buturlin, 1907 (бассейн р. Припять); <i>D. l. fenestrarum</i> Oleksas, 2009 (район г. Гомель); <i>D. l. leucotos</i> Bechstein, 1803 (запад и центр Беларуси); <i>D. l. stechowi</i> Sachtleben, 1919 (север Беларуси)
Малый дятел <i>Dendrocopos minor</i> L., 1758	<i>D. m. hortorum</i> Brehm, 1831, переходные фенотипы (запад Беларуси); <i>D. m. minor</i> L., 1758 (вся территория)	<i>D. m. oblitus</i> Gawrilenko, 1928 (бассейн р. Припять); <i>D. m. neglectus</i> Brehm, 1831 (север Беларуси)
Желтая трясогузка <i>Motacilla flava</i> L., 1758	<i>M. f. flava</i> L., 1758 (по всей территории); <i>M. f. thunbergi</i> Billberg, 1828 (Витебская, север Минской, Гродненской и Могилевской обл., симпатрично с <i>M. f. flava</i>)	<i>M. f. dombrowski</i> Tschusi, 1758 (по всей территории); <i>M. f. thunbergi</i> Billberg, 1828 (восток Беларуси, симпатрично с <i>M. f. dombrowski</i>)
Жулан <i>Lanius collurio</i> L., 1758	<i>L. c. collurio</i> L., 1758 (по всей территории)	<i>L. c. collurio</i> L., 1758 (западная половина Беларуси); <i>L. c. domaniewskii</i> Oleksas, 2009 (восток Беларуси)
Чернолобый сорокопуд <i>Lanius minor</i> Gmelin, 1788	<i>L. m. minor</i> Gmelin, 1788 (по всей территории)	<i>L. m. minor</i> Gmelin, 1788 (север Беларуси); <i>L. m. turanicus</i> Fedjuschin, 1927 (бассейн р. Припять)

1	2	3
Крапивник <i>Troglodytes troglodytes</i> L., 1758	<i>T. t. troglodytes</i> L., 1758 (по всей территории)	<i>T. t. kleinschmidti</i> Oleksas, 2009 (север Беларуси) <i>T. t. obscurus</i> Oleksas, 2009 (восток Беларуси)
Зарянка <i>Erithacus rubecula</i> L., 1758	<i>E. r. rubecula</i> L., 1758 (по всей территории)	<i>E. r. clara</i> Oleksas, 2009 (север и центр Беларуси); <i>E. r. russula</i> Oleksas, 2009 (бассейн р. Припять)
Певчий дрозд <i>Turdus philomelos</i> Brehm, 1831	<i>T. ph. philomelos</i> Brehm, 1831 (по всей территории)	<i>T. ph. philomelos</i> Brehm, 1831 (север и восток Беларуси); <i>T. ph. brehmi</i> Zedlitz, 1919 (запад Беларуси); <i>T. ph. zedlitzii</i> Oleksas, 2009 (бассейн р. Припять)
Садовая славка <i>Sylvia borin</i> Boddaert, 1783	<i>S. b. borin</i> Boddaert, 1783 (по всей территории); <i>S. b. pallida</i> Johansen, 1907 (не гнездится, в период миграций – по всей территории)	<i>S. b. dunajewskii</i> Oleksas, 2009 (район г. Гродно); <i>S. b. kreczmeri</i> Dunajewski, 1938 (остальная территория)
Поползень <i>Sitta europaea</i> L., 1758	<i>S. e. homeyeri</i> Seebohm, 1890 (Гродненская, Брестская, Минская и Гомельская обл.); <i>S. e. europaea</i> L., 1758 (Витебская и Могилевская обл.)	<i>S. e. homeyeri</i> Seebohm, 1890 (запад и север Беларуси); <i>S. e. rossica</i> Dunajewski, 1934 (восток Беларуси); <i>S. e. stolcmani</i> Doman., 1913 (бассейн р. Припять)
Пищуха <i>Certhia familiaris</i> L., 1758	<i>C. f. familiaris</i> L., 1758 (по всей территории)	<i>C. f. familiaris</i> L., 1758 (север Беларуси); <i>C. f. bacmeisteri</i> Zedlitz, 1920 (бассейн р. Припять)
Садовая овсянка <i>Emberiza hortulana</i> L., 1758	<i>E. h. hortulana</i> L., 1758 (по всей территории)	<i>E. h. hortulana</i> L., 1758 (север Беларуси); <i>E. h. ignita</i> Oleksas, 2009 (бассейн р. Припять)
Тростниковая овсянка <i>Emberiza schoeniclus</i> L., 1758	<i>E. sch. goplanae</i> Domaniewski, 1918 (крайний запад Брестской обл.); <i>E. sch. wotiakorum</i> Portenko, 1960 (восток Гродненской обл., Минская, Витебская и Могилевская обл.); <i>E. sch. ukraineae</i> Zarudny, 1917 (Брестская (кроме запада) и Гомельская обл.)	<i>E. sch. goplanae</i> Dom., 1918 (запад Беларуси); <i>E. sch. ukraineae</i> Zarudny, 1917 (бассейн р. Припять); <i>E. sch. rivalis</i> Oleksas, 2009 (юго-восток Беларуси); <i>E. sch. balticae</i> Oleksas, 2009 (центр и север Беларуси)
Зяблик <i>Fringilla coelebs</i> L., 1758	<i>F. c. coelebs</i> L., 1758 (по всей территории)	<i>F. c. coelebs</i> L., 1758 (север Беларуси); <i>F. c. ecki</i> Oleksas, 2009 (бассейн р. Припять)
Полевой воробей <i>Passer montanus</i> L., 1758	<i>P. m. montanus</i> L., 1758 (по всей территории)	<i>P. m. montanus</i> L., 1758 (запад Беларуси); <i>P. m. dunajewskii</i> Oleksas, 2009 (восток Беларуси)
Галка <i>Corvus monedula</i> L., 1758	<i>C. m. soemmeringii</i> Fischer, 1811 (по всей территории); <i>C. m. monedula</i> L., 1758 (на зимовке – по всей территории)	<i>C. m. schluteri</i> Kleinschmidt, 1935 (восток Беларуси); <i>C. m. tischleri</i> Kleinschm., 1935 (запад Беларуси)
Сорока <i>Pica pica</i> L., 1758	<i>P. p. pica</i> L., 1758 (запад Беларуси); <i>P. p. fennorum</i> Loennberg, 1927, переходные фенотипы (остальная территория)	<i>P. p. bactriana</i> Vonapararte, 1850 (запад Беларуси); <i>P. p. leuconotos</i> Brehm, 1855 (восток Беларуси)
Сойка <i>Garrulus glandarius</i> L., 1758	<i>G. g. glandarius</i> L., 1758 (по всей территории)	<i>G. g. capitis</i> Oleksas, 2009 (запад Беларуси); <i>G. g. septentrionalis</i> Brehm, 1831 (центр и юг Беларуси); <i>G. g. severtzovi</i> Bogdanov, 1871 (восток Беларуси)

Из сопоставления данных таблицы видно, что число внутривидовых таксонов птиц, принимаемых в рамках «концепции геоспециес», оказывается значительно большим, чем при «традиционном» подходе к выделению подвидов. Поскольку после выхода в свет работ О. Олексаса [7, 8] нами предпринята попытка проверки реальности отличий выделяемых им форм, можно констатировать следующее: в рамках двух сравниваемых концепций понятие «подвид» отражает хорологические единицы несколько разного уровня.

В «традиционной» биологической концепции подвид объединяет крупные комплексы, зачастую включающие несколько географических популяций, которые могут обладать определенным уровнем морфологической специфичности. Другими словами, биологическая концепция предполагает «двухступенчатую» структуру внутривидовых хорологических единиц.

Согласно концепции «геоспециес» под понятием «подвид» понимается хорологическая единица, по сути идентичная географической популяции, т. е. хорологическая структура внутри вида при таком подходе оказывается «одноступенчатой».

Для представления полной хорологической картины орнитофауны Беларуси, основанной на концепции «геоспециес», пока недостаточно данных, в первую очередь – коллекционного материала. Правда, в некоторых случаях (например, в отношении причисления восточнобелорусских соек к подвиду *G. g. severtzovi* Bogdanov, 1871) можно говорить об ошибочности принятых О. Олексасом [7, 8] решений. В других случаях (например, в отношении популяции садовой славки, зяблика) изучение имевшихся и дополнительно собранных серий позволяет констатировать наличие реальных, хотя и не резко выраженных, различий между выборками. Очевидно, тщательное сопоставление корректно собранных коллекционных материалов из разных районов страны поможет выявить хорологическую структурированность вида в пределах региона, способствуя более полному изучению его биологического разнообразия.

1. Тимофеев-Ресовский Н.В., Яблоков А.В., Глозов Н.В. Очерк учения о популяции. М., 1973.
2. Майр Э. Популяции, виды и эволюция. М., 1974.
3. Яблоков А.В. Популяционная биология. М., 1987.
4. Исаков Ю.А. // Изв. АН СССР. Сер. биол. 1949. Вып. 2. С. 54.
5. Мальчевский А.С. // Зоол. журн. 1968. Т. 47. Вып. 6. С. 833.
6. Eck S. // Zool. Abhandl. Mus. Tierk. Dresden. 1989. 50. Suppl. S. 87.
7. Olexas O. A. Ornis Baltica-Sarmatica: Eine taxonomische Revision einiger Vogelarten Mittelosteuropas. I. Brandenburg, 2009.
8. Olexas O. A. Ornis Baltica-Sarmatica: Eine taxonomische Revision einiger Vogelarten Mittelosteuropas. II. Brandenburg, 2010.
9. Гричик В.В. Географическая изменчивость птиц Беларуси: Таксономический анализ. Мн., 2005.

Поступила в редакцию 01.06.11.

Василий Витальевич Гричик – доктор биологических наук, доцент, заведующий кафедрой общей экологии и методики преподавания биологии. Область научных интересов – популяционная биология и биохорология, экология наземных сообществ, особо охраняемые природные территории. Автор более 100 научных работ, из них 2 монографий.

УДК 612.816:616-009

А.Г. ЧУМАК, С.А. РУТКЕВИЧ, В.Б. КАЗАКЕВИЧ, И.Ю. АЛЬФЕР

РОЛЬ НЕЙРОМЕДИАТОРОВ АМИНОКИСЛОТНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ В РЕГУЛЯЦИИ ЖИЗНЕННО ВАЖНЫХ ФУНКЦИЙ ОРГАНИЗМА

Recent investigations of human and animals physiology department collaborators and post-graduate students have been reviewed in this paper. Participation NO-ergic spinal neurochemistry mechanisms in realisation of exciting and inhibition of vissero-sympathetic and somato-sympathetic reflex reactions is established. Experimental acknowledgement of interaction glutamic aside, GABA, glicine and nitric monoxide in polymediator control of spinal motoneurons excitability under visceral and somatic afferent fibers electrostimulation is confirmed.

Важнейшим свойством нервной системы является пластичность – способность нервных элементов изменять структурно-функциональную организацию под влиянием экзогенных и эндогенных факторов. Это качество необходимо для обеспечения адаптации к изменяющимся условиям внешней и внутренней среды, в том числе при активации мышечной деятельности или возникновении висцеральной боли. Процессы пластичности нейронов центральной нервной системы обуславливаются изменением экспрессии широкого спектра генов, запуском каскада молекулярных событий, результатом которых является модификация рецепторного аппарата клеток, изменение ионной проницаемости,

и, как следствие, трансформация синаптической эффективности. Изучение литературы по проблеме нейрохимических механизмов нервной регуляции функций позволяет сделать заключение, согласно которому медиаторные аминокислоты, среди которых преобладают возбуждающие (глутамат, аспарат) и тормозные (глицин и γ -аминомасляная кислота – ГАМК), могут неоднозначно влиять на состояние нейронных сетей, в том числе вовлеченных в обработку проприоцептивных и ноцицептивных сигналов. Современный принцип множественности медиаторного сигнала подразумевает, что характер синаптического действия определяется не химической природой медиатора, а природой рецепторов постсинаптической клетки, а значит, один и тот же медиатор может оказывать неодинаковое действие в зависимости от разновидности рецепторов [1, 2]. Одна постсинаптическая клетка может иметь более одного типа рецепторов для данного медиатора, и каждый из этих рецепторов способен контролировать разный механизм ионной проницаемости. Немаловажное значение получило открытие в межклеточных коммуникациях явления объемной передачи химического сигнала, в котором наиболее полно могут использоваться свойства монооксида азота, производного аминокислоты L-аргинина. Не так давно типичным химическим синапсом считалось нервно-мышечное соединение, морфофункциональная организация которого обеспечивает быструю передачу сигнала по «анатомическому адресу». Тем не менее в нервной системе часто можно найти нейронные ансамбли, в которых передача сигнала происходит по «химическому адресу», т. е. ее эффективность определяется не морфологическим контактом пре- и постсинаптических структур, а наличием специальных рецепторов на клетках-мишенях. Новый нейротрансмиттерный механизм основан на медленной диффузии нейромедиаторов по межклеточному пространству и их действии на отдаленные от места экзоцитоза несинаптические рецепторы [3, 4].

Как признают большинство современных авторов, классические синаптические и вновь постулированные экstrasинаптические рецепторы возбуждающих и тормозных нейротрансмиттеров аминокислотной природы используются в регуляции практически всех витальных функций. Свой вклад в обоснование существенной роли монооксида азота, ГАМК, глицина и глутамата при реализации симпатических рефлекторных реакций спинным мозгом внесли и работы преподавателей, сотрудников, аспирантов и студентов кафедры физиологии человека и животных, выполненные в последнее десятилетие.

Так, в рамках совместного белорусско-украинского проекта (руководитель от Института физиологии им. А.А. Богомольца член-корреспондент НАН Украины, профессор В.Ф. Сагач), поддержанного Белорусским и Украинским республиканскими фондами фундаментальных исследований («Центральные и периферические механизмы влияния монооксида азота на эффективность использования кислорода тканями», 2005–2007 гг.), получены доказательства активации симпатической нервной системы при тепловом стрессе и участия NO-ергических нейрохимических процессов в формировании импульсной активности симпатических преганглионарных нейронов, или интернейронов, синаптически связанных с ними, в развитии теплового стресса у крыс. На сегментарном уровне, судя по полученным данным, повышенные концентрации монооксида азота имеют противошоковое действие, поскольку усиливают импульсацию эфферентных симпатических волокон, постоянно оказывающих прессорное действие на гладкие мышцы сосудов. В пользу противошокового действия монооксида азота на уровне интернейронного аппарата спинного мозга свидетельствуют также результаты опытов, в которых животным перед перегреванием вводили ингибитор синтазы NO, что предотвращало повышение симпатического влияния на вазомоторные преганглионарные нейроны и приводило, таким образом, к снижению адаптационных возможностей этих животных в условиях теплового стресса. Вместе с тем общепризнанным является тот факт, что внутривенное введение доноров NO провоцирует падение артериального давления, а введение в кровяное русло ингибиторов NO-синтазы предотвращает развитие шока [5]. Взятые в совокупности, эти данные указывают на неодинаковую и даже противоположную по физиологической направленности роль монооксида азота в системных реакциях на тепловую нагрузку в зависимости от локализации конкретного исполнительного элемента [6].

В содружестве с коллективом Института физиологии НАН Украины выполнены еще два проекта по грантам Белорусского и Украинского республиканских фондов фундаментальных исследований («Роль оксида азота в реакциях сердечно-сосудистой системы при действии стрессовых агентов и гипергликемии», 2007–2009 гг. и «Роль оксида азота в реакциях сердечно-сосудистой системы у животных, адаптированных к физической нагрузке», 2009–2011 гг.).

Полученные в рамках этих проектов данные соответствуют представлениям о том, что гипергликемия, как и другие отклонения показателей гомеостаза от их оптимальных значений, активирует симпатическую нервную систему, приводя, в частности, к значительному подъему артериального дав-

ления [7–9]. Обнаружено также сходное влияние глюкозы и ингибиторов NO-синтазы на течение гипергликемической гипертензии, что подтверждают результаты исследования эффектов интратекального введения ингибитора NO-синтазы на фоне смоделированной гипергликемии [7]. Было также выявлено, что влияния ингибиторов NO-синтазы на активность симпатических преганглионарных нейронов на фоне гипергликемии отличаются от эффектов, полученных на фоне нормального уровня глюкозы. Полученные результаты можно интерпретировать как возможную перестройку внутриспинальных механизмов, связанных с синтезом и продукцией монооксида азота, в ответ на увеличение концентрации глюкозы. Однако возможна и иная их трактовка. Разнонаправленные эффекты могут отражать изменение проницаемости гематоэнцефалического барьера в условиях чрезмерной нагрузки глюкозой и активацию симпатических влияний, вызванных подавлением образования монооксида азота в эндотелии пиальных сосудов [10].

В результате последующих экспериментов установлено, что воспроизведение моносинаптического Н-рефлекса, характеризующего возбудимость мотонейронов спинного мозга, при кондиционирующем раздражении чувствительных волокон брыжеечного и большеберцового нерва характеризуется снижением его амплитуды, а стимуляция подкожного нерва бедра сопровождается ростом этого показателя. Введение в спинномозговой ликвор ингибитора NO-синтазы уменьшает амплитуду Н-ответов, вызываемых отдельно или при обуславливающей стимуляции висцеральных и соматических афферентных волокон.

Получены доказательства в пользу того, что регулярные физические нагрузки вызывали адаптивные изменения в функционировании мотонейронов спинного мозга, что выражалось в снижении порога рефлекторной возбудимости и увеличении амплитуды моносинаптического Н-рефлекса. Выявлено, что у животных, которым физические нагрузки предъявлялись в условиях заингибированного эндогенного синтеза монооксида азота, частота тонической и вызванной импульсной активности в сосудодвигательных эфферентах брюшного аортального сплетения оказывалась ниже соответствующих показателей контрольных животных, а порог возбудимости мотонейронов повышался. Эти данные свидетельствуют о важной роли нитригической системы в адаптивных перестройках рефлекторной деятельности при физических нагрузках, что имеет значение и для понимания адаптации человека к тренировочному процессу или тяжелой физической нагрузке [11].

Особенно значимые результаты были получены при выполнении задания «Исследование нейрохимических механизмов регуляции вегетативных функций на уровне спинного мозга» в рамках ГКПНИ «Современные технологии в медицине» в 2006–2010 гг. Они свидетельствуют о вовлечении глутамата, монооксида азота, глицин- и ГАМК-ергических нейрохимических механизмов в формирование тонической и рефлекторно вызываемой эфферентной симпатической активности в нервах брюшного аортального сплетения, иннервирующих органы малого таза.

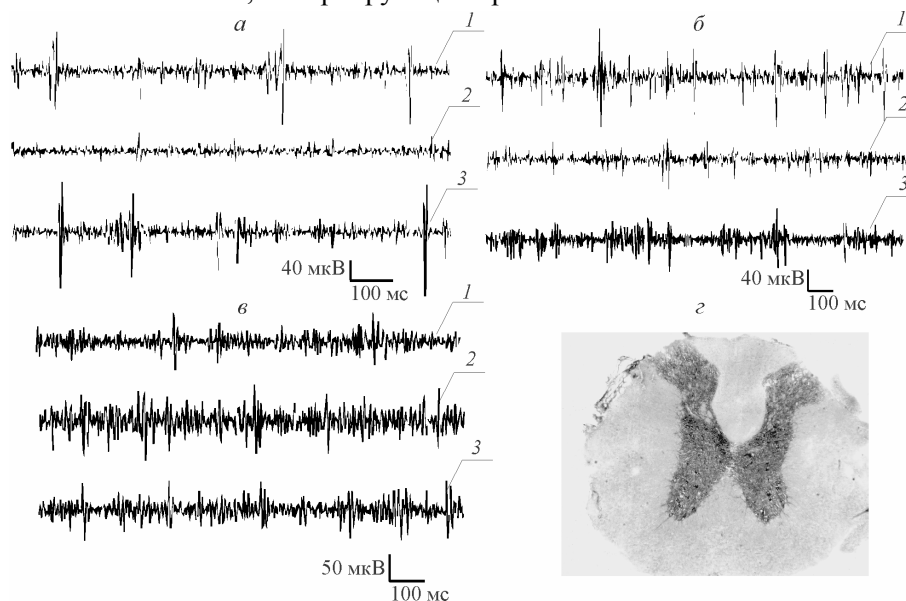


Рис. 1. Изменение спонтанной импульсной активности в эфферентных волокнах брюшного аортального сплетения до и после введения глицина (*а*), γ -аминомасляной кислоты (*б*) и глутаминовой кислоты (*в*) под оболочки спинного мозга к Th₉₋₁₀-сегментам (*г*): 1 – эфферентная импульсация до введения растворов аминокислот, 2 – тоническая эфферентная активность через 5 мин после введения медиаторных субстанций, 3 – импульсная активность через 10 мин после введения аминокислот. На фотографии представлен срез Th₉₋₁₀-сегмента спинного мозга крысы. Толщина среза 15 мкм, метод окраски на наличие сукцинатдегидрогеназы, увеличение 2,5

Электрофизиологический анализ вклада синаптически активных аминокислот, опосредующих тормозные процессы, в сегментарное формирование активности симпатических эфферентных волокон показал симпатиингибирующее действие введенных в ликвор спинного мозга тормозных аминокислот (глицина и ГАМК) и симпатоактивирующий эффект в тех же методических условиях глутамата натрия (рис. 1). При этом влияние аминокислот определено по отношению к той части симпатических эфферентных волокон, которые регулируют моторику тощей кишки. Действие глицина, в отличие от ГАМК, оказалось дозозависимым, более длительным и глубоким. Выявленный эффект свидетельствует о том, что в спинном мозге существует мощный тормозной глицинергический механизм, ограничивающий развитие потенциации тех висцеро-симпатических рефлекторных реакций, которые активируются в процессе возникновения висцеральной боли (рис. 2).

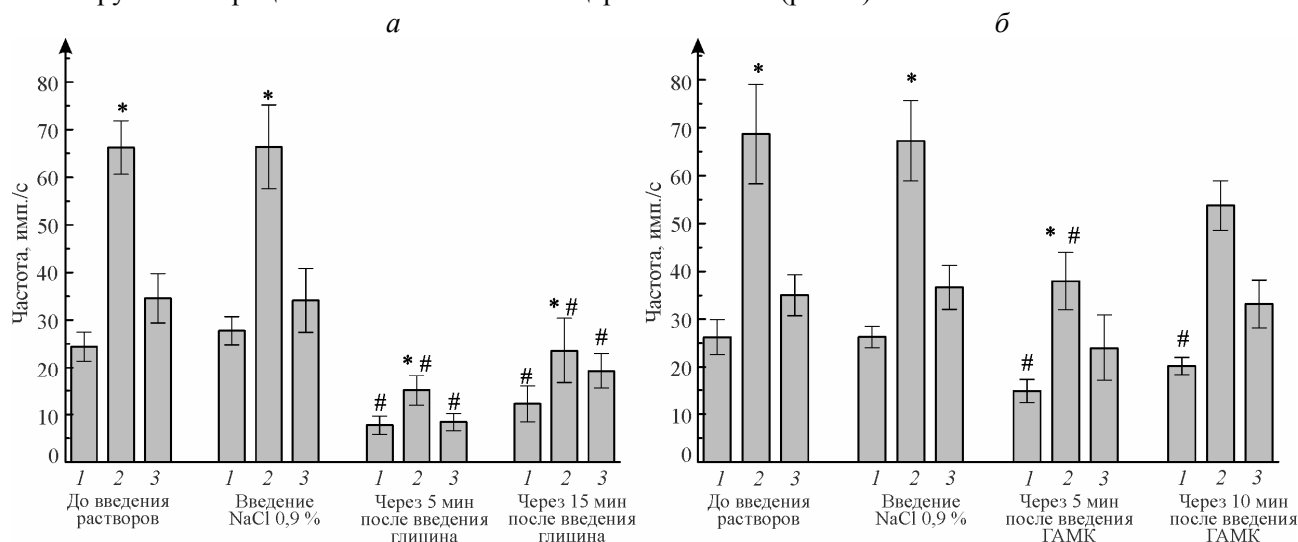


Рис. 2. Изменение частоты тонической и рефлекторно обусловленной симпатической эфферентной импульсации в волокнах брюшного аортального сплетения в динамике инфузии глицина (а) и ГАМК (б) ($2 \cdot 10^{-3}$ моль/л; 0,02 мл растворов):

1 – активность до стимуляции, 2 – импульсация в процессе тетанизации (1 мс, 5 В, 10 Гц) брыжеечного нерва, 3 – импульсная активность в первую минуту после прекращения воздействия. Значимое изменение показателя по сравнению: * – с активностью до стимуляции (*t*-тест, $P < 0,05$), # – с соответствующим уровнем до введения растворов и после введения NaCl 0,9 % (*t*-тест, $P < 0,05$)

Кроме того, полученные данные позволили постулировать преимущественно симпатиингибирующее действие предшественников и доноров NO в ликворе спинного мозга. Использованный нами общепринятый ингибитор NO-синтазы, метиловый эфир L-нитроаргинина L-NAME, вызывал симпатиингибирующее действие, так же как и L-нитроаргинин (L-NNA) при его аналогичном применении в ликворе спинного мозга [12–14].

Искусственное изменение продукции NO в спинном мозге в результате инъекций ингибитора синтазы монооксида азота (L-NNA) и ее субстрата (L-аргинина) также отражалось на возбудимости центрального звена симпатических рефлексов. Полученные данные позволили сделать заключение о том, что предшественник монооксида азота в физиологических концентрациях, введенный в ликвор спинного мозга, способен инициировать изменения функций тощей кишки, так или иначе модифицируя паттерн симпатической эфферентной импульсации в брыжеечных нервах. Следовательно, при повышении концентрации L-аргинина или монооксида азота в цереброспинальной жидкости при различных функциональных состояниях организма возможны возмущающие, дизрегуляторные воздействия на висцеральную сферу. Эндотелиоцитам пилальных сосудов спинного мозга либо твердой мозговой оболочки при этом может принадлежать решающая роль, поскольку эндотелиальные клетки являются постоянно действующим источником NO в ликворе [15, 16]. Вместе с тем установленное в работе [12] симпатозобуждающее влияние L-аргинина на активность эфферентных симпатических волокон в составе нервных ветвей брюшного аортального сплетения свидетельствует о том, что внутриспинальные механизмы формирования тонической симпатической эфферентной импульсации, адресующейся разным органам – мишеням иннервации, могут по-разному реагировать на повышение в ликворе предшественника монооксида азота, что не противоречит современным представлениям [12–14, 17, 18]. В то же время было обнаружено, что интратекальное введение ингибитора NO-синтазы L-NAME к нижним грудным сегментам спинного мозга вызывало значительное ослабление тонической эфферентной импульсации.

Таким образом, в экспериментах получены данные о тормозном характере действия доноров монооксида азота, глицина и ГАМК в ликворе на симпатическую нервную активность, что предполагает

преимущественно ингибирующее влияние этих сигнальных молекул на сегментарный интернейронный аппарат спинного мозга.

1. Burnashev N., Monyer H., Seeburg P., Sakmann B. // *Neuron*. 1992. Vol. 8. P. 189.
2. Sucher N.J., Awobuluyi M., Choi Y.B., Lipton S.A. // *Trends Pharmacol. Sci.* 1996. Vol. 17. P. 34.
3. Кульчицкий В.А., Поленов С.А., Пашкевич С.Г. и др. Регуляция функций при активации мозга. Мн., 2004.
4. Vizi E.S. // *Pharmacol. Rev.* 2000. Vol. 52. № 1. P. 63.
5. Чумак А.Г., Солтанов В.В., Реутов В.П., Тришин Л.С. // Функциональная роль монооксида азота и пуринов: Сб. ст. / Ред. В.Н. Гурин и др. Мн., 2001. С. 196.
6. Чумак А.Г., Сагач В.Ф., Шаповал Л.Н. и др. // *Новости мед.-биол. наук*. 2009. № 1. С. 19.
7. Claxton C.R., Michael W. B. // *Hypertension*. 2003. Vol. 41. P. 274.
8. Gore D.C., Chikes D., Heggers J. et al. // *Trauma*. 2001. № 51. P. 5400.
9. Lewis K., Kane S., Bobek M. et al. // *Annals of Pharmacotherapy*. 2004. № 38. Vol. 37. P. 1243.
10. Чумак А.Г., Люзина К.М., Каравай Т.В., Руткевич С.А. // *Журн. Гродн. гос. мед. ун-та*. 2009. Т. 26. № 2. С. 38.
11. Руткевич С.А. // *Молодежь в науке-2009: Прил. к журн. «Весті НАН Беларусі»*. Ч. 4 (сер. мед. наук). С. 422.
12. Чумак А.Г. Механизмы симпатических энтеральных рефлексов и роль монооксида азота в их реализации: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук: 03.00.13 / Ин-т физиологии НАН Беларуси. Мн., 2003.
13. Matsumura K., Abe I., Tsuchihashi T., Fujishima N. // *Am. J. Physiol.* 1998. Vol. 274. P. 11429.
14. Matsuoka H., Nishida H., Nomura G. et al. // *Hypertension*. 1994. Vol. 23. P. 971.
15. Heneka M.T., Feinstein D.L. // *J. Neuroimmunol.* 2001. Vol. 114. № 1-2. P. 8.
16. Huber J.D. // *Curr. Pharm. Des.* 2008. № 14. Vol. 16. P. 1594.
17. Hironaga K., Hirooka Y., Matsuo I. et al. // *Hypertension*. 1998. Vol. 31. P. 27.
18. Hirooka Y., Polson J.W., Dampney R.A. // *J. Hypertens.* 1996. Vol. 14. P. 1317.

Поступила в редакцию 01.06.11.

Анатолий Георгиевич Чумак – доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой физиологии человека и животных. Область научных интересов – физиология автономной нервной системы; нейрохимические механизмы формирования возбуждающих и тормозных реакций симпатической нервной системы, рецепторной функции тонкой кишки в норме и при моделировании некоторых патологических состояний организма. Автор более 140 научных работ.

Светлана Александровна Руткевич – кандидат биологических наук, доцент кафедры физиологии человека и животных. Область научных интересов – нейрохимические сегментарные механизмы регуляции возбудимости мотонейронов и симпатических нейронов в условиях ноцицептивных воздействий. Автор более 50 научных работ.

Виктор Бернардович Казакевич – кандидат биологических наук, доцент кафедры физиологии человека и животных. Область научных интересов – нейрохимические механизмы (особенно нитрергические и моноаминергические) регуляции функций. Автор более 70 научных публикаций.

Ирина Юрьевна Альфер – аспирант кафедры физиологии человека и животных. Научный руководитель – А.Г. Чумак. Область научных интересов – нейрофизиология спинного мозга. Автор 5 научных работ.

УДК 577.475:577.1

А.П. ОСТАПЕНЯ, Т.В. ЖУКОВА, Т.М. МИХЕЕВА

БЕНТИФИКАЦИЯ КАК ЭТАП ЭВОЛЮЦИИ НАРОЧАНСКИХ ОЗЕР

On basis of the many-years results of Naroch lakes investigations is shown that in the last years despite of concentration suspended matter, chlorophyll-*a*, total P and N, fito-, zoo- and bacterioplankton biomass decreasing, there are no any argument to speak neither about de-eutrophication nor about oligotrophization of Naroch group lakes. On the contrary their productivity has increased due to increase of bottom and attached communities' role in biotic recycling.

Нарочанская система озер (озера Нарочь, Мястро, Баторино) является объектом широкомасштабных гидробиологических исследований, начиная с 1948 г., когда на берегу оз. Нарочь была организована биологическая станция БГУ. В результате многолетних наблюдений и экспериментальных работ на примере Нарочанских озер решен ряд важных фундаментальных и прикладных задач гидроэкологии. Особое внимание уделялось изучению продуктивности озерных экосистем и закономерностей формирования их трофического статуса.

За более чем 60-летний период произошли изменения природной среды, обусловленные как глобальными процессами (потепление, общее увеличение уровня загрязнения окружающей среды и др.), так и региональными (возрастание антропогенной активности на берегах и последующие мероприятия, направленные на сохранение природных особенностей Нарочанских озер). За это время, по результатам многолетних наблюдений, хорошо просматривается несколько этапов в эволюции структурной и функциональной организации озерных экосистем.

В 1970-х гг. в озерах заметно возросли практически все параметры, характеризующие функционирование планктонных сообществ, и произошли существенные перестройки их структуры – усилилось развитие синезеленых водорослей (цианопрокариот), возросла численность и биомасса бактериопланктона и др. Наблюдаемые изменения позволили интерпретировать этот период в эволюции озер

как этап антропогенного эвтрофирования. В дальнейшем отрицательные проявления эвтрофирования продолжали прогрессивно нарастать: снижалась прозрачность воды, увеличивалась концентрация взвеси, нарастал дефицит кислорода в придонных слоях.

В целях предотвращения дальнейшей деградации озерных экосистем в рамках Государственной программы экологического оздоровления оз. Нарочь в 1980-е гг. в результате природоохранных мер удалось снизить внешнюю биогенную нагрузку примерно на 30 % [1]. Несколько позже – в начале 1990-х гг. в Нарочанских озерах появился моллюск-фильтратор *Dreissena polymorpha* Pallas. По времени его появление совпало с общим снижением экономической активности в связи с начавшейся перестройкой, что, в свою очередь, снизило антропогенное давление на озерные экосистемы. На однонаправленное воздействие всех этих факторов озера отреагировали заметным увеличением прозрачности, снижением концентраций хлорофилла, биогенных элементов (рис. 1). Снизились также биомассы фито-, зоо- и бактериопланктона, величины БПК и других показателей качества воды. Все это позволило говорить о том, что в 1990-х гг. в озерах Нарочанской группы проявились явные признаки деэвтрофирования.

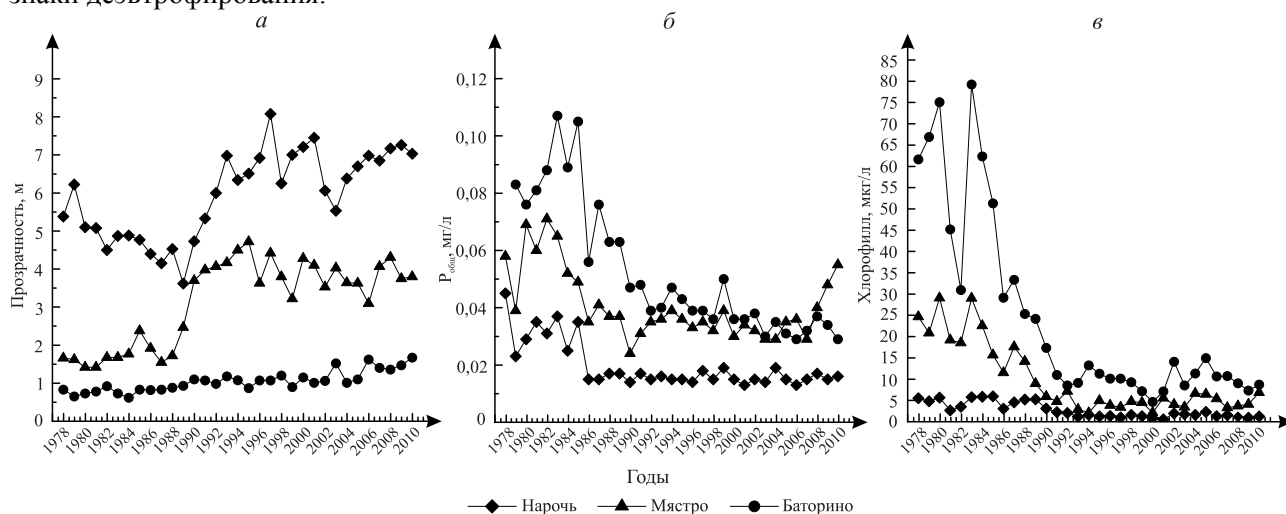


Рис. 1. Многолетняя динамика прозрачности (а), общего фосфора (б) и хлорофилла (в) в Нарочанских озерах

Очевидно, что продуктивность водоемов и их трофический статус в значительной степени определяются первичной продукцией, формируемой в двух взаимодействующих блоках водных экосистем: в водной толще (продукция планктона) и в бентали (продукция макрофитов, перифитона, микрофитобентоса). Однако в практике гидробиологических исследований продуктивность водоемов и их трофический статус в подавляющем большинстве случаев оценивают по первичной продукции планктона, что в первую очередь обусловлено методическими сложностями определения первичной продукции донных сообществ.

Относительный вклад водной толщи и дна в суммарную продуктивность варьирует в широком диапазоне и определяется рядом факторов, среди которых важнейшими являются морфометрические особенности водоемов и прозрачность. В озерах прозрачность можно рассматривать как ключевой фактор, контролирующий переключение потоков вещества и энергии между водной толщей и дном. В свою очередь, прозрачность в значительной степени определяется уровнем продукционных процессов в водной толще и биологическими механизмами седиментации взвешенных веществ, например, таких как фильтрационная активность планктонных и бентосных организмов. Таким образом, в процессе деэвтрофирования, или, как его еще называют, олиготрофизации, когда в сравнительно мелководных водоемах увеличивается прозрачность и снижается большинство показателей в толще воды, по которым, как правило, оценивается трофический статус водоема, возможно переключение продукционных потоков от планктонных сообществ к бентосным и перифитонным. При этом уровень продуктивности экосистемы в целом не снижается, что не позволяет говорить о деэвтрофировании, или реолиготрофизации, водоема. Для описания подобной ситуации американские исследователи предлагают термин «бентификация» [2, 3].

Эволюция экосистемы Нарочанских озер хорошо прослеживается на примере динамики концентраций основных биогенных элементов – фосфора и азота, в значительной степени определяющих продуктивность водоемов. При анализе многолетней динамики концентрации общего фосфора в воде

озер четко выделяются четыре этапа. В период 1978–1985 гг. концентрация общего фосфора в воде всех трех озер была максимальной и составляла $0,033 \pm 0,007$ (Нарочь), $0,058 \pm 0,011$ (Мястро) и $0,091 \pm 0,012$ мг Р/л (Баторино). В 1986–1991 гг. концентрация общего фосфора в воде всех трех озер существенно снизилась и составляла $0,016 \pm 0,001$, $0,034 \pm 0,006$ и $0,059 \pm 0,011$ мг Р/л соответственно. Следует подчеркнуть, что в оба рассматриваемых периода озера заметно различались между собой по уровню содержания общего фосфора в воде. Далее синхронность изменений режима фосфора в трех озерах нарушается. В воде оз. Нарочь концентрация общего фосфора остается стабильной на протяжении длительного периода (1986–2010) и составляет $0,015 \pm 0,002$ мг Р/л. Иная картина наблюдается в озерах Мястро и Баторино. Здесь в период, совпадающий с заселением озер дрейссеной (1992–2004), концентрация общего фосфора в воде оз. Мястро практически не изменяется по сравнению с предыдущим этапом и составляет $0,034 \pm 0,003$ мг Р/л, а в оз. Баторино – продолжает снижаться до $0,039 \pm 0,005$ мг Р/л. В это время происходит сближение концентраций общего фосфора в воде озер Мястро и Баторино. Еще большие перестройки наблюдаются в последние годы (2005–2010), когда концентрация общего фосфора в воде оз. Мястро превышает таковую в воде оз. Баторино – $0,041 \pm 0,010$ против $0,032 \pm 0,004$ мг Р/л (рис. 1 б).

Важно отметить, что запас фосфора в воде озер обеспечивается его органическими соединениями. Концентрация фосфатов в Нарочанских озерах практически всегда находилась на пределе чувствительности метода определения (ниже $0,005$ мг Р/л). И только в воде оз. Мястро, начиная с конца 1980-х гг., во второй половине вегетационного сезона регистрируются концентрации до $0,030 \pm 0,070$ мг Р/л, т. е. фосфор перестает быть лимитирующим первичную продукцию элементом.

Концентрации соединений азота в периоды эвтрофирования и деэвтрофирования (1978–1985, 1986–1991) в воде всех трех озер изменялись незакономерно, с большой амплитудой колебаний и составляли $0,85 \pm 0,26$ (Нарочь), $1,15 \pm 0,34$ (Мястро) и $1,59 \pm 0,34$ мг N/л (Баторино). Следующий четко прослеживаемый период более низкого уровня содержания общего азота в воде всех трех озер по времени (1992–2004) совпадает с заселением экосистемы инвазивным видом – дрейссеной. Концентрация общего азота в воде озер Нарочь, Мястро и Баторино составляла в это время $0,47 \pm 0,16$, $0,59 \pm 0,18$ и $0,81 \pm 0,21$ мг N/л соответственно. На современном этапе, начиная с 2005 г., концентрация азота вновь увеличилась до близкого к рассматриваемым ранее этапам эвтрофирования и деэвтрофирования, но с заметно меньшим размахом межгодовых колебаний и составляет $0,81 \pm 0,16$ (Нарочь), $1,12 \pm 0,19$ (Мястро) и $1,38 \pm 0,25$ мг N/л (Баторино) соответственно.

За рассматриваемый период наблюдений произошли значительные изменения в количественном развитии и структурной организации фитопланктона. Вслед за снижением концентрации биогенных элементов происходило уменьшение биомассы и таксономического богатства всех отделов и групп водорослей, за исключением золотистых, богатство которых выросло по сравнению с периодом до 1980 г., особенно заметно в озерах Баторино – с 12 до 28 и Мястро – с 15 до 25 таксонов. Одновременно отмечается не только уменьшение видового богатства фитопланктона, но и упрощение таксономической структуры альгофлоры. Различие между озерами по видовому богатству фитопланктона становится менее выраженным. В процессе деэвтрофирования прослеживается уменьшение средней массы фитопланктонной единицы и степени «колониальности» фитопланктонных сообществ. Особенно отчетливо это проявляется на примере диатомовых водорослей [4].

Увеличение прозрачности обусловило возможность распространения макрофитов на большие глубины и активизацию их роста. Так, в оз. Нарочь при средней глубине 9 м макрофиты сплошным ковром покрывают дно до глубины 7,5 м и начинают осваивать глубины от 9 до 11 м. Площадь, занимаемая погруженными макрофитами, составляет примерно 30 % от площади озера, их биомасса, по материалам съемки 1999 г., – 8362 т воздушно-сухого вещества. По оценкам 2004 г., площадь зарослей надводных макрофитов составляет $2,73 \text{ км}^2$, а биомасса в расчете на воздушно-сухое вещество – 2838 т, из них 95 % приходится на долю тростника. Общая биомасса макрофитов увеличилась с 50 г/м^2 воздушно-сухого веса в 1980 г. до 120 г/м^2 в 1999 г. [5–7].

Поверхность макрофитов служит основным субстратом для перифитона, играющего, как и другие компоненты водных экосистем, важную роль в процессах биологического самоочищения, формирования качества вод и продуктивности водоемов [8]. Соответственно увеличению массы макрофитов возрастает роль перифитона в продукции органического вещества. По данным А.А. Жуковой, вклад перифитона в суммарную первичную продукцию оз. Нарочь достигает 18 % [9, 10].

В процессе эволюции озерных экосистем изменения затронули не только автотрофные, но и гетеротрофные донные сообщества, причем особенно существенными они были в зообентосе в 1990-е гг. после появления в озерах *D. polymorpha*.

В оз. Нарочь в 1990 г. средние по водоему плотность и биомасса дрейссены составляли лишь 9,5 экз./м² и 1,8 г/м². Однако в дальнейшем произошел «взрывообразный» рост популяции, и уже к 1993 г. численность моллюска возросла в 103 раза, а биомасса – в 68 раз [11]. В последующие годы, вплоть до 2002 г., популяция дрейссены была стабильна и значительных изменений не претерпевала, а в 2005 г. средневзвешенные плотность и биомасса дрейссены в озере оказались равны 1508 ± 221 экз./м² и $158,4 \pm 17,9$ г/м² ($n = 177$) соответственно [12].

Вселение дрейссены вызвало сложные и разнообразные перестройки в структуре и функционировании озерных экосистем. Влияние дрейссены прежде всего связано с ее способностью к формированию чрезвычайно плотных популяций, мощным потенциалом размножения и фильтрационным типом питания. Появление дрейссены в Нарочанских озерах заметно повлияло на круговорот биогенных элементов, аэробную деструкцию органического вещества, ранний седиментогенез. Так, экскреция дрейссеной аммонийного азота и фосфатов сопоставима с годовой внешней биогенной нагрузкой, а потребление кислорода эквивалентно 10–30 % аэробной деструкции планктона [13, 14].

Высокие величины численности дрейссены обусловили за счет ее раковин формирование значительных дополнительных поверхностей, на которых развиваются сообщества перифитона. В настоящее время за счет раковин дрейссены в оз. Нарочь создается 8,4 км² дополнительной твердой поверхности, на которой к середине вегетационного сезона формируется примерно 104 т органического вещества перифитона. Суммарная величина валовой первичной продукции перифитона на раковинах дрейссены в оз. Нарочь составляет около 2,5 т органического вещества за сутки, что равно примерно 2 % общей валовой первичной продукции, создаваемой в озере планктоном, макрофитами, перифитоном на макрофитах и микрофитобентосом [15].

Таким образом, снижение практически всех показателей биоактивности в толще воды (концентрация биогенных элементов, биомасса планктона, содержание хлорофилла, концентрация сестон и др.) сопровождалось заметным увеличением биоактивности донных сообществ. При этом первичная продукция планктона, как это можно было ожидать, за период наблюдений не снизилась, а даже несколько возросла. Так, если для периода с конца 1970-х к началу 1980-х гг. валовая первичная продукция в оз. Нарочь составляла 0,4 г С/м²-сут, то в 2002–2004 гг. – 0,5 г С/м²-сут, а общая валовая первичная продукция, представляющая собой сумму продукций фитопланктона, макрофитов, перифитона и микрофитобентоса [9, 10], существенно выросла (рис. 2).

Увеличение прозрачности и вселение в Нарочанские озера дрейссены привело к перераспределению потоков вещества и энергии из толщи воды в придонный экотон. Об изменившейся ситуации дает представление сравнение этих потоков через основные автотрофные и гетеротрофные блоки экосистемы. Воспользовавшись материалами биотического баланса, опубликованными в книге «Экологическая система Нарочанских озер», и принципами расчета этих величин [16], сопоставим суммарный поток продукции и дыхания для периода эвтрофирования (1980–1985 гг.) с величинами ассимиляции, рассчитанными по материалам наблюдений для периода 2004–2009 гг.

Сопоставление потоков ассимиляции в оз. Нарочь для 1980–1985 гг. и 2004–2009 гг. приведено в таблице.

Сопоставление потоков ассимиляции (А, г С/м²-вег. сезон) за периоды 1980–1985 гг. и 2004–2009 гг.

Сообщества	Периоды		Отношение 2/1
	1980–1985 гг. (1)	2004–2009 гг. (2)	
Фитопланктон	73	112	1,5
Макрофиты	15	77	5,1
Перифитон	57	46	0,8
Сумма автотрофов	145	235	1,6
Бактериопланктон	120	105	0,9
Зоопланктон	13	21	1,6
Бентос	3	52	17,3
Сумма гетеротрофов	135	177	1,3

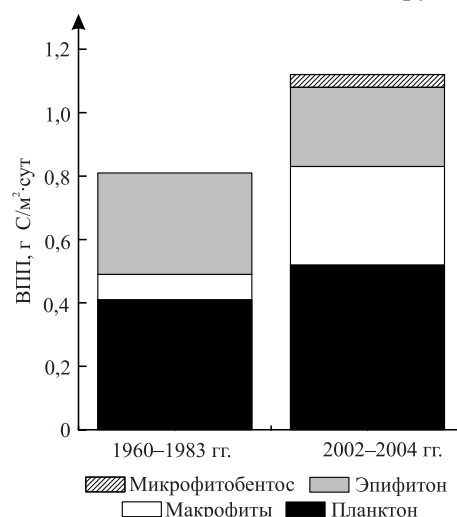


Рис. 2. Сравнение общей валовой первичной продукции в оз. Нарочь (планктон + макрофиты + микрофитобентос + эпифитон) в разные периоды

Как следует из приведенных данных, поток ассимилированной энергии через сообщества фитопланктона увеличился в 1,5 раза, а через макрофиты – в 5 раз. Наиболее существенные изменения произошли с бентосным сообществом вследствие вселения в озеро моллюска дрейссены. Поток ассимилированной энергии через это сообщество увеличился в 17 раз.

Таким образом, в Нарочанских озерах, по результатам многолетних наблюдений, четко прослеживается процесс бентификации. В последние годы, несмотря на снижение концентрации взвешенных веществ и хлорофилла, общего фосфора и азота, биомассы фито-, зоо- и бактериопланктона, нет никаких оснований говорить о деэвтрофировании или олиготрофизации Нарочанских озер. Наоборот, их продуктивность возросла за счет увеличения роли донных и прикрепленных сообществ в биотическом круговороте. Это определяет стратегию дальнейших исследований, которые должны быть в большей степени направлены на изучение бентосных сообществ и взаимодействия водной толщи и донных отложений в озерах Нарочанской группы.

1. Жукова Т.В., Остапеня А.П. // Природ. ресурсы. 2000. № 3. С. 68.
2. Mayer C.M., Keats R.A., Rudstam L.G., Mills E.L. // J. Am. Benth. Soc. 2002. Vol. 21. P. 616.
3. Zhu B., Fitzgerald D.G., Mayer C.M. et al. // Ecosystems. 2006. 9. P. 1017.
4. Михеева Т.М., Лукьянова Е.В. // Изв. Самар. науч. центра РАН. 2006. Т. 8. № 1 (15). С. 125.
5. Остапеня А.П., Жукова Т.В., Гигевич Г.С. и др. // Проблемы гидроэкологии на рубеже веков: Тез. докл. Междунар. науч. конф., СПб., 23–30 окт. 2000 г. СПб., 2000. С. 129.
6. Гигевич Г.С., Власов Б.П., Вынаев Г.В. Высшая водная растительность Беларуси: эколого-биологическая характеристика, использование и охрана. Мн., 2001. С. 76.
7. Жукова Т.В., Макаревич О.А., Жукова А.А., Остапеня А.П. // Сборник материалов IV (XXVII) Международной конференции «Биологические ресурсы Белого моря и внутренних водоемов Европейского Севера», Вологда, 5–10 дек. 2005 г.: в 2 ч. Вологда, 2005. Ч. 1. С. 149.
8. Макаревич Т.А. Перифитон и его роль в продукции органического вещества и миграции радионуклидов в озерных экосистемах: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Мн., 1995.
9. Жукова А.А. Оценка значимости различных автотрофных компонентов в формировании продуктивности мезотрофного озера: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Мн., 2007.
10. Жукова А.А. // Антропогенное влияние на водные организмы и экосистемы. Критерии оценки качества вод и методы нормирования антропогенных нагрузок: Материалы III Всерос. конф. (11–16 нояб. 2008 г.): в 2 ч. Борок, 2008. Ч. 2. С. 233.
11. Каратаеў А. Ю., Бурлакова Л. Я. // Весці АН Беларусі. Сер. біял. навук. 1995. № 3. С. 95.
12. Мастицкий С.Э., Верес Ю.К., Наярович О.А., Кондобаров С.Ю. // Материалы 6-й Междунар. науч. конф. «Сахаровские чтения 2006 года: экологические проблемы XXI века», Минск, 18–19 мая 2006 г.: в 2 ч. Мн., 2006. Ч. 1. С. 322.
13. Жукова Т.В., Остапеня А.П. // Озерные экосистемы: биологические процессы, антропогенная трансформация, качество воды: Материалы II Междунар. науч. конф. Мн., 2003. С. 438.
14. Жукова Т.В., Остапеня А.П., Никитина Л.В. // Стратегия развития аквакультуры в условиях XXI века: Материалы Междунар. науч.-практ. конф. Мн., 2004. С. 180.
15. Макаревич Т.А., Мастицкий С.Э., Савич И.В. // Водоросли: таксономия, экология, использование в мониторинге: Сб. ст. Екатеринбург, 2011. С. 181.
16. Экологическая система Нарочанских озер / Под ред. Г.Г. Винберга. Мн., 1985.

Поступила в редакцию 21.06.11.

Александр Павлович Остапеня – член-корреспондент НАН Беларуси, доктор биологических наук, профессор, заведующий НИЛ гидроэкологии биологического факультета. Специалист в области продукционной гидробиологии. Автор более 200 научных работ, в том числе 4 монографий (в соавторстве). Награжден медалью Франциска Скорины (2001), Грамотой Национального собрания Республики Беларусь (1999).

Татьяна Васильевна Жукова – доктор биологических наук, директор УНЦ «Нарочанская биологическая станция им. Г.Г. Винберга» БГУ. Научные интересы связаны с изучением механизмов функционирования озерных экосистем, в частности режима биогенных элементов и их участия в биотическом круговороте. Автор 117 научных работ, в том числе в соавторстве 2 монографий.

Тамара Михайловна Михеева – доктор биологических наук, доцент, главный научный сотрудник НИЛ гидроэкологии. Заслуженный работник БГУ. Основное направление исследований – биоразнообразие альгофлоры Беларуси, структура и функционирование фитопланктона разнотипных водоемов и водотоков широкого диапазона трофности и на разных этапах их эвтрофирования, в их естественном состоянии и при антропогенном воздействии, роль в процессах загрязнения и самоочищения водных экосистем, а также взаимоотношения с другими компонентами биоты. Автор свыше 630 публикаций, среди которых 2 персональные и 7 коллективных монографий, статьи в журналах стран СНГ, Польши, Чехии.

И.К. ЛОПАТИН

**РАЗВИТИЕ ТАКСОНОМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
В БЕЛОРУССКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ УНИВЕРСИТЕТЕ**

In recent years the scientific research interests in the taxonomy of animals of the Department of Zoology in Belarusian State University been supplemented by new methods – cytogenetic and molecular genetic. This approach is due to the modern problems of scientific researches. At the same time the traditional method continues to evolve allowing to make significant progress. Monographs on the fauna of Belarus, the Baltics and Central Asia, have been published. Over the last decade the school of taxonomists entomologists successfully formed.

Таксономия, или систематика, со времен знаменитого Карла Линнея, написавшего основополагающий труд «Система природы» (1758), выступает составной частью наук о живых организмах – зоологии, ботаники, протистологии, палеонтологии. Это раздел биологии, задача которого – описание и обозначение всех существующих и вымерших организмов, а также их классификация по группировкам различного ранга. На Земле уже зарегистрировано более 1 млн видов одних только животных. Такое видовое разнообразие является результатом эволюции природы, а живущие в настоящее время животные, растения, грибы и другие организмы – потомки живших когда-то видов, сменявшие друг друга на протяжении истории нашей планеты. Отсюда цель биологической систематики – построение системы (классификации) организмов, которая отражала бы не только их сходство, но и родство. В комплексе биологических наук у систематики особое место, поскольку она изучает разнообразие организмов, а не их общие функции, работает с популяциями, видами, родами и другими более высокими таксонами в иерархии органического мира. В практическом отношении таксономия дает возможность экспериментатору-биологу иметь точные знания о систематической принадлежности подопытного животного, экологу – правильное определение объектов исследования и т. д. Наконец, геологическая хронология и стратиграфия зависит от правильного определения руководящих ископаемых остатков. Систематика позволяет решить сложные проблемы прикладной энтомологии, поскольку методы борьбы с вредителями растений меняются в зависимости от того, с каким именно вредителем мы имеем дело. То же относится и к медицине. Достаточно вспомнить пример борьбы с переносчиком возбудителя малярии у человека. Только детальное изучение комплекса кровососущих комаров рода *Anopheles* позволило выделить из группы чрезвычайно сходных, так называемых «видов-двойников», истинного переносчика болезни в конкретной местности.

Важность зоологической систематики подтверждает огромное количество работ, публикуемых во всех странах мира. У нас это монографии, в частности, выпуски многочисленных изданий «Фауны СССР», а теперь – «Фауны России и сопредельных стран», «Фауны Польши», отдельные выпуски «Фауны Беларуси» [1, 2], большое количество работ по систематике различных групп (семейств, родов) животных и т. д.

С систематикой животных первыми сталкиваются ученые, изучающие видовой состав фауны определенного района. На кафедре зоологии многие годы трудились и сейчас работают специалисты в области фауны позвоночных животных Беларуси. В контакте с зоологами НАН Беларуси ими был установлен видовой состав млекопитающих, птиц, рептилий и амфибий, а также рыб [3–6]. В отношении изученности этих групп животных Беларусь находится в преимущественном положении среди европейских стран.

Что касается огромного мира беспозвоночных животных, то с учетом их разнообразия и многочисленности изученность их явно недостаточна. Это характерно и для большинства стран Восточной Европы и северной половины Азии, т. е. территории бывшего СССР и соседних стран. Прежде всего это относится к насекомым, хотя данную богатую с точки зрения числа видов и практически важную группу животных в России начали изучать еще в первой половине XIX в. Из плеяды российских энтомологов в первую очередь следует назвать Э. Эйхвальда, Ф. Фальдерманна, Г. Фишера, В. Мочульского [7–10]. Для белорусской энтомофаунистики важное значение имела работа Н. Арнольда [11], в которой был приведен каталог насекомых Могилевской губернии. А. Улановский и И. Ванкович дополнили его списками видов территорий, близких к границам Беларуси [12, 13]. Что же касается собственно таксономических работ, то в Беларуси их было очень мало, поскольку усилия энтомологов были направлены в основном на решение прикладных задач – изучение состава вредителей растений и разработку мер снижения их численности, а также роли насекомых и клещей в распространении трансмиссивных заболеваний человека. До 1970 г. на кафедре зоологии успешно работал в этом направлении только В.И. Пискунов – систематик, специалист по группе выемчатокрылых молей [14, 15]. Теперь эту работу он продолжает в Витебском университете. С 1970 г. на кафедре зоологии начинает

создаваться школа энтомологов-систематиков. За это время было опубликовано несколько монографий [16, 17], большое количество статей в научных журналах СНГ, Германии, Чехии, Польши, Венгрии, Израиля, США. Большинство из них относятся именно к таксономическим исследованиям с описанием новых для науки родов и видов [18–28]. Следует подчеркнуть, что наши специалисты (в том числе выпускники кафедры) работают не только с фауной Беларуси. Много сделано для уточнения энтомофауны Центральной Азии, Монголии, Китая, Ирана, Израиля, Афганистана, Непала, Вьетнама [29–38]. Эта работа получила признание во всем мире. Вышедший в 2010 г. каталог палеарктических жесткокрылых [39] включает 100 ссылок на работы профессора И.К. Лопатина только по систематике жуков-листоедов. В последнее десятилетие укрепилась научная связь с энтомологами Китая, которые обращаются к специалистам кафедры за помощью в определении «трудных» видов. Успешно работают в области систематики насекомых доценты О.И. Бородин (группа цикадовых), О.Л. Нестерова (листоеды-альтицины), Ж.Е. Мелешко (жуки-долгоносики).

Получило развитие и направление популяционной таксономии – установление отдельных морф широко распространенных видов. Изучением такой важной в практическом отношении группы насекомых, как тли, занимается профессор С.В. Буга со своими аспирантами [40–42]. Доцент О.Л. Нестерова и аспирантка Н.В. Воронова осваивают таксономию некоторых родов насекомых на цитологическом и генетическом уровнях [43–46], что является новым для Беларуси.

Особо следует остановиться на исследованиях недавних выпускников кафедры зоологии. Работающий в Музее естественной истории Смитсоновского института в Вашингтоне (США) А.С. Константинов получил мировое признание в качестве специалиста по систематике листоедов-альтицинов Азии, Северной и Южной Америки. Он автор нескольких монографий [47–49] и серий статей. С.К. Рындович, в настоящее время доцент Барановичского университета, стал крупным специалистом по водным жесткокрылым, описал много видов и издал монографию по этой группе насекомых в серии «Фауна Беларуси» [50]. А.М. Терешкин, работающий ныне в научно-практическом центре НАН Беларуси, автор ряда солидных публикаций, изданных за рубежом [51–54], является специалистом по паразитическим перепончатокрылым. Многие перспективные студенты старших курсов уже принимают участие в таксономических и фаунистических исследованиях, ведущихся на кафедре.

Задачи, которые мы перед собой ставим, заключаются в следующем. Прежде всего необходимо расширить диапазон таксономических исследований в Беларуси за счет большего охвата разнообразных групп насекомых. Очень слабо изучены, к примеру, двукрылые и некоторые семейства перепончатокрылых. Практически не изучены первичнобескрылые и многие семейства жуков и чешуекрылых, особенно молеобразных. Вторая проблема – подготовка специалистов из числа студентов и магистрантов кафедры зоологии. Тут нам не обойтись без помощи коллег из Зоологического института РАН в Санкт-Петербурге, центра таксономии СНГ. Необходимо прикомандирование к этому центру, а средств для этого нет. Использование новых методов таксономических работ упирается в отсутствие на кафедре научно-исследовательской лаборатории с современным оборудованием. Тем не менее систематики кафедры зоологии будут продолжать свои исследования в контакте с ведущими специалистами России и других стран Европы.

1. Оглоблин Д. А. Листоеды, Galerucinae. Насекомые жесткокрылые. Фауна СССР. М.; Л., 1936. Т. 261. Вып. 1.
2. Оглоблин Д. А., Знойко Д. В. Пыльцееды (сем. Alleculidae). Ч. 2: Подсемейство Omophlinae. Фауна СССР. Жесткокрылые. М.; Л., 1950. Т. 18. Вып. 8. С. 1.
3. Земнаводныя. Паўзуны: Энцыклапедычны даведнік / Пад рэд. чл.-кар. АН Беларусі М.М. Пікуліка. Мн., 1996.
4. Сержанин Ю. И. Млекопитающие Белоруссии. 2-е изд. Мн., 1961.
5. Долбик М. С. Птицы Белорусского Полесья. Мн., 1959.
6. Жуков П. И. Рыбы Белоруссии. Мн., 1965.
7. Eichwald E. Zoologia specialis II. Ordo VII. Coleoptera. Wilnae, 1830. P. 243.
8. Faldermann E. // Bull. Mosc. Nat. Moscou, 1836. IX. P. 351.
9. Fischer von Waldheim G. // Mem. Soc. Nat. Moscou, 1806. I. P. 12. Entomographia Imperii Russici, I–III // Mosquae, 1820–1828. P. 28.
10. Motschulsky V. Die Käfer Russlands. Moscou, 1850. P. 99.
11. Арнольд Н. Каталог насекомых Могилевской губернии. СПб., 1902. С. 150.
12. Ulanowski A. S. // Sprawozd. kom. fiziologr. 1884. S. 1.
13. Wankowic J. // Ann. Soc. Ent. France. 1867. Vol. 5 (4): 297–300. P. 249.
14. Пискунов В. И. Сем. Gelechiidae – Выемчатокрылые моли. Определитель насекомых европейской части СССР. Т. IV. Чешуекрылые. Ч. 2. Л., 1981. С. 659.
15. Пискунов В. И., Усков М. В. // Eversmannia. Энтомологические исследования в Европейской России и соседних регионах. 2005. Вып. 2. 20. X.
16. Лопатин И. К. Жуки-листоеды (Insecta, Coleoptera, Chrysomelidae) Центральной Азии. Мн., 2010. С. 1.
17. Лопатин И. К., Нестерова О. Л. Насекомые Беларуси: листоеды (Coleoptera, Chrysomelidae). Мн., 2005. С. 1.
18. Лопатин И. К. // Сб. науч. работ. АН СССР. Л., 1977. С. 30.

19. Лопатин И.К. // Энтотомол. обозрение. 1976. Т. 55. С. 105.
20. Лопатин И.К. // Евразийский энтотомол. журн. 2009. Т. 8 (2). С. 145.
21. Lopatin I. K., Nesterova O. L. // Zoosystematica Rossica. 2006. Vol. 15. № 2. P. 308.
22. Lopatin I., Nesterova O. // Genus. Wrocław, 2006. Vol. 17 (4): 537-539.
23. Lopatin I. K., Nesterova O. L. // Genus. Wrocław, 2010. Vol. 21 (1). P. 83.
24. Лопатин И.К., Нестерова О.Л. // Евразийский энтотомол. журн. 2002. Т. 1. Вып. 2. С. 215.
25. Лопатин И.К., Нестерова О.Л. // Там же. 2007. Т. 6. Вып. 4. С. 429.
26. Нестерова О.Л. // Энтотомол. обозрение. 2007. LXXXVI, 3. С. 498.
27. Nesterova O. L., Lopatin I. K. // Zoosystematica Rossica. 2009. Vol. 18 (2). P. 273.
28. Нестерова О.Л., Лопатин И.К. // Вестн. БГУ. Сер. 2. 2002. № 2. С. 39.
29. Лопатин И.К. // Насекомые Монголии. Л., 1975. Вып. 3. С. 191.
30. Лопатин И.К. // Энтотомол. обозрение. 1981. Т. 60. Вып. 3. С. 623.
31. Lopatin I. K. // Boll. Mus. civ. St. Nat. Verona, 1981. VIII. P. 255.
32. Lopatin I. K. // Entomologica Basiliensis. 1982. Vol. 7. P. 413.
33. Лопатин И.К. // Энтотомол. обозрение. 1984. Т. 63. Вып. 4. С. 79.
34. Lopatin I., Chikatunov V. // Isr. Journ. Ent. 1997. Vol. 31. P. 97.
35. Lopatin I. K. // Mitt. intern. entomol. ver. Frankfurt a. M., 2001. Bd. 26. H. 1/2. S. 13.
36. Лопатин И.К. // Энтотомол. обозрение. 2002. Т. 81. Вып. 1. С. 111.
37. Лопатин И.К. // Там же. Вып. 4. С. 874.
38. Лопатин И.К. // Там же. 2004. Т. 83. Вып. 3. С. 614.
39. Lopatin I. K. // Apollo Books. Denmark, 2010. P. 580.
40. Stekolshchikov A. V., Leshchinskaya N. V., Buga S. V. // Zoosystematica Rossica. 2008. 17 (1). P. 73.
41. Stekolshchikov A. V., Buga S. V., Leshchinskaya N. V. // Ibid. 2008. 17 (1). P. 61.
42. Stekolshchikov A. V., Leshchinskaya N. V., Buga S. V., Voronova N. V. // Zoosystematica Rossica. 2010. 19 (1). P. 61.
43. Нестерова О.Л. // Вестн. БГУ. Сер. 2. 2010. № 1. С. 29.
44. Нестерова О.Л. // Там же. 2011. № 1. С. 59.
45. Воронова Н.В., Буга С.В. // Тр. БГУ. Сер. Физиологические, биохимические и молекулярные основы функционирования биосистем. 2010. Т. 4. Ч. 2. С. 215.
46. Воронова Н.В., Вишневская С.М., Буга С.В. // Вестн. БГУ. Сер. 2. 2010. № 2. С. 70.
47. Konstantinov A. Revision of the Palearctic species of Aphthona Chev. and cladistic classification of the Aphthonini. Assoc. Publ. 1998. P. 1.
48. Konstantinov A., Lingafelter S. Revision of the Oriental Species of Aphthona Chev. (Coleoptera, Chrysomelidae). Entomol. Soc. Washington, 2002. P. 1.
49. Konstantinov A., Vandenbeg N. Handbook of Palearctic Flea Beetles (Coleoptera, Chrysomelidae, Alticinae). Assoc. Publishers. 1996. P. 1.
50. Рындевич С.К. Фауна и экология водных жесткокрылых Беларуси: в 2 ч. Мн., 2004. Ч. 1.
51. Tereshkin A. M. // Вести АН Беларуси. Сер. биол. наук. 1989. 1: 114. Деп. в ВИНТИ 26.05.88, 2677-V 88.
52. Tereshkin A. // Entomofauna. 1992. 13, 10. P. 93.
53. Tereshkin A. M. // Ibid. 1996. 17, 5. P. 89.
54. Tereshkin A. M. // Euroasian Entomological J. 2004. 3 (2). P. 139.

Поступила в редакцию 06.06.11.

Игорь Константинович Лопатин – доктор биологических наук, профессор кафедры зоологии. Лауреат Государственной премии Белоруссии (1984), лауреат премии им. А.Н. Севченко (1994), председатель Белорусского энтотомологического общества, почетный член Русского энтотомологического общества, Заслуженный работник образования Беларуси, Заслуженный работник БГУ. Сфера научных интересов – систематика и экология насекомых, зоогеография. Курирует научно-исследовательскую работу студентов и аспирантов в области фауны и экологии насекомых. Является автором 7 учебников по зоологии и зоогеографии, 5 монографий и более 250 публикаций в научных журналах многих стран (России, США, Германии, Чехословакии, Венгрии, Израиля, Швейцарии, Италии).

УДК 577.21: 632.3.01

Е.А. НИКОЛАЙЧИК, О.К. ПРИСЯЖНЕНКО, Е.В. КУЛИК, Л.Н. ВАЛЕНТОВИЧ, ЧЖАН ЯНЬ (КНР),
Ю.В. СЕЛЕЗНЕВА, А.Н. ЕВТУШЕНКОВ

ОТ БАКТЕРИАЛЬНЫХ ГЕНОВ – К ТРАНСГЕННЫМ РАСТЕНИЯМ

Our recent studies on molecular mechanisms of interaction between *Solanaceae* plants and the phytopathogenic bacterium *Pectobacterium carotovorum* and approaches to constructing transgenic plants resistant to pathogens and herbicides are discussed in the article. We have demonstrated that the type III secretion system (TTSS) of *P. carotovorum* is used by the pathogen to deliver at least one virulence protein, DspE, directly into plant cells where it is involved in disrupting signal cascades leading to the activation of plant defenses. Several membrane receptor-like kinases directly interacting with DspE have been identified in tomato and tobacco plants. Treatment of plants with solutions containing several other substrates of the *P. carotovorum* TTSS (the HrpN, HrpJ and HrpW proteins), as well as expressing the HrpN protein inside plant cells leads to increased expression of plant *PR* genes and induction of resistance to several pathogens.

Основными направлениями исследований кафедры молекулярной биологии являются изучение молекулярных механизмов взаимодействия бактериального фитопатогена *Pectobacterium carotovorum*

с растениями семейства пасленовых, а также создание трансгенных растений с заданными свойствами. Получение новых высокопродуктивных, устойчивых к заболеваниям и резистентных к гербицидам культурных растений позволит повысить их урожайность и существенно снизить стоимость конечного продукта, что обусловит увеличение его конкурентоспособности. Далее приведены последние результаты исследований сотрудников кафедры молекулярной биологии в этом направлении, включая и некоторые не опубликованные ранее данные.

Любой фитопатогенный микроорганизм для успешной колонизации растения-хозяина синтезирует (и, как правило, секретирует за пределы своей клетки) набор белковых факторов вирулентности и низкомолекулярных метаболитов, модифицирующий в свою пользу метаболизм клеток хозяина. С другой стороны, устойчивые к заболеваниям растения способны распознавать характерные для патогена, расположенные на поверхности его клеток или секретируемые им молекулы и активировать соответствующие локальные или системные защитные механизмы.

Исследования фитопатогена *P. carotovorum* позволили выявить у этих бактерий наличие специализированного секреторного аппарата, системы секреции III типа (ССТТ), предназначенного для доставки нескольких белков патогена в межклеточные пространства и непосредственно в клетки растения-хозяина. Показано также участие ССТТ во взаимодействии с растением как в случае его колонизации патогеном с последующим развитием характерных симптомов заболевания, так и при успешном распознавании патогена растением, приводящем к развитию локального (реакции гиперчувствительности) и системного защитного ответа растения [1].

В ходе исследований нам удалось выяснить, что несколько белков, являющихся субстратами ССТТ, непосредственно вовлечены в процесс распознавания патогена растением. Наиболее интересным из субстратов ССТТ является белок DspE. На сегодняшний момент это единственный белок бактерий *P. carotovorum*, для которого продемонстрированы транспорт в клетки растений и эффекторная функция [2]. Тщательный анализ доступных полных последовательностей геномов четырех различных штаммов *Pectobacterium* не позволил нам выявить никаких других кандидатов на роль эффекторов. Оценка уровней экспрессии PR-генов в интактных и зараженных бактериями *P. carotovorum* клубнях картофеля продемонстрировала сильную индукцию двух PR-генов (PR-3 и PR-5) в зоне инфекции и близкий к неиндуцированному уровень экспрессии этих генов в непораженных частях клубней. При заражении клубней мутантами бактерий *P. carotovorum* по гену *dspE* или по генам ССТТ наблюдался высокий уровень экспрессии PR-генов по всему клубню. Эти данные свидетельствуют о том, что белки, доставляемые в клетки растений бактериями *P. carotovorum* при помощи ССТТ, могут блокировать развитие системных защитных реакций в организме растения-хозяина [3].

При контакте бактерий *P. carotovorum* с устойчивыми растениями, например табака, транспорт белка DspE в клетки растения приводит к противоположному результату – быстрой индукции локальной защитной реакции (РГ) и ограничению распространения патогена за пределы зоны первичного контакта [2].

Очевидно, что для блокирования защитных реакций организма хозяина эффекторный белок DspE должен каким-то образом взаимодействовать в клетках растения с резидентными белками, скорее всего с компонентами сигнальных каскадов, приводящих к активации защитных реакций. Также представлялось весьма вероятным присутствие у устойчивых растений специализированных рецепторов, непосредственно распознающих эффекторный белок патогена (или распознающих модификацию эффектором какого-то клеточного белка). В связи с этим с помощью дрожжевой двухгибридной системы был произведен поиск белков растений, способных взаимодействовать с DspE. Такой подход позволил нам идентифицировать гены нескольких белков томата и табака, непосредственно взаимодействующих с DspE. Все эти гены принадлежат к одному семейству трансмембранных рецепторных киназ. Фрагменты генов, идентифицированные в ходе скрининга, содержали только цитоплазматический киназный домен, однако наличие в базах данных полной геномной последовательности *Solanum lycopersicum* позволило найти полную последовательность клонированного в ходе двухгибридного скрининга гена, с продуктом которого взаимодействует DspE. Полная последовательность гена помимо клонированной части, соответствующей серин-треониновому киназному домену, содержала также трансмембранный сегмент и внеклеточную рецепторную часть с LRR-доменом (с повторами, обогащенными лейциновыми остатками). Несмотря на то, что для DspE-взаимодействующих белков из растений табака установить полную последовательность их генов пока не удалось (в связи с ее отсутствием в базах данных), степень сходства цитоплазматического киназного домена с таковым из

растений томата свидетельствует о принадлежности этих белков тому же семейству. Таким образом, взаимодействующие с DspE белки, идентифицированные нами у растений томата и табака, являются типичными для растений мембранными рецепторными киназами с внеклеточным сенсорным доменом, предназначенным для детекции пептидных лигандов. Однако, поскольку DspE взаимодействует не с наружным рецепторным, а с цитоплазматическим каталитическим доменом идентифицированных нами белков, эти рецепторы растений не предназначены для детекции DspE. Возможно, данные рецепторные киназы необходимы для детекции какого-то другого специфического для патогена белка с последующей активацией сигнального каскада, приводящего к индукции защитных реакций, а взаимодействие DspE с киназными доменами этих рецепторов может влиять на их активность и воздействовать на активацию защитных реакций растений. Также весьма вероятно, что результат такого взаимодействия DspE с рецепторными киназами растения-хозяина (картофеля) и устойчивых растений будет различаться.

Поскольку DspE взаимодействует с несколькими (возможно, многими) рецепторными мембранными киназами, что может блокировать работу последних и соответственно детекцию патогена, мы проверили влияние DspE *P. carotovorum* на базовый иммунитет растения, индуцируемый молекулярными образцами патогена (PAMP-triggered immunity, или PТИ). Эти эксперименты показали, что бактерии *P. carotovorum* способны блокировать PAMP-индуцируемый иммунитет, причем для этого абсолютно необходимы функционально активная ССТТ и белок DspE.

Еще три субстрата ССТТ – белки HrpN, HrpW и HrpJ – непосредственно участвуют во взаимодействии с растениями. Они секретируются посредством ССТТ за пределы бактериальной клетки, но, в отличие от эффектора DspE, в цитоплазму клетки растения не транспортируются и относятся к классу вспомогательных, или хелперных, компонентов ССТТ. Показано, что очищенные препараты харпинов HrpW и HrpN, а также (с меньшей эффективностью) белка HrpJ при инъекции в листья растений способны индуцировать реакцию гиперчувствительности. Очевидно, что растения имеют какую-то рецепторную систему, позволяющую им детектировать появление хелперных белков ССТТ и своевременно реагировать на контакт с патогеном. Так, в частности, установлено, что обработка растений табака и томата препаратами харпинов приводит к индукции целого спектра хорошо изученных PR-генов этих растений и к повышению устойчивости растений томата к *Phytophthora infestans* и *Cladosporium fulvum* [4], а растений табака – к *Botrytis cinerea* [7].

Альтернативой обработке растений препаратами белковых элиситоров защитного ответа является экспрессия этих белков непосредственно в клетках растений. Для проверки эффективности такого подхода были сконструированы трансгенные растения *Nicotiana tabacum*, экспрессирующие гены *hrpN*, *hrpW* или *hrpJ* [5]. Экспрессия полноразмерного HrpJ в клетках растений оказалась токсичной, в связи с чем нам удалось получить растения, экспрессирующие только фрагменты HrpJ. Среди трансгенных линий, экспрессирующих HrpW или HrpJ, зафиксировать существенное повышение устойчивости к патогенам не удалось. Однако у растений, экспрессирующих HrpN, наблюдалась существенная индукция ряда PR-генов, коррелирующая с уровнем экспрессии трансгена [6], а также повышенная устойчивость к *Botrytis cinerea*, *Sclerotinia sclerotiorum* и *Pseudomonas syringae* pv. *tabaci* [7, 8].

Еще одну потенциальную возможность для создания растений, устойчивых к бактериальным патогенам, открывают наши исследования специализированных секреторных шаперонов ССТТ. Определение полной нуклеотидной последовательности эффекторного локуса ССТТ позволило выявить две небольшие открытые рамки считывания (*dspF* и *shcW*), расположенные сразу после дивергентно транскрибируемых генов *dpsE* и *hrpW* и, скорее всего, входящие в состав оперонов с геном эффектора или харпина [9]. Рассчитанные свойства белковых продуктов этих рамок считывания показывают сходство с известными секреторными шаперонами ССТТ. Клонирование гена *dspF* в векторе экспрессии под контролем регулируемого промотора позволило нам показать специфическое взаимодействие DspF с DspE, причем это взаимодействие оказалось настолько сильным, что даже относительно небольшое повышение количества DspF в бактериальной клетке приводит к полному связыванию DspE и блокированию его транспорта в клетки растений [10]. Интересно, что такое связывание не является строго видоспецифичным, поскольку DspF из *P. carotovorum* способен эффективно связываться с DspE из *P. atrosepticum*. Эти результаты позволяют предположить, что экспрессия трансгена *dspF* в клетках растений может привести к такому же полному связыванию DspE при инфекции патогенами из рода *Pectobacterium* и, возможно, обеспечить устойчивость к этому патогену.

Помимо разработки стратегий создания растений, устойчивых к патогенам, актуальным является получение трансгенных гербицидустойчивых культур. Так, со времени начала коммерциализации транс-

генных растений (1996–2007) устойчивость к гербицидам была последовательно выделена как главный желаемый признак. В 2008 г. 85 % площадей, отданных под трансгенные культуры, занимали гербицид-устойчивые растения, среди которых почти все были резистентны к глифосату [11].

Глифосат – это гербицид широкого спектра действия, а также активный ингредиент таких промышленных препаратов, как Торнадо, Раундап и др. Он ингибирует 5-енолпирувилшкимат-3-фосфат синтазу (EPSPS). Данный фермент, кодируемый в ядре, но локализованный в пластидах растений, катализирует предпоследнюю реакцию шикиматного пути и необходим для синтеза ароматических аминокислот в бактериях, грибах и растениях [12]. Некоторые прокариоты экспрессируют устойчивую к глифосату EPSPS, что объясняется наличием нескольких точечных мутаций в ее аминокислотной последовательности [13]. В результате глифосат теряет способность связываться с таким мутантным ферментом и инактивировать его. Манипуляции с бактериальными EPSPS-генами с целью уменьшения сродства EPSPS к глифосату являются наиболее эффективным подходом к созданию устойчивых к глифосату растений.

В качестве первого шага по созданию растений, устойчивых к глифосату, были клонированы гены EPSPS *Dickeya dadantii* и *Escherichia coli*. Анализ литературных данных показал, что повысить устойчивость EPSPS к глифосату могут одиночные замены пролина на серин в 101 положении (P101S), треонина на метионин в 42 позиции (T42M), а также глицина на аланин в 96 положении (G96A) [14]. Поскольку последняя замена резко снижает каталитическую активность фермента, на первом этапе работы в клонированные гены были введены первые две замены. Искомые мутации в клонированные гены были введены при помощи сайт-направленного мутагенеза. В результате были отобраны плазмиды с тремя типами мутаций, соответствующих аминокислотным заменам P101S в генах EPSPS *E. coli* и *D. dadantii*, а также двойной замене T42M и P101S в гене EPSPS *E. coli*. Наиболее устойчивым к ингибированию глифосатом оказался продукт гена *D. dadantii* с одиночной заменой P101S (МИК=20 мМоль/л). Продукт гена *E. coli* с такой же заменой оказался в четыре раза более чувствительным (МИК=5 мМоль/л), а добавление к гену еще одной замены (T42M) повышало устойчивость его продукта в два раза (МИК=10 мМоль/л). Полученные мутантные копии генов были встроены в бинарный вектор pBI121 для последующей агробактериальной трансформации растений рапса.

Другим подходом к получению устойчивости к глифосату является введение в геном растения генов, способных обеспечивать инактивацию этого гербицида. В рамках этого направления был клонирован ген глициноксидазы *Bacillus subtilis*. Этот фермент обладает малой субстратспецифичностью и способен окислять некоторые D-аминокислоты и амины, в том числе и глифосат, хотя и с низкой эффективностью [15]. Введение методом сайт-направленного мутагенеза мутаций, соответствующих трем аминокислотным заменам в активном центре фермента, позволило повысить сродство этого фермента к глифосату. Плаزمида с мутантным вариантом глициноксидазы *B. subtilis* в клетках *E. coli* оказалась способной обеспечивать устойчивость к глифосату в концентрации до 10 мМоль/л. Ведется работа по проверке эффективности этого фермента в растениях.

Таким образом, выявленные механизмы действия белковых факторов вирулентности *P. carotovorum* и идентификация в клетках растений белков-мишеней для эффектора DspE, а также созданные векторы с мутантными бактериальными генами, обуславливающими устойчивость к глифосату, открывают перспективы создания культур, устойчивых к патогенам и резистентных к гербицидам.

1. Николайчик Е.А., Лагоненко А.Л., Валентович Л.Н. и др. // Вестн. БГУ. 2006. Сер. 2. № 3. С. 60.
2. Николайчик Е.А., Овчинникова Т.В., Валентович Л.Н. и др. // Докл. НАН Беларуси. 2005. Т. 49. № 5. С. 81.
3. Николайчик Е.А., Хомская Л.Л., Игнатенко Е.И. // Тр. БГУ. 2009. Т. 4. С. 197.
4. Чжан Янь, Николайчик Е.А., Стадниченко М.А., Поликсенова В.Д. // Вестн. БГУ. 2010. Сер. 2. № 1. С. 44.
5. Присяжненко О.К., Евтушенков А.Н. // Агрэкологія: Сб. науч. тр. Горки, 2006. Вып. 4. С. 126.
6. Присяжненко О.К., Николайчик Е.А., Евтушенков А.Н. // Докл. НАН Беларуси. 2007. Т. 51. № 5. С. 85.
7. Prisyazhnenko O.K., Evtushenkov A.N. // Youth and progress of biology: abstracts of VI international scientific conference for students and Ph.D. students. Lviv, Sept. 21–24. 2010. P. 195.
8. Присяжненко О.К., Евтушенков А.Н. // Вести НАН Беларуси. 2006. № 5. С. 146.
9. Валентович Л.Н., Евтушенков А.Н., Николайчик Е.А. // Тр. БГУ. 2009. Т. 4. № 1. С. 182.
10. Валентович Л.Н., Николайчик Е.А., Губич О.И. // Там же. 2008. Т. 2. С. 190.
11. Gaines T., Zhang W., Wang D. et al. // PNAS. 2010. Vol. 107. № 3. P. 1029.
12. Funke T., Han H., Healy-Fried M., Fischer M., Schoenbrunn E. // PNAS. 2006. Vol. 103. № 35. P. 13010.

13. Cajacob C., Feng P., Heck J. et al. Handbook of plant biotechnology. Wiley; New York, 2004. P. 353.
 14. Comai L., Facciotti D., Hiatt W. et al. // Nature. 1985. Vol. 317. P. 741.
 15. Job V., Molla G., Pilone M.S., Pollegioni L. // Eur. J. Biochem. 2002. Vol. 269. P. 1456.

Поступила в редакцию 16.06.11.

Евгений Артурович Николайчик – кандидат биологических наук, доцент кафедры молекулярной биологии. Область научных интересов – молекулярная биология, микробиология, фитопатология. Автор 99 научных работ.

Ольга Константиновна Присяженко – младший научный сотрудник кафедры молекулярной биологии. Область научных интересов – молекулярная биология, геномика, растительный иммунитет, биохимия. Автор 20 научных работ.

Елена Вячеславовна Кулик – кандидат биологических наук, научный сотрудник кафедры молекулярной биологии. Область научных интересов – молекулярная биология, фитопатология. Автор 13 научных работ.

Леонид Николаевич Валентович – кандидат биологических наук, ассистент кафедры молекулярной биологии. Область научных интересов – молекулярная биология, фитопатология. Автор 20 научных работ.

Чжан Янь – аспирант кафедры молекулярной биологии. Научный руководитель – Е.А. Николайчик. Область научных интересов – молекулярная биология. Автор 5 научных работ.

Юлия Валерьевна Селезнева – кандидат биологических наук, научный сотрудник кафедры молекулярной биологии. Область научных интересов – молекулярная биология, микробиология, фитопатология. Автор 14 научных работ.

Анатолий Николаевич Евтушенко – доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой молекулярной биологии. Область научных интересов – молекулярная биология, микробиология, вирусология, молекулярная биотехнология биологически активных веществ, фитопатология. Автор свыше 180 научных работ, в том числе 1 учебного пособия, 7 патентов.

УДК 577.1

И.В. СЕМАК, В.П. КУРЧЕНКО, М.В. ШОЛУХ

БИОХИМИЯ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

Research achievements of Department of Biochemistry in the field of biochemistry of biologically active compounds are reviewed.

Мелатонин и серотонин

Серотонин (5-гидрокситриптамин) и мелатонин (N-ацетил-5-метокситриптамин) контролируют многие жизненно важные физиологические и биохимические процессы, протекающие в организме позвоночных. Проведенные на кафедре биохимии исследования позволили расширить существующие представления о метаболизме данных соединений и биологической активности их метаболитов [1–11]. На молекулярно-биологическом и биохимическом уровнях были изучены серотонин- и мелатонинэргические системы в коже млекопитающих [2, 4–11], открыты новые пути метаболизма нейрого르몬а мелатонина [1, 3]. Экспериментально доказано, что при физиологических условиях метаболизм мелатонина в митохондриях печени обеспечивается благодаря цитохром P-450-опосредованным реакциям деметилирования и гидроксирования. В митохондриях и микросомах печени крыс образуется шесть метаболитов мелатонина, четыре из которых идентифицированы как N-ацетилсеротонин, 2-гидроксимелатонин, 6-гидроксимелатонин и N¹-ацетил-N²-формил-5-метоксикинурамин (АФМК). В метаболизм мелатонина в митохондриях печени крыс кроме CYP1A2 вовлечены дополнительно CYP3A и CYP2E1, в то время как CYP3A и CYP2C6 отвечают главным образом за метаболизм мелатонина в микросомах печени [1].

Установлено, что в условиях окислительного стресса мелатонин в митохондриях подвергается реакциям псевдопероксидазного окисления, катализируемым цитохромом *c*. Псевдопероксидазное окисление мелатонина цитохромом *c* до N¹-ацетил-N²-формил-5-метоксикинурамина и N¹-ацетил-5-метоксикинурамина проходит через последовательное образование в качестве основных интермедиатов 2-гидроксимелатонина и 2,3-дигидроксимелатонина [3].

Получены данные, подтверждающие высокую вероятность реакции псевдопероксидазного окисления мелатонина цитохромом *c* в условиях *in vivo*. АФМК и 2-гидроксимелатонин были обнаружены в эпифизе и митохондриях сердца крыс [3].

Установлено, что мелатонин и его метаболиты оказывают модулирующее действие на ферменты антиоксидантной защиты и комплексы дыхательной цепи митохондрий, препятствуют развитию перекисного окисления липидов и окислительному повреждению митохондриальных белков.

Изучена биотрансформация серотонина в коже грызунов (хомяков, мышей и крыс). Установлено, что серотонин может подвергаться реакциям ацетилирования и окислительного дезаминирования, ка-

тализируемым арилалкиламин N-ацетилтрансферазой и моноаминоксидазой соответственно [2, 11]. Полученные результаты свидетельствуют о том, что кожа может активно участвовать в нейтрализации циркулирующего в крови серотонина в результате его включения в процессы биосинтеза мелатонина либо благодаря ферментативной деградации до биологически неактивных продуктов.

Обнаружено, что арилалкиламин N-ацетилтрансферазная активность варьирует в зависимости от вида животного, анатомической локализации анализируемого образца кожи, стадии роста волос и наличия патологии [2, 6, 8]. Очевидно, что метаболические превращения серотонина являются важным звеном целого ряда процессов, происходящих в коже как в естественных условиях, так и при различных заболеваниях.

Стероиды

Цитохром P450scs (CYP11A1) митохондрий надпочечников играет ключевую роль в биосинтезе стероидных гормонов из холестерина в организме млекопитающих. В результате исследований, проведенных в рамках совместного с университетом Теннесси (США) научного проекта, обнаружены альтернативные каталитические активности цитохрома P450scs [12–16]. Получены экспериментальные доказательства участия цитохрома P450scs в метаболизме эргостерола, витамина D₂, а также витамина D₃ и его предшественника 7-дегидрохолестерола.

Установлено, что цитохром P450scs катализирует реакции 22- и 20-гидроксирования и реакцию расщепления связи C20–C22 с удалением боковой цепи 7-дегидрохолестерола:

7-дегидрохолестерол → 22(ОН)-7-дегидрохолестерол → 20,22(ОН)₂-7-дегидрохолестерол → 7-дегидропрегненолон.

В свою очередь, 7-дегидропрегненолон подвергается дальнейшему метаболизму в эндоплазматическом ретикулуме с образованием 17(ОН)-7-дегидропрегненолона и 7-дегидропрогестерона в реакциях, катализируемых цитохромом P450c17 и 3β-гидроксистероиддегидрогеназой.

Установлено, что в реконструированной стероидгидроксильной системе, содержащей цитохром P450scs, из эргостерола образуются 24-гидроксиэргостерол и 17,24-дигидроксиэргостерол, из витамина D₂ – 20-гидрокси витамин D₂ и 17,20-дигидрокси витамин D₂, а основным продуктом биотрансформации витамина D₃ является 20S-гидрокси холекальциферол, который затем метаболизируется в 20,22-дигидрокси холекальциферол и тригидрокси кальциферол.

Флавоноиды

Получены новые данные об особенностях биотрансформации флавоноидов [17–19]. Установлено, что флавоноиды, имеющие свободную ОН-группу в положении 3, кетогруппу в положении 4 и двойную связь C2–C3, способны окисляться в реакциях пероксидазного типа, катализируемых лактопероксидазой и пероксидазой хрена. В свою очередь, продукты окисления могут неферментативно взаимодействовать с восстановленным глутатионом с образованием гидратированных моноглутатионовых конъюгатов [17, 18].

Глутатион S-трансферазы человека и крысы способны катализировать реакции конъюгации GSH с флавоноидами, имеющими в своей структуре ОН-группы в положениях 3, 5 и 7. Глутатион S-трансферазы катализируют образование моноглутатионовых конъюгатов кверцетина и галангина нескольких типов. Кроме гидратированных конъюгатов, в обоих случаях наблюдается образование негидратированных форм конъюгата, что нехарактерно для продуктов пероксидазного окисления флавоноидов [17, 18].

Изучена окислительная модификация кверцетина различными гемопротейнами [19]. Установлено, что одним из продуктов окисления является димер кверцетина. Олигомерные продукты окисления кверцетина обнаружены в чешуе лука репчатого (*Allium cepa* L.) [19].

Простаноиды

В сотрудничестве с лабораторией химии простагландинов Института биоорганической химии НАН Беларуси проведен анализ биохимических свойств и механизмов действия природных простагландинов и их синтетических аналогов с целью выявления перспективных соединений, пригодных для использования в качестве лекарственных препаратов для медицины и ветеринарии [20–26].

Проанализированы свыше 70 новых синтетических структур, среди которых выявлено 8 соединений, обладающих высокой цитопротекторной активностью на клеточных моделях повреждения клеток печени галогензамещенными углеводородами, 3 соединения простааноида с выраженной антигистаминной активностью. Установлена способность 5 простааноидов группы В подавлять рост опухолевых клеток (эпителиальная карцинома шейки матки) в культуре.

Проведенный анализ биохимических механизмов наблюдаемых эффектов простааноидов позволил установить ряд соединений, которые могут снижать интенсивность свободнорадикальных процессов

в клетке, регулировать активность цитохрома P4502E1, стабилизировать внутриклеточный кальциевый гомеостаз и оказывать рецептор-опосредованное действие на различные изоферменты аденилатциклазы. Показана способность некоторых простаноидов и природных простагландинов подавлять активирующее действие катехоламинов на нервные окончания, что свидетельствует о конкурентных взаимодействиях между простагландиновой и адренергической системами сигнальной трансдукции в нервной системе.

Детальный структурно-функциональный анализ перспективных соединений позволил выявить структурные особенности простаноидов, обеспечивающие проявления указанных свойств, и создать необходимые предпосылки для разработки рекомендаций для синтеза простаноидов нового поколения, обладающих полезными для фармакологического использования свойствами.

Лигноидные соединения

Исследованы лигноидные соединения расторопши пятнистой и льна масличного. Разработаны методические подходы их выделения и очистки, описаны некоторые физико-химические и биологические свойства.

Обнаружены различия в компонентном составе индивидуальных флаволигнанов в плодах расторопши пятнистой, выращенных в различных географических регионах Европы, что позволило выделить две хеморасы этого лекарственного растения – силибининовую и силидианиновую.

Установлен антипролиферативный эффект для секоизоларицирезинола и секоизоларицирезинол-4',4''-диацетата из семян льна масличного по отношению к опухолевым В-лимфобластоидным клеткам линии Raji. Впервые выявлена индукция апоптоза для секоизоларицирезинола и секоизоларицирезинол-4',4''-диацетата, сопоставимая с действием противоопухолевого препарата эпопозид [27–30].

Терпеноиды

Обнаружен ряд терпеноидных веществ, обладающих церкарицидным действием [31].

На их основе разработаны индивидуальные средства защиты от внедрения в кожу человека церкарий – водных личинок трематод семейства Schistosomatidae: *Trichobilharzia szidati*, *Trichobilharzia franki* и *Bilharziella polonica*.

Белки

Изучены механизмы агрегации и денатурации олигомерных белков – ведущих ферментов азотистого обмена. Показано, что оксидативный стресс инициирует агрегацию белков и препятствует их рефолдингу, что подтверждает участие простых неамилоидных белков в развитии болезни Альцгеймера и других конденсированных заболеваний. Работа проводилась в рамках проекта INTAS при сотрудничестве с учеными Франции, России, Швеции и Италии [32–34].

Выделены рекомбинантный человеческий лактоферрин из молока трансгенных коз, природный лактоферрин из козьего молока и лактоферрин из женского молока. Проведен сравнительный анализ физико-химических характеристик выделенных лактоферринов с помощью ферментативного дегликозилирования, пептидного картирования, электронного парамагнитного резонанса, дифференциальной сканирующей калориметрии, спектрофотометрии, электрофореза и иммунохимии. Получены экспериментальные доказательства идентичности основных физико-химических свойств и биологической активности лактоферрина из женского молока и рекомбинантного человеческого лактоферрина из молока трансгенных коз, полученных в Научно-практическом центре НАН Беларуси по животноводству в рамках научно-технической программы Союзного государства «БелРосТрансген» [35, 36].

Аналитическая биохимия

Разработаны методики количественного определения целого ряда лекарственных соединений и их метаболитов в биоматериале с помощью высокоэффективной жидкостной хромато-масс-спектрометрии [37].

Разработаны методики контроля подлинности и качества алкоголь содержащей и иной продукции биологического происхождения [38].

1. Semak I., Korik E., Antonova M. et al. // J. Pineal Res. 2008. Vol. 45. № 4. P. 515.
2. Semak I., Korik E., Naumova M. et al. // Arch. Biochem. Biophys. 2004. Vol. 421. P. 61.
3. Semak I., Korik E., Naumova M. et al. // Biochemistry. 2005. Vol. 44. № 26. P. 9300.
4. Slominski A., Semak I., Pisarchik A. et al. // FEBS Lett. 2002. Vol. 511. P. 102.
5. Slominski A., Pisarchik A., Semak I. et al. // FASEB J. 2002. Vol. 16. P. 896.
6. Slominski A., Pisarchik A., Semak I. et al. // J. Invest. Dermatol. 2002. Vol. 119. P. 934.
7. Slominski A., Pisarchik A., Johansson O. et al. // Biochim. Biophys. Acta. 2003. Vol. 1639. P. 80.
8. Slominski A., Pisarchik A., Semak I., Sweatman T., Wortsman J. // Eur. J. Biochem. 2003. Vol. 270. P. 3335.

9. Slominski A., Fischer T.W., Zmijewski M.A. et al. // *Endocrine*. 2005. Vol. 27. № 2. P. 137.
10. Fischer T.W., Sweatman T.W., Semak I. et al. // *FASEB J*. 2006. Vol. 20. № 9. P. 1564.
11. Семак И.В., Корик Е.О., Наумова М.В. // *Вестні НАН Беларусі. Сер. мед.-біял. навук.* 2004. № 4. С. 69.
12. Slominski A., Zjawiony J., Wortsman J. et al. // *Eur. J. Biochem*. 2004. Vol. 271. № 21. P. 4178.
13. Slominski A., Semak I., Zjawiony J. et al. // *FEBS J*. 2005. Vol. 272. № 16. P. 4080.
14. Slominski A., Semak I., Zjawiony J. et al. // *Chem. Biol*. 2005. Vol. 12. № 8. P. 931.
15. Slominski A., Semak I., Wortsman J. et al. // *FEBS J*. 2006. Vol. 273. № 13. P. 2891.
16. Slominski A.T., Zmijewski M.A., Semak I.V. et al. // *PLoS*. 2009. Vol. 4. № 2. P. 4309.
17. Семак И.В., Корик Е.О., Наумова М. В., Сломински А. // *Вестні НАН Беларусі. Сер. мед.-біял. навук.* 2003. № 4. С. 50.
18. Корик Е.О., Наумова М.В., Сломински А., Семак И.В. // *Там же.* 2003. № 4. С. 62.
19. Cherviakovsky E.M., Bolibrukh D.A., Baranovsky A.V. et al. // *Biochem. Biophys. Res. Commun*. 2006. Vol. 342. P. 459.
20. Шолух М.В., Губич О.И., Королева Е.В. и др. // *Вестні НАН Беларусі. Сер. хім. навук.* 2004. № 2. С. 115.
21. Губич О.И., Королева Е.В., Чернихова Т.В., Шолух М.В. // *Новости мед.-биол. наук.* 2004. № 4. С. 64.
22. Губич О.И., Шолух М.В. // *Биохимия*. 2006. Т. 71. № 3. С. 293.
23. Hübich A.I., Zheldakova T.A., Chernikhova T.V. et al. // *Biochem. Biophys. Res. Commun*. 2006. Vol. 341. P. 357.
24. Hübich A.I., Bondar A.Y., Kastuik T.U. et al. // *Hepato. Res*. 2007. Vol. 37. № 6. P. 416.
25. Sholukh M.V., Hübich A.I., Pashkovsky F.S., Lakhvich F.A. // *Prostanoids and other lipid mediators*. 2010. Vol. 93. P. 134.
26. Hübich A.I., Lakhvich F.A., Sholukh M.V. // *Prostaglandins and Other lipid mediators*. 2009. Vol. 89. P. 16.
27. Шутова А.Г., Спиридович Е.В., Гаранович И.М. и др. // *Растительные ресурсы*. 2011. Вып. 1. С. 72.
28. Стасевич О.В., Михаленок С.Г., Курченко В.П. // *Химия природ. соединений*. 2009. № 1. С. 21.
29. Стасевич О.В., Михаленок С.Г., Курченко В.П. // *Хим.-фарм. журн.* 2009. Т. 43. № 7. С. 41.
30. Матвеев А.В., Коняева Е.И., Курченко В.П., Щекатихина А.С. // *Эксперим. и клин. гастроэнтерология*. 2011. № 2. С. 130.
31. Ризевский С.В., Курченко В.П. // *Докл. НАН Беларусі.* 2010. Т. 54. № 6. С. 72.
32. Golub N.V., Markossian K.A., Kasilovich N.V. et al. // *Biophysical Chemistry*. 2008. Vol. 135. P. 125.
33. Markossian K.A., Golub N.V., Kleymenov S.Yu. et al. // *International J. of Biological Macromolecules*. 2009. Vol. 44. P. 441.
34. Golub N.V., Markossian K.A., Sholukh M.V. et al. // *European Biophysics J*. 2009. Vol. 38. P. 547.
35. Semak I., Budzevich A., Korik E. et al. // *The Xth International Conference on Lactoferrin, Structure, Function and applications. 08–12 May, 2011. Mazatlan, Mexico.* P-VI-6. P. 74.
36. Budzevich A., Semak I., Papkou M. et al. // *The Xth International Conference on Lactoferrin, Structure, Function and applications. 08–12 May, 2011. Mazatlan, Mexico.* O-VI-2. P. 66.
37. Semak I.V., Alekseev N.A., Korik E.O. et al. // *J. of Analytical Chem*. 2011. Vol. 66. № 2. P. 194.
38. Курченко В.П., Урсул О.Н., Власова Т.М. и др. // *Вестн. БГУ. Сер. 2.* 2009. № 3. С. 46.

Поступила в редакцию 18.07.11.

Игорь Викторович Семак – кандидат биологических наук, доцент, заведующий кафедрой биохимии. Научная деятельность связана с анализом патобиохимических механизмов заболеваний печени и поиском путей их направленной коррекции с помощью биологически активных веществ природного происхождения; моделированием *in vitro* патобиохимических процессов, инициирующих окислительный стресс при эндогенной интоксикации организма; исследованием особенностей метаболизма триптофана, мелатонина и серотонина в различных органах и тканях млекопитающих; выяснением биохимических механизмов биологической активности мелатонина и его метаболитов; использованием высокоэффективной жидкостной хроматографии и масс-спектрометрии для анализа природных соединений и изучения фармакокинетики лекарственных препаратов; выделением и анализом физико-химических свойств рекомбинантного человеческого лактоферина, а также созданием на его основе высокоэффективных и биологически безопасных лекарственных средств и пищевых добавок. Имеет более 150 научных и учебно-методических публикаций, в том числе 3 патента.

Владимир Петрович Курченко – кандидат биологических наук, доцент, заведующий НИЛ прикладных проблем биохимии. Основные направления научной деятельности связаны с выделением и очисткой биологически активных веществ природного происхождения, исследованием их физико-химических и фармакологических свойств, разработкой новых лекарственных препаратов и лечебно-профилактических средств. Имеет 178 научных публикаций.

Михаил Васильевич Шолух – кандидат биологических наук, доцент, заведующий НИЛ биохимии обмена веществ. Научные интересы связаны с изучением механизмов действия простаноидов на систему сигнальной трансдукции, включающую рецептор, G-белки и аденилатциклазу, поиском и идентификацией агонистов и блокаторов соответствующих рецепторов простаноидов для последующих экспериментально-теоретических исследований и биологических испытаний в качестве потенциальных лекарственных веществ, механизмов регуляции метаболизма глутамата эйкозаноидами, изучением взаимосвязи между окислением ферментов и индукцией апоптоза и нейродегенеративных заболеваний. Имеет более 110 научных публикаций.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОЛЕКУЛЯРНЫХ И КЛЕТОЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ГЕНОМОВ У МИКРООРГАНИЗМОВ, РАСТЕНИЙ И ЧЕЛОВЕКА

The review of the science investigations at the Department of Genetics in the biotechnology and molecular genetics fields are given. Decoding was made for the functional activity of genes, which participate in the metabolism of the range of secondary microbial microorganisms (phenazine antibiotics, bacterial pigments, and plant growth stimulators – IAA и ACC-deaminase in biotechnologically perspective bacterial strains; development was made of the new approaches of the usage of biosynthetic potential of the abovementioned organisms, and creating on their basis the new microbial producers, that are suitable for further practical use, and part of them is implemented in the production process (biopesticides Bactogen, Nemacid, Stimul and Aurin). The role of chromosome translocation t(8; 21)(q22; q22) in initiation and maintenance of human acute myeloid leukemia is one of the modern research fields. The complex bioinformatics as well as molecular genetics tools (from computer modeling of fusion genes to genetics modification and subsequent outcomes analysis of specific genes knock-down in leukemia cells) are using for that. On another way, insulin-producing beta-like cells is one more research activity at the real time. Genetics engineering and human stem cells technologies are main tools for solving of this task. As a result of molecular-biochemical analysis of the spectrum of reserve protein in leguminous plants, this method was proposed for the accounting of studied samples, and determination if their relationship.

В настоящее время использование молекулярных и клеточных технологий для исследования функциональной активности геномов и отдельных генов является одним из важнейших подходов к решению теоретических и прикладных задач биотехнологии, генетики и медицины и находит широкое применение как для повышения продуктивности важных в сельскохозяйственном отношении организмов, так и для расшифровки генетических основ ряда заболеваний человека и разработки современных методов их лечения. В настоящее время на кафедре генетики сформировалось три самостоятельных научных направления: исследование структурной и функциональной организации геномов перспективных в биотехнологическом отношении организмов; молекулярно-генетические основы наследственных заболеваний человека; генетические, физиологические и биохимические проблемы продуктивности и устойчивости растений. Преемственность современных научных направлений с тематикой прошлых лет просматривается на уровне таких объектов, как растения и микроорганизмы, молекулярная генетика и функциональная геномика человека начала развиваться недавно.

Биотехнология перспективных для сельскохозяйственного использования микроорганизмов

Задачей исследований в рамках этого направления является расшифровка структурно-функциональной организации генов и геномов у полезных в биотехнологическом отношении микроорганизмов и конструирование на их основе штаммов, способных к сверхсинтезу биологически активных соединений. Перспективными объектами в этом плане рассматриваются бактерии рода *Pseudomonas*, обладающие природной способностью продуцировать свыше 300 видов антимикробных соединений, фитогормоны, микробные пигменты, гидролитические ферменты, а также соединения, стимулирующие иммунитет растений и повышающие их устойчивость к неблагоприятным факторам окружающей среды.

Благодаря усилиям сотрудников одного из научных подразделений кафедры – сектора молекулярной генетики и биотехнологии микроорганизмов под руководством доктора биологических наук, профессора Н.П. Максимовой в этой области достигнуты значительные успехи, обусловленные как применением современных генетических и генно-инженерных подходов, так и совершенствованием традиционных методов селекции микроорганизмов.

Проведенный на предварительных этапах анализ коллекции штаммов ризосферных бактерий рода *Pseudomonas* PGPR-группы по критерию наличия у них широкого спектра антимикробной активности в отношении распространенных возбудителей заболеваний сельскохозяйственных культур, а также генов, контролирующих синтез антибиотиков (феназиновых антибиотиков, пирролнитрина, 2,4-диацетил-флороглюцинола и пиолютеорина), позволил отобрать штамм *P. aurantiaca* В-162, способный синтезировать комплекс указанных соединений и обладающий высокой антимикробной активностью против фитопатогенов.

Феназиновые антибиотики представляют собой низкомолекулярные гетероциклические азотсодержащие соединения, синтезируемые по ароматическому пути. Основу соединений данного ряда составляет феназин-1-карбоксилат, тогда как феназин, 2-оксифеназин-1-карбоксилат, пиоцианин, оксихлорорафин, гемипиоцианин – его производные (рис. 1). Проведенный масс-спектрометрический анализ комплекса феназиновых антибиотиков, синтезируемых бактериями *P. aurantiaca* В-162, показал, что в их состав входит феназин – $C_{12}H_8N_2$, 1-оксифеназин – $C_{12}H_7N_2OH$, а также их общий пред-

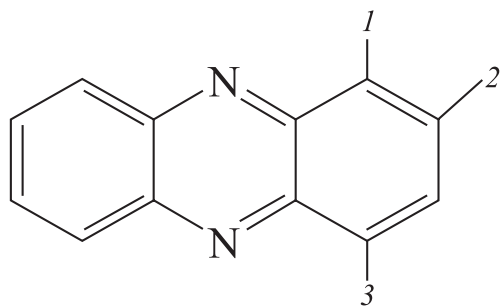


Рис. 1. Структура феназиновых антибиотиков.

$R_1, R_2, R_3 = O$ – феназин; $R_1: COOH$ – феназин-1-карбоксилат; OH – гемипиоцианин; $CONH_2$ – оксихлорографин. $R_1 = O, R_2 = CH_3$ – пиоцианин. $R_1 = COOH, R_3 = OH$ – 2-оксифеназин-1-карбоксилат; $R_1 = COOH, R_2 = CH_3$ – 5-метилфеназин-1-карбоксилат

гибированием аминокислотами фенилаланином и тирозином, а также бесконкурентным ингибированием феназином. Активность фермента, кроме того, стимулируется ионами металлов, наиболее активными среди которых являются Co^{2+} , Cu^{2+} и Fe^{2+} [6, 7].

Создание штаммов-продуцентов феназиновых антибиотиков. Впервые с помощью НГ-мутации и последующей селекции на устойчивость к токсическим аналогам метаболитов ароматического пути (азасерину, *m*-фтор-DL-фенилаланину, 6-диазо-5-оксо-L-норлейцину и др.) И.Н. Феклистой получены мутантные штаммы *P. aurantiaca* В-162 – продуценты феназинов, уровень синтеза которых у наиболее активных вариантов составил 205 мг/л, что в 3 раза выше, чем у бактерий дикого типа [8–11]. Один из полученных штаммов В-162/498 был предложен для создания на его основе биопестицидного препарата «Аурин», предназначенного для защиты растений от заболеваний, а также стимуляции их роста и развития. В настоящее время препарат «Аурин» внедрен в производство в Республике Беларусь на РУП «Новополоцкий завод БВК».

В ходе последующего мутагенеза бактерий *P. aurantiaca* В-162 Е.Г. Веремеенко получен штамм В-162/255, устойчивый к более высоким концентрациям *m*-фтор-DL-фенилаланина, уровень продукции феназинов у которого достиг 420÷450 мг/л, что в 6 раз выше, чем у бактерий дикого типа и почти в 17 раз – чем у ранее описанных продуцентов *P. fluorescens* и *P. chlororaphis* [12–15].

Известно, что синтез феназиновых антибиотиков у бактерий *Pseudomonas* может осуществляться только при культивировании их в полноценных питательных средах. Для повышения биотехнологических характеристик штаммов-продуцентов были предприняты попытки получения мутантов *P. aurantiaca*, способных к синтезу феназинов в минимальных средах простого состава (например, среде М9, содержащей в качестве источника углерода и энергии только один компонент – глюкозу). Результатом НГ-мутации бактерий В-162/255 явился мутант В-162/17, клетки которого приобрели способность синтезировать антибиотики при культивировании в среде М9, при этом уровень их продукции достигал 210 мг/л, тогда как бактерии исходного штамма В-162/255 в этих условиях синтезировали только их следовые количества. Одной из возможных причин приобретения нового свойства бактериями мутантного штамма В-162/17 может быть инактивация гена *rpeA*, кодирующего синтез фермента сенсорной киназы – регулятора переключения клеточного метаболизма на синтез вторичных метаболитов. Штамм-продуцент *P. aurantiaca* В-162/17, способный к синтезу феназиновых антибиотиков на минимальных средах, был рекомендован для использования в качестве одного из компонентов нового импортозамещающего биопестицидного препарата «Профибакт-Фито» для сельского хозяйства, созданного совместно с коллегами ГНУ «Институт генетики и цитологии НАН Беларуси», выпуск которого будет налажен на РУП «Новополоцкий завод БВК» в 2012–2014 гг.

Механизмы резистентности бактерий-продуцентов феназинов *P. aurantiaca* к собственным антибиотикам. Высокая антимикробная активность феназиновых антибиотиков объясняется механизмом их действия. Обладая возможностью легко вступать в окислительно-восстановительные реакции, присоединять электроны и превращаться в относительно стабильные анионы, данные вещества вызывают генерацию активных форм кислорода (O_2^- , OH^- и H_2O_2), имеющих высокую реакционную способность, которые индуцируют окислительный стресс и последующую гибель чувствительных к ним микроорганизмов (рис. 2). В свою очередь, клетки-продуценты проявляют устойчивость к собственным феназинам, однако механизм этого явления в настоящее время еще не изучен. Было сделано предположение, что этот феномен у штаммов-продуцентов связан с функционированием у них

шестивенник – феназин-1,6-дикарбоксилат [1–4]. Установлено, что исследуемый штамм является природным продуцентом комплекса феназиновых антибиотиков, уровень синтеза которых составляет 71÷76 мг/л, что превышает таковой у известных бактерий *Pseudomonas* [3]. С помощью масс-спектрометрического анализа выявлено, что наряду с феназинами бактерии *P. aurantiaca* В-162 синтезируют пирролнитрин, уровень синтеза которого составляет 5,6 мг/л [3, 5]. Исследование регуляции синтеза феназиновых антибиотиков показало, что синтез этих микробных метаболитов регулируется на уровне ДАГФ-синтазы – ключевого фермента ароматического пути – ретроин-

мощной антиоксидантной системы, которая способна индуцироваться в присутствии активных форм кислорода, эффективно подавлять развитие окислительного стресса и обеспечивать в этих условиях не только нормальную выживаемость бактерий-продуцентов, но также и сверхсинтез феназинов. Исследования Е.Г. Веремеенко полностью подтвердили выдвинутое предположение. Было установлено, что наибольший вклад в обеспечение резистентности штаммов-продуцентов к собственным феназинам вносит каталаза, уровень синтеза которой резко возрастает (например, у штамма В-162/255 в 16,4 раза) и находится в прямой зависимости от продуктивности штаммов. Аналогичная ситуация характерна и для глутатиона. Интересно отметить, что для супероксид-дисмутазы (СОД) и глутатион-редуктазы зарегистрирован взаимный компенсаторный эффект – при увеличении уровня активности СОД синтез глутатион-редуктазы снижается, и наоборот [17, 18]. По результатам исследований была выдвинута гипотеза, что система антиоксидантной защиты должна обеспечить нормальное функционирование клеток-продуцентов и при более высоких концентрациях синтезируемых ими феназинов. Одним из способов повышения продукции феназинов у бактерий может быть увеличение копияности *phzIR*-генов, кодирующих позитивные регуляторы *phz*-оперона – синтазу гексаноил-гомосерин лактона (ГГЛ), компонента QS-системы, а также *phz*-транскрипционный фактор соответственно. С этой целью была осуществлена ПЦР-амплификация участка, содержащего данные гены и окаймляющие их промоторы (*phz*-боксы), с использованием тотальной ДНК бактерий *P. aurantiaca* В-162 и разработанных праймеров:

F – **cgcggatccaccgatgccsctaccagat** и

R – **cgcggatccttggggctggaactaccgat** (выделены сайты для рестриктазы *Bam*HI).

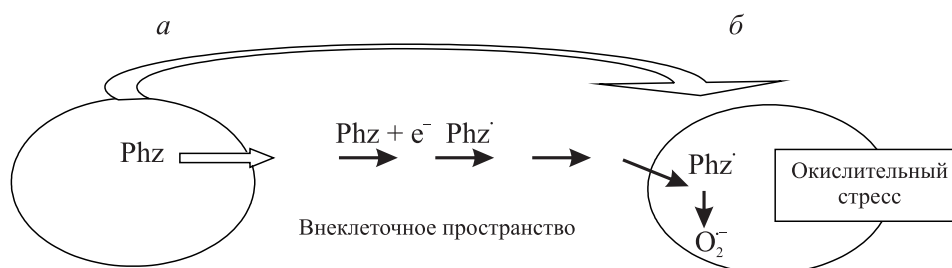


Рис. 2. Механизм антимикробной активности бактерий-продуцентов феназиновых антибиотиков.
Phz – феназины; а – клетка-продуцент феназинов, б – клетка-мишень

Размер полученного ПЦР-продукта составил 1735 п. н., что полностью соответствует таковому для известных бактерий *P. aureofaciens* (использовались в качестве контроля), в геноме которых, как известно, имеется этот участок. Затем было проведено встраивание полученного фрагмента в состав мультикопийного вектора pAYC31 и перенос его в клетки полученных ранее продуцентов. Установлено, что введение плазмиды pAYC31 *phzIR* в клетки штаммов-продуцентов феназинов повышает уровень синтеза гексаноил-гомосерин лактона в 1,3÷1,9 раза, а самих антибиотиков – в 1,2÷5,5 раза. Причем степень возрастания продукции феназинов у плазмидсодержащих вариантов зависит от исходной продуктивности бесплазмидных штаммов: чем она выше, тем ниже рост показателей продуктивности генно-инженерных вариантов. Одной из причин наблюдаемого явления (метаболической инактивации) может являться развитие окислительного стресса при достижении критической концентрации феназиновых антибиотиков в клетках плазмидсодержащих штаммов-продуцентов. Действительно, использование антиоксидантов в качестве добавки в среду культивирования штаммов-продуцентов показало, что кверцетин и продукт «соевое молоко» существенно повышают выход феназинов, доводя его у наиболее активного штамма-продуцента В-162/255 (pAYC31 *phzIR*) до 842 мг/л. Такие высокие уровни продукции феназиновых антибиотиков у бактерий в условиях периодического культивирования продемонстрированы впервые. С биотехнологической точки зрения более предпочтительным для повышения выхода феназинов у бактерий является «соевое молоко», поскольку оно отличается низкой стоимостью, доступностью и возможностью использования при масштабном культивировании бактерий.

Антимикробная активность штаммов-продуцентов феназинов. Установлено, что бактерии *P. aurantiaca* В-162 обладают антимикробной активностью в отношении широкого спектра фитопатогенных микроорганизмов. Наиболее выраженный эффект наблюдается в отношении бактерий *E. carotovora*, *P. pisi* и *P. syringae*, а также грибов *A. alternata*, *B. cinerea*, *F. culmorum*, *P. infestans* и *S. sclerotiorum*. Высокий уровень синтеза феназиновых антибиотиков у штаммов-продуцентов коррелирует

с возрастанием их антибактериальной и антифунгальной активности и зависит от конкретного вида фитопатогена. При этом сверхпродукция феназинов не оказывает негативного действия на растения, сами бактерии проявляют выраженный фитостимулирующий эффект в отношении ряда овощных культур в условиях *in vitro* и *in planta* [19, 20].

Флуоресцирующие пигменты бактерий *P. putida*. Основываясь на результатах, полученных в 1980–1990-х гг. Н.П. Максимовой, О.В. Блажевич и В.В. Лысаком [21–26], Ю.М. Кулешовой было проведено исследование биологической активности еще одного микробного метаболита ризосферных

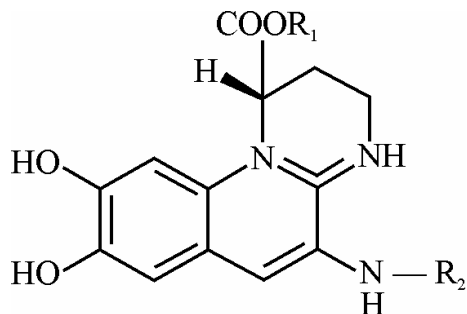


Рис. 3. Строение пиовердинов бактерий *Pseudomonas*

бактерий *Pseudomonas* – флуоресцирующего пигмента пиовердина Pm. Учитывая особенности строения этих соединений (рис. 3), было выдвинуто предположение о наличии у пиовердина Pm антирадикальной активности. Использование препарата данного пигмента высокой степени очистки [27] позволило впервые доказать наличие у него антирадикальной активности, превышающей таковую для известных флавоноидов: кверцетина, морина и рутина (табл. 1) [27–31]. При использовании культуры клеток человека линии K562 и мононуклеарных клеток периферической крови здоровых людей было

установлено, что пиовердин Pm практически не обладает цитотоксичностью. Концентрация пигмента, обеспечивающая 50 % ингибирование развития клеток линии K562 (IC₅₀), выше, чем у кверцетина, в 58 раз, морина – в 8 раз и рутина – в 3 раза (табл. 2).

Таблица 1

Антирадикальная активность пиовердина Pm

Вещество	I ₅₀ , мкмоль/л
Пиовердин Pm	20,6 ± 3,5
Кверцетин	35,7 ± 1,6
Морин	52,0 ± 2,0
Рутин	31,5 ± 2,5

Таблица 2

Цитотоксичность пиовердина Pm

Вещество	IC ₅₀ , мкмоль/л
Пиовердин Pm	3710 ± 32,3
Кверцетин	64,1 ± 5,1
Морин	454,2 ± 14,2
Рутин	>1280

Антимикробная активность пиовердина Pm. Исследование антимикробной активности пиовердина Pm позволило установить, что очищенный пигмент демонтирует антибактериальную и антифунгальную активность, что проявляется в угнетении размножения фитопатогенных бактерий и ингибировании развития вегетирующего мицелия фитопатогенных грибов. Полученные данные указывают на перспективность использования пиовердина Pm в качестве полифункционального препарата,

обладающего одновременно антирадикальным и противомикробным действием, практически не токсичного по отношению к клеткам человека. Препарат подобного действия является уникальным и может найти применение в медицине и сельском хозяйстве.

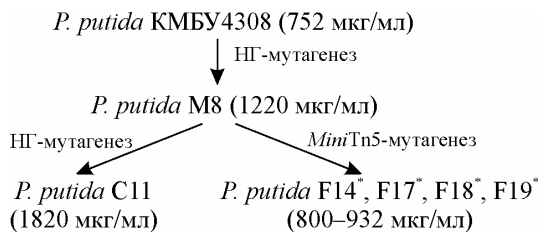


Рис. 4. Схема получения мутантных штаммов *P. putida*, способных к сверхпродукции пиовердина.

(В скобках указан уровень продукции пиовердина;
* – способность к синтезу пигмента в среде, содержащей 10 мкг/мл FeSO₄·7H₂O)

получения и характеристика штаммов *P. putida* – продуцентов пиовердина. С использованием HГ- и miniTn5-мутагенеза, сопровождающегося селекцией на устойчивость к 5-фторурацилу, *m*-фтор-DL-фенилаланину или ЭДТА, были получены продуценты пиовердина (рис. 4), способные к синтезу пигмента на более ранних этапах культивирования (в течение 24 ч) и характеризующиеся повышенным уровнем его продукции. Клетки наиболее активного продуцента (штамм C11) способны синтезировать до 1,82 мг/мл пигмента, что более чем в 2 раза превышает продуктивность из-

вестных в этом отношении бактерий *P. aeruginosa*. Клетки мутантных штаммов *P. putida* F14, F17, F18 и F19, отобранных в результате селекции на устойчивость к ЭДТА, приобрели уникальную способность к синтезу пиовердина в присутствии ионов железа (10 мкг/мл $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) [31–33].

При выяснении возможных причин сверхпродукции пиовердинов у полученных при помощи НГ-мутагенеза штаммов М8 и С11 было выявлено, что у них изменилась молекулярная масса пигмента и аминокислотный состав его пептидной части (табл. 3), что может быть связано с мутацией(ями) в генах, кодирующих нерибосомные пептид-синтетазы, осуществляющие, как известно, синтез данной структуры. Следует подчеркнуть, что антирадикальная активность у пиовердинов, синтезируемых мутантами М8 и С11, сохранилась на прежнем уровне [31, 33], и сверхпродукция пигмента у последних связана с нарушениями в рецепторно-транспортном комплексе клеток, вызывающими депрессию синтеза пиовердина и его сверхсинтез [33]. Доказательством этого явилось возникновение у них перекрестного антагонизма относительно друг друга, а также бактерий *P. putida* дикого типа (рис. 5).

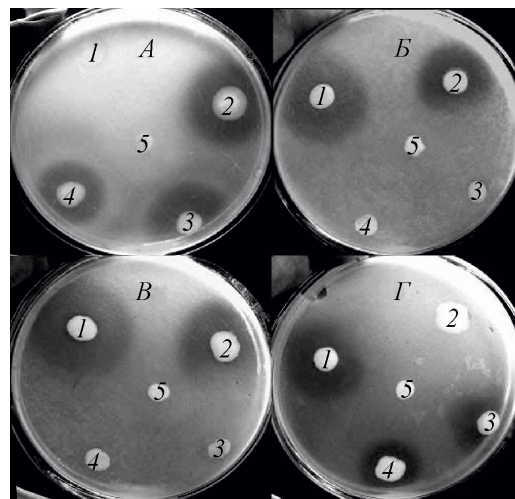


Рис. 5. Перекрестная антагонистическая активность мутантных штаммов *P. putida*

Таблица 3

Молекулярная масса и аминокислотный состав пептидной части пиовердинов, синтезируемых клетками штаммов-продуцентов *P. putida*

Штамм	Молекулярная масса	Количество аминокислот в пептидной части молекулы пиовердинов							Ссылка
		Ala	Gly	Orn	OH-Asn	Lys	Ser	Thr	
КМБУ4308	1211	–	–	1	1	1	2	3	Блажевич, 1994
М8	1339	–	–	1	1	2	2	3	Настоящая работа
F17	1339	–	–	1	1	2	2	3	То же
С11	1332	1	1	1	1	2	3	–	–/–/–

Примечание. Ala – аланин, Gly – глицин, OH-Asn – оксиспараминовая кислота, Lys – лизин, Ser – серин, Thr – треонин, Orn – N^δ-оксиорнитин, «–» – аминокислота отсутствует.

Таким образом, впервые было показано, что модификация состава аминокислот в пептидной части молекулы пиовердинов может приводить к их сверхпродукции и возникновению у синтезирующих их бактерий перекрестной антагонистической активности.

Клонирование *pfrI*-гена бактерий *P. putida*. Поскольку для инициации транскрипции практически всех известных генов синтеза пиовердина необходим ECF σ^{70} -фактор, кодируемый у *P. putida* *pfrI*-геном, было сделано предположение, что усиление экспрессии этого позитивного регулятора должно привести к увеличению уровня продукции самого пигмента. С этой целью Ю.М. Кулешовой было произведено клонирование полноразмерного гена *pfrI* в составе мультикопийной плазмиды рАУС31 и последующий ее перенос в бактерии *P. putida* [31]. С помощью метода количественной ПЦР в реальном времени установлено, что *pfrI*-ген в составе плазмиды рАУС31*pfrI* способен эффективно транскрибироваться у воспринявших конструкцию трансформантов, и уровень его экспрессии превышает таковой для бактерий исходных, не содержащих плазмиду штаммов, более чем в 40 раз. Это, в свою очередь, обеспечивает дополнительное увеличение показателя продукционной способности клеток до 35 %. Ограниченное увеличение продукции пиовердинов при значительном усилении экспрессии *pfrI*-гена может быть объяснено сложностью регуляции комплексной системы синтеза этих пигментов. Очевидно, что для дальнейшего повышения уровня продукции пиовердинов необходимо дополнительно модифицировать иные регуляторные механизмы, включая системы негативного контроля.

Антимикробная активность штаммов-продуцентов пиовердинов. Для разработки подходов биотехнологического использования пиовердинов наибольший интерес представляет применение штаммов-продуцентов данных соединений для биоконтроля растительных патогенов. Показано, что мутантные штаммы-продуценты пиовердина *P. putida* обладают высокой антибактериальной активностью относительно фитопатогенных бактерий *Erwinia* и *Pseudomonas*. Обнаружена также высокая антифунгальная активность бактерий *P. putida* – продуцентов пиовердина – относительно различных фитопатогенов родов *Botrytis*, *Fusarium*, *Ascohyta* и *Alternaria*. Установлено, что продуценты пиовер-

дина способны стимулировать рост растений. Предпосевная обработка семенного материала различных сельскохозяйственных культур инокулятом мутантных бактерий *P. putida* повышает выживаемость проростков рапса в 7,6 раза по отношению к контролю, редиса – в 6,8 раза, томатов – в 1,2 и огурцов – в 1,9 раза при заражении их фитопатогенными грибами [31, 34]. Полученные мутантные штаммы были использованы при разработке полифункционального биопестицида «Немацид КС», производство которого налажено на РУП «Новополоцкий завод БВК».

Стимулирующие рост растений метаболиты бактерий *Pseudomonas*. Известно, что стимуляция роста растений ризосферными бактериями обусловлена синтезом индолилуксусной кислоты, гиббереллинов, цитокининов, витаминов; улучшением фосфорного питания растений путем перевода фосфатов в растворимые соединения; фиксации атмосферного азота; деструкцией растительного гормона старения – этилена и индукцией устойчивости растений к абиотическим факторам.

Гиббереллины. И.Н. Феклистова с соавторами было установлено, что ростостимулирующая активность бактерий *P. aurantiaca* связана с синтезом фитогормона – гиббереллиновой кислотой [35]. В ходе исследований осуществлено выделение, идентификация и изучение биологической активности гиббереллинов, а также получение регуляторных мутантов, способных к сверхпродукции гиббереллинов, и изучение их стимулирующей рост растений активности. Анализ биостимулирующей рост растений активности штамма *P. aurantiaca* показал, что при обработке семян суспензией бактерий этого штамма наблюдается стимуляция роста побегов (в 1,4÷2,2 раза) и корневой системы (в 1,7÷3,3 раза) всех испытуемых культур, что свидетельствует об их высокой фитостимулирующей активности. Результаты тонкослойной хроматографии и масс-спектрометрического анализа гиббереллинов бактерий *P. aurantiaca* В-162 показали наличие гибберелловой кислоты (ГК₃), уровень синтеза которой достигает 13,2 мг/л [35].

Создание штаммов-продуцентов гиббереллинов. Было сделано предположение, что использование токсических аналогов гормонов роста растений в качестве селектирующих факторов позволит отобрать мутантные штаммы бактерий, способные к сверхсинтезу гиббереллинов. В качестве селектирующего агента был использован (2-хлорэтил)триметил аммоний хлорид (ССС). В ходе НГ-мутагенеза и последующей селекции на устойчивость к данному агенту были получены мутанты *P. aurantiaca* В-162, уровень продукции гиббереллинов у которых достигал 31 мг/л, что в 2,3 раза больше, чем таковой у бактерий дикого типа, и 15 раз выше, чем у известных в этом отношении ризосферных бактерий *Pseudomonas*. Продукция гиббереллинов у мутантных бактерий коррелировала с их ростостимулирующей активностью. Например, обработка семян латука клетками штамма *P. aurantiaca* В-162 приводит к увеличению длины гипокотилей в 1,9 раза по сравнению с контролем (вода), а клетками полученного мутанта G-50 (уровень синтеза гиббереллинов в 2,3 раза выше, чем у В-162) – в 3,4 раза. При обработке семян овощных культур (огурцы, томаты, капуста) наблюдалось увеличение длины гипокотилей в 1,6÷1,9, а массы проростков – в 1,3÷1,6 раза, тогда как при обработке семян технических культур данные параметры увеличивались в 1,9÷2,1 и 1,7÷1,8 раза соответственно [35]. Ранее специфичность действия гиббереллинов в отношении стимуляции роста различных видов растений отмечали и другие авторы.

Индолил-3-уксусная кислота. В ходе изучения Е.А. Храпцовой и С.С. Жардецким путей синтеза индолил-3-уксусной кислоты (ИУК) и механизмов регуляции ее синтеза у ризосферных бактерий *P. mendocina* было показано, что синтез этого соединения у них осуществляется с участием ИПВК-пути, в котором задействовано три фермента – триптофан-аминотрансфераза, индолпируват-декарбоксилаза и индолацетальдегид-дегидрогеназа [36]. Установлено, что регуляция ароматического пути у изучаемых бактерий происходит на уровне ключевого фермента ДАГФ-синтазы с помощью ретроингибирования двумя аминокислотами – тирозином и триптофаном. Репрессия синтеза данного фермента у бактерий *P. mendocina* не зарегистрирована. Синтез триптофана контролируется с помощью репрессии *trpE*-, *trpD*- и *trpC*-генов триптофаном, а также путем ретроингибирования антранилат-синтазы этой же аминокислотой. Синтез триптофан-аминотрансферазы и индолпируват-декарбоксилазы (ИПВК), наоборот, индуцируется триптофаном. Синтез триптофан-аминотрансферазы, кроме того, репрессируется антранилатом [37, 38].

С помощью НГ-мутагенеза и последующей селекции мутантов на устойчивость к токсическому аналогу триптофана – 5-фтор-DL-триптофану получены мутанты, способные к сверхсинтезу ИУК. Продукция гормона у мутантного штамма *P. mendocina* 9-40 оказалась в 10 раз выше, чем у дикого типа [37, 38]. Сверхсинтез ИУК коррелировал с возрастанием уровня синтеза ключевых ферментов

ароматического пути – ДАГФ-синтазы и триптофан-синтазы в 2 раза, триптофан-аминотрансферазы и индолилпируват-декарбоксилазы – примерно в 8 и 80 раз соответственно. Кроме того, при обработке растений суспензией мутантных бактерий в экспериментах *in planta* наблюдалась значительная стимуляция их роста (рис. 6) [38].

Конструирование штаммов-продуцентов ИПВК-декарбоксилазы. С целью создания генно-инженерного штамма – продуцента ИУК на основе бактерий *P. mendocina* авторами данной статьи было осуществлено клонирование *ipdC*-гена, кодирующего фермент индолилпируват-декарбоксилазу (ИПВК-декарбоксилазу) в составе гибридной плазмиды pTVN4 (4,5 т. п. н.). Удельная активность ИПВК-декарбоксилазы у бактерий *E. coli* DH5 α , несущих клонированный *ipdC*-ген в составе гибридной плазмиды, оказалась повышенной в 26 раз. Для изучения экспрессии *ipdC*-гена в бактериях *P. mendocina* сконструирована плазида pAYCD1.7, стабильно наследующаяся в клетках этих бактерий. Наличие плазмиды со встроенным *ipdC*-геном обеспечило им повышенный уровень синтеза ИПВК-декарбоксилазы (в 5,3 раза) и ИУК соответственно. Штамм-продуцент ИУК *P. mendocina* 9-40 и полученный на его основе рекомбинантный штамм, несущий плазмиду pAYCD1.7 со встроенным *ipdC*-геном, рекомендованы для практического использования.

Растительный гормон этилен. Одним из подходов, предлагаемых для повышения урожайности сельскохозяйственных растений, является снижение количества синтезируемого ими этилена. Было установлено, что некоторые ризосферные бактерии *PGPR*-группы, стимулирующие рост растений, синтезируют фермент, способный регулировать уровень этилена в растении. Этот фермент – 1-аминоциклопропан-1-карбоксилат-дезаминаза (АЦК-дезаминаза) – гидролизует 1-аминоциклопропан-1-карбоксилат – непосредственный предшественник этилена, синтезируемый в тканях самого растения. Об эффективности действия АЦК-дезаминазы свидетельствует тот факт, что ризосферные бактерии, синтезирующие этот фермент, способствуют удлинению корней растений, стимуляции роста надземной части, а также повышению урожайности в целом. Было сделано предположение, что повышение уровня синтеза АЦК-дезаминазы бактериями в прикорневой зоне позволит повысить ростовые параметры растений. Для этого на первом этапе работы было осуществлено клонирование *acdS*-гена бактерий *P. mendocina* в составе вектора pXcmKn12. Для амплификации *acdS*-гена использовались вырожденные праймеры:

F – 5'-mgvaagctggaataymtbrt-3' и R – 5'-atcatvccvtgcatbgaytt-3'.

Полученный ПЦР-продукт размером 1200 п. н. был использован для клонирования по Bam HI-сайту в вектор pAYC31. Сконструированная таким образом плазида была обозначена pACD. После ее введения в клетки штамма *P. mendocina* 9-40 уровень синтеза АЦК-дезаминазы у рекомбинантного штамма оказался выше примерно в 2 раза. Полученный штамм-продуцент был использован для изучения влияния бактериальной АЦК-дезаминазы на повышение устойчивости растений к неблагоприятным факторам среды – солеустойчивости и устойчивости к тяжелым металлам. Было показано, что обработка растений томатов суспензией штамма-продуцента АЦК-дезаминазы (в концентрации 10⁷ КОЕ/г почвы) приводит к повышению их устойчивости к засолению почвы NaCl, что проявлялось в увеличении длины стебля и корней, а также биомассы растений по сравнению с контролем (без обработки растений препаратом бактерий). Так, при концентрации NaCl в почве 172 мМ прирост показателей длины стебля в присутствии бактерий достигал 15 %, длины корня – 14 %, массы – до 22 %; а при концентрации хлорида натрия 207 мМ в почве прирост этих показателей был еще более значительным – до 21 % для длины корня растений и до 49 % для их массы. Подобные результаты были получены при изучении действия бактерий *P. mendocina* 9-40 (pACD) в отношении растений томатов в присутствии ионов тяжелых металлов (меди и хрома). Обработанные суспензией бактерий *P. mendocina* 9-40 (pACD) растения имели в 2–3 раза большую длину стебля и корней по сравнению с контрольными, а также в 4 раза большую биомассу. Степень защитного действия зависела от дозы вносимых в почву ионов металлов. На основании полученных результатов был сделан вывод о пози-

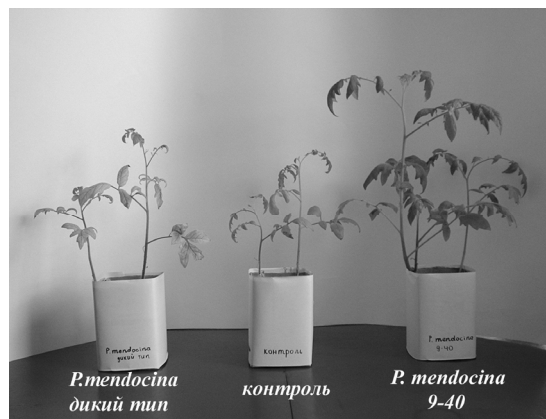


Рис. 6. Стимуляция роста растений томата под действием мутантных бактерий *P. mendocina* 9-40

тивном действии дополнительных копий генов *acdS*-генов в геноме *P. mendocina* 9-40 в отношении устойчивости растений к стрессовым факторам среды.

В ходе исследований изучены механизмы, лежащие в основе повышения продуктивности штаммов, дана оценка их биологической активности. Рассмотрены возможные подходы и даны рекомендации практического использования полученных штаммов.

Генетическая инженерия клеток человека с помощью лентивирусной трансдукции

Генетическая инженерия клеток человека с помощью лентивирусной трансдукции относится к новому экстенсивно развивающемуся направлению исследований в области молекулярной генетики человека, сформированному на кафедре под научным руководством кандидата биологических наук, доцента В.В. Гринева. Исследования в этом направлении являются фундаментальной основой генотерапии и имеют приоритетный уровень.

Одна из ключевых проблем, возникающих при решении широкого спектра молекулярно-генетических задач, связанных с генотерапией заболеваний человека, – направленная генетическая модификация нормальных (стволовых или дифференцированных) или раковых клеток *in vitro*, *ex vivo* или *in vivo*. Результаты многочисленных исследований показывают, что невирусные методы переноса генов как в нормальные, так и в раковые клетки человека в большинстве своем являются мало- или неэффективными. Так, эффективность переноса *in vitro* генов в лейкозные клетки методом липофекции обычно не превышает 30 %. Кроме того, указанные методы не позволяют получать клетки, стабильно поддерживающие трансген на протяжении длительного времени, так как они предполагают использование в качестве векторов экспрессии челночные плазмидные векторы, существующие в клетках человека в эпизодном состоянии.

С учетом проблем, возникающих при использовании невирусных методов переноса генов в клетки человека, генетическая модификация таких клеток с помощью вирусных векторов имеет ряд преимуществ. Одними из таких векторов являются векторы, основанные на лентивирусах из рода *Lentivirinae* семейства *Retroviridae*, к которому принадлежит и ВИЧ-1. Работы последних лет показывают, что рекомбинантные лентивирусы способны трансдуцировать с высокой частотой (до 100 %) широкий спектр клеток-мишеней – от стволовых клеток крови до нейронов, причем как делящихся, так и покоящихся. Кроме того, векторы на основе лентивирусов, в отличие от аденовирусных векторов или челночных плазмидных векторов, обеспечивают стабильную интеграцию переносимой конструкции в хромосомальную ДНК, они не иммуногенны и не цитотоксичны. Далее, для лентивирусных векторов по сравнению с ретровирусными менее характерно эпигенетическое подавление экспрессии трансгена, что в совокупности с их предыдущими особенностями обеспечивает стабильную и длительную экспрессию переносимого гена в клетках-мишенях. Наконец, лентивирусные векторные системы 2-го и 3-го поколений включают целый комплекс модификаций и улучшений, гарантирующих их безопасность (в плане рекомбинации и появления вируса дикого типа).

Для генетической модификации мезенхимальных стволовых клеток (МСК), а также клеток острого миелоидного лейкоза (ОМЛ) человека мы широко используем лентивирусную трансдукцию [39, 40]. Выбор такого способа переноса генетических конструкций в клетки человека был обусловлен как его преимуществами перед другими названными подходами, так и результатами проведенных нами всесторонних сравнительных исследований эффективности и стабильности генетической модификации целевых клеток различными методами. При этом рекомбинантные лентивирусы мы получаем с помощью метода временной котрансфекции клеток линии *HEK 293T* эмбриональной почки человека смесью высокоочищенной ДНК двух вспомогательных плазмидных векторов и одного лентивирусного вектора доставки [41].

Одним из вспомогательных векторов является плазмидный вектор оболочки *pMD2.G*. Этот вектор несет открытую рамку считывания для белковой части гликопротеина *VSV-G*, которая стоит под контролем конститутивного энхансера/промотора P_{CMV} генов раннего ответа цитомегаловируса человека. Использование такого вспомогательного вектора позволяет разделить ген, кодирующий гликопротеин вирусной оболочки, и остальные гены, необходимые для сборки лентивирусных частиц, по двум независимым плазмидным векторам, что повышает безопасность всей системы получения и применения рекомбинантных лентивирусов. В то же время за счет *VSV-G*-псевдотипирования лентивирусных частиц повышается эффективность трансдукции целевых клеток, так как гликопротеин *VSV-G* способствует неспецифическому слиянию вирусной оболочки с плазматической мембраной таких клеток (вне зависимости от типа клеток и липидного состава их мембран).

Второй вспомогательный вектор, пакующий плазмидный вектор *pCMV_dR8.91*, несет открытую рамку считывания для полипротеина *GAG-Pol*, которая стоит под промотором P_{CMV} и фланкирована с 3'-конца кором полиаденилирования от гена *INS* человека. Целесообразность использования такого

вектора при получении рекомбинантных лентивирусов обусловлена несколькими причинами. Во-первых, в комбинации с плазмидным вектором *pMD2.G* он обеспечивает синтез минимального набора белков, необходимых для успешной сборки зрелых лентивирусных частиц, последующей инфекции ими целевых клеток и интеграции провирусной ДНК в геном таких клеток. Во-вторых, плазмидный вектор *pCMV_dR8.91* не несет вирусных генов *env*, *vpr*, *vpr* и *vif*. В-третьих, этот вектор не содержит 5'- и 3'-LTR и сигнала упаковки. Последние две особенности плазмидного вектора *pCMV_dR8.91* предоставляют гарантию безопасности в работе со всей векторной системой.

Базовым вариантом лентивирусного вектора доставки, используемым в наших исследованиях, является вектор *pHR-SINcPPT-SIEW*. Запаковываемая в вирусные частицы область этого вектора фланкирована немодифицированным 5'-LTR и самоинактивирующимся (с делетированным *U3* регионом) 3'-LTR от ВИЧ-1 и содержит последовательности ψ -*GaG SL4* (сигнал упаковки), *RRE* (элемент, ответственный за связывание с белком *Rev*) и *cPPT* (центральный полипуриновый тракт, участвующий в сборке преинтеграционного комплекса вируса и его переносе из цитоплазмы инфицированной клетки в ядро). Стандартным геном-репортером в данном векторе является ген белка *eGFP* с зеленой флуоресценцией. Открытая рамка считывания данного гена с помощью последовательности *IRES* (участок внутренней посадки рибосомы от вируса энцефаломиокардита человека) может быть объединена с открытой рамкой считывания любого другого целевого гена в единую бицистронную конструкцию, находящуюся под контролем либо тканенеспецифического промотора P_{CMV} , либо иного промотора, а РНК-продукт стабилизирован с помощью последовательности *WPRE* (посттранскрипционный регуляторный элемент вируса гепатита В североамериканского лесного сурка).

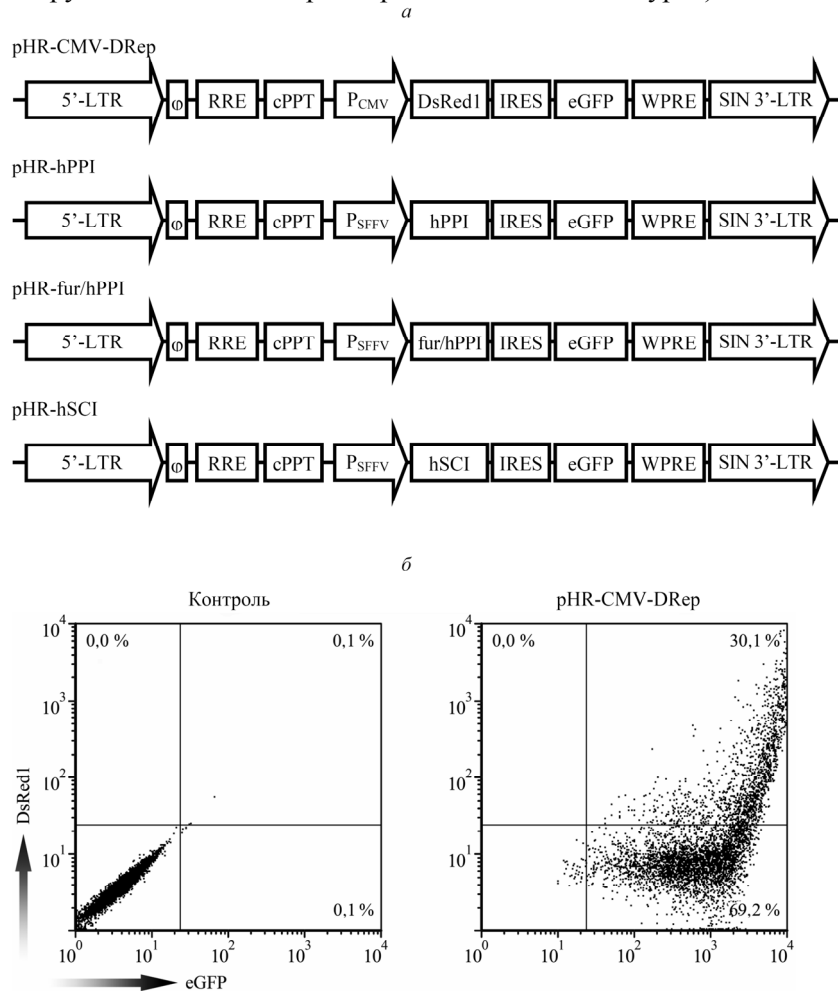


Рис. 7. Карты лентивирусных векторов доставки, использованных для генетической модификации МСК человека.

На (а) показаны только те части плазмид, которые запаковываются в вирусные частицы. На (б) представлены репрезентативные точечные графики, иллюстрирующие эффективность переноса генетических конструкций в МСК человека с помощью лентивирусной трансдукции (на примере лентивирусного вектора доставки *pHR-CMV-DRep*). Данные получены с помощью проточного цитофлуориметра *FACSscan*. По осям *x* и *y* показана интенсивность зеленой и красной флуоресценции клеток (флуоресценция белков *eGFP* и *DsRed1* соответственно)

На основании базового варианта лентивирусного вектора доставки мы разработали серию новых векторов для генетической модификации МСК человека. Одним из них был вектор *pHR-CMV-DRep*,

кодирующий два репортерных белка – зеленый флуоресцирующий белок *eGFP* и красный флуоресцирующий белок *DsRed1*. Использование данного вектора позволило установить, что с помощью лентивирусной трансдукции можно с высокой частотой доставлять бицистронные генетические конструкции в МСК, встраивать их в геном клетки и стабильно поддерживать там на протяжении длительного времени (рис. 7). Затем были разработаны и использованы для генетической модификации МСК лентивирусные векторы доставки, кодирующие репортерный белок *eGFP* и природный инсулин человека или его модификации: вектор *pHR-hPPI*, кодирующий природный препроинсулин, вектор *pHR-fur/hPPI*, кодирующий процессируемый фурином препроинсулин, и вектор *pHR-hSCI*, кодирующий однопепочечный преинсулин (см. рис. 7) [42]. С помощью данных векторов была проведена успешная генетическая модификация МСК, которая позволила получить высокую и стабильную эктопическую экспрессию на уровне РНК и белка целевого гормона в генетически модифицированных клетках. Полученные нами результаты являются основой для дальнейшей разработки суррогатных инсулин-продуцирующих клеток человека для клеточной терапии инсулин-зависимого сахарного диабета.

Кроме того, лентивирусный вектор доставки *pHR-SINcPPT-SIEW*, а также его аналоги – векторы *pHR-SINcPPT-SEW*, *pLVUT-tTRKRAB* и *pLVTHM* – были использованы нами для разработки двух серий новых векторов для конститутивной и четырех серий векторов для индуцибельной РНК-интерференции в клетках ОМЛ человека [43, 44]. Первые две серии векторов, кодирующие искусственные микроРНК, позволяют не только эффективно модифицировать клетки ОМЛ человека, но и надежно и специфично блокировать работу уникального для этих клеток гибридного онкогена *aml1/eto* (рис. 8).

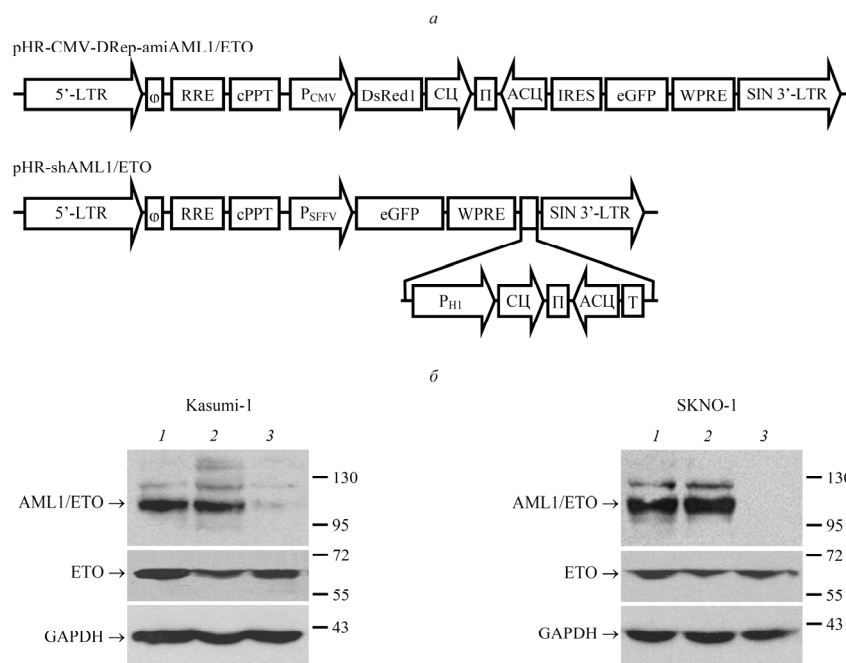


Рис. 8. Структурная организация векторов, использованных для конститутивной анти-*aml1/eto* РНК-интерференции в клетках острого миелоидного лейкоза. На (а) изображены только вирусные части векторов, фланкированные 5'- и 3'-LTR.

Вектор *pHR-CMV-DRep-amiAML1/ETO* кодирует искусственные анти-*aml1/eto* микроРНК. Последовательность, кодирующая предшественника микроРНК, сопряжена с открытой рамкой считывания гена белка *DsRed1* и схематически представлена тремя элементами – последовательностью СЦ, кодирующей смысловую цепь предшественника микроРНК, последовательностью П, кодирующей петлю предшественника микроРНК, и последовательностью АСЦ, кодирующей антисмысловую цепь предшественника микроРНК. Вектор *pHR-shAML1/ETO* кодирует анти-*aml1/eto* короткие шпилечные РНК. В структуре экспрессионной кассеты *H1-shAML1/ETO* условно обозначены следующие элементы: *P_{H1}* – промотор *H1* человека для РНК полимеразы III, последовательности: СЦ – кодирующая смысловую цепь короткой шпилечной РНК, П – кодирующая петлю короткой шпилечной РНК, АСЦ – последовательность, кодирующая антисмысловую цепь короткой шпилечной РНК и Т – кодирующая терминатор для РНК полимеразы III. На (б) показаны репрезентативные Вестерн-блоты белков *AML1/ETO* и *ETO*, а также белка «домашнего хозяйства» *GAPDH*, выделенных из клеток лейкозных линий Kasumi-1 и SKNO-1 после их модификации вектором *pHR-shAML1/ETO* (1 – контрольные клетки, 2 – клетки, трансдуцированные вектором *pHR-SINcPPT-SEW*, 3 – клетки, трансдуцированные вектором *pHR-shAML1/ETO*). Справа показаны маркеры молекулярной массы белков PageRuler™ Prestained Protein Ladder фирмы Fermentas (UAB Fermentas, Литва).

В отличие от конститутивных векторы с индуцибельной экспрессией позволяют регулировать внутриклеточную работу трансгена(-ов) с помощью такого низкомолекулярного соединения, как доксициклин. Две из четырех разработанных нами серий таких векторов – векторы серий *pHR-Auto/v.01* и *pHR-Auto/v.02* содержат ауторегулируемые двунаправленные индуцибельные экспрессионные кассеты. Каждая серия таких векторов включает контрольный вектор и вектор, кодирующий анти-*aml1/eto* искусственные микроРНК. Две другие серии векторов – серии *pHR-i/v.01* и *pHR-i/v.02* явля-

ются двухвекторными лентивирусными системами доставки индуцибельных экспрессионных кассет. Каждая из этих серий включает вектор-регулятор (*pHR-rtTA*, кодирующий транскрипционный активатор *rtTA2S-M2*, или *pLVUT-mCherry-tTRKRAB*, кодирующий транскрипционный репрессор *tetR-KRAB*) и регулируемый вектор, кодирующий либо анти-*aml1/eto* искусственные микроРНК, либо анти-*aml1/eto* короткие шпилечные РНК. Сравнительный анализ показал, что наиболее действенным вариантом (в плане эффективности доставки генетических конструкций и возможности контроля их экспрессии) из всех разработанных нами векторов является двухвекторная система, основанная на транскрипционном репрессоре *tetR-KRAB* и коротких шпилечных РНК как индукторах РНК интерференции. Такая лентивирусная векторная система может быть использована в дальнейших функциональных исследованиях генома лейкозных клеток, а также для целей экспериментальной генной терапии ОМЛ человека.

Молекулярно-биохимическое исследование функционирования геномов коллекционных образцов люпина

Новым направлением в исследованиях генетических, физиологических и биохимических проблем продуктивности и устойчивости растений к биотическим и абиотическим факторам, проводимых сотрудниками сектора генетики растений под научным руководством кандидата биологических наук, доцента кафедры В.С. Анохиной, является переход на молекулярно-биохимический уровень, который позволяет осуществить исследование функциональной активности тех или иных генов и дать более глубокую оценку качества селекционного материала. Цель исследований в этом направлении – анализ полиморфизма белков, служащих маркерами конкретных структурных генов. С использованием электрофоретических спектров белков можно не только определить генотип отдельного растения, но и идентифицировать сорта и формы сельскохозяйственных культур.

Сортовую идентификацию и регистрацию генофонда двудольных (в том числе и зернобобовых) наиболее часто проводят с использованием электрофоретического анализа запасных белков. При оценке образца на сортовую принадлежность достаточно выборки 20÷50 семян. Для детального анализа состава сорта и оценки его чистоты с большей точностью рекомендуется анализ 100÷200 семян [45]. Объектом изучения были коллекционные образцы и гибриды люпина желтого и узколистного, полученные методом межсортовой гибридизации, а также интродуцируемые в Республике Беларусь виды люпина. Электрофорез запасных белков люпина проводили по стандартной методике [45].

При изучении белковых спектров люпина узколистного установлено наличие 14 групп сортов с разными белковыми комплексами. Наиболее многочисленной из изученных групп оказалась первая, для которой было характерно наличие 15-компонентного белкового комплекса (табл. 4). Выявлены группы сортов и форм люпина узколистного, для которых отмечено наличие 14-, 13-, 12-, 11-, 8-, 7- и 6-компонентного белкового комплекса.

Таблица 4

Структура белкового комплекса сортов люпина узколистного

Гс	Белковые компоненты, кДа														
	9	18	19	23	28	35	36	41	42	46	50	58	69	71	93
1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
2	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	–	+	+	+	+
3	–	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
4	–	+	+	+	+	+	+	+	+	+	–	+	+	+	+
5	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	–	–	+	+	+
6	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	–
7	+	+	+	+	+	+	+	–	+	+	+	+	+	+	–
8	+	+	+	+	+	+	+	–	–	+	+	+	+	+	–
9	+	+	+	–	+	+	–	–	+	+	–	+	+	+	+
10	–	+	+	–	+	+	–	+	–	+	–	+	–	–	–
11	–	–	+	–	+	+	–	–	+	–	–	+	+	–	–
12	–	+	+	–	+	+	–	–	+	–	–	–	+	+	–
13	–	+	+	–	+	–	–	+	+	+	–	+	+	–	–
14	–	–	+	–	–	+	+	+	–	–	–	+	+	–	–

Примечание. Здесь и в табл. 5 Гс – группа сортов.

Среди изученных сортов люпина желтого (табл. 5) установлено 6 групп сортов, имеющих в белковом комплексе от 17 до 11 компонентов. Самой многочисленной из изученных групп оказалась первая, для которой было характерно наличие 17-компонентного белкового комплекса. У изученных образцов люпина желтого отмечено наличие общих белковых компонентов (22, 26, 28, 36, 46, 58, 65, 71 КДа).

Возможно, уменьшение компонентного состава белкового комплекса у растений люпина является следствием селекционного процесса культивируемых видов люпина.

Таблица 5

Структура белкового комплекса сортов люпина желтого

Гс	Белковые компоненты, КДа																
	7	9	15	18	22	26	28	35	36	46	47	55	56	58	65	71	92
1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
2	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+
3	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-
4	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	-	-	+	+	+	-
5	-	-	+	+	+	+	+	-	+	+	+	-	+	+	+	+	-
6	-	-	+	+	+	+	+	-	+	+	+	-	-	+	+	+	-

Среди всех вновь интродуцируемых в Беларуси видов люпина отмечены виды как с максимальным числом белковых компонентов в спектре (19), так и с наименьшим их количеством (табл. 6). Белковая формула *Lupinus pilosus* Murr. ближе всего оказалась к белковой формуле *Lupinus atlanticus* Gladst. В спектрах белков этих видов отмечено 14 общих компонентов и лишь один белковый компонент с молекулярной массой 19 КДа, характерный только для *Lupinus pilosus* Murr.

Таблица 6

Структура белкового комплекса интродуцируемых видов люпина

В	Белковые компоненты, КДа																		
	9	16	18	19	22	25	28	31	35	38	42	46	51	54	56	58	69	71	92
1	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+
2	-	-	+	+	-	-	-	+	+	+	-	+	+	+	+	-	+	+	+
3	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
4	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	-	-	+
5	-	-	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	-	+	+	-	-	-	+
6	+	+	-	-	+	+	+	+	-	+	-	+	+	-	-	+	+	+	+
7	+	+	+	-	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
8	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	-	+	+	+	+	+
9	-	-	-	-	+	+	+	+	-	+	+	+	+	-	-	+	+	-	+

Примечание. В – виды: 1 – *Lupinus albus* L. var. *vulgaris* Libk, 2 – *Lupinus albus* L. var. *albiflorus* Atab., 3 – *Lupinus atlanticus* Gladst, 4 – *Lupinus termis* Forsk, 5 – *L. succulentus* Dougl, 6 – *Lupinus hybridus* Lem., 7 – *L. elegans* H.B.K, 8 – *Lupinus pilosus* Murr., 9 – *L. cosentinii* Guss.

Анализ белковых спектров разных видов люпина выявил наличие общих и индивидуальных компонентов. Это может быть использовано при внутри- и межвидовой классификации рода, а также для определения степени родства анализируемых образцов и их дивергенции в процессе разнонаправленного действия естественного и искусственного отбора, что подтверждается общностью белковых компонентов у форм люпина желтого и люпина узколистного, близких по происхождению. У люпина желтого это М-3МЛ, ФАМ-2, ФАМ-3, у люпина узколистного – Кристалл, Кормовой 344, Ашчадны.

Таким образом, научные исследования кафедры генетики в области биотехнологии микроорганизмов, молекулярной генетики человека и генетики растений связаны с решением ряда фундаментальных и практических задач. Расшифрована функциональная активность генов, участвующих в метаболизме ряда вторичных микробных метаболитов (феназиновых антибиотиков, бактериальных пигментов и стимуляторов роста растений – ИУК и АЦК-дезаминазы), у перспективных в биотехнологическом отношении бактериальных штаммов; разработаны новые подходы к использованию биосинтетического потенциала данных организмов и созданию на их основе новых штаммов-продуцентов, пригодных для практического использования, часть из которых уже рекомендована в производство.

С использованием комплекса биоинформационных и молекулярно-генетических методов исследования – от компьютерного моделирования гибридных генов до генетической модификации лейкозных клеток и анализа последствий нокдауна специфических генов в этих клетках – на кафедре генетики проводится изучение роли хромосомной транслокации t(8; 21)(q22; q22) в инициации и поддержании острого миелоидного лейкоза человека. Кроме того, на кафедре генетики ведутся работы по получению бета-подобных клеток, продуцирующих инсулин, на основе генетически модифицированных МСК человека.

По результатам молекулярно-биохимического анализа спектров запасных белков зернобобовых культур этот метод предложен для паспортизации испытуемых образцов и определения степени их родства.

1. Феклистова И.Н., Максимова Н.П. // Вестн. БГУ. Сер. 2. 2005. № 3. С. 29.
2. Феклистова И.Н., Максимова Н.П. // Там же. № 2. С. 66.
3. Феклистова И.Н. Синтез антибиотиков ароматической природы у бактерий *Pseudomonas aurantiaca* В-162: Автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.07. Мн., 2006.
4. Максимова Н.П. и др. // Молекулярная и прикладная генетика: Сб. науч. тр. 2008. Т. 8. С. 143.
5. Феклистова И.Н., Максимова Н.П. // Тр. БГУ. Физиол., биохим. и молекул. основы функционирования биосистем. Мн., 2008. Вып. 3. Ч. 1. С. 148.
6. Феклистова И.Н., Максимова Н.П. // Вестн. БГУ. 2004. № 3. С. 48.
7. Феклистова И.Н., Максимова Н.П. // Молекул. генетика, микробиол. и вирусол. 2005. № 4. С. 34.
8. Феклистова И.Н., Максимова Н.П. // Микробиология. 2008. Т. 77. № 2. С. 207.
9. Feklistova I.N., Maksimova N.P. // Microbiology. 2008. Vol. 77. № 2. P. 176.
10. Максимова Н.П. др. // Молекулярная и прикладная генетика: Сб. науч. тр. Мн., 2008. Т. 8. С. 143.
11. Феклистова И.Н., Максимова Н.П. // Тр. БГУ. Физиол., биохим. и молекул. основы функционирования биосистем. Мн., 2008. Вып. 3. Ч. 1. С. 181.
12. Веремеенко Е.Г., Федорович М.Н., Феклистова И.Н., Максимова Н.П. // Вестн. БГУ. 2009. № 1. С. 44.
13. Максимова Н.П., Храмцова Е.А., Феклистова И.Н. и др. // Тр. БГУ. Физиол., биохим. и молекул. основы функционирования биосистем. Мн., 2009. Т. 4. Ч. 2. С. 15.
14. Веремеенко Е.Г., Федорович М.Н., Феклистова И.Н., Максимова Н.П. // Вестн. БГУ. 2009. № 2. С. 44.
15. Veremeenko E.G., Maximova N.P. // Microbiology. 2010. Vol. 79. № 4. P. 439.
16. Веремеенко Е.Г., Лысак В.В., Максимова Н.П. // Вестн. БГУ. Сер. 2. 2010. № 2. С. 47.
17. Веремеенко Е.Г., Максимова Н.П. // Тр. БГУ. Физиол., биохим. и молекул. основы функционирования биосистем. Мн., 2009. Т. 4. Ч. 1. С. 161.
18. Веремеенко Е.Г., Максимова Н.П. // Бюл. Моск. о-ва испытателей природы. Отд. биол. 2009. Т. 114. Вып. 2. С. 27.
19. Prischepa L., Voitka D., Feklistova I., Maximova N. // Zeszyty problemowe Postępow Nauk Polniczych. 2008. Z. 529. P. 149.
20. Feklistova I.N., Maslak D.V., Maksimova N.P. // World of Lignohumate. 2009. May – June. P. 7.
21. Максимова Н.П. Метаболизм ароматических соединений у метилотрофных бактерий: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук: 03.00.07, 03.00.23. Мн., 2006.
22. Блажевич О.В. Характеристика флуоресцирующего пигмента пиовердина Р_М бактерий *Pseudomonas putida*: Автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.07. Мн., 1994.
23. Максимова Н.П., Блажевич О.В., Лысак В.В., Фомичев Ю.К. // Микробиология. 1994. Т. 63. № 5. С. 1038.
24. Максимова Н.П., Блажевич О.В., Фомичев Ю.К. // Там же. 1992. Т. 61. № 5. С. 818.
25. Максимова Н.П., Блажевич О.В., Фомичев Ю.К. // Молекул. генет., микробиол. и вирусол. 1993. № 5. С. 22.
26. Блажевич О.В., Максимова Н.П. // Изв. РАН. Сер. биол. наук. 1994. № 2. С. 205.
27. Кулешова Ю.М., Максимова Н.П., Костюк В.А. // Новости мед.-биол. наук. 2005. № 2. С. 49.
28. Кулешова Ю.М., Максимова Н.П. // Вестн. БГУ. 2006. № 1. С. 57.
29. Кулешова Ю.М. // Изв. НАН Беларуси. Сер. биол. наук. 2006. № 5. С. 113.
30. Кулешова Ю.М., Максимова Н.П., Блажевич О.В., Семак И.В. // Тр. БГУ. Физиол., биохим. и молекул. основы функционирования биосистем. Мн., 2006. Т. 1. С. 89.
31. Кулешова Ю.М. Биологическая активность пиовердина Р_М бактерий *Pseudomonas putida*, получение и характеристика штаммов-продуцентов: Автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.02.03. Мн., 2011. С. 150.
32. Кулешова Ю.М., Камаева М.В., Максимова Н.П. // Вестн. БГУ. 2006. № 2. С. 48.
33. Кулешова Ю.М., Максимова Н.П. // Тр. БГУ. Физиол., биохим. и молекул. основы функционирования биосистем. Мн., 2008. Т. 3. С. 84.
34. Кулешова Ю.М., Федорович М.В., Максимова Н.П., Поликсенова В.Д. // Вестн. БГУ. 2008. № 3. С. 89.
35. Феклистова И.Н., Максимова Н.П. // Бюл. Моск. о-ва испытателей природы. Отд. биол. 2009. Т. 114. Вып. 2. С. 110.
36. Храмцова Е.А., Жардецкий С.С., Максимова Н.П. // Вестн. БГУ. 2006. № 2. С. 69.
37. Храмцова Е.А., Олехнович И.Н., Фомичев Ю.К. // Генетика. 1996. Т. 32. № 8. С. 1051.
38. Храмцова Е.А., Жардецкий С.С., Садовская Л.Е., Максимова Н.П. // Сб. науч. тр. 2006. Т. 3. С. 146.
39. Гринев В.В., Радишевская А.А., Хейденрайх О. // Вестн. БГУ. 2008. № 3. С. 82.
40. Shakhbazau A.V., Sevyaryn I.N., Goncharova N.V. et al. // Bul. Exp. Bio. Med. 2008. Vol. 146. № 4. P. 531.
41. Naldini L., Blömer U., Gallay P. et al. // Science. 1996. Vol. 272. № 5259. P. 263.
42. Романовская Т.В., Северин И.Н., Космачева С.М. и др. // Тр. БГУ. Физиол., биохим. и молекул. основы функционирования биосистем. Мн., 2011. Т. 5. С. 185.

43. Гринев В.В., Максимова Н.П., Хейденрайх О. // Вестн. НАН Беларуси. 2008. № 3. С. 49.

44. Grinev V. V., Posrednik D. V., Heidenreich O. // Mol. Bio. 2011. Vol. 45. № 2. P. 300.

45. Идентификация сортов и регистрация генофонда культурных растений по белкам семян / Под ред. акад. РАСХН В.Г. Конарева. СПб., 2000.

Поступила в редакцию 11.07.11.

Наталья Павловна Максимова – доктор биологических наук, профессор, заведующая кафедрой генетики. Специалист в области генетики и биотехнологии микроорганизмов – продуцентов биологически активных соединений. Научный руководитель НИЛ молекулярной генетики и биотехнологии при кафедре генетики. Имеет около 350 научных публикаций, в том числе 12 патентов.

Вера Степановна Анохина – кандидат биологических наук, доцент кафедры генетики. Специалист в области частной генетики и эволюции растений. Автор более 300 работ по генетике, биохимии, теоретическим основам селекции и гамето-фитному отбору зернобобовых культур, теории и механизмов микроэволюции.

Василий Викторович Гринев – кандидат биологических наук, доцент кафедры генетики. Область научных интересов связана с выяснением роли хромосомной транслокации t(8;21)(q22;q22) в инициации, развитии и поддержании острого миелоидного лейкоза у человека и изучением структурно-функциональной организации транскриптома лейкозных клеток. Имеет более 80 научных и учебно-методических публикаций.

Елена Аркадьевна Храцова – кандидат биологических наук, доцент кафедры генетики. Специалист в области микробного синтеза биологически активных веществ. Имеет 43 научные и научно-методические публикации.

Ирина Николаевна Феклистова – кандидат биологических наук, заведующая НИЛ молекулярной генетики и биотехнологии. Специалист в области генетики и биохимии бактерий. Ведет большую инновационную работу по внедрению биотехнологических разработок в практику. Имеет более 70 научных публикаций и 4 внедрения в производство.

Владимир Васильевич Лысак – кандидат биологических наук, доцент кафедры микробиологии, декан биологического факультета. Специалист в области микробиологии и биотехнологии ризосферных бактерий. Имеет свыше 140 научных и научно-методических работ, в том числе 3 патента и 2 учебных пособия с грифом Министерства образования Республики Беларусь.

90
ЛЕТ

География



УДК 911.3:339.9(476)

И.И. ПИРОЖНИК

ЭКОНОМИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ТЕНДЕНЦИИ РЕГИОНАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ БЕЛАРУСИ В ПЕРИОД ПОСТСОЦИАЛИСТИЧЕСКОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ

The peculiarities of the socio-economic development of Central and Eastern European countries for 20 years of post-socialist transformation are disclosed, as well as trends of dynamics in macroeconomic and territorial structure of economic complex. According to the extent of market-based mechanisms implementation and to the level of economic and social development, three groups of countries are differentiated. On the ground of the range of indicators, level of socio-economic development of Belarusian regions (provinces), increase of spatial disparities in economic development of regions and measures of state regulation on social living standards indicators alignment are discovered. Main approaches to the revitalization of regional policy are analyzed, as well as measures of territorial organization improvement regarding the socio-economic complex of the region in conditions of overcoming the consequences of global crisis and during transition to mechanisms of sustainable and innovative development.

Республика Беларусь входит в группу стран Центральной и Восточной Европы (ЦВЕ), включающую 20 государств. Их удельный вес в мире по населению составил 4,7 % в 2008 г., а доля в ВВП сократилась по сравнению с 1990 г. в два раза и не превышает 5,8 % [1]. Решающими факторами трансформации отраслевой и пространственной структуры хозяйства в период постсоциалистической трансформации выступили отказ от автаркичных моделей развития и переориентация различных форм внешнеэкономической деятельности на мировой рынок [2]. Постепенная отмена экспортно-импортных ограничений и развитие внешнеэкономических связей с индустриально развитыми странами способствовали повышению доли Европейского Союза в товарообороте восточноевропейских стран. Приток прямых и портфельных инвестиций в страны ЦВЕ был обусловлен конкурентными преимуществами восточноевропейских государств: развитой производственной инфраструктурой, высококвалифицированными трудовыми ресурсами и заниженным уровнем оплаты труда. Важную роль в создании благоприятных инвестиционных условий сыграло то, что в структуру промышленности стран ЦВЕ были внедрены новые элементы – территориальные образования с преференциальным режимом ведения экономической деятельности, различные виды которых объединены общим понятием свободных или специальных экономических зон (СЭЗ). Торговые и торгово-производственные зоны, к которым прежде всего относятся промышленные парки, стали ведущей формой пространственной и функциональной организации хозяйственной деятельности. Основные изменения в макроструктуре хозяйства связаны с расширением доли непромышленного сектора, что является важной характеристикой становления постиндустриальной экономики. Процесс адаптации стран ЦВЕ к новым рыночным условиям хозяйствования сопровождался глубоким производственным кризисом, причем снижение предпринимательской активности повлияло на изменение доли промышленности в структуре экономики [3], которая к 2008 г. сократилась до 20–30 % в структуре ВВП в балтийских и большинстве балканских стран (Латвия, Эстония, Литва, Албания, Болгария, Македония, Сербия, Черногория). В Беларуси остается высокий удельный вес промышленного сектора в ВВП (42,9 %), сохранен потенциал крупных государственных предприятий в ключевых отраслях. Замещение вто-

ричного сектора третичным не привело к автоматическому скачку в постиндустриальной стадии развития. В непродуцированной сфере большинства стран ЦВЕ ведущие позиции занимают розничная торговля и другие отрасли социального обслуживания, а рынок наукоемких услуг (финансовых, информационных и др.) находится в стадии формирования.

С учетом неравномерности процессов трансформации в регионе можно выделить три группы стран со значительной дифференциацией важнейших макроэкономических показателей (рис. 1–4).

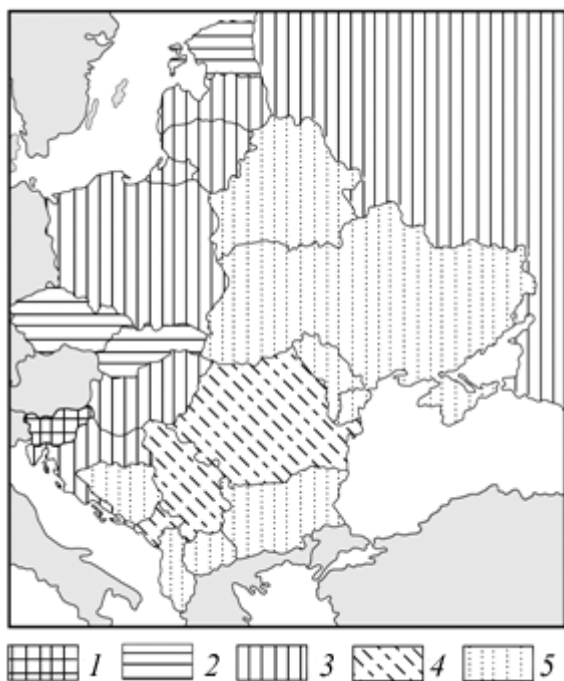


Рис. 1. Объем среднедушевого ВВП в 2008 г., долл./чел.:
1 – свыше 22,1; 2 – 17,1–22; 3 – 11,6–17;
4 – 6,7–11,5; 5 – 1,6–6,7

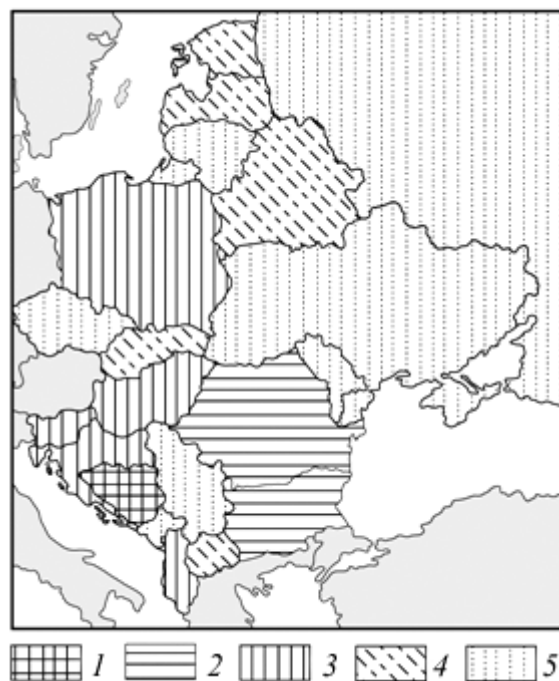


Рис. 2. Среднегодовые темпы роста ВВП в 1970–2008 гг., %:
1 – более 3,6; 2 – 2,6–3,5; 3 – 1,6–2,5;
4 – 0,6–1,5; 5 – 0,5–минус 1,9

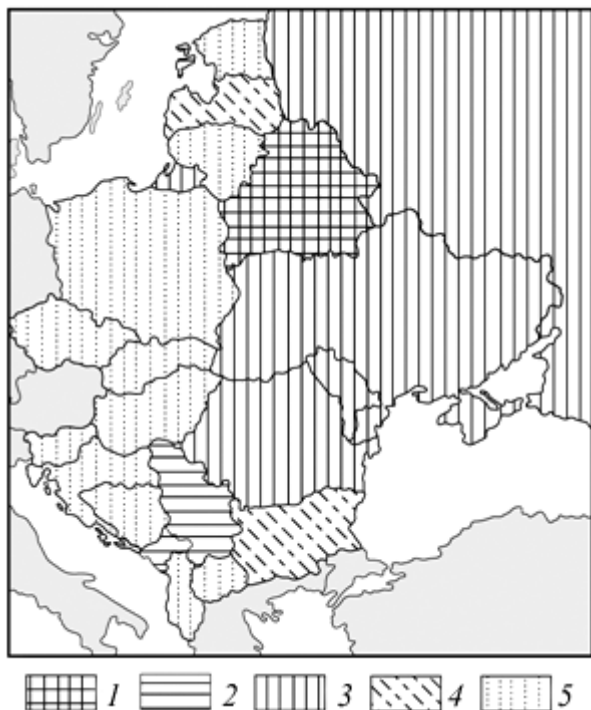


Рис. 3. Среднегодовые изменения потребительских цен в 2000–2008 гг., %: 1 – более 15,1; 2 – 12,6–15,0; 3 – 9,5–12,5;
4 – 6,1–9,5; 5 – 2,3–6

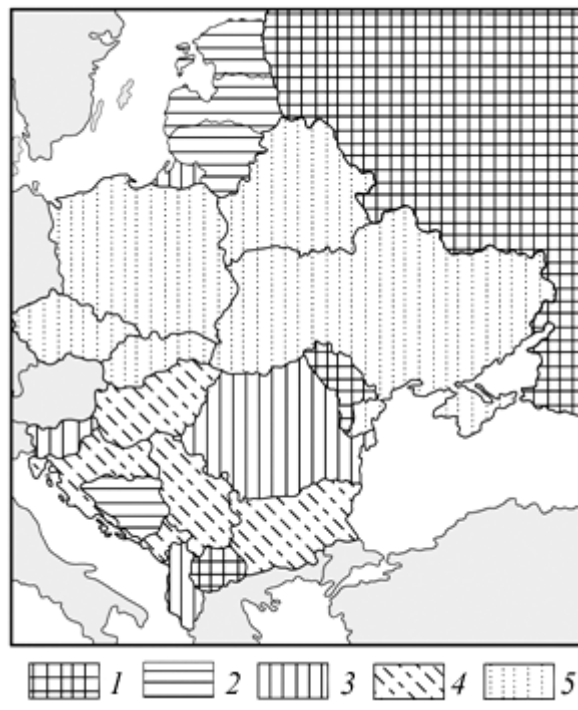


Рис. 4. Коэффициент Джини в 2009 г.:
1 – более 37,5; 2 – 33,6–37,5; 3 – 31,1–33,5;
4 – 28,6–31,0; 5 – 25,1–28,5

В первую группу входят пять стран Центральной Европы, два балканских и три балтийских государства (Словения, Чешская Республика, Польша, Венгрия, Словакия, Эстония, Латвия, Литва, Хорватия) с высоким уровнем ВВП на душу населения (15–20 тыс. долл./чел. по ППС в 2008 г.), реализовавших широкий комплекс структурных реформ, внедривших рыночную систему хозяйствования. Это страны со средним устойчивым экономическим ростом (1–2 % среднегодового прироста душевого ВВП в 1970–2008 гг.), умеренным увеличением индекса потребительских цен (2,5–6 % в 2000–2008 гг.), значительной безработицей (около 8–10 % в 2009 г.), средним уровнем неравенства потребления богатейших и беднейших социальных групп (коэффициент Джини 25–30, в балтийских странах – выше 35), осуществляющих процесс интегрирования в мирохозяйственную систему.

Вторую группу составляют четыре балканские страны (Болгария, Румыния, Сербия, Черногория) и Беларусь с уровнем ВВП на душу населения 6–10 тыс. долл./чел., близким к среднемировому (9,1 тыс. долл./чел.), незавершенными структурными реформами и резким экономическим спадом в 1990-х гг. (частично непреодоленным в условиях текущего мирового кризиса), устойчивым среднегодовым экономическим ростом (2,2–3,3 % среднедушевого ВВП в 1970–2008 гг., кроме Сербии и Черногории), высоким индексом потребительских цен (12–20 % в 2000–2008 гг., особенно в Сербии и Беларуси), сохраняющимся уровнем безработицы (8–13 % в 2009 г., кроме Беларуси – 1,8 %), средним уровнем неравенства потребления богатейших и беднейших социальных групп (коэффициент Джини 29–31) и разнонаправленной ориентацией интеграционных процессов в рамках ЕС (Болгария, Румыния) и СНГ (Беларусь).

Третью группу включает две страны СНГ (Украину, Молдову) и три балканских государства (Албанию, Боснию и Герцеговину, Македонию) с низким уровнем среднедушевого ВВП (2–4 тыс. долл./чел. – менее 50 % среднемирового), незавершенными структурными реформами либерального характера, сопровождавшимися затянувшейся стагнацией (отрицательными темпами роста ВВП в Украине – 1,9 % за 1970–2008 гг.), высоким индексом роста потребительских цен (9–11 % в 2000–2008 гг.), растущим уровнем безработицы (10–12 % в 2009 г.) и значительным неравенством в потреблении (коэффициент Джини в 1,3–1,4 раза выше, чем в центральноевропейских странах, – 36–39).

Приведенная типология не противоречит группировке стран – новых членов ЕС – по степени их интегрированности в общеевропейские структуры. Наиболее высокий уровень интегрированности в ЕС имеет Словения, далее идут Чешская Республика, Венгрия, Польша, Эстония, Литва, среднеинтегрированными являются Словакия и Латвия, а Болгария и Румыния считаются наименее интегрированными [4]. Следует отметить, что, несмотря на противоречивость оценок процессов трансформации в Беларуси, она занимает устойчивые позиции стабильного «средняка» в регионе ЦВЕ по всем макроэкономическим позициям (кроме индекса роста потребительских цен), в том числе первое место среди стран СНГ по индексу развития человеческого потенциала (14-е место в регионе ЦВЕ, 61-е – в мире в 2010 г.).

Таблица 1

Динамика уровня социально-экономического развития регионов Беларуси в 1990–2008 гг.*

Регионы (области)	Индекс интегрального уровня социально-экономического развития по отношению к среднереспубликанскому (РБ = 1)		
	1990 г.	2000 г.	2008 г.
Брестская	0,975	0,890	0,886
Витебская	1,007	0,987	0,990
Гомельская	1,011	0,990	0,999
Гродненская	1,013	0,961	0,982
г. Минск	1,160	1,345	1,301
Минская	0,989	1,045	1,040
Могилевская	1,012	0,881	0,907

* Составлено по Л.В. Козловской [5].

Важным направлением совершенствования **территориальной организации социально-экономического комплекса Беларуси** остается преодоление диспропорций в развитии регионов разного ранга и различий в уровне жизни населения. Несмотря на длительную практику государственного регулирования в выравнивании уровня социально-экономического развития (СЭР) регионов Беларуси, их положение в условиях рыночной трансформации, как и в большинстве стран с переходной экономикой, только усугубляется. Расчеты интегральных индексов (на основе восьми частных среднедушевых показателей) социально-экономического развития регионов Беларуси по отношению к среднереспубликанскому уровню [5] показывают (табл. 1), что Минск вместе с Минской и Гомель-

ской областями лидирует в рейтинге регионов (1–1,3), Гродненская и Витебская области сохраняют позиции устойчивых «средняков» (0,96–0,98), а Брестская и Могилевская ухудшили свое положение за период постсоциалистической трансформации (0,88–0,9). При этом диспропорции между лидирующим регионом (г. Минск) и аутсайдером (Брестская область), которые в 1990 г. составляли 1,19 раза, увеличились к 2008 г. до 1,47. Экономический анализ уровня развития отдельных секторов хозяйственного комплекса по областям говорит о том [6], что в последнее время ухудшились позиции Витебской области в промышленности, низкий инновационный капитал и неустойчивое финансовое положение имеет Могилевская область, последние места по уровню развития человеческого капитала занимают Гродненская и Минская области, замыкают рейтинг по развитию малого бизнеса западные приграничные регионы (Брестская и Гродненская области); при этом, несмотря на приграничное положение с ЕС, Брестская область также занимает последнее место по внешней торговле (табл. 2). Анализ современных тенденций региональной трансформации в России и других постсоциалистических странах ЦВЕ свидетельствует о том, что общей тенденцией является усиление концентрации экономического потенциала в сильнейших регионах при увеличении экономической дифференциации уровня регионального развития и снижении социальной дифференциации (вследствие бюджетного перераспределения средств между проблемными и благополучными регионами) при сохранении влияния территориальной структуры, сложившейся в прошлые годы [7].

Таблица 2

Индикаторы уровня СЭР и рейтинг регионов Беларуси в 2008 г.*

Среднедушевые индикаторы уровня СЭР	Регионы (области)						
	Брестская	Витебская	Гомельская	Гродненская	Минск	Минская	Могилевская
Человеческий капитал	5	4	3	6	1	7	2
Промышленность	3	7	2	5	1	4	6
Сельское хозяйство	2	5	4	1	7	6	3
Инвестиционные и финансовые ресурсы	5	6	3	4	2	1	7
Научный и инновационный потенциал	5	4	2	7	1	3	6

* Составлено по С.С. Балук [6].

Вследствие различий в уровне экономического развития регионов в 2009 г. среднедушевые денежные доходы населения в г. Минске в 1,57 раза превышали среднереспубликанские, а в Гомельской, Брестской и Могилевской областях составляли 0,82–0,84 среднего уровня по Беларуси. Благодаря активной социальной политике государства за период с 2000 по 2009 г. удельный вес населения Беларуси с уровнем доходов ниже бюджета прожиточного минимума снизился с 41,9 до 5,4 %. В областях более высокий уровень начисленной номинальной заработной платы отмечается в 11 крупных городах и индустриальных центрах с числом жителей более 100 тыс. чел., а также в 12 индустриально-аграрных районах с крупными промышленными предприятиями (Минский, Дзержинский, Солигорский, Смолевичский, Мозырский, Жлобинский, Речицкий, Светлогорский, Гродненский, Волковысский, Березовский, Чашникский) [8]. Рентабельность реализованной продукции, работ и услуг по областям в 2009 г. колебалась от 12,5 % в г. Минске до 17,6 % в Гродненской области при среднем показателе по стране 13,5 %. При этом удельный вес убыточных предприятий (21,7 % в среднем по стране) составлял 13,5 % в Могилевской области, а в г. Минске достигал максимума – 29,5 % [8]. Развитие человеческого капитала невозможно без последовательной государственной политики по повышению уровня жизни населения. За 2006–2010 гг. был достигнут рост реальных денежных доходов населения на 75 %, заработной платы – на 59 %, пенсий по возрасту – на 58 %. В стране созданы возможности для того, чтобы люди в процессе трудовой деятельности могли обеспечивать себе приемлемый, растущий уровень дохода. В целом политика Беларуси в области обеспечения основных социально-экономических прав и гарантий соответствует высоким международным стандартам, что получило признание в мировом сообществе. В частности, по рейтингу национальных бюджетов Всемирного банка Беларусь среди стран бывшего СССР заняла самое высокое место (53-е) и ежегодно тратит на поддержку уровня жизни населения 3,9 тыс. долл. в расчете на каждого жителя. Средний уровень бюджетных расходов на душу населения в мире достигает 4,87 тыс. долл., в России (73-е место) – 2,46 тыс. долл. [9].

Приведенные примеры показывают, что диспропорции в социально-экономическом развитии регионов сохраняются, уровень жизни населения в них частично выравнивается благодаря мерам активной государственной социальной политики, не всегда учитывающей достигнутый уровень экономической эффективности производственной деятельности. Специалисты по региональному развитию

отмечают, что главной причиной имеющихся диспропорций в уровне развития регионов является высокая экономическая эффективность процессов территориальной концентрации производства и населения [5]. В условиях дефицита инвестиционных ресурсов, неблагоприятной структуры человеческого капитала вследствие старения (особенно сельского) населения активные меры региональной политики требуют эффективного внедрения инновационных программ, увязанных с программами глобальных механизмов развития и региональной интеграцией в рамках Таможенного союза Беларуси, России, Казахстана.

Высокая экономическая эффективность концентрации хозяйственной деятельности положена и в основу Государственной схемы комплексной территориальной организации Республики Беларусь на 2007 г., предусматривающей поляризованное развитие регионов в рамках концептуальной схемы «центр-периферия» [5] и распространение инноваций из «регионов-центров» по территории страны. Однако такая концепция регионального развития без реальных механизмов и институциональных структур (научных центров на базе университетов, промышленных и технологических парков с использованием технологий и инвестиций ТНК, бизнес-инкубаторов и инновационных центров, стимулирующих развитие высокотехнологичных отраслей и производств), по мнению некоторых экономистов, имеет ряд недостатков. Усиление конкуренции за счет финансовых ресурсов при оттоке квалифицированной рабочей силы в «полюса роста» еще больше увеличит разрыв в уровне развития регионов. Проводимая политика должна стимулировать механизмы и источники саморазвития, структурную перестройку хозяйства регионов, а не консервировать диспропорции в их развитии через бюджетное выравнивание социального уровня [10].

Для обеспечения темпов экономического роста Беларуси на 10 % в 2011–2015 гг. необходимо с помощью внутренних и иностранных инвестиций продолжить ускоренную модернизацию ключевых отраслей. С использованием концепции «обгоняющая модернизация» экономической программой развития следует (с учетом традиционно высокого в Беларуси уровня НИОКР и повышения эффективности инновационной системы) создать и предложить мировому рынку собственные уникальные изделия и товары [9, 11].

Предстоящая комплексная работа по совершенствованию инновационной системы и строительству конкурентоспособной экономики в Беларуси должна включать [9, 11] следующее: адаптацию к процессам глобализации и региональной интеграции с комплексом мер посткризисного регулирования; строительство современной рыночной инновационной системы; развитие человеческого капитала высокого качества и социальное развитие регионов; трансформацию отраслевой структуры экономики и переход к постиндустриальной стадии с ускоренным развитием сферы услуг; информатизацию и строительство сетевой экономики (сетевая реструктуризация производств и цепочек поставок-сбыта); устойчивое развитие территорий и активную региональную политику.

Ключевую роль в активизации развития регионов призваны сыграть переход на принципы устойчивого развития и усиление региональной политики. Концепция устойчивого развития, предложенная ООН, «позволяет удовлетворить потребности нынешних поколений, не нанося при этом ущерба возможностям, оставляемым в наследство будущим поколениям для удовлетворения их собственных потребностей». Она призвана объединить задачи высоких темпов роста ВВП с сохранением природной среды для будущих поколений. Важен не сам по себе экономический рост, а качественный рост, который сегодня измеряют индикатором прогресса (GPI – Genuine Progress Indicator, «зеленый ВВП»). Поэтому в следующей пятилетке нужно добиваться не просто выравнивания наших регионов по ВВП, а сбалансированного устойчивого роста региональных GPI [11].

Отличительной чертой белорусской модели регионального развития является делегирование регионам полномочий для полноценного трансграничного и приграничного сотрудничества и продвижения национальных интересов в ближнем и дальнем зарубежье. Региональный вектор используется как в экономических интересах, так и для развития внешнеполитического диалога на двусторонней основе. Местные органы власти не только развивают межрегиональные отношения, но и побуждают субъекты хозяйствования к сотрудничеству с зарубежными партнерами, развитию кооперационных связей, расширению сбытовых сетей и др., основываясь на принципах многовекторности и сбалансированности внешнеполитической деятельности в рамках концепции рационального регионализма [12].

В докладе Всемирного банка о мировом развитии в 2009 г. отмечалось, что важными моментами экономического развития регионов и городов являются пространственные аспекты экономической деятельности и действие ряда экономико-географических факторов. Достигнутый уровень террито-

риальной концентрации производства и населения в трех мирохозяйственных центрах (Северная Америка, ЕС, Япония) позволяет рекомендовать более широкое внедрение пространственных механизмов активизации экономического роста. В условиях экономической трансформации странам Центральной и Восточной Европы, в том числе и Беларуси, следует уделять большее внимание экономико-географическим процессам, направленным на:

1) обеспечение более высокой плотности «экономической массы на единицу площади», усиление территориальной концентрации экономической деятельности и повышение ее географической компактности;

2) сокращение расстояний не столько в аспекте географической близости, сколько в категориях снижения затрат и времени на преодоление пространства при перемещении капиталов, товаров, услуг, трудовых и информационных ресурсов;

3) ослабление разобщенности между странами, регионами, городами и поселениями путем упрощения процедур пересечения не только государственных, административных или географических барьеров, но в первую очередь ликвидации экономических (таможенных, визовых, налоговых), культурных, языковых и иных ограничений.

Некоторые белорусские экономисты-регионоведы склоняются к мнению о необходимости дальнейшего совершенствования государственной региональной политики. При этом, по их мнению, целесообразно обеспечить сокращение прямого вмешательства государства в развитие региональных и местных сообществ и создать предпосылки для делегирования полномочий в решении вопросов локального масштаба из центра на места [13].

С этой целью предлагается активизировать следующие направления государственной региональной политики:

1) осуществить перенос приоритетов от доминирующей практики централизованного перераспределения государственных ресурсов между административно-территориальными единицами на стимулирование структурных преобразований в самих регионах;

2) обеспечить относительную финансовую самостоятельность регионов путем укрепления системы региональных финансов, местных бюджетов и совершенствования межбюджетных отношений;

3) сократить затраты республиканского бюджета на выполнение регионально ориентированных отраслевых и межотраслевых программ с направлением высвободившихся средств на разработку и реализацию региональных программ, имеющих государственное значение;

4) активизировать реформы в области местного управления и самоуправления, направленные на повышение роли местных органов в решении региональных проблем и обеспечивающие регионам широкий выбор путей самостоятельного развития, участия в принятии решений по всем местным социальным, экономическим, политическим и культурным вопросам.

Особого внимания заслуживает система принципов, на которых основывается региональная политика Европейского Союза (принципы концентрации, партнерства, планирования, дополнительности и субсидиарности) [14]. Они могут быть успешно в модифицированном виде использованы на национальном уровне в странах с переходной экономикой. Все перечисленные меры по децентрализации управления регионами, несомненно, относятся к комплексу важнейших направлений по повышению эффективности государственной региональной политики и совершенствованию территориальной структуры социально-экономического комплекса страны и отдельных регионов. При этом некоторые либеральные экономисты [15] высказывают мнение, что замедление, а тем более отказ страны от включения в процессы глобализации и создание рыночной экономики с доминированием частной собственности и приватизацией белорусских предприятий крупными зарубежными ТНК не способствуют повышению конкурентоспособности экономики Беларуси и ее отдельных регионов. На наш взгляд [16], стратегическая задача для нашей республики состоит в том, чтобы, используя экономико-географические механизмы территориального развития, укрепить свой геоэкономический потенциал настолько, чтобы мировые глобализационные и интеграционные процессы не стали для нее разрушительными и она участвовала бы в них на взаимовыгодных, равных условиях с другими государствами.

1. Пирожник И. И. // Prace naukowe Univ. Slaskiego w Katowicach. Geographia. Studia et dissertationes. 2005. Т. 27. S. 241.

2. Domanski B., Guzik R., Micek G. // Biul. Kom. Prestrz. Zagosp. 2003. Т. 204. S. 125.

3. Лобанов М. М. // Региональные исследования. 2010. № 3. С. 106.

4. Гитер Б. А., Янукович Ф. Н. // Глобальная социально-экономическая география: Сб. науч. тр., посвящ. памяти Н.В. Алисова. М.; Смоленск, 2011. С. 142.

5. Козловская Л. В. // Вестн. БГУ. Сер. 2. 2010. № 1. С. 60.
6. Балюк С. С. Формирование регионального народнохозяйственного комплекса (на примере Гродненской области): Автореф. дис. ... канд. экон. наук. Мн., 2010. С. 11.
7. Леонов С. Н. // Инициативы XXI в. 2010. № 1. С. 52.
8. Регионы Республики Беларусь. 2010: Стат. сб. Нац. стат. комитета РБ. Мн., 2010.
9. Червяков А., Богданович А., Грибоедова И. // Экономика Беларуси. 2010. № 4. С. 6.
10. Селиверстов В. Е. // Регион: экономика, социология. 2008. № 2. С. 199.
11. Ковалев М. М. // Экономика Беларуси. 2010. № 3. С. 62.
12. Есин Р. О. // Проблемы управления. 2009. № 3 (32). С. 179.
13. Фатеев В. С. // Конкурентоспособность предприятий и регионов в глобальной экономике: Сб. науч. ст.: в 2 ч. Гродно, 2009. Ч. 1. С. 187.
14. Ladysz J. Polityka strukturalna Polski i Unii Europejskiej. Warszawa, 2008. S. 127.
15. Злотников Л. // Малый и средний бизнес Беларуси. 2006. № 24. С. 3.
16. Пирожник И. И. // Фокус. 2007. № 4. С. 3.

Поступила в редакцию 14.06.11.

Иван Иванович Пирожник – доктор географических наук, профессор, декан географического факультета, заведующий кафедрой экономической географии зарубежных стран. Специалист по экономической, социальной, политической и рекреационной географии. Автор более 230 научных работ, в том числе 8 учебных пособий по геоэкономическим проблемам мирового хозяйства, развитию процессов урбанизации, территориальной организации туристского комплекса, оптимизации природопользования, комплексному картографированию. Лауреат премии им. А.Н. Севченко в области естественных наук.

УДК 911.3 (476)

Л.В. КОЗЛОВСКАЯ

РЕГИОНЫ БЕЛАРУСИ: ПОТЕНЦИАЛ И ФАКТОРЫ ИНТЕНСИФИКАЦИИ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ

Present article provides with the information about the directions and the results of the investigations performed by the department of an Economical Geography of Belarus and the CIS concerning the problems of regional development of Belarus from 1991 until 2010. A brief evaluation of resource potential in Minsk and its' regions and of the intensification directions of usage of the mentioned resource potential in contemporary conditions is given.

Исследованием проблем регионального развития Беларуси в условиях переходного периода кафедра экономической географии Беларуси и государств Содружества занимается уже 20 лет, выполнив по этой проблематике 4 плановые темы НИР. Однако задачи обеспечения устойчивого социально-экономического и экологического развития внутриреспубликанских регионов, в качестве которых в Беларуси выступают 6 областей и г. Минск, по-прежнему актуальны. И кафедра продолжает работу в избранном направлении: на период 2011–2015 гг. намечено выполнение плановой темы НИР «Особенности территориальной организации хозяйства регионов Беларуси в условиях инновационного развития». На предыдущих этапах исследования в поле зрения научных интересов кафедры были следующие теоретические вопросы:

- осмысление концепции устойчивого развития регионов, ее отличий от традиционных экономико-географических представлений о комплексности развития территориальных социально-экономических систем;
- выяснение сущности новых современных понятий «экономика знаний», «человеческий капитал», «новая экономическая география», «региональная политика» и механизм ее реализации, «конкурентоспособность регионов», «инновационное развитие» и др.;
- изучение методов оценки и сравнительный анализ уровней социально-экономического развития регионов страны разного таксономического ранга;
- разработка нового поколения учебных и учебно-методических пособий.

В настоящее время внимание сосредоточивается в основном на разработке прикладных аспектов, на обобщении накопленного мирового и отечественного опыта интенсификации регионального развития для его применения в конкретных условиях регионов Беларуси с учетом особенностей потенциалов (факторов развития) каждого из них.

Концентрация внимания на прикладных аспектах региональных исследований обусловлена не только сложностью переживаемого этапа структурной перестройки экономики страны на основе ее инновационно-инвестиционной модернизации, но и требованиями учебного процесса, направленного

на подготовку географов-профессионалов по двум специализациям кафедры – «Региональная социально-экономическая география» и «Рациональное природопользование и охрана окружающей среды», которые требуют от выпускников конкретных знаний о потенциальных возможностях и факторах устойчивого социально-экономического и экологического развития регионов Беларуси.

Начало исследований по каждой очередной теме, как известно, связано с анализом имеющихся теоретико-методологических и методических положений по изучаемым вопросам и их соотношением с новыми конкретными требованиями современности, поэтому рассмотрим вопросы оценки потенциала регионов Беларуси и факторов их дальнейшего развития именно под этим углом зрения. Однако, учитывая ограниченный объем статьи, при рассмотрении факторов регионального развития остановимся только на тех, которые, на наш взгляд, еще недостаточно «задействованы» при выборе путей повышения эффективности экономики регионов.

В теории советской экономической (позже социально-экономической) географии потенциал внутривнутриреспубликанских регионов (районов) оценивался с позиций обоснования целесообразности их специализации во внутривнутриреспубликанском разделении труда и обеспечения комплексности (сбалансированности) развития, но с учетом специализации самой республики в общесоюзном разделении труда. При этом учет общесоюзных интересов имел приоритетное значение при определении специализации хозяйства как республик, так и их регионов. Речь шла о плановом, целенаправленном формировании в каждом регионе территориально-производственных комплексов (ТПК), территориально-хозяйственных комплексов (ТХК), затем – территориальных социально-экономических систем (ТСЭС), позже – территориальных социо-эколого-экономических систем (ТСЭЭС), территориально-общественных комплексов (ТОК), исходя из соблюдения иерархии интересов: общесоюзных, общереспубликанских и только потом – региональных.

В современной социально-экономической географии на постсоветском пространстве, в том числе и в Беларуси, чаще всего речь идет об обосновании региональной политики новых суверенных государств, обеспечивающей устойчивое социально-экономическое и экологическое развитие регионов, их эффективную специализацию в межрегиональном разделении труда (с учетом специализации самих государств в международном разделении труда) и комплексность, сбалансированность хозяйства. Иными словами, сущность обоснования направлений регионального развития не изменилась. Изменяется только механизм разработки и реализации региональной политики, в результате чего регионы при определенных условиях могут получить больше возможностей для непосредственного участия в международных экономических связях. Именно такой подход нашел отражение в Национальной стратегии социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2020 г. В документе зафиксировано, что приоритетной задачей региональных программ устойчивого развития областей и г. Минска, разрабатываемых региональными властями, «является повышение комплексности социально-экономического развития регионов с учетом их специализации во внутривнутриреспубликанском разделении труда, рост эффективности межрегиональных и *внешнеэкономических* связей. В комплексных программах следует давать оценку ресурсных возможностей регионов, выявлять пути и средства активизации собственного потенциала для решения важнейших социально-экономических проблем их развития» [1].

Необходимо подчеркнуть, что обоснование специализации и комплексности развития хозяйства регионов (т. е. в советской терминологии – создания региональных ТПК или ТХК) как важнейший методологический подход к формированию конкурентоспособной экономики регионов разрабатывается и в зарубежной экономической науке и практике (в последнее время также в российской и в отечественной) как кластерный подход – образование «региональных кластеров». Термин «кластер» был введен американским экономистом М. Портером в 1990 г. для обозначения групп конкурентоспособных смежных отраслей хозяйства страны, имеющих тенденцию к географической концентрации. В 1998 г. М. Портер придал этому термину географическую составляющую: кластер – это группа географически сосуществующих взаимосвязанных природно-хозяйственных систем, характеризующихся общностью деятельности и взаимодополняющих друг друга. Характеризуя сущность теории кластеров М. Портера, российский ученый И.В. Пилипенко сравнивает ее с советской теорией ТПК и дает свое определение пространственного кластера, который он подразделяет на региональный, трансграничный и локальный [2].

Не вдаваясь в тонкости дискуссий по поводу сходства и различия понятий «региональный кластер» и «региональный ТПК», подчеркнем, что и в том и в другом случае формирование регио-

нальных (территориальных) социально-экономических комплексов в современных условиях вполне обоснованно предполагает их конкурентоспособную специализацию в международном разделении труда на определенных видах деятельности и соблюдение требований концепции устойчивого (сбалансированного) социо-эколого-экономического развития. А это означает, что оценка потенциала регионов – это выявление как факторов развития отраслей специализации, так и возможностей создания связанных с ними сфер деятельности в рамках регионального кластера международного значения, а также развития всего комплекса обеспечения условий жизнедеятельности населения и соблюдения экологических требований.

Изложив теоретико-методологический подход к проблеме, остановимся коротко на отдельных, недостаточно учитываемых факторах развития регионов Беларуси.

В экономико-географической науке оценка ресурсного потенциала регионов любого ранга начинается с анализа их экономико-географического положения (ЭГП). Следует отметить, что теория ЭГП как ресурса и фактора социально-экономического развития регионов, которая в последнее время очень активно эксплуатируется политиками и экономистами, является одной из хорошо разработанных экономико-географических теорий, в которых различают микро- и макроположение (в первую очередь транспортно-географическое), затем аграрно-географическое, демогеографическое и другие виды пространственных отношений.

Для Беларуси и ее регионов особо важное значение имеет транспортно-географическое положение. С этой точки зрения общими характеристиками для Беларуси в целом и всех ее семи регионов являются центральность (положение в центре Европы) и транзитность (прохождение по их территории трансъевропейских коридоров, а также магистральных нефте- и газопроводов). Это обеспечивает возможность экономике страны, в том числе ее регионов, зарабатывать валюту на транзите. По данным статистики, в 2010 г. доходы транспортной отрасли Беларуси (без учета трубопроводного транспорта) от транзита составили 2,2 млрд долл., а положительное сальдо экспорта-импорта транспортных услуг составило 1,1 млрд долл. Согласно принятой Стратегии развития транзитного потенциала Республики Беларусь на 2011–2015 гг. ожидаемые в 2015 г. доходы страны от транзита составят более 3 млрд долл.

Еще больше возможностей Беларуси зарабатывать на выгодном ЭГП представляется благодаря создаваемым системам транспортно-логистических центров, а также объектам придорожного сервиса. Разработанной программой развития логистической системы Республики Беларусь на период до 2015 г. предусматривается создание 28 транспортно-логистических центров, в том числе 22 из них будут оборудованы на трассах трансъевропейских коридоров № 2 и № 9. В результате страна может стать более привлекательной для транзита, что увеличит возможности доходов транспорта в регионах, расположенных на международных магистралях. В этом смысле макроположение регионов различается: Витебская область расположена ближе и удобнее к портам Балтики, а Гомельская – к черноморским портам; по территории Минской, Гомельской, Витебской, Могилевской областей проходят по два трансъевропейских коридора, а по Гродненской и Брестской – по одному. Уникально в этом отношении ЭГП г. Минска как городского столичного региона. Он находится в центре страны, в центре белорусского участка трансъевропейского коридора № 2 в месте пересечения его с трансъевропейским коридором № 9В. В то же время выгодность ЭГП – фактор динамичный. Изменения геополитического характера могут уменьшить или увеличить его роль в социально-экономическом развитии страны и ее отдельных регионов. Например, это относится к жесткой привязке двух экспортноориентированных НПЗ Беларуси, определяющих уровень экономического развития своих регионов, к импорту нефти из России. Диверсифицируя направления экспорта своих энергоносителей, Россия строит в обход Беларуси нефтепровод от Унечи к своим терминалам на Балтике и газопровод «Северный поток» по дну Балтийского моря. Это, без сомнения, уменьшит транзит нефти и газа через Беларусь, а значит, и доходы сидящих «на трубах» регионов – Витебской, Гомельской и в меньшей степени других областей.

Что касается микрогеографического положения (т. е. непосредственного соседства), то региональные различия гораздо существеннее. Витебская область граничит с 3 государствами и 3 областями своей страны. Минская – не имеет внешних границ, но зато граничит со всеми остальными областями. Гродненская, Брестская и Гомельская имеют по 2 пограничных государства и по три белорусских пограничных области. У Могилевской области граница с 1 государством и 3 областями страны. Естественно, что возможности зарабатывать на международном транзите и на масштабах приграничной

торговли, а также на оптимизации внутривнутриреспубликанских (межрегиональных) связей, развитии производственной кооперации у каждой области имеют свои особенности. Они зависят от многих составляющих и требуют специального анализа, как современного использования этого важного ресурса, так и перспективного. Необходимо просчитывать целесообразность размещения транспортно-логистических центров, объектов придорожного сервиса, приграничной инфраструктуры и т. п., а также развития и (или) создания новых видов экономической деятельности (производства, услуг), продукция которых будет востребована и конкурентоспособна на рынках ближайших и дальних соседей. Именно с фактором ЭГП связана возможность появления в регионах новых «точек роста» и «полусов» развития, а также дальнейшего роста уже созданных свободных экономических зон (СЭЗ) на городских и (или) непосредственно примыкающих к 6 городам (региональным центрам страны) территориях. При этом 4 из этих 6 СЭЗ находятся в приграничных районах, 5 – на трассах трансъевропейских коридоров. Таким образом, более полное использование возможностей ЭГП и созданных СЭЗ – большой резерв повышения потенциалов развития всех семи мезорегионов страны.

Вторая важнейшая составляющая потенциала регионов – их природные условия и ресурсы. По природным условиям, несмотря на компактность территории страны, между регионами имеются довольно значительные различия. Достаточно напомнить, что по современному физико-географическому районированию в пределах Беларуси выделяются 5 провинций, 14 округов и 49 районов, а в соответствии с ландшафтным районированием – 2 подзоны, 5 провинций и 56 ландшафтных районов. Это, безусловно, отражается на эффективности таких отраслей экономики регионов, как сельское и лесное хозяйство, строительство и туристско-рекреационная деятельность. Пути интенсификации этих сфер в регионах различны. Например, для сельского хозяйства важно неукоснительное соблюдение рекомендаций ученых о его специализации в каждом районе, в каждом хозяйстве, а также об особенностях современных технологий в растениеводстве и животноводстве, особенно соблюдение рекомендаций, связанных с происходящими изменениями климатических условий, а также с использованием радиационно загрязненных земель. Для лесного хозяйства законом должен стать принцип неистощительного лесопользования при обеспечении сырьем потребности наиболее прогрессивных отраслей деревообработки и целлюлозно-бумажной промышленности. Особое внимание в целях более полного использования региональных природных условий и ресурсов должно быть уделено развитию оздоровительного и экологического туризма.

Вопреки сложившемуся представлению о недостатке в Беларуси минерально-сырьевых ресурсов в каждой из 6 областей страны есть набор полезных ископаемых, способных обеспечить их местные потребности в сырье для производства различных строительных материалов и частично в местном топливе (торфе). Уникальным территориальным сочетанием природных ресурсов обладает Гомельская область, что является большим резервом для дальнейшего развития ее экономики. Именно сюда возможно привлечение крупных иностранных инвесторов для разработки месторождений бурых углей, горючих сланцев, цементного сырья, строительного камня, поваренной и калийных солей и создания на их базе новых производств. В Минской области еще далеко не исчерпаны возможности развития «Беларуськалия» как по наращиванию производства калийных удобрений, так и по развитию сопутствующих производств, комплексно использующих добываемую руду. Существуют перспективы для начала освоения месторождений железных руд.

В целом в каждой области имеются резервы по вовлечению в хозяйственный оборот как минерально-сырьевых, так и земельных, лесных, водных, рекреационных природных ресурсов, и от инициативности и предприимчивости областных и местных органов власти в значительной мере зависит степень их использования.

Важнейшими факторами интенсификации социально-экономического развития регионов, как и всей страны, которые постоянно рассматриваются и обсуждаются на всех уровнях, являются рациональное использование человеческого капитала, структурная и техническая модернизация имеющегося производственно-экономического потенциала, совершенствование территориальной организации экономики Беларуси. Эти факторы наиболее полно отражаются в перманентно разрабатываемых республиканских и региональных комплексных программах и прогнозах социально-экономического развития (долго-, средне- и краткосрочных). Значительное место изучение этих вопросов (в региональном аспекте) занимало и занимает и в исследованиях кафедры, в том числе автора этой статьи. Результаты проделанной работы изложены в научных отчетах о НИР и публикациях, в том числе в журнале «Вестник БГУ» (серия 2) [3, 4], а также отражены в республиканских прогнозах [1, с. 130–133]

и Национальных отчетах о человеческом развитии [5, 6], в изданных учебных и учебно-методических пособиях нового поколения, включая настенные учебные карты, атласы «География Беларуси для средней школы» (2004 г., 2009 г.), карты для «Нацыянальнага атласа Беларусі» (2002 г.).

Вместе с тем необходимо, хотя бы коротко, вернуться к уже неоднократно рассмотренному в предыдущих статьях фактору регионального развития – совершенствованию территориальной организации. Причина в том, что продолжают научные дискуссии о факторах нарастающей неравномерности в уровнях социально-экономического развития стран, регионов, городов, об усилении процессов территориальной концентрации производства и населения в немногих странах, регионах, крупнейших агломерациях, городах и периферизации остального пространства. Но как отмечается в статье А.Н. Пилясова [7], по признанию самого основателя новой экономической географии П. Кругмана новая экономическая география более успешна в постановке вопросов, чем в ответе на них, в создании языка для дискуссии по вопросам размещения и пространственного развития больше, чем в создании инструментов для решения проблем неоптимального размещения и поляризованного центр-периферийного развития.

Таким образом, проблема факторов экономического развития регионов в условиях динамичности процесса глобализации и регионализации для Беларуси, как и для других стран с открытой экономикой, остается актуальной.

1. Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2020 г. Мн., 2004. С. 156, 157.
2. Пилипенко И. В. Конкурентоспособность стран и регионов в мировом хозяйстве: теория, опыт малых стран Западной и Северной Европы. Смоленск, 2005.
3. Козловская Л. В. // Вестн. БГУ. Сер. 2. 1997. № 2. С. 62; 2004. № 1. С. 105; 2008. № 2. С. 96; 2010. № 1. С. 60.
4. Войтов И. В., Козловская Л. В. // Там же. 2006. № 3. С. 84.
5. Человеческий потенциал Беларуси: экономические вызовы и социальные ответы. Национальный отчет о человеческом развитии 2003. Мн., 2003. С. 68.
6. Экономика и общество Беларуси: диспропорции и перспективы развития. Национальный отчет о человеческом развитии 2004–2005. Мн., 2005. С. 41.
7. Пилясов А. Н. Новая экономическая география (НЭГ) и ее потенциал для изучения размещения производительных сил России // Региональные исследования. 2011. № 1 (3). С. 3.

Поступила в редакцию 30.06.11.

Людмила Васильевна Козловская – доктор экономических наук, профессор кафедры экономической географии Беларуси и государств Содружества. Область научных интересов – вопросы теории, методики и практики территориальной организации производительных сил, региональная экономика и социально-экономическая география. Автор и соавтор более 160 научных публикаций, в том числе 24 монографий, более 80 статей, 12 учебных и учебно-методических пособий. Принимала участие в разработке (организации и выполнении разделов) ряда Республиканских комплексных прогнозов и программ (1970–1980), Национальных отчетов о человеческом развитии (2003–2005), Национальной стратегии устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2020 г. (2003–2004). Награждена Грамотой Верховного Совета БССР (1981), Почетной грамотой Верховного Совета БССР (1983), Грамотой Министерства образования Республики Беларусь (2001), Почетной грамотой ВАК Республики Беларусь (2001), Почетной грамотой Министерства образования Республики Беларусь (2006), Почетной грамотой БГУ (2009).

УДК 911 (075.8)

Г.И. МАРЦИНКЕВИЧ, И.И. СЧАСТНАЯ

СОВРЕМЕННЫЕ ЛАНДШАФТЫ БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ: РАЙОНИРОВАНИЕ, НАПРАВЛЕНИЯ ОПТИМИЗАЦИИ

The article presents the description of structure of contemporary landscape of Belarusian Palesse and the assessment of the level of anthropogenic transformation of landscapes. The results of subdivision and main direction of optimization of land use for every region have been described.

В области проблем природопользования и охраны окружающей среды важное место отводится изучению типов антропогенного влияния на ландшафты, оценке интенсивности их воздействия, определению последствий изменений, произошедших в ландшафтах под воздействием хозяйственной деятельности, и выявлению возможностей их смягчения благодаря использованию различных методов оптимизации. Именно такие задачи были реализованы при разработке НИР «Комплексная оценка антропогенной трансформации ландшафтов проблемных регионов Беларуси», которая выполнялась в

рамках Государственной программы ориентированных фундаментальных исследований «Природопользование» на географическом факультете в 2006–2010 гг.

Одним из проблемных регионов страны является Белорусское Полесье – крупная природная территория, характеризующаяся высокой заболоченностью и лесистостью, особенностями почвенно-растительного покрова, животного мира и характера ландшафтов. В совокупности все это предопределяет природную уникальность Полесья и его важную роль в обеспечении экологической устойчивости не только государств, в пределах которых оно расположено (Беларусь, Украина, Польша), но и всей Европы. Регион выделяется крупными экологическими проблемами, вызванными хозяйственной деятельностью человека, которая способствовала формированию современных природно-антропогенных ландшафтов.

Для Белорусского Полесья характерна высокая мелиоративная, земледельческая, пастбищная, лесохозяйственная, локально горнодобывающая, водохозяйственная, селитебная, транспортная и рекреационная освоенность. Различные типы природопользования и связанные с ними способы воздействия оказали первостепенное влияние на характер и степень трансформации природных комплексов региона [1], что позволяет, используя функциональный подход, провести классификацию современных ландшафтов. Функциональный подход требует учитывать наряду со степенью трансформированности ландшафта возможность выполнения им определенной социальной функции, наиболее эффективной по сравнению с другими [2]. Функция как хозяйственное назначение ландшафта становится его важнейшим признаком.

Классификация современных ландшафтов Полесья, разработанная с учетом выполняемых ими социально-экономических функций, содержит две классификационные ступени – типы и виды ландшафтов. В пределах Полесского региона выделено 4 типа современных ландшафтов: сельскохозяйственно-лесной, лесохозяйственный, агромелиорированный и сельскохозяйственный (рис. 1).

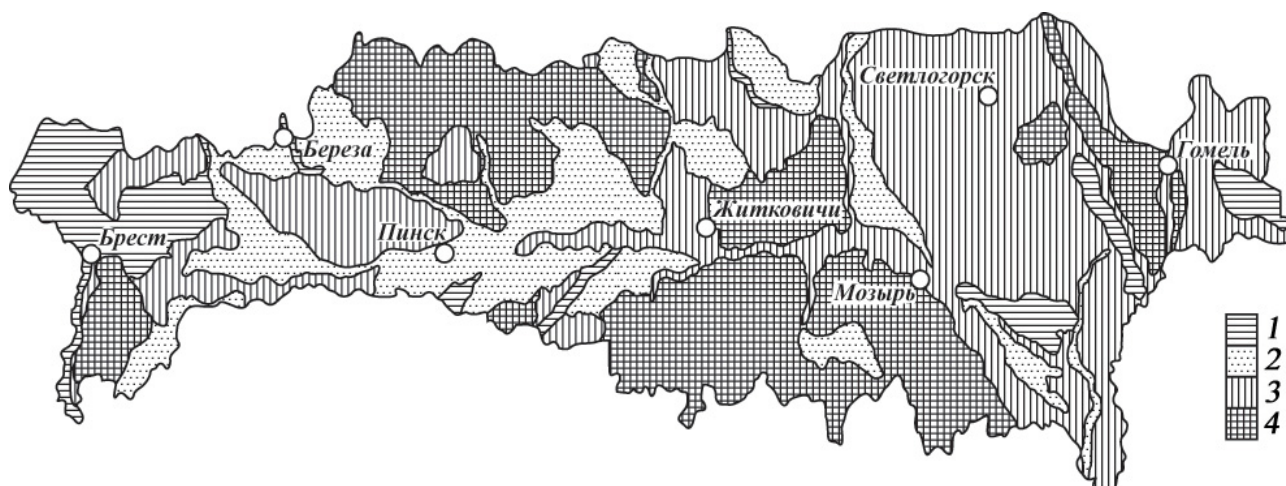


Рис. 1. Типы современных ландшафтов:

1 – сельскохозяйственный; 2 – агромелиорированный; 3 – сельскохозяйственно-лесной; 4 – лесохозяйственный

Типы современных ландшафтов различаются структурой земельных угодий. Так, сельскохозяйственный тип характеризуется высоким удельным весом сельскохозяйственных земель с преобладанием пашни (67,2 %) и повышенным (в сравнении с другими типами) удельным весом техногенных комплексов (11,8 %). Для сельскохозяйственно-лесного типа характерны близкие по значению показатели сельхозугодий (40 %) и лесов (47 %), для лесохозяйственного – преобладание лесов (52,6 %), заболоченных лесов (18 %) и болот (4,2 %). В пределах агромелиорированного типа господствуют сельскохозяйственные угодья (55 %), доля осушенных земель в которых составляет 26,2 %, лесами и лесными болотами занято около 30 % территории. Разнообразие количественных показателей внутри каждого из 4 типов ландшафтов позволило произвести группировку контуров со сходной структурой земельных угодий, выделить 16 видов современных ландшафтов и произвести их оценку [3].

Сельскохозяйственно-лесной тип как господствующий (40 %) представлен повсеместно, но наиболее типичен для восточных и западных районов. Сформировался в пределах вторично-моренных, моренно-зандровых, реже – озерно-аллювиальных и аллювиальных террасированных ландшафтов, для которых свойственны дерново-подзолистые песчано-супесчаные почвы. Включает 5 видов [4].

Лесохозяйственный тип ландшафтов широко распространен в пределах региона, особенно в его центральной части, по левобережью и правобережью р. Припять, и занимает 31,5 % территории.

Сформировался в пределах озерно-аллювиальных, аллювиальных террасированных и озерно-болотных ландшафтов с дерново-подзолистыми заболоченными и торфяно-болотными почвами. В пределах типа выделено 3 вида.

Агромелиорированный тип представлен на площади, равной 20 % территории Белорусского Полесья. Он начал формироваться в 1960–1970-х гг. в результате осушения низинных болот и использования торфяно-болотных почв в качестве пахотных угодий, реже культурных пастбищ и сенокосов в пределах осушенных озерно-болотных ландшафтов и содержит 5 видов.

Сельскохозяйственный тип ландшафтов распространен незначительно (8,5 %) и приурочен к вторично-моренным ландшафтам с плодородными дерново-подзолистыми супесчано-суглинистыми почвами, реже – аллювиальным террасированным ландшафтам. Встречается в западных и восточных окраинах региона и разделяется на 3 вида.

В результате проведенных исследований появилась возможность оценить степень антропогенной трансформации ландшафтов Полесья по пятибалльной шкале и составить оценочную карту, на которой показано территориальное распространение ландшафтов максимальной, высокой, средней, низкой и минимальной степени трансформации (рис. 2). Выяснено, что почти половина проблемного региона (48,3 %) характеризуется средней степенью трансформации ландшафтов и еще третья часть (34,1 %) – высокой. Территории с минимальной и низкой степенью трансформации занимают всего 8,8 % и столько же – с максимальной.

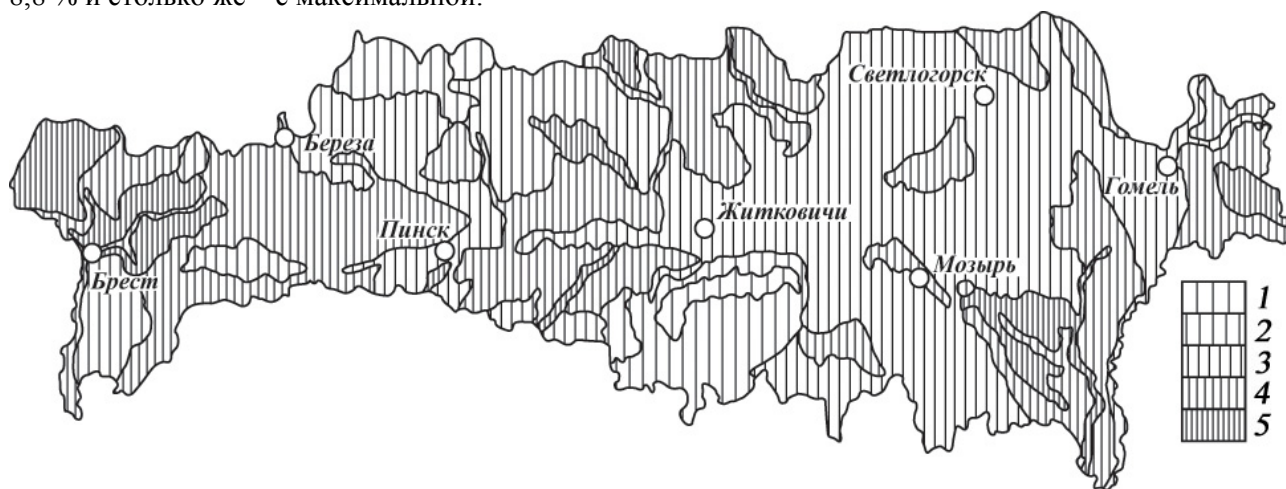


Рис. 2. Оценка антропогенной трансформации ландшафтов.
Степень антропогенной трансформации: 1 – минимальная, 2 – низкая, 3 – средняя, 4 – высокая, 5 – максимальная

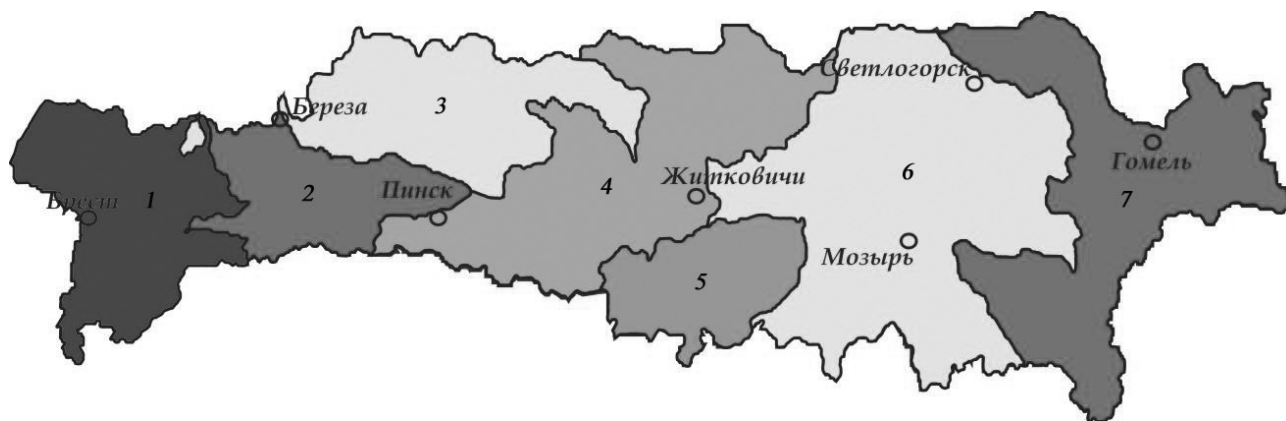


Рис. 3. Районирование Белорусского Полесья.
Районы: 1 – Брестский, высокой и максимальной трансформации, 2 – Белозерско-Лунинецкий, высокой трансформации, 3 – Ганцевичский, средней трансформации, 4 – Солигорско-Столинский, средней и высокой трансформации, 5 – Припятский, низкой трансформации, 6 – Светлогорско-Ельский, средней трансформации, 7 – Гомельско-Мозырский, высокой трансформации

Выполненные нами исследования предоставляют возможность районирования территории, а также выявления пространственных закономерностей распространения того или иного процесса. Разработанное нами районирование относится к классу прикладного ландшафтного, которое, в отличие от комплексного, имеет слабо разработанную методологическую базу. Поэтому в своей работе мы использовали систему таксономических единиц комплексного районирования, придерживались прин-

ципов территориальной общности и относительной однородности, а также методов ведущего фактора и количественных характеристик. Вместе с тем критерии и показатели, положенные в основу выделения таксономических единиц, методика построения карты прикладного ландшафтного районирования с помощью ГИС-технологий предложены нами впервые. В пределах Полесского региона выделено 7 крупных районов, различающихся структурой типов и видов трансформированных ландшафтов и степенью их трансформации (рис. 3).

Районирование и результаты регионального анализа послужили основой для разработки направлений по оптимизации природопользования Белорусского Полесья в границах выделенных районов.

Брестский район высокой и максимальной трансформации расположен на крайнем западе провинции. В нем доминируют комплексы высокой степени трансформации (43 %), встречающиеся участками в северной, восточной и западной частях района. Они приурочены к аллювиальным террасированным, водно-ледниковым и вторично-моренным ландшафтам. В процессе хозяйственной деятельности эти комплексы преобразованы в селитебно-аграрные сельскохозяйственного типа, лесоаграрные и селитебно-лесоаграрные сельскохозяйственно-лесного типа, лесоаграрные на осушенных землях агромелиорированного типа. В структуре земельных угодий преобладают сельскохозяйственные угодья (58 %). Земли природно-экологической группы занимают 34,7 % площади (в том числе 30 % под лесами), техногенной – 8,3 %. Комплексы этой оценочной категории преобразованы очень интенсивно, резервы для дальнейшего увеличения сельскохозяйственных угодий отсутствуют. Рекомендуется сохранение существующей структуры современных ландшафтов.

Комплексы максимальной степени антропогенной трансформации занимают 40 % территории. Они распространены на севере и в центре и представлены участками вторично-моренных и водно-ледниковых ландшафтов, трансформированных в селитебно-аграрный вид сельскохозяйственного типа. В структуре угодий 72,5 % занимают сельскохозяйственные земли, 15 % – земли населенных пунктов, 12,5 % – земли природно-экологической группы. Очевидно, что природные ресурсы земель этой оценочной категории исчерпаны и дальнейшее сельскохозяйственное освоение нецелесообразно. Рекомендуется увеличение фонда природно-экологической группы земель.

Белозерско-Лунинецкий район высокой трансформации выделяется преобладанием земель (75 %) высокой оценочной категории, которые приурочены к озерно-аллювиальным, фрагментарно к моренно-зандровым и вторично-моренным ландшафтам. Многолетнее хозяйственное использование привело к трансформации этих ландшафтов в селитебно-лесоаграрные комплексы сельскохозяйственно-лесного типа, реже – в лесоаграрные на осушенных землях агромелиорированного типа ландшафтов. В структуре земель сельскохозяйственные угодья занимают 46 % площади, земли техногенной группы – 11,7 %, природно-экологической – 42,3 %. Очевидно, что среди земель высокой степени трансформации есть небольшой резерв для расширения сельскохозяйственных угодий за счет снижения доли земель природно-экологической группы с 42,3 до 38,1 %.

Ганцевичский район средней трансформации выделяется преобладанием земель (68 %) средней степени трансформации, распространенных повсеместно. Они тяготеют к аллювиальным террасированным, вторичным водно-ледниковым, озерно-аллювиальным и болотным ландшафтам, преобразованным преимущественно в болотно-лесные и лесоболотные комплексы лесохозяйственного типа. Фрагментарно встречаются также аграрно-болотно-лесные (сельскохозяйственно-лесной тип), селитебно-аграрные (сельскохозяйственный тип) и лесоаграрные на осушенных землях (агромелиорированный тип) виды. Структура земель типична для комплексов средней степени трансформации: доля сельскохозяйственных угодий составляет 35,3 %, природно-экологических – 59 %, техногенных – 5,7 %. Резерв для расширения сельскохозяйственных земель очень невелик (3–4 % земель). Рекомендуется поддержание структуры угодий, являющейся стандартной для комплексов Белорусского Полесья.

Солигорско-Столинский район средней и высокой трансформации. Комплексы средней степени трансформации (46,8 %) преобладают в западной и восточной частях района. Они тяготеют к аллювиальным террасированным, пойменным и болотным ландшафтам, трансформированным преимущественно в аграрно-лесные и лесоболотно-аграрные комплексы сельскохозяйственно-лесного типа. Фрагментарно встречаются аграрные на осушенных землях и аграрно-лесоболотные виды агромелиорированного типа. Для комплексов этой степени трансформации характерно преобладание земель природно-экологической группы (61,8 %) и небольшая доля земель техногенной (3,6 %) и агропроизводственной групп (34,6 %). Есть небольшой резерв для расширения (4÷5 %) сельскохозяйственных угодий за счет снижения доли земель природно-экологической группы.

Комплексы высокой степени трансформации (45,5 %) распространены на севере и юге района. Они приурочены к озерно-аллювиальным, аллювиальным террасированным, болотным ландшафтам. Интенсивное хозяйственное использование преобразовало их в различные виды (лесоаграрный на

осушенных землях, аграрный на осушенных землях, аграрно-лесоболотный) агромелиорированного типа с вкраплениями лесоаграрного сельскохозяйственного типа. Структура земель отличается увеличением площадей земель агропроизводственной и техногенной групп до 56,6 и 5,5 % соответственно. Вместе с тем до 37,9 % снижается доля земель природно-экологической группы. Рекомендуется сохранение сложившейся структуры земельных угодий.

Припятский район низкой трансформации. Изменения незначительные. Преобладают комплексы (76 %) низкой оценочной категории, тяготеющие к аллювиальным террасированным, болотным и водно-ледниковым ландшафтам, представленным лесоболотными и болотно-лесными видами ландшафтов сельскохозяйственного типа. Они выделяются специфической структурой земельных угодий: 84,2 % – земли природно-экологической группы, 13,5 % – агропроизводственной, 1,3 % – техногенной. Незначительной трансформации способствует и большое количество особо охраняемых природных территорий: часть Национального парка «Припятский», крупные заказники республиканского значения «Средняя Припять» и «Ольманские болота». Рекомендуется расширение сети особо охраняемых природных территорий.

Светлогорско-Ельский район средней трансформации отличается резким доминированием комплексов (90 %) средней оценочной категории, распространенных повсеместно и приуроченных к разнообразным природным ландшафтам, среди которых выделяются озерно-аллювиальные, встречаются водно-ледниковые, моренно-зандровые, вторично-моренные. Они преобразованы в разнообразные виды ландшафтов: аграрно-лесные, аграрно-болотно-лесные (сельскохозяйственно-лесной тип), лесные (сельскохозяйственный тип). Для комплексов этой оценочной категории характерна следующая структура угодий: земли агропроизводственной группы занимают 31,9 %, природно-экологической – 64,9 % (в том числе леса 53 %), техногенной – 3,2 %. Рекомендуется расширение сельскохозяйственных угодий на 8÷10 %.

Комплексы высокой оценочной категории разбросаны небольшими участками и занимают 10 % площади района. Они формируются в пределах озерно-аллювиальных и моренно-зандровых ландшафтов, трансформированных в аграрно-лесные, лесоаграрные, селитебно-лесоаграрные (сельскохозяйственно-лесной тип) и лесоаграрные на осушенных землях виды ландшафтов (агромелиорированный тип). Доля земель агропроизводственной и техногенной групп повышается до 43,7 и 4,5 % соответственно, природно-экологической снижается до 51,8 % (в том числе 41,3 % лесные угодья). Рекомендуется сохранение сложившейся структуры земельных угодий.

Гомельско-Мозырский район высокой трансформации отличается доминированием комплексов высокой оценочной категории (54 %), распространенных в его южной и восточной частях. Они приурочены к разнообразным природным (водно-ледниковые, аллювиальные террасированные, моренно-зандровые, холмисто-моренно-эрозионные) и природно-антропогенным (лесоаграрные, селитебно-лесоаграрные сельскохозяйственно-лесного типа, а также аграрные и селитебно-аграрные сельскохозяйственного типа) ландшафтам. Хозяйственная освоенность территории велика, что отражает структура угодий: 58,5 % – доля агропроизводственной группы земель, 35,3 % – природно-экологической, 6 % – техногенной. Рекомендуется сохранение сложившейся структуры земельных угодий.

Таким образом, анализ внутренней структуры районов позволил выявить следующие закономерности. Районы с высоким уровнем трансформации характеризуются преобладанием сельскохозяйственных ландшафтов, в которых целесообразно поддерживать сложившуюся структуру земельных угодий (Брестский район). В районах со средней степенью трансформации господствуют сельскохозяйственно-лесные и сельскохозяйственные ландшафты. Увеличение доли сельскохозяйственных угодий возможно от 4÷5 % (в Ганцевичском, Солигорско-Столинском, Гомельско-Мозырском) до 8÷10 % в Светлогорско-Ельском наряду с поддержанием природоохранного режима в существующих ООПТ (Белозерско-Лунинецкий район). В районе с низкой степенью трансформации (Припятский) типичны лесохозяйственные ландшафты. Здесь рекомендуется поддержание структуры использования природных ресурсов и расширение сети особо охраняемых природных территорий.

1. Марцинкевич Г. И. // Брэсцкі геагр. весн. 2002. Вып. 2. С. 40.

2. Исаченко А. Г. Экологическая география России. СПб., 2001.

3. Счастливая И. И., Сахарова С. П. // Современные проблемы ландшафтоведения и геоэкологии: Материалы IV Междунар. науч. конф. Мн., 2008. С. 309.

4. Марцинкевич Г. И., Счастливая И. И., Усова И. П. // Земля Беларуси. 2010. № 4. С. 43.

Поступила в редакцию 06.06.11.

Галина Иосифовна Марцинкевич – доктор географических наук, профессор кафедры географической экологии. Лауреат премии им. А.Н. Севченко, Заслуженный работник БГУ. Область научных интересов – ландшафтоведение, экология ландшафта, охрана окружающей среды. Имеет 310 опубликованных работ, в том числе 10 монографий, 8 учебников и учебных пособий. Научный руководитель НИР в рамках ГПНИ «Природопользование-2». Участник проекта TEMPUS (2008–2011).

Ирина Иосифовна Счастливая – кандидат географических наук, доцент кафедры географической экологии. Область научных интересов – ландшафтоведение, прикладное ландшафтоведение, экология ландшафтов. Имеет 140 опубликованных работ, в том числе 5 учебных пособий. Ответственный исполнитель НИР по ГПНИ «Природопользование-2». Участник проекта TEMPUS (2008–2011).

**КОСМОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ПРОГНОЗА
НЕФТЕНОСНОСТИ ПРИПЯТСКОГО ПАЛЕОРИФТА**

The structural, neogeodynamic and glacier tectonic's criteria for oil deposits detection were defined based on integrated analysis of geological-geophysical data and remote sensing data. The spatial patterns of oil-potential fault areas and local structures within the productive horizons of the Pripyat paleorift pool sedimentary cover were identified.

Дистанционное зондирование Земли из космоса является современным инновационным комплексом методов и технологий изучения геодинамических закономерностей и прогнозирования горючих полезных ископаемых в пределах платформенных бассейнов [1]. Космическая геология повышает эффективность поисков залежей углеводородов, в частности в Припятском палеорифте, при этом большое внимание уделяется региональной оценке и локальному прогнозу нефтеносности, геолого-разведочным работам и выявлению новых промышленных месторождений нефти. Анализ результатов геологического дешифрирования космических снимков (КС) совместно с традиционными геолого-геофизическими данными позволяет определить информативный комплекс космогеологических критериев прогноза нефтяных залежей и установить в пределах палеорифта нефтеперспективные структуры.

Припятский палеорифтовый бассейн сформировался в герцинский геотектонический этап развития запада Восточно-Европейской платформы. Его промышленная нефтеносность связана с подсолевым терригенным, подсолевым карбонатным, межсолевым и верхнесоленосным девонскими комплексами. Значительная часть нефтяных залежей приурочена к системам приразломных блоков и надразломных поднятий платформенного чехла. В пределах палеорифта открыто 74 месторождения, в том числе 2 нефтегазоконденсатных. Годовая добыча нефти составляет порядка 1,7 млн т. В настоящее время в Припятском палеорифте остаются неразведанными 50 % прогнозных ресурсов нефти, в том числе в Северном нефтегазоносном районе – 42,7 % и в Центральном нефтеперспективном районе – 99,6 % [2].

При региональной оценке и локальном прогнозе нефтеносности в Припятском палеорифте космогеологическими методами изучаются космоструктурные, космогеодинамические и космогляциотектонические поисковые критерии, дешифрируемые на КС по комплексу ландшафтных геоиндикаторов. Высокой прогнозно-поисковой информативностью отличаются космоструктурные критерии, анализ которых позволяет в комплексе с геолого-геофизическими данными выявить системы дизъюнктивных дислокаций – от трещин до глубинных разломов, локальные структуры подсолевого, межсолевого и верхнесоленосного нефтеносных комплексов. Подобная тектоническая делимость определила блоковый, пликвативно-блоковый и пликвативный характер строения платформенного чехла, типы ловушек и зоны нефтенакпления [3]. Рассматриваемые структурные элементы Припятского палеорифта, активно развивавшиеся в позднем девоне – карбоне, проявились также на новейшем этапе (последние 30 млн лет) эволюции осадочного бассейна и контролировали процессы формирования морфолитогенной основы современных ландшафтов. Унаследованный характер геодинамики тектонических дислокаций палеорифта находит отражение на КС в пространственном распределении систем линеаментов и кольцевых структур.

В пределах Припятского палеорифтового бассейна выделяются Северная зона тектонических ступеней и Внутренний грабен, разделенные Червонослободско-Малодушинским разломом мантийного заложения [4]. В Северной зоне палеорифта по космоструктурным признакам прослеживаются Речицко-Шатилковская и Червонослободско-Малодушинская тектонические ступени, испытавшие активизацию в позднеолигоцен-четвертичное время. Дешифрируемым на КС системам региональных линеаментов соответствуют Заречинско-Великоборская, Шестовичско-Сколодинская и Наровлянско-Ельская тектонические ступени Внутреннего грабена.

Преобладающее простирание дизъюнктивных структур Припятского палеорифта – субширотное и диагональное. Разломы субширотной ориентировки (Червонослободско-Малодушинский, Речицкий и др.), сформированные в условиях тектонического растяжения, в большинстве случаев прослеживаются на КС в виде линеаментов, связанных с зонами повышенной трещиноватости и обводненности приповерхностных горизонтов платформенного чехла. Отчетливо дешифрируется региональный Червонослободско-Малодушинский разлом. Его амплитуда по поверхности фундамента составляет от нескольких сотен метров на западном окончании до 1,6 км в районе Червонослободской структу-

ры. Далее вверх по разрезу осадочного чехла амплитуда восточного фрагмента разлома уменьшается до 1,3 км по поверхности межсолевых отложений и ее значения достигают порядка одного километра по кровле галитовой подтолщи. Среди дизъюнктивных структур северо-восточного простирания, по данным космического зондирования и сейсморазведки, устанавливаются две региональные зоны разрывных нарушений: Малыньско-Туровская и Первомайско-Заозерная.

В Северной тектонической зоне Припятского палеорифта локальные поднятия в нефтеносных комплексах платформенного чехла, отличающиеся активностью на новейшем этапе развития осадочного бассейна, отражаются на КС в виде кольцевых структур. В рельефе земной поверхности им соответствуют деформации геоморфологических уровней речных долин Припяти, Днепра и Березины. Речицко-Вишанская зона поднятий подчеркивается системой изометричных космофотоаномалий, соответствующих Речицкой, Тишковской, Осташковичской и другим локальным структурам. Сходные аномалии космофотоизображения приурочены к Червонослободско-Малодушинской зоне поднятий. По космогеологическим данным выявлены также ранее неизвестные системы продольных структурных форм, интерпретируемые как зоны возможного нефтенакопления в Северной тектонической зоне палеорифта.

Во Внутреннем грабене Припятского палеорифтового бассейна по комплексу космоструктурных и геолого-геофизических критериев устанавливаются Каменское, Мозырское и другие локальные поднятия, в пределах которых планируется уточнение геологического строения и оценка перспектив нефтеносности на основе новых сейсморазведочных и поисково-буровых работ. Преобладающая часть этих структур тяготеет к разломным зонам или расположена над выступающими блоками кристаллического фундамента и подсолевых отложений в интервале абсолютных отметок от -0,2 до -2,5 км. Новейшая активизация локальных поднятий оказала влияние на размещение гидрографической сети и распространение эолового рельефа в Припятском Полесье (рис. 1). На КС такие структурные формы нередко подчеркиваются дугообразными изгибами речных долин.

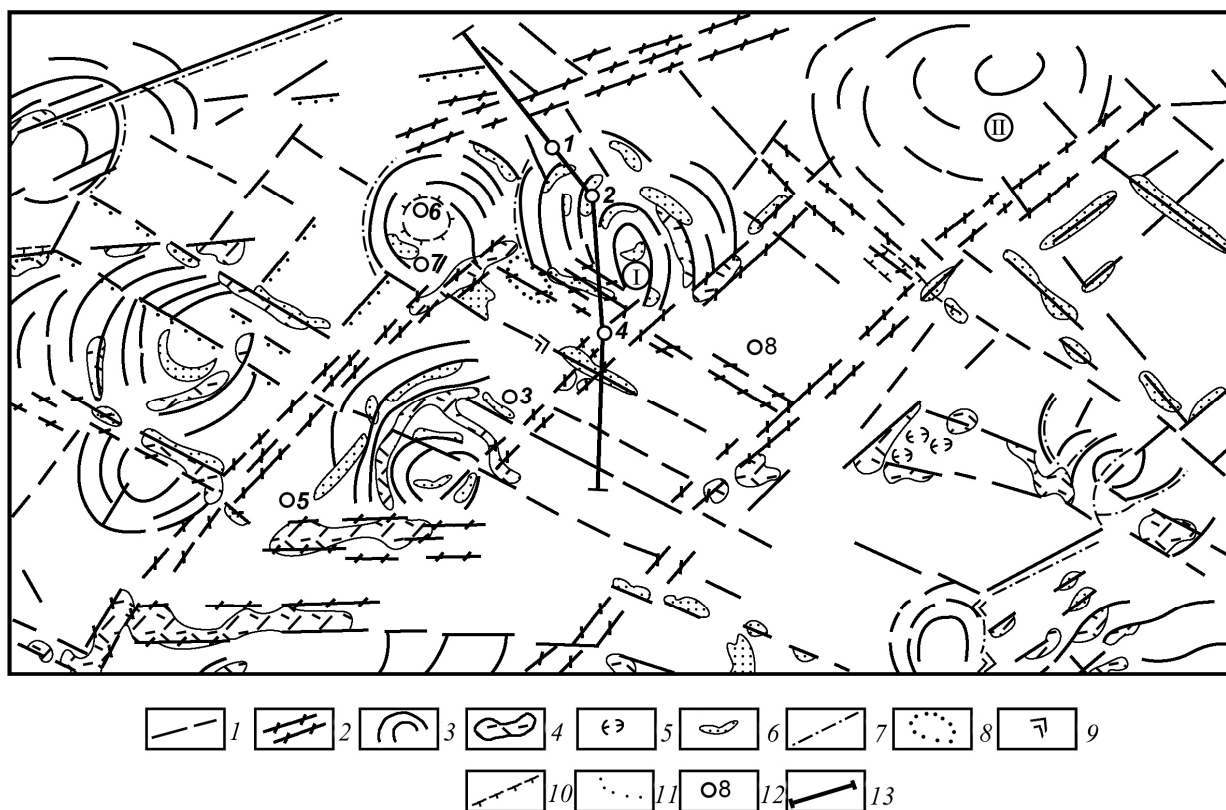


Рис. 1. Внутренний грабен Припятского палеорифта. Космогеологические признаки Каменского и Мозырского локальных поднятий платформенного чехла:

- 1 – линеаменты и 2 – их зоны, отражающие разрывные дислокации; 3 – кольцевые структуры, обусловленные новейшей активизацией локальных поднятий: I – Каменского и II – Мозырского; 4–11 – ландшафтные геоиндикаторы: 4 – заболоченные низины; 5 – суффозионные западины; 6 – песчаные гряды; 7 – водотоки; 8 – расширения речных долин; 9 – изгибы русел; 10 – эрозионные останцы; 11 – геоботанические аномалии; 12 – скважины и их номера; 13 – линия геологического разреза

В рассматриваемой группе локальных структур Внутреннего грабена Каменское и Мозырское поднятия являются криптодиамирами. Они установлены по данным сейсморазведки и поискового бурения, и на КС в виде кольцевых структур диаметром порядка 4÷6 км (рис. 1, 2). По поверхности верхнесоленосных отложений локальные поднятия оконтуриваются изогипсой с абсолютной отметкой $-0,8$ км и разделены неглубокой седловиной. Причем в ландшафтных индикаторах и на КС находят отражение как наиболее приподнятые (до $-0,6$ км) участки соляных структур, так и межкупольные понижения, имеющие отметки в центральных частях до $-2,4$ км.

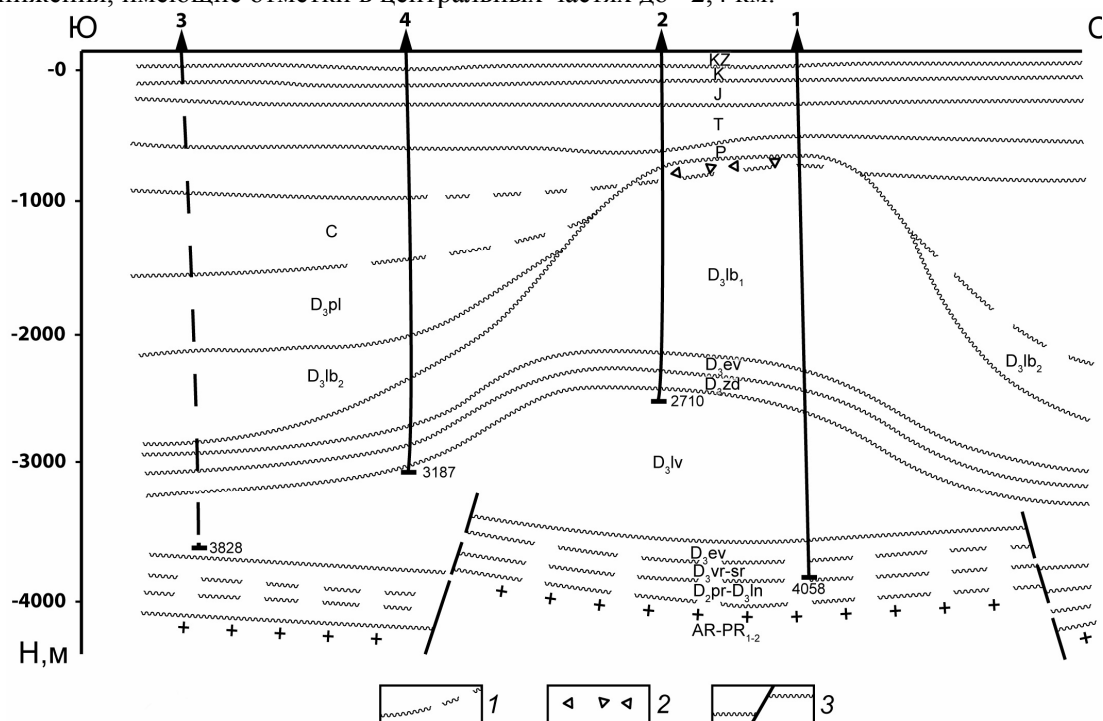


Рис. 2. Каменское локальное поднятие платформенного чехла. Геологический разрез:
1 – стратиграфические границы; 2 – брекчия кепрока; 3 – разрывные нарушения

Важной особенностью проявления криптодиамров в ландшафтных особенностях земной поверхности и тем самым на КС является унаследованный характер их развития. Во время предпермского перерыва в осадконакоплении в сводовых частях активно формировавшихся соляных куполов происходил размыв отложений (вплоть до верхнелебедянских) с образованием остаточной брекчии выщелачивания. Черты унаследованного развития криптодиамров (Каменского, Мозырского и др.) выражены во всем комплексе и вышележащих отложений, включая четвертичный покров. Интенсивность и направленность неотектонических движений способствовали усилению и локализации процессов эрозии и денудации над соляными куполами. На таких участках земной поверхности образовались заболоченные низины и песчаные гряды изометричной формы, обращенные вогнутой частью к своду активного криптодиамира.

В пределах Каменского, Мозырского и других близлежащих локальных поднятий Внутреннего грабена Припятского палеорифта вся толща межсолевых отложений рассматривается как единый нефтеперспективный комплекс. На современной стадии изученности этой зоны поднятий осадочного чехла нефтяная залежь с непромышленными запасами выявлена только на Каменской структуре. При постановке дальнейших нефтепоисковых работ следует обратить внимание на прогноз ловушек нефти в нижних частях продуктивных горизонтов, экранированных криптодиамирами соленосной толщи. В прогнозно-поисковых целях на этих площадях необходимо шире использовать космоструктурные признаки оконтуривания глубоко погруженных соляных структур.

В пределах локальных поднятий Северной тектонической зоны и Внутреннего грабена Припятского палеорифта дешифрируются космофотоаномалии, образованные линеаментами длиной от нескольких сотен метров до первых километров. Они отличаются высокой плотностью распределения по площади и являются индикаторами зон трещиноватости платформенного чехла. Последние контролируют распределение продуктивных отложений подсолевого и межсолевого нефтеносных комплексов с повышенными коллекторскими свойствами.

Анализ космогеодинамических поисковых критериев позволяет выделить структурные зоны платформенного чехла с различным режимом проявления новейших тектонических движений, контролирующее размещение залежей углеводородов. В ходе геолого-геофизической интерпретации данных дешифрирования КС установлено, что известные месторождения нефти (Речицкое, Осташковичское, Вишанское и др.) Припятского палеорифтового бассейна приурочены к умеренно активной Северной неотектонической зоне, ограниченной Северо-Припятским и Гродненско-Мозырским суперрегиональными линеаментами. В структурном отношении эта зона охватывает Речицко-Шатилковскую и Червонослободско-Малодушинскую тектонические ступени, где выявлена основная промышленная нефтеносность. Суммарные амплитуды позднеолигоцен-четвертичных движений здесь составляют 60–90 м. Такой размах деформаций почти вдвое ниже по сравнению с Внутренним грабеном палеорифта. Здесь поиски нефти пока не увенчались существенными успехами. По-видимому, умеренная активность неотектонических процессов предопределила оптимальную делимость платформенного чехла и как следствие – концентрацию углеводородов при наличии изолирующих осадочных толщ. Интенсивные новейшие деформации, нарушающие герметичность чехла, явились неблагоприятным геодинамическим фактором, приведшим к расформированию залежей углеводородов. Космогеодинамические поисковые критерии следует шире использовать при ведении нефтеразведочных работ в Припятском палеорифте.

При оценке перспектив нефтеносности Припятского палеорифтового бассейна необходимо обратить внимание на космогляциотектонические поисковые критерии. В плейстоцене рассматриваемый регион неоднократно охватывался ледниковыми покровами. Региональные оледенения и связанные с ними зоны гидратообразования существенно воздействовали на ход процессов миграции и аккумуляции углеводородов. Ледниковые нагрузки приводили к отжатию флюидов из глинистых и других пород и перемещению пластовых вод, нефти и газов в проницаемых толщах в направлении движения ледников. В Центральноевропейском нефтегазоносном бассейне, например, большинство выявленных к настоящему времени крупнейших месторождений нефти (в области Северного моря – Статфьорд, Брент, Найниан и др.) расположены в пределах осевой зоны валообразного гляциоизостатического поднятия, существовавшего 18–12,5 тыс. лет назад [5]. Менее крупные нефтяные залежи концентрируются в аналогичных зонах вдоль рек Нейсе, Одра и Варта, а также в Люблинско-Львовской области.

В Припятском палеорифте гляцигенные процессы, возможно, оказали влияние на формирование известных залежей нефти, тяготеющих к периферийным зонам наревского, березинского и сожского ледниковых покровов. Приуроченность нефтяных залежей к периферии плейстоценовых оледенений и осевым зонам валообразных гляциоизостатических поднятий свидетельствует о перспективной нефтеносности этих территорий. Космогляциотектонические критерии поисков месторождений нефти несомненно требуют дальнейшего всестороннего изучения и практической реализации при прогнозной оценке нефтеносности как Припятского палеорифта, так и других осадочных бассейнов Беларуси.

Таким образом, комплексный анализ космогеологических критериев и геолого-геофизических данных позволяет установить в пределах Припятского палеорифта пространственные закономерности распределения систем разломов и локальных поднятий в нефтеносных комплексах платформенного чехла, выделить зоны повышенной тектонической трещиноватости, с которыми связано улучшение коллекторских свойств продуктивных горизонтов. Накопленный опыт космогеологического прогноза нефтеперспективных структур в Припятском палеорифте необходимо использовать при региональной оценке нефтеносности Подляско-Брестской и Оршанской впадин. Инновационное развитие нефтяной геологии тесно связано с созданием Белорусской космической системы дистанционного зондирования Земли. Запуск отечественного спутника обеспечит космоинформацией решение широкого спектра научно-практических задач в области прогнозирования и поисков залежей нефти в платформенных бассейнах Беларуси.

1. Спутниковые технологии в геодинамике / Под ред. В.Н. Губина. Мн., 2010. С. 9.

2. Грибик Я. Г. // Инновационное развитие геологической науки – путь к эффективному и комплексному освоению ресурсов недр: Материалы Междунар. науч.-практ. конф. / Под ред. Э.А. Высоцкого. Мн., 2007. С. 390.

3. Полезные ископаемые Беларуси / Ред. П.З. Хомич и др. Мн., 2002. С. 25.

4. Основы геологии Беларуси / Под общ. ред. А.С. Махнач и др. Мн., 2004. С. 266.

5. Былинский Е. Н. // Геоморфология. 1990. № 4. С. 7.

Поступила в редакцию 16.06.11.

Валерий Николаевич Губин – доктор географических наук, профессор, заведующий кафедрой динамической геологии. Сфера научных интересов – региональная геология и геодинамика, космические методы исследований земной коры и прогнозирования месторождений полезных ископаемых, экологическая геология, космический мониторинг геологической среды и рациональное недропользование, геологическое образование. Внес значительный вклад в космогеологическое изучение западной части Восточно-Европейской платформы. Опубликовал более 220 научных работ, в том числе 13 монографий и 11 учебных пособий.

ДИНАМИКА И ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ СДВИГИ В ДЕМОГРАФИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЕ МИРА В ЭПОХУ ГЛОБАЛИЗАЦИИ

The general demographic tendencies of the development of the world in XXI are established. Trends of population dynamics, birth rate, death rate and natural movement of the world's population and the main regions in 1950–2009 are analyzed. The structure of demographic balance by the basis of the analysis of the combination of natural movement and migration is characterized and the demographic dynamics models of the world regions are developed.

В конце XX в. человечество столкнулось с рядом феноменальных демографических явлений: сокращением темпов роста населения и превышением смертности над рождаемостью; быстрым ростом численности и доли лиц пожилого возраста, обусловившим демографическое старение; развивающиеся страны мира охватил стремительный рост темпов урбанизации при их снижении в развитых странах [1]. Согласно концепции «демографического перехода» население мира вышло из состояния квазиравновесия высокой рождаемости, высокой смертности и молодой возрастной структуры и вступило в новый тип равновесия, характеризующийся низкой смертностью, низкой рождаемостью и стареющей возрастной структурой. Начало XXI в. ознаменовалось проявлением территориальной дифференциации демографических трендов, когда регионы мира представляют целостные образования со своими цивилизационными особенностями, исторической судьбой, культурой и политическими традициями. Трансформационные изменения демографического пространства мира в XXI в. выражаются на уровне регионов сдвигами в: 1) распределении демографического потенциала и изменении демографического веса регионов в мировом населении; 2) стадиях и географической сущности демографических сценариев.

Динамика численности населения мира за 1950–2010 гг. характеризуется снижением ежегодных темпов роста как на общемировом уровне (с 1,8 до 1,2 %), так и на региональном (за исключением Африки, где сохраняются высокие темпы роста – 2,3 %). Пространственные сдвиги в распределении демографического потенциала выражаются в снижении демографического веса Европы и Северной Америки, стабилизации веса Азии и увеличении роли Африки и Латинской Америки в мировом населении. Так, если в 1950 г. каждый второй житель Земли проживал в Азии, каждый пятый – в Европе и почти каждый десятый – в Африке, то к 2010 г. при незначительном увеличении доли населения Азии доля Европы снизилась в два раза, доля североамериканского региона – более чем в 1,5 раза. По прогнозам к 2030 г. при стабилизации демографического веса Азии (59 %) произойдет дальнейшее снижение доли Европы (до 8,7 %) и Северной Америки (4,9 %). В Африке рост численности населения приведет более чем к двукратному увеличению доли региона в мировом населении (табл. 1).

Таблица 1

Динамика и пространственные сдвиги в распределении демографического потенциала мира, 1950–2030 гг. (по [2, 3])

Регион	Численность населения, млн чел.				Доля региона в мировом населении, %				Плотность населения, чел./км ²				Ежегодный рост населения, %			
	1950 г.	1990 г.	2009 г.	2030 г. (прогноз)	1950 г.	1990 г.	2009 г.	2030 г. (прогноз)	1950 г.	1990 г.	2009 г.	2030 г. (прогноз)	1950–1955 г.	1990–1995 г.	2005–2010 г.	2025–2030 г. (прогноз)
Европа	547	721	733	723	21,5	13,6	10,5	8,7	24	31	32	31	1,0	0,2	0,1	-0,16
Азия	1403	3178	4166	4917	55,3	59,8	59,9	59,0	44	100	131	154	1,9	1,6	1,1	0,6
Северная Америка	172	283	352	410	6,8	5,3	5,1	4,9	8	13	16	19	1,7	1,2	1,0	0,6
Латинская Америка	167	442	589	690	6,6	8,3	8,5	8,3	8	22	29	34	2,7	1,7	1,1	0,1
Африка	227	638	1053	1524	8,9	12,0	15,1	18,3	7	21	34	50	2,2	2,6	2,3	1,1
Австралия	10	21	26	31	0,4	0,4	0,4	0,4	1	3	3	4	2,3	1,3	1,0	0,7
Океания	13	27	36	45	0,5	0,5	0,5	0,5	1	3	4	5	2,1	1,5	1,3	0,6
Мир	2539	5310	6955	8340	100	100	100	100	13	28	36	42	1,8	1,5	1,2	0,7

Сдвиги в распределении демографического потенциала обуславливают изменения в нагрузке на территориальные ресурсы: к 2030 г. в Азии при стабильной доле в мировом населении плотность населения увеличится в 3,5 раза (с 59 до 154 чел./км²), в Латинской Америке – в 4 раза, в Африке – в 7 раз.

Мировые тренды демографического развития за 1950–2009 гг. характеризуются снижением уровня рождаемости (на 45 %), снижением (на 57 %) со стабилизацией уровня смертности и соответственно – масштабов естественного прироста (на 33 %), увеличением масштабов миграции (табл. 2). Наряду с этим в разрезе регионов наблюдается значительная пространственная дифференциация демографических трендов. В *Европе* завершен первый демографический переход, происходит естественная убыль населения, что обусловлено его старением, социально-экономической трансформацией и демографической модернизацией. Повсеместно изменяются репродуктивные установки населения: а) под влиянием историко-институционального фактора сформировалась «средиземноморская» модель низкой рождаемости в Южной Европе; б) при высоких расходах госсектора на социальные нужды и охвате системой всеобщего благосостояния всех социальных и этнических слоев населения – «универсальная» модель увеличивающейся рождаемости в Северной Европе; в) при реализации страхового принципа финансирования работодателей и работников и значительных объемах социальной поддержки – «континентальная» модель стабилизации снижающейся рождаемости в Западной Европе. *Северная Америка* находится на четвертой стадии первого демографического перехода, выражающейся в сокращении масштабов естественного прироста. При значительной доле иностранцев в общей численности населения с более высокими репродуктивными установками к 2030 г. здесь будет обеспечиваться простое замещение поколений. Модель «Другого Запада» США, характеризуется более высоким уровнем рождаемости из-за этнического фактора и фактора «семейного приоритета», значительно более высокой интенсивностью иммиграции, преобладанием консервативной модели репродуктивного поведения над либеральной. В трех развивающихся регионах – *Латинская Америка, Азия и Африка* – отмечается снижение рождаемости, смертности и сокращение масштабов естественного прироста. За схожими трендами Азии и Латинской Америки третьей стадии демографического перехода стоят различные исторические и социокультурные факторы развития при значительных территориальных ресурсах и социально-экономической дифференциации [4]. В Латинской Америке действует «поляризованная» демографическая модель с чрезмерными различиями в параметрах воспроизводства между слоями населения, имеющими разные доходы. Азия представляет «конгломерат» историко-институциональных и конфессионально-демографических моделей. Африка в XXI в. – единственный регион мира, находящийся на второй стадии демографического перехода, со снижающимся, но остающимся высоким естественным приростом (23,5 ‰), где исторически выражена демографическая граница вдоль Сахары, что получило название модели «несостоявшейся конвергенции».

Таблица 2

Динамика и пространственные сдвиги в демографическом развитии мира, 1950–2030 гг. (по [2, 3])

Регион	Рождаемость, ‰				Смертность, ‰				Естественный прирост/убыль, ‰				Суммарный коэффициент рождаемости			
	1950–1955 гг.	1990–1995 гг.	2005–2010 гг.	2025–2030 гг. (прогноз)	1950–1955 гг.	1990–1995 гг.	2005–2010 гг.	2025–2030 гг. (прогноз)	1950–1955 гг.	1990–1995 гг.	2005–2010 гг.	2025–2030 гг. (прогноз)	1950–1955 гг.	1990–1995 гг.	2005–2010 гг.	2025–2030 гг. (прогноз)
Европа	22,0	11,5	10,5	9,3	10,8	11,2	11,4	12,2	11,2	0,3	–0,9	–2,9	2,7	1,6	1,5	1,6
Азия	42,0	25,0	19,0	14,0	23,5	8,4	7,4	8,0	18,5	16,6	11,6	6,0	5,7	3,0	2,3	2,0
Северная Америка	25,0	15,5	14,0	12,0	9,0	8,5	8,0	8,7	16,0	7,0	6,0	3,3	3,3	1,9	2,0	1,8
Латинская Америка	42,6	25,3	19,0	14,0	16,0	7,0	6,0	7,0	26,6	18,3	13,0	7,0	5,8	3,0	2,2	1,8
Африка	48,0	41,0	36,0	26,0	26,0	14,0	12,5	9,0	22,0	27,0	23,5	17,0	7,0	5,6	4,6	3,2
Австралия	23,5	15,0	13,0	12,0	9,0	7,0	7,0	8,0	14,5	8,0	6,0	4,0	3,8	2,5	2,4	2,2
Океания	28,0	20,0	17,0	15,0	13,0	8,0	7,0	8,0	15,0	12,0	10,0	7,0	3,2	1,9	1,9	1,9
Мир	37,0	24,7	20,3	15,8	19,5	9,4	8,5	8,5	17,5	15,3	11,8	7,3	4,9	3,0	2,6	2,2

Различия в трендах и характере основных демографических процессов, сочетаниях естественного движения и миграции в демографическом балансе в разрезе регионов мира стали основанием для выделения трех базовых и семи субмоделей демографической динамики за 1950–2009 гг. Для четырех развивающихся регионов (*Африка, Азия, Латинская Америка, Океания*) характерна контрастно-факторная модель на основе естественного прироста ($K\Phi_{+e}$), которая действует во всех мезорегионах. Отличительной особенностью демографического баланса данных регионов является минимальное участие в нем миграции на протяжении 1950–2009 гг., за исключением островов Океании. Наряду с базовыми сходствами различия в масштабах естественного прироста в пределах регионов обусловили выделение четырех субмоделей динамики (табл. 3).

Модели демографического развития регионов мира, 1950–2010 гг.

Регион	Модель демографической динамики	Структура демографического баланса	Типы динамики населения регионов*		
			Прогрессивный	Контрастно-факторный	
				+	-
			ЕП	МП	ЕУ
Африка				В	
				Ср	
				С	
				Ю	
			З		
Азия				В	
				ЮЦ	
				ЮВ	
				З	
Латинская Америка				К	
				Ц	
				Ю	
Океания					
Европа					В
					С
					Ю
					З
Северная Америка					
Австралия					

— Естественный прирост — Сальдо миграции
 ■ Естественное движение ■ Миграция

Примечание. *Регионы выделены согласно UN Department of Economic and Social Affairs Population Division. Регионы. *Африки*: В – Восточная, Ср – Средняя, С – Северная, Ю – Южная, З – Западная; *Азии*: В – Восточная, ЮЦ – Южная и Центральная, ЮВ – Юго-Восточная, З – Западная; *Европы*: В – Восточная, С – Северная, Ю – Южная, З – Западная; *Латинской Америки*: К – Карибский регион, Ц – Центральная, Ю – Южная.

Регионы высокого уровня социально-экономического развития демонстрируют в настоящее время также различные модели демографической динамики. В *Европе* во второй половине XX в. роль положительного сальдо миграции в демографическом балансе не была определяющей. В конце XX в., когда естественный прирост сменился естественной убылью, роль эмиграции стала возрастать, и в 1990–1995 гг. положительное сальдо начало компенсировать естественную убыль. В XXI в. для Европы характерна контрастно-факторная модель на основе положительного сальдо миграции ($K\Phi_{+m1}$), которая действует во всех мезорегионах, за исключением Восточной Европы, где демографический баланс формирует естественная убыль населения. К 2030 г. Европа будет оставаться единственным регионом мира с суженным типом воспроизводства населения и естественной убылью при значительной миграции на континент. В *Северной Америке*, в отличие от Европы, в 1950–2009 гг. постоянно наблюдался рост численности населения как за счет естественного движения, так и за счет миграции. С конца XX в. положительное сальдо миграции и естественный прирост практически сбалансированы по масштабам, что позволило отнести демографическую динамику региона к прогрессивному (II) типу модели. Для *Австралии* на протяжении всего периода также характерна положительная динамика численности населения за счет естественного прироста и за счет положительного сальдо, однако в настоящее время формируется контрастно-факторная модель на основе положительного сальдо миграции ($K\Phi_{+m2}$) при отсутствии периодов естественной убыли по сравнению с Европой (см. табл. 3).

Таким образом, в условиях глобализации осязаемая конвергенция сценариев демографического развития не является доминирующей. Выявленная пространственная неоднородность процессов воспроизводства, разнообразие региональных моделей демографической динамики и прогнозных трендов доказывают, что разрыв в демографической сфере между государствами с различным уровнем социально-экономического развития в перспективе будет увеличиваться.

1. Антипова Е. А. // Фокус. 2007. № 3. С. 44.
2. Demographic Yearbook, Statistical Office of the United Nations Department of Economic Affairs. New York, 1951–2008.
3. www.prb.org – Официальный сайт Population Reference Bureau. 2010 World Population Data Sheet.
4. К л у п т М. Демография регионов Земли. СПб., 2008.

Поступила в редакцию 06.06.11.

Екатерина Анатольевна Антипова – доктор географических наук, профессор кафедры экономической географии зарубежных стран. Специалист в области социально-экономической географии мира, пространственной структуры мирового хозяйства, географии населения мира, территориальной структуры расселения и регионализации демографического развития Беларуси, картографирования социально-экономических процессов с использованием ГИС-технологий. Автор более 170 научных и учебно-методических работ, в том числе 9 монографий, 25 учебно-методических пособий и географических карт.

УДК 551.79:561(476)

Я.К. ЕЛОВИЧЕВА, А.Н. МОТУЗКО, Д.Л. ИВАНОВ

ЭВОЛЮЦИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ БЕЛАРУСИ И МОДЕЛИ ЕЕ ТРАНСФОРМАЦИИ

The scientific achievements of the Byelorussian scientists in the development of a scientific direction «evolutional geography» for the comprehension of modern state of an environment of the region and forecast of its change hereafter are submitted.

Современная природа Беларуси начала формироваться в плейстоцене (на протяжении последнего миллиона лет назад), а окончательно присущие ей основные черты сложились в голоценовое время (последние 10 тыс. лет). Наиболее устойчивым элементом природы является литогенная основа природных образований, для территории Беларуси ею стал ледниковый рельеф, который сформировался в результате развития плейстоценовых покровных оледенений. С течением времени литогенная основа, находясь в тесном взаимодействии с другими компонентами природной среды (климатом, водами, растительностью, животным миром), постепенно преобразовывалась ими в разной мере и с различной длительностью под воздействием неоднократно сменявшихся оледенений и межледниковий. При этом компоненты природной среды прогрессивно эволюционировали, сохраняя преемственность с предыдущими этапами. В результате на территории региона образовалась сложная структура природных ландшафтов на фоне всемирного закона зональности.

Объяснить закономерности современной структуры природной среды любой территории Земли призвана эволюционная география, которая окончательно утвердилась в географической науке в кон-

це XX ст. Родоначальником эволюционной географии был академик К.К. Марков, который впервые предложил выделить опорные разрезы и провести сопряженный палеогеографический анализ эволюции природы для целей понимания ее современного состояния и разработки прогноза развития в будущем. Предшественники К.К. Маркова географы использовали в своей работе идеи палеогеографии, которые применялись в отрасли геологической науки. По этим методикам изучалась эволюция отдельных компонентов природы – литологии, рельефа, растительности, климата, животного мира, почвенного покрова, гидрологических особенностей и других природных процессов. Они находили практическое применение в стратиграфии отложений плейстоцена и голоцена, в объяснении причин развития современного органического мира, дифференциации почвенного покрова, развитии гидрографической сети. Однако специалисты в области палеогеографии работали в разных организациях, выполняя свои производственные задания, и не имели возможности сотрудничать с коллегами по вопросам корреляций эволюционных этапов природных компонентов, которые они изучали. Подобное состояние эволюционной географии было характерно и для Беларуси до конца XX в. В начале XXI в. на географическом факультете под руководством профессора Я.К. Еловичевой начал формироваться коллектив палеогеографов, который развивает идеи эволюционной географии. Для этого были привлечены к работе высококвалифицированные специалисты, которые владеют разными методами палеогеографического анализа: Я.К. Еловичева (спорово-пыльцевой метод), А.Н. Мотузко (фауна крупных и мелких млекопитающих плейстоцена), Д.Л. Иванов (фауна мелких млекопитающих позднеледниковья и голоцена), Б.П. Власов (диатомовый анализ), Е.А. Козлов (эволюция литогенной основы природы озер), Н.М. Писарчук (развитие растительности межледниковий), В.В. Махнач (влияние мезозойского этапа развития природы Беларуси на ее современную структуру), И.А. Логачев (фауна палеозоя и ее роль в развитии современной структуры животного мира). Кроме этого, в решении отдельных вопросов палеогеографии активное участие принимают коллеги из других организаций: А.Ф. Санько (наземные моллюски), В.Ю. Ратников (земноводные и пресмыкающиеся), С.Ф. Зубович (остракоды), Г.И. Литвинюк (карпология), Е.Н. Дрозд (палинология).

Коллектив палеогеографов на кафедре физической географии мира и образовательных технологий географического факультета создал и продолжает пополнять базы данных фактического палеонтологического материала по территории Беларуси на основании исследований пород из естественных обнажений и буровых скважин в виде карт местонахождений ископаемой флоры и фауны, диаграмм, фото, рисунков и описаний палеонтологических остатков в монографиях и атласах. Тем самым эти палеогеографы обеспечивают сохранность палеонтологического фонда ископаемых организмов Республики Беларусь и достоверность проводимых палеогеографических реконструкций прошлого Земли, оценивают ее нынешнее состояние и прогнозируют изменения в будущем.

Палинологическая база данных (ПБД) самая многочисленная и в настоящее время включает сведения о 1250 разрезах плейстоцена и голоцена Беларуси [1, 2]. По сравнению с первым вариантом этой базы данных [3] ее объем за последние 37 лет увеличился в три раза. Наибольшую ценность представляют стратотипические и опорные разрезы с двумя межледниковыми горизонтами, а также характеризующие полный цикл осадконакопления и сукцессии растительности позднеледниковья, межледниковья (с одним, двумя или тремя оптимумами и разделяющими их интервалами промежуточных похолоданий) и последующего раннеледниковья; не менее важны разрезы и собственно ледниковых эпох с межстадиями и стадиями.

Создание ПБД имеет научное и практическое значение в целях обоснования био- и климатостратиграфии, хронологии этапов развития природы, палеогеографических реконструкций основных ее компонентов и корреляции (местной, региональной, межрегиональной) природных событий во времени и пространстве, а также надежного научного обоснования прогноза этих изменений в будущем. Она дала возможность представить историю и оценить степень палинологической изученности территории региона в гляциоплейстоцене, а на основе детальной микростратиграфии – выделить и охарактеризовать в наиболее полном объеме 16 палеогеографических этапов (8 ледниковых и 8 межледниковых) развития природной среды плейстоцена и голоцена в Беларуси по основным ее компонентам (флора, растительность, климат, тип ландшафта, зональность, географические элементы флоры, теплолюбивые, арктобореальные и ксерофильные экзоты, седиментогенез, антропогенный фактор). Это, в свою очередь, позволило установить проявление динамики этих компонентов во времени и пространстве: наличие сукцессии палеофитоценозов доказывает самостоятельность климатических оптимумов межледниковий и их многократность; процесс формирования палеоводоемов и болот был

сходен с современным и показал в отдельных случаях естественное возрождение озерного режима осадконакопления после зарастания водоемов; межледниковые эпохи плейстоцена отличались большим биоразнообразием видов в оптимальные временные интервалы за счет высокой теплообеспеченности по сравнению с нынешним этапом; высокая экзотичность палинофлоры свойственна ранним оптимумам межледниковий; снижение биоразнообразия, как и уровня озер и рек, скорости и мощности накопления осадков, в конце межледниковий имело естественные причины – смена межледниковья новым оледенением; миграция лесообразующих пород, природных зон и экзотических элементов флоры происходила не столько с повышением температуры, сколько с увеличением влажности климата; районирование территории региона по составу пыльцевых спектров в голоцене адекватно геоморфологическому; определение современного района максимальной концентрации видов ископаемой межледниковой флоры выявило смещение его от запада к востоку Европейской равнины, свидетельствуя об усилении континентальности климата от более древних эпох к нынешнему этапу; установление возрастного ряда ископаемых палинофлор межледниковий базируется на серии экзотических растений, численность которых поэтапно снижалась от неогена к голоцену; сходство макросукцессий четырех основных групп пыльцевых диаграмм разрезов указывает на их общую направленность в развитии, но не доказывает их одновозрастность в особенности при дальнейшей корреляции; направленность макросукцессии голоцена свидетельствует о его межледниковом ранге, нахождении человечества в конце межледниковья, которое не завершено еще фазой березы; появление синантропической растительности в регионе присуще концу раннего голоцена – около 8–9 тыс. лет назад, а трансформация естественных ландшафтов в результате деятельности человека заметно проявилась с позднего голоцена – около 2500 лет назад [4, 5]. Причины нынешнего глобального потепления климата могут заключаться, во-первых, в проявлении тысячелетнего ритма повышения температуры; во-вторых, в переходе ко 2-му, а в будущем, возможно, и к 3-му оптимумам голоцена, которые в итоге завершат межледниковый природный ритм и сменятся новейшим оледенением; наконец, в-третьих, возможно реальное предположение о завершении оледенения кайнозоя и переходе к эре потепления климата Земли, сходного с мезозойским и палеозойским. В настоящее время повышение температуры по сравнению с 1970-ми гг. составило не более 1°, т. е. еще не достигло максимальных значений ни в одном из оптимумов древних межледниковий. Сдвиг природных зон пока не произошел, но по температурным показателям на юго-западе региона выделена новая агроклиматическая зона.

На основе сопряженного анализа доказано: наличие в разновозрастные позднеледниковые интервалы гляциоплейстоцена переотложенных растительных микрофоссилий, вымерших и экзотических карпоидов, что позволило сделать заключение о более древнем возрасте последующей межледниковой флоры; соответствие геохимических барьеров граница важным палеогеографических рубежей, а большинства максимумов накопления макро- и микроэлементов – оптимумам межледниковий, которое должно контролироваться материалами палинологических исследований; возможность восстановления профилей котловин палеоводоемов (продольного, поперечного) для определения способа залегания вмещающей его толщи осадков – нарушенного или коренного.

На основе этой базы данных разработана новая био- и климатостратиграфическая схема гляциоплейстоцена и голоцена Беларуси объемом 19 ярусов (последние 700–900 тыс. лет) изотопнокислородной шкалы Северного полушария, в которой александрийское/гольштейнское межледниковье сопоставлено с 11-м изотопным ярусом, а муравинское/эемское – со всей 5-й изотопной стадией. На качественном уровне нами проведена межрегиональная корреляция природных событий гляциоплейстоцена в пределах территории Центральной Европы (Беларусь, Польша и Украина) как доказательство надежности данных палинологического анализа в обосновании эволюции природы региона и Земли в целом.

База данных по ископаемым млекопитающим включает материалы по 78 местонахождениям плейстоцена и голоцена территории Беларуси [6–8]. Фаунистические комплексы млекопитающих в плейстоцене и голоцене в пределах региона формировались под влиянием ледниковых и межледниковых процессов. Происходила полная смена фауны в периоды оледенений и межледниковий. Материковые оледенения полностью или частично покрывали территорию Беларуси. В приледниковой и внеледниковой зоне развивались холодные ландшафты перигляциальных тундр, лесотундр, степей и тундростепей. Эти экологические условия способствовали миграции животных открытых пространств. Деградация ледниковых покровов вызывалась развитием межледниковых процессов – потеплением климата, восстановлением лесных ландшафтов и как результат – миграцией на территорию Беларуси лесных и лесолуговых видов млекопитающих. Неоднократная смена экологических

условий на протяжении плейстоцена вызывала многократное формирование фаунистических комплексов, видовой состав которых изменялся во времени за счет вымирания старых и появления новых видов. Это дает возможность хорошо диагностировать комплексы маммалий для разных периодов оледенений и межледниковий.

На основе этой базы была разработана стратиграфическая шкала плейстоценовых и голоценовых отложений Беларуси. Поэтапное изучение состава фаун млекопитающих выявило важную закономерность – фауны формировались за счет расширения видового разнообразия путем миграции отдельных видов в разное время. Это хорошо заметно при оценке особенностей развития фауны голоцена [9]. В результате исследования установлено: количество видов в сообществах мелких млекопитающих увеличивалось от позднеледниковья к среднему голоцену. Минимальное количество видов было характерно для дриасовых гляциальных этапов позднеледниковья, а максимальное – для атлантического периода среднего голоцена. Начиная с позднего голоцена количество видов неуклонно сокращалось, и к настоящему времени рецентные сообщества мелких млекопитающих по количеству видов сопоставимы с таковыми в раннем голоцене. Значения индекса доминирования постепенно снижались от позднеледниковья к среднему голоцену, а максимальные значения этого показателя были свойственны сообществам дриасовых этапов позднеледниковья и рецентным сообществам мелких млекопитающих. Минимальный уровень доминирования был присущ микротериокомплексам атлантического периода среднего голоцена. Индексы разнообразия Шеннона, видового богатства и выравнимости Пиелу, наоборот, увеличивались в направлении от позднеледниковья к среднему голоцену. Для рецентных сообществ мелких млекопитающих характерно одно из самых высоких значений индекса доминирования. Вместе с тем им свойственны одни из наименьших значений индексов выравнимости, разнообразия и видового богатства.

По значениям индексов произведена оценка благоприятности условий среды. Для микротериокомплексов позднеледниковья условия среды можно оценить как «умеренные», для сообществ раннего голоцена – «умеренные, близкие к мягким», в среднем голоцене условия среды были наиболее оптимальными – «мягкими». Условия среды для рецентных сообществ мелких млекопитающих по данным разнообразия можно оценить как «умеренные, близкие к суровым». «Суровость» условий среды в настоящее время определяется не особенностями климата или какими-либо природными процессами, как это было на протяжении раннего и среднего голоцена, а антропогенным фактором. Именно деятельность человека в позднем голоцене и на современном этапе становится экологическим фактором, определяющим благоприятность условий среды и биоразнообразие в целом.

Изучение *литогенной основы природных комплексов* в рамках эволюционной географии на кафедре начато недавно и касается геом. лимносистем [10]. Материалы по седиментогенезу озерных котловин позволили рассчитать скорость накопления озерных фаций на основе абсолютного датирования донных отложений. Это позволило рассмотреть пространственную дифференциацию процессов осадконакопления в голоцене и провести корреляции зональных параметров климата и скоростей осадконакопления. Установлено, что развитие седиментации отражает как динамику климата, так и саморазвитие водоемов. Изменение скорости осадконакопления имеет два максимума, хорошо соотносящихся с коренными переменами в развитии природной среды. Первый максимум скоростей осадконакопления связан с переходом от позднеледниковых к межледниковым обстановкам и выражен повсеместно. В структуре накопления господствует терригенный материал, отражающий преобладание открытых пространств. Второй максимум выражен в климатическом оптимуме голоцена. Он связан с развитием процессов, присущих зоне широколиственных лесов, где интенсивно развивается депонация органических сапропелей. Осадконакопление на современном этапе с учетом выявленных закономерностей позволяет утверждать, что преобладание в осадке терригенного материала определяется расширением безлесных пространств. Органогенное накопление в Полесье указывает на переход лимносистем в стадию деградации – в озерно-болотную фазу, причем в последующем предполагается рост скорости торфонакопления. Проведенные исследования позволяют разработать прогноз развития природы озер в будущем.

Молодые палеогеографы – В.В. Махнач и И.А. Логачев, руководствуясь идеями Джеймса Лавлока, утверждают, что эволюция биоты, т. е. совокупности всех биологических организмов, настолько тесно связана с эволюцией их физического окружения в масштабе планеты, что вместе они составляют единую саморазвивающуюся систему, которая обладает саморегуляторными свойствами, напоминающими физиологические свойства живого организма. Возникновение и эволюция этой системы охватывает всю историю Земли. Так, была разработана отчасти эмпирическая, но в большей степени

гипотетическая модель Архея, когда первичная Земля, возродившаяся с появлением жизни на планете, «заявила о себе». Во-первых, она согрела Землю парниковым газом метаном сразу после уменьшения своего объема благодаря фотосинтезу концентрации углекислого газа в атмосфере. Образование кислородной атмосферы стало причиной глобального кризиса, который также был успешно преодолен с появлением оксифильных консументов и частичным восстановлением концентрации углекислого газа. После очередных глобальных кризисов, вызванных внешними причинами или внутренней логикой развития, Земля успешно справлялась с восстановлением контроля над средой путем частичного изменения своей структуры, сохраняя при этом принципы самопродуцирующейся организации, т. е. непрерывно поддерживая свою идентичность и самоконтроль. Молодые ученые работают над такими моделями для палеозоя и мезозоя, стремясь выяснить «физиологические» процессы саморегуляции и самоконтроля в отмеченные периоды жизни природы Земли [11, 12].

С целью проверки идей и гипотез эволюции природы на кафедре была принята новая научная тема – «Изучение эволюции природной среды Беларуси для формирования географической культуры в системе непрерывного образования».

1. Еловичева Я.К., Леонова А.Г., Таборовец О.В. // Актуальные проблемы палинологии на рубеже третьего тысячелетия: Тез. IX Всерос. палинол. конф., Москва, 13–17 сент. 1999 г. М., 1999. С. 102.
2. Yelovichcheva Ya.K., Leonova A.G., Skoptsova N.V. et al. // Abstracts of 10-th International Palynological Congress, June 24–30. China, 2000. P. 193.
3. Махнач Н.А., Кадацкий В.Б. // Геология и геохимия антропогена Белоруссии. Мн., 1974.
4. Еловичева Я.К. Эволюция природной среды антропогена Беларуси (по палинологическим данным). Мн., 2001.
5. Еловичева Я.К., Махнач В.В. // Вучоныя запіскі БрДУ імя А.С. Пушкіна. Вып. 6. Ч. 2. Прыродазнаўчыя навукі. Брэст, 2010. С. 85.
6. Motuzko A., Ivanov D. // Acta zool. cracov. 1996. 39 (1). P. 381.
7. Надаховский А., Мотузко А.Н., Иванов Д.Л. // Стратиграфия и палеонтология геологических формаций Беларуси. Мн., 2003. С. 217.
8. Мотузко А.Н. // Актуальные проблемы геологии и поисков месторождений полезных ископаемых: Материалы V Унив. геол. чтений, Минск, 8–9 апр. 2011 г. Мн., 2011. С. 53.
9. Иванов Д.Л. Микротериофауна позднеледниковья-голоцена Беларуси. Мн., 2008.
10. Козлов Е.А. // Вестн. БГУ. Сер. 2. 2010. № 1. С. 81.
11. Махнач В.В. // Новые направления исследований в науках о земле: Материалы III Междунар. науч. конф. Баку, 2009. С. 97.
12. Логачев И.А. // Проблемы региональной геологии Беларуси: IV Унив. геол. чтения к 15-летию кафедры динам. геологии БГУ, Минск, 2–3 апр. 2010 г. Мн., 2010. С. 62.

Поступила в редакцию 17.06.11.

Ядвига Казимировна Еловичева – доктор географических наук, доцент, заведующая кафедрой физической географии мира и образовательных технологий. Область научных интересов – палинология, эволюционная и физическая география, стратиграфия плейстоцена и голоцена. Автор 450 научных работ (из них 19 монографий) и 9 учебно-методических пособий.

Александр Николаевич Мотузко – кандидат географических наук, доцент кафедры физической географии мира и образовательных технологий. Область научных интересов – палеозоология млекопитающих, эволюционная и физическая география, стратиграфия плейстоцена и голоцена. Автор 235 научных работ (из них 8 монографий) и 12 учебно-методических пособий.

Дмитрий Леонидович Иванов – кандидат географических наук, доцент, заместитель декана географического факультета. Область научных интересов – морфология и палеозоология млекопитающих, эволюционная и физическая география, стратиграфия плейстоцена и голоцена. Автор более 80 научных работ (из них 5 монографий) и 10 учебно-методических пособий.

УДК 628.394.17:631.862.2

Б.П. ВЛАСОВ, Н.Д. ГРИЩЕНКОВА

СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ВОДНЫХ РАСТЕНИЯХ ВОДОЕМОВ И ВОДОТОКОВ БЕЛАРУСИ ПО ДАННЫМ МОНИТОРИНГА

Macrophytes are capable to accumulate substances in the concentration exceeding its contents in the environment. These features of macrophytes have defined their use in the system of monitoring of the higher aquatic plants and control of a condition of reservoirs. The concentration and background heavy metals' content in macrophytes have been determined, the items of foreground elements and the list of species-indicators with high accumulative ability of heavy metals' salts have been outlined.

Водные экосистемы являются элементами окружающей среды, на которых в первую очередь проявляется наиболее сильное техногеохимическое воздействие человека. Сложившаяся система контроля и мониторинга аквальных экосистем базируется на анализе водной среды. Водная среда характе-

ризуется динамичностью, неустойчивостью концентрации и состава химических элементов во времени, что значительно снижает информативность и индикаторную роль в мониторинговых исследованиях. В настоящее время в научных и прикладных исследованиях по эколого-геохимической оценке состояния водных объектов большее значение придается анализу депонирующих сред: высшей водной растительности и донным осадкам.

Среди широкого спектра загрязнителей водной среды наиболее важное значение имеют тяжелые металлы, обладающие канцерогенными, мутагенными и патогенными свойствами даже при низких концентрациях, отличающиеся биологической активностью, высокой технофильностью, отсутствием природных процессов деструкции в ландшафте [1, 2].

Источниками поступления веществ антропогенного характера в водоемы являются: промышленные предприятия, сельскохозяйственные объекты, территории населенных пунктов и объектов рекреации, промышленные площадки и свалки отходов, емкости для хранения нефтепродуктов и химических веществ, системы канализации, объекты коммуникаций (автодороги, стоянки) и т. д.

Основными путями поступления загрязняющих веществ в водоемы служат: сосредоточенные (локальные) сбросы через канализационные системы и рассеянные (атмосферные осадки, поверхностный сток, склоновый сток) в составе различных видов стока (почвенные, грунтовые воды, плоскостной смыв и т. д.). Вещества могут поступать как в растворенной форме, так и в виде взвешенных частиц.

Способность макрофитов накапливать химические элементы положена в основу мониторинга за состоянием высших водных растений, а также среды их произрастания. В Беларуси и за рубежом появилось большое количество научных и прикладных разработок, посвященных проблеме индикаторной роли макрофитов и донных отложений для оценки степени загрязнения водных экосистем.

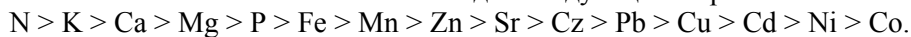
Материал и методика

Многолетние исследования высшей водной растительности проводились согласно программе Национальной системы мониторинга окружающей среды на ключевых участках разнотипных водных объектов (водоемов и водотоков), обладающих уникальной флорой или находящихся под сильным антропогенным воздействием, имеющих большое природоохранное и народнохозяйственное значение и различающихся видовым составом, характером и степенью зарастания. Наблюдательная сеть включает 46 ключевых участков на озерах, 4 – на водохранилищах, 47 – на реках. Было проанализировано содержание химических элементов в тканях водных растений наиболее распространенных ассоциаций надводных, подводных растений и растений с плавающими листьями в период максимального развития биомассы и накопления химических веществ. Методом спектрального анализа в воздушно-сухой массе растений (без корней) определяли содержание 38 химических элементов тяжелых металлов. Содержание элементов пересчитывали в величину грамм вещества в тонне массы растений. Всего выполнен анализ около 800 проб.

Сравнительный анализ полученных результатов натурных исследований на объектах мониторинга позволил выделить перечень наиболее часто встречающихся тяжелых металлов Ni, V, Mn, Cr, Pb, Cu, Zn, определить величины их фонового содержания в макрофитах, выделить виды-индикаторы, отличающиеся наибольшей накопительной способностью макро- и микроэлементов, солей тяжелых металлов. Различия в величине содержания тяжелых металлов в растениях различных водоемов и водотоков свидетельствует о том, что высшим водным растениям свойственна избирательность в накоплении элементов. Для оценки загрязнения макрофитов в водных объектах используется коэффициент концентрации (накопления), который служит мерой аномальности содержания элемента в водных растениях и донных осадках относительно фона. Для интегральной оценки степени загрязнения озер рассчитан индекс содержания тяжелых металлов в растениях, который представляет собой суммарное отношение величины коэффициентов концентрации (накопления) элементов к их числу [3].

Результаты и их обсуждение

Макрофиты отличаются различной способностью аккумулировать химические элементы в зависимости от вида и части растения, сезона года, времени вегетации и т. д. Накопление высшими водными растениями элементов проявляется часто в концентрациях, превышающих значения, зафиксированные в окружающей среде. Обобщенно ряд накопления высшей водной растительностью наиболее распространенных химических элементов выглядит следующим образом:



Свободноплавающие гидрофиты (*Lemna minor* L., *Hydrocharis morsus-ranae* L., *Spirodela polyrhiza* (L.) Schleid.) получают минеральное питание преимущественно из воды, поэтому интенсив-

ность накопления в первую очередь зависит от концентрации определенного элемента в воде, а также от активной реакции среды. Высокая поглотительная способность растений делает их идеальными тестовыми объектами для количественного и качественного определения антропогенных химических нагрузок на водоем во время вегетационного цикла.

Укорененные гидрофиты с плавающими листьями помимо водной массы получают значительную часть химических элементов из донных отложений. Наличие развитой корневой системы и активного транспорта из корней к листьям позволяет использовать их для определения антропогенных химических нагрузок в течение не только текущего (по химическому составу листьев), но и предыдущих сезонов (корни, корневища). По накопительной способности поллютантов нимфейные растения (*Nuphar lutea* (L.) Sm., *Nymphaea candida* Presl., *Trapa natans* L.) занимают промежуточное положение.

Полностью погруженные гидрофиты, как укорененные, так и неукорененные, на протяжении вегетационного сезона могут менять источники поступления вещества в свои ткани: для растений с мощной корневой системой – донные отложения, а для растений, не имеющих связи с грунтом, – водная масса. Это повышает эффективность их использования в качестве индикаторов антропогенной трансформации гидрохимического режима водоема при значительном уровне загрязнения водной среды. Наиболее интенсивным накоплением отличаются следующие виды: *Littorella uniflora* (L.) Aschers., *Isoetes lacustris* L., *Lobelia dortmanna* L., *Chara* sp., *Nitellopsis obtusa* (A.N. Desvaux) J. Groves, далее следуют *Elodea canadensis* Michx., *Ceratophyllum demersum* L., *Potamogeton pectinatus* L., *Myriophyllum* L., *Staurogeton trisulcus* (L.) Schur., *Sparganium* L.

Содержание тяжелых металлов в гелофитах, получающих питание в основном из песчаных и заиленных осадков мелководий (*Typha latifolia* L., *T. angustifolia* L., *Carex* L., *Juncus* L., *Eleocharis* R. Br., *Zizania latifolia* (Griseb.) Stapf., *Calla palustris* L., *Alisma plantago-aquatica* L., *Butomus umbellatus* L., *Sagittaria sagittifolia* L.), относительно низкое.

Проведенные исследования свидетельствуют, что наилучшими индикаторами являются погруженные растения. В озерах, не подверженных загрязнению, содержание поллютантов в макрофитах находится на уровне фоновых величин или незначительно их превышает. Растительность озер, испытывающих интенсивное антропогенное воздействие и загрязнение, накапливает элементы в концентрациях, превышающих фоновые величины в десятки раз (табл. 1).

Таблица 1

Коэффициенты концентрации и индексы содержания тяжелых металлов в индикаторных видах водных растений водоемов и водотоков Беларуси

Название растения	Коэффициент концентрации (накопления)							Индекс содержания
	Ni	V	Mn	Cr	Pb	Cu	Zn	
Белокрыльник болотный	1,44	0,00	0,18	0,00	1,84	0,92	30,57	4,39
Гидрилла мутовчатая	24,29	5,13	2,42	107,15	10,71	5,23	25,84	26,40
Горец земноводный	1,51	0,83	1,59	6,66	0,17	0,58	16,06	4,27
Ежеголовник плавающий	7,17	3,11	4,11	23,59	1,18	1,97	23,46	10,30
Камыш озерный	1,41	0,61	0,48	2,18	0,26	0,56	16,14	2,96
Канареечник тростниковидный	2,01	2,70	0,42	8,79	0,51	1,74	18,77	5,24
Кубышка желтая	1,32	1,04	1,29	13,49	0,46	0,27	20,45	5,39
Лобелия Дортмана	0,72	0,00	0,87	7,15	3,74	4,34	76,49	12,99
Манник большой	1,64	4,62	0,82	27,41	0,80	0,60	13,04	7,07
Полушник озерный	0,50	0,00	1,31	0,00	2,01	2,29	44,83	6,60
Прибрежница одноцветковая	66,67	39,44	1,49	441,18	210,08	43,10	709,22	188,90
Рдест блестящий	3,09	1,43	2,26	15,76	0,80	0,98	9,73	5,54
Рдест гребенчатый	6,16	2,22	2,22	20,50	1,98	1,73	120,21	22,77
Рдест пронзеннолистный	3,80	2,10	2,95	8,19	1,73	0,95	12,21	5,70
Рдест узколистный	5,57	0,67	5,06	30,31	2,63	2,91	54,75	12,74
Роголистник погруженный	2,50	0,91	8,93	17,70	1,94	1,42	0,00	5,03
Сабельник болотный	4,06	5,36	4,87	11,21	4,08	12,08	7,57	6,19
Стрелолист обыкновенный	1,08	1,62	1,98	8,73	0,51	0,88	19,85	4,68
Сусак зонтичный	2,75	1,81	1,55	35,29	0,97	0,88	23,06	8,76
Уруть колосистая	12,56	4,55	10,13	36,94	9,05	7,58	50,92	20,48
Уруть мутовчатая	2,58	1,42	1,83	12,86	2,75	0,88	53,22	12,01
Элодея канадская	2,95	2,50	4,37	14,95	4,54	1,48	27,08	8,80

Результаты исследования накопления тяжелых металлов водными растениями озер, отличающихся замедленным водообменом, уже ранее приводились в публикациях [3, 5]. Отметим только, что

наибольшей накопительной способностью обладают растения озер, находящихся в зоне влияния промышленных выбросов (Люхово, Лукомское, Шапор (г. Гомель), Святое, Белое Болото (г. Могилев)), низкоминерализованных, кислотных озер, кислая реакция среды которых увеличивает миграционную подвижность металлов и способствует их накоплению в тканях макрофитов, а также озер, расположенных в зоне влияния трансграничного переноса загрязненных воздушных масс (Свитязь, Волос Ю., Белое (Лунинецкий район), Белое (Сурмино). Для них установлено превышение фоновой величины концентрации для Ni в 14÷40 раз, Cr – в 4÷30, Pb – в 3÷37, Zn – в 3÷48 раз.

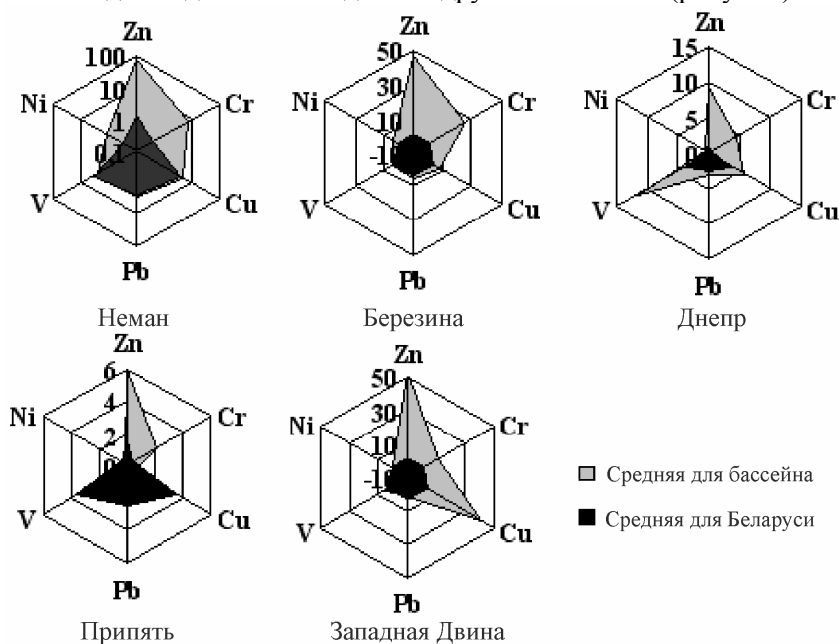
Сравнительный анализ концентрации тяжелых металлов в макрофитах рек основных бассейнов в целом соответствует значениям средней концентрации для водоемов Беларуси, однако для некоторых элементов наблюдаются отклонения от фоновых величин, что является результатом приуроченности объектов гидросети к различным педогеохимическим провинциям: северной (бассейн р. Западная Двина), центральной (бассейны рек Неман и Днепр) и южной (бассейн р. Припять) и наличия локальных источников химического загрязнения промышленными производствами различных типов [2, 4].

Среднее содержание фитотоксичных металлов в тканях водных растений на ключевых участках в **бассейне р. Неман** в целом соответствует фоновым величинам для Беларуси. Превышения наблюдаются по содержанию никеля, молибдена, марганца, цинка и хрома. Наибольшей способностью к поглощению тяжелых металлов обладают погруженные растения, среди которых можно выделить узколистные рдесты (реки Виляя, Щара, Западная Березина), концентрация ряда тяжелых металлов в которых значительно превышает фоновые величины. Надводные растения характеризуются меньшей накопительной способностью. Выделяются лишь канареечник тростниковидный (Щара), сусак зонтичный (Виляя), осоковые (Неман).

Средняя величина содержания большинства тяжелых металлов в макрофитах рек **бассейна Припяти** не превышает фоновых величин для Беларуси. Наибольшее количество накапливают погруженные растения и растения с плавающими листьями. Содержание таких элементов, как хром, цинк, титан, в растениях превышает фоновые величины для региона в 4÷6 раз.

На реках **бассейна Березины** содержание фитотоксичных элементов – хрома, молибдена, никеля, марганца, цинка – превышает в растениях фоновые величины для региона; больше всего токсичных веществ накапливают погруженные растения и растения с плавающими листьями. Содержание других тяжелых металлов в макрофитах рек не превышает его максимального значения в чистых водотоках.

В реках **бассейна Днепра** установлено, что содержание в растениях таких элементов, как ванадий и титан, находится на уровне максимальных зафиксированных значений для водотоков Беларуси, не подверженных антропогенному воздействию. Больше всего токсичных веществ накапливают погруженные растения и растения с плавающими листьями. Содержание других тяжелых металлов не превышает средних величин для водотоков и водоемов других бассейнов (рисунок).



Средняя концентрация тяжелых металлов в водных растениях рек основных бассейнов Беларуси

Высокими коэффициентами концентрации в бассейнах рек характеризуются цинк и хром, содержание которых многократно превышает фоновые значения для территории Беларуси, наименьшими – медь, свинец и марганец. По величине индекса содержания металлов заметно выделяется бассейн р. Неман, величина индекса для которого вдвое превышает значения для Беларуси в целом. Специфика такого распределения кроется в особенностях водосборов рек и наличия источников поступления металлов, связанных главным образом с загрязненными атмосферными осадками (табл. 2).

Таблица 2

Коэффициенты концентрации и индексы содержания тяжелых металлов в водных растениях в реках основных бассейнов Беларуси

Бассейны	Коэффициент концентрации							Индекс содержания
	Ni	V	Mn	Cr	Pb	Cu	Zn	
Припять	1,63	0,92	0,73	10,24	0,74	0,56	21,39	5,0
Неман	4,73	2,49	1,75	24,46	4,59	1,86	135,85	25,8
Западный Буг	2,41	1,87	2,75	17,93	0,50	1,28	5,69	5,1
Западная Двина	4,73	1,83	1,29	14,00	1,13	1,82	13,23	5,3
Днепр	7,50	2,32	2,35	39,87	1,56	1,69	20,01	10,9
Беларусь	4,20	1,88	1,78	21,30	1,70	1,44	39,23	10,4

1. Трахтенберг И. М., Колесников В. С., Луковенко В. П. Тяжелые металлы во внешней среде. Мн., 1994.
2. Мур Дж. В., Рамамурти С. Тяжелые металлы в природных водах. М., 1987.
3. Vlasov B. P., Gigevich G. // Limnological review. 2006. Vol. 6. P. 289.
4. Петухова Н. Н. Геохимия почв Белорусской ССР. Мн., 1987.
5. Власов Б. П. Антропогенная трансформация озер Беларуси: геоэкологическое состояние, изменения и прогноз. Мн., 2004.

Поступила в редакцию 16.06.11.

Борис Павлович Власов – доктор географических наук, доцент, заведующий научно-исследовательской лабораторией озерадения. Область научных интересов – история происхождения, развитие и современное состояние озер. Автор более 200 научных публикаций.

Наталья Дмитриевна Грищенко – аспирант кафедры географической экологии. Научный руководитель – Б. П. Власов. Область научных интересов – геоэкологическое состояние озер и территорий их водосборов. Автор 30 научных публикаций.

УДК 550.4:911.2(476)

Н. К. ЧЕРТКО, А. А. КАРПИЧЕНКО

ГЕОХИМИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ЛАНДШАФТОВ БЕЛАРУСИ

Lateral and radial geochemical structure of landscapes of Belarus and methodology of their study are considered. Kinds of structures within the genera of landscapes are identified. Typification of lateral and radial geochemical structures is developed.

Ландшафт как система состоит из химических элементов, различное сочетание которых определяет его структуру и разнообразие. Сложившаяся геохимическая структура создает геохимические барьеры, которые приводят к аккумуляции химических элементов, а в геологическом времени – к формированию месторождений полезных ископаемых. На современном этапе геохимическая структура определяет дефицит или избыток химических элементов, с чем связано плодородие агроландшафтов и формирование биогеохимических эндемий – территорий, в пределах которых недостаток физиологически значимых элементов или избыток токсичных приводит к заболеваниям местного населения (геохимический фактор по классификации болезней). Решение этих проблем невозможно без учета геохимической структуры ландшафтов и ее типологии.

В настоящее время термин «геохимическая структура» широко используется в научных исследованиях по геохимии ландшафтов. Однако его содержание несколько неопределенно и трактуется различными авторами по-разному. Иногда его применяют при исследованиях закономерности приуроченности условий миграции в рамках геохимических полей [1, 2]. В этом случае латеральная геохимическая структура определяется как «форма описания неоднородности распределения химических элементов в пространстве и может характеризоваться не только контрастностью, дробностью и контурностью, но и наличием закономерной пространственной организации» [3, с. 11]. В некоторых случаях под геохимической структурой понимается пространственная организация видов элементарных

геохимических ландшафтов на определенной территории. Такое сужение понятия геохимической структуры до сугубо хронологического смысла нам представляется отчасти неверным. Для этой цели, на наш взгляд, целесообразнее использовать понятие «территориальная (пространственная) структура геохимических ландшафтов», а понятие «геохимическая структура» употреблять в качестве одной из важнейших характеристик геохимического ландшафта. Именно в таком морфологическом аспекте и рассматривается геохимическая структура в настоящей работе.

Под *геохимической структурой* понимается *закономерное латеральное и радиальное распределение химических элементов в ландшафтно-геохимической системе, вызванное их дифференциацией под воздействием внешних и внутренних факторов миграции.*

К настоящему времени было предпринято несколько попыток классификации геохимических структур, которые основывались на дифференциации химических элементов в почвах. Их теоретической основой служили работы Б.Б. Плынова [4], М.А. Глазовской [5] и А.И. Перельмана [6] об элементарных сопряженных геохимических ландшафтах и геохимической дифференциации. Достаточно высокой степенью проработанности отличается типология латеральных геохимических структур И.П. Гавриловой и Н.С. Касимова [7], основанная на данных сопряженности автономных и подчиненных ландшафтов в катене и учитывающая связь химического состава почв и пород в пределах катены при учете влияния рельефа и почвообразующих пород на ландшафтно-геохимическую контрастность. В связи с этим ими выделено три типа литогеохимической дифференциации и три типа латерально-миграционной дифференциации катен. Сочетание данных типов позволило определить девять видов латерально-геохимического сопряжения почв и пород в катене. К сожалению, данная типология практически не используется в работах белорусских ученых. Радиальная структура в этой типологии не учитывалась, и ее изучение ограничивалось лишь расчетом коэффициентов радиальной дифференциации, определением степени контрастности радиальной дифференциации и выделением радиальных геохимических барьеров.

Типология И.П. Гавриловой и Н.С. Касимова использовалась в работах Н.К. Чертко и А.В. Кругового для изучения геохимических структур агроландшафтов Беларуси [8], в частности латеральной структуры. В качестве основной таксономической единицы авторами для изучения был выбран род ландшафтов, в качестве основного критерия анализа латеральной структуры использовался коэффициент местной миграции, по величине которого для каждого элемента и выделялись виды латерально-геохимического сопряжения. Велась работа по установлению интенсивности латеральной дифференциации с использованием разработанной математической модели [9], которая позволила оценить зависимость латеральной миграции для ряда элементов от угла наклона катены. Было выявлено, что для большинства элементов увеличение наклона катены приводит к усилению миграции, за исключением кремния и алюминия. При проведении исследований ими использовался метод генетических рядов, позволявший не только проводить сопряженный анализ ландшафтов, но и количественно оценивать их трансформацию [9].

В пределах Беларуси исследовались следующие группы и роды ландшафтов: *возвышенная* (занимающая 16 % территории Беларуси) представлена холмисто-моренно-эрозионным и лессовым родами; *средневысотная* (47,5 %) – моренно-озерным, вторично-моренным и вторичным водно-ледниковым; *низменная* (36,5 %) – озерно-ледниковым, аллювиальным террасированным и нерасчлененным комплексом с преобладанием болот. Исследование геохимической структуры в пределах родов ландшафтов проводилось с использованием метода ключевых участков в сочетании с экспедиционными исследованиями и с учетом их существенного геохимического отличия. В пределах элементарных ландшафтов на катене закладывались почвенные разрезы с отбором образцов почв, растений и грунтовых вод. Геохимическую структуру ландшафтов определяют ведущие структурные макроэлементы (Si, Al, Fe, Ca, Mg, K, P, S) и физиологически значимые микроэлементы (Mn, Zn, Cu, B, Co, Mo). В связи с этим проводился валовой химический анализ спектрально-эмиссионным методом.

В типологических целях и для выделения видов геохимической структуры было введено понятие «элементная структура». *Элементная структура* отражает изменение содержания в катене каждого химического элемента в отдельности и может быть выражена графически. Латеральная элементная структура характеризует вариацию содержания химического элемента в гумусовом горизонте по всей протяженности катены или ландшафтно-геохимической системы (ЛГС). По аналогии с латеральной радиальная элементная структура выражает распределение химического элемента в разрезе почва – порода в пределах элементарного ландшафта. Оценка вариации содержания элемента проводилась не

по его абсолютному содержанию в процентах или в других единицах, а по коэффициентам латеральной (для латеральной структуры) и радиальной (для радиальной структуры) дифференциации, т. е. более наглядным способом представления интенсивности концентрации или рассеяния элемента.

При изучении латеральной элементной геохимической структуры нами были выделены следующие пять видов в пределах катены: *восходящий*, или *асцендиальный* (от лат. *ascendo* – восходить, подниматься), – содержание химического элемента в пределах геохимической катены возрастает от элювиального ландшафта к супераккумулятивному; *нисходящий*, или *дисцендиальный* (от лат. *descendo* – нисходить), – содержание элемента убывает в том же направлении; *депресссионный* (от лат. *depressio* – впадина) – содержание элемента минимально в трансэлювиальном ландшафте; *пикообразный* – максимальное содержание элемента в трансаккумулятивно-элювиальном ландшафте; *равномерный* – химические элементы равномерно распределяются в пределах ЛГС [10].

При выделении радиальной геохимической структуры руководствовались закономерностями распределения химических элементов по генетическим горизонтам почв и в породе. Выделены следующие виды радиальных структур: *равномерный* – химические элементы по профилю почв распределяются равномерно; *гумусовый* (*гумусово-аккумулятивный*) – накопление происходит в гумусовом горизонте почвы (для торфяных почв более корректным определением данного вида радиальной структуры представляется *органогенный*); *гумусово-иллювиальный* – накопление в гумусовом и иллювиальном горизонтах; *гумусово-элювиальный* – элементы концентрируются в гумусовом и элювиальном горизонтах; *элювиально-иллювиальный* – элементы накапливаются в подзолистом и иллювиальном горизонтах; при *лессивированном* виде структуры происходит вынос химических элементов вниз по почвенному профилю с постепенным увеличением их содержания с глубиной, т. е. в материнской породе содержится элемента больше, чем в вышележащих почвенных горизонтах (для торфяных почв – *псевдолессивированный*) [10].

Обобщенные результаты по видам геохимической структуры для изученных родов ландшафтов с указанием характера литологического строения типичных катен представлены в табл. 1.

Таблица 1

Виды геохимических структур основных родов ландшафтов Беларуси

Род ландшафта	Вид структуры		Характер литологического строения катены
	латеральной	радиальной	
Холмисто-моренно-эрозионный	Асцендиальный	Равномерный гумусово-иллювиальный	Монолитный
Лессовый	Равномерно-асцендиальный	Лессивированно-гумусовый	Монолитный
Моренно-озерный	Асцендиально-пикообразный	Псевдолессивированный гумусово-иллювиальный	Гетеролитный
Вторично-моренный	Дисцендиально-асцендиальный	Лессивированно-гумусовый	Гетеролитный
Вторичный водно-ледниковый	Равномерно-асцендиальный	Гумусовый	Монолитный
Озерно-ледниковый	Равномерно-асцендиальный	Лессивированный гумусово-иллювиальный	Монолитный
Аллювиальный террасированный	Дисцендиально-асцендиальный	Лессивированно-гумусовый	Гетеролитный
Нерасчлененные ландшафты с преобладанием болот	Пикообразно-асцендиальный	Равномерный псевдолессивированно-гумусовый	Гетеролитный

Для ландшафтов с однородным литологическим строением катены (лессовый, вторичный водно-ледниковый, озерно-ледниковый ландшафты) определен равномерно восходящий вид латеральной геохимической структуры. Для холмисто-моренно-эрозионного ландшафта с наибольшей величиной вертикального расчленения, обуславливающей интенсивную водную эрозию, характерен восходящий вид геохимической структуры. При гетеролитном строении катены наблюдаются комбинации восходящего вида латеральной структуры с пикообразным (моренно-озерный, нерасчлененный с преобладанием болот) и нисходящим (вторично-моренный, аллювиальный террасированный).

Для радиальной структуры исследуемых родов ландшафтов установлено большее разнообразие видов, чем для латеральной. Характерными являются сочетания гумусового вида структуры с равномерным, лессивированным и иллювиальным, что подтверждает доминирование в условиях Беларуси роли выщелачивания химических элементов сильной и средней интенсивности миграции (S, B, Ca,

Mg, K, Mo, Mn, Cu, Co, Zn) из почв с их частичным накоплением на геохимических барьерах в гумусовом и иллювиальном горизонтах. Несмотря на высокую литологическую контрастность, существенных различий между однородными и гетеролитными в литологическом отношении ландшафтами не выявлено.

Исходя из теории и методики геохимической структуры ландшафтов, нами выделены следующие таксономические единицы при классификации геохимических структур: группа, тип и вид (табл. 2).

Таблица 2

Типологическая классификация геохимических структур ландшафтов

Таксономические единицы	Критерии выделения	Структура
Группа	По направлению формирования структуры (горизонтальное или вертикальное)	Латеральная, радиальная
Тип	По месту формирования в КЛГС	Автономная, транзитная, аккумулятивная
Вид	По характеру латеральной (а) и радиальной (б) концентрации химических элементов в почве	а) Восходящая, нисходящая, депрессионная, пикообразная, равномерная б) Равномерная, гумусовая (органогенная), элювиальная, иллювиальная, гумусово-иллювиальная, гумусово-элювиальная, элювиально-иллювиальная, лессивированная (псевдолессивированная)

Группы определялись по направлению формирования геохимической структуры: в горизонтальном направлении формируется латеральная группа, в вертикальном – радиальная.

Выделение типа зависит от места формирования структуры в каскадной ландшафтно-геохимической системе (КЛГС). Автономный тип характерен для водораздельных пространств, транзитный – для склонов, аккумулятивный – для депрессий и пойм рек.

По характеру концентрации химических элементов латеральная элементная геохимическая структура включает пять видов в пределах КЛГС, радиальная – восемь.

1. Бордон В. Е. // Геология и геохимия земной коры Белоруссии. Мн., 1987. С. 86.
2. Корнблум Э. А. // Закономерности пространственного варьирования свойств почвы и информационно-статистические методы их изучения. М., 1970. С. 60.
3. Романов С. Л. // Природные ресурсы. 1997. № 1. С. 11.
4. Полюнов Б. Б. Избранные труды. М., 1956.
5. Глазовская М. А. Геохимические основы типологии и методики исследования природных ландшафтов. М., 1964.
6. Перельман А. И. Геохимия ландшафта. М., 1975.
7. Гаврилова И. П., Касимов Н. С. Практикум по геохимии ландшафтов. М., 1989.
8. Чертко Н. К., Круговой А. В. // География и природ. ресурсы. 1994. № 1. С. 132.
9. Чертко Н. К., Круговой А. В. // Вестн. БГУ. Сер. 2. 1994. № 3. С. 50.
10. Чертко Н. К., Карпиченко А. А., Жумарь П. В. // Структура географической среды и ландшафтное разнообразие Беларуси. Мн., 2006. С. 132.

Поступила в редакцию 16.06.11.

Николай Константинович Чертко – доктор географических наук, профессор кафедры почвоведения и земельных информационных систем. Область научных интересов – микроэлементы в почвах и эффективность микроудобрений; геохимия агроландшафтов Беларуси и их оптимизация; геохимическая структура и геохимическое разнообразие ландшафтов Беларуси; техногенез. Опубликовано 268 научно-методических работ, в том числе 5 монографий (в соавторстве), 1 учебник (в соавторстве), 7 учебных пособий, 6 научно-методических указаний. Награжден Грамотой Верховного Совета БССР, юбилейной медалью «За доблестный труд», медалью «Ветеран труда», Почетными грамотами Министерства образования Республики Беларусь, ректората БГУ, Заслуженный работник БГУ и др.

Александр Александрович Карпиченко – кандидат географических наук, доцент кафедры почвоведения и земельных информационных систем. Область научных интересов – геохимия ландшафта, геохимическое картографирование, география почв. Автор 60 публикаций, в том числе одного учебно-методического пособия и ряда методических рекомендаций. Награжден Грамотой БГУ, является лауреатом республиканского конкурса научных работ студентов (2001 г.).

ОЦЕНКА И ТЕРРИТОРИАЛЬНЫЕ РАЗЛИЧИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ ОЗИМОГО РАПСА КАК НЕТРАДИЦИОННОГО ИСТОЧНИКА ЭНЕРГИИ*

The method of the estimation of agroclimatic and bioenergetic potential of the administrative districts of Belarus applying to the winter rape growing, realized as the geographical information system is reflected in the article. The territorial differs of parameters of the real crop capacity, potential and really possible capacity and the factors which are determining them are revealed.

Среди крестоцветных сельскохозяйственных культур, которые могут использоваться как потенциальный источник энергии, наиболее перспективным является озимый рапс. Его в полной мере можно отнести к культуре стратегического значения. Из рапса можно получать продукты питания, корма для животных. Он используется в качестве природного мелиоранта почв, а также технического сырья для транспорта, промышленности и других отраслей экономики. С 1 га посевов озимого рапса вырабатывается около 1,5 т моторного и около 50 т условного топлива для энергетических установок [1, 2]. Однако экономическая целесообразность выращивания озимого рапса как перспективного топливного сырья должна учитывать влияние на его продуктивность региональных и локальных различий почвенно-климатических условий, что делает их выявление и оценку практически востребованной и актуальной географической задачей.

Материал и методика

Для определения биоэнергетических возможностей озимого рапса в административных районах Беларуси была создана динамико-статистическая модель и предложены комплексные показатели, характеризующие уровень его продукционного и биоэнергетического потенциала при существующей культуре земледелия. Сопоставление показателей потенциальной, действительной и производственной продуктивности позволяет выявить природные и хозяйственные факторы, определяющие недобор урожая в разных природно-климатических условиях.

Теоретической основой методики оценки биоэнергетического потенциала крестоцветных сельскохозяйственных культур является метод анализа агроэкологического потенциала ландшафтов, заключающийся в синтезе концепции максимальной продуктивности сельскохозяйственных культур и ландшафтно-экологического подхода [3]. Методика реализована в виде географической информационной системы оценки биоэнергетического потенциала крестоцветных сельскохозяйственных культур (ГИС «ОБПК»), которая состоит из трех блоков: базы данных, поддерживающей согласованный регламент сбора, и последующей специализированной обработки атрибутивных и пространственных данных; динамико-статистической модели, включающей основные уравнения и расчетные функции определения частных и интегральных показателей; системы наборов пространственно-распределенных данных и их графической визуализации.

Динамико-статистическая модель оценки продуктивности крестоцветных сельскохозяйственных культур является основным элементом ГИС «ОБПК» и включает три блока. Первый блок содержит формулы расчета потенциальной урожайности (ПУ), обеспечиваемой приходом энергии фотосинтетически активной радиации (ФАР) при оптимальном в течение вегетационного периода режиме климатических факторов. Сюда входят формулы расчета ФАР (Q_{ϕ}), потенциального коэффициента полезного действия (КПД) использования ФАР ($\eta_{\text{п}}$), месячных и за весь вегетационный период величин ПУ. Второй блок описывает действие лимитирующих факторов. В него включены аналитические выражения функций влияния агроклиматических факторов на продуктивность крестоцветных сельскохозяйственных культур: влажности почв γ , температуры воздуха φ и для озимых культур – условий перезимовки Z . Сюда же входят формулы расчета действительно возможной урожайности (ДВУ), определяемой ПУ и лимитирующим действием климатических факторов в течение вегетационного периода. К третьему блоку относятся формулы расчета комплексных показателей степени неблагоприятности климатических условий $K = (1 - U_{\text{дву}}/U_{\text{пу}})100$, уровня использования агроклиматических ресурсов $C = U_{\text{уп}}/U_{\text{дву}}100$, где $U_{\text{уп}}$ – урожай производственный, уровня реализации агроэкологического потенциала $D = U_{\text{уп}}/U_{\text{пу}}100$ и уровня биоэнергетического потенциала $F = U_{\text{дву}} K_{\text{э}}$, где $K_{\text{э}}$ – перевод-

* По материалам докладов авторов на XV Белорусском энергетическом и экологическом конгрессе (Минск, 13–14 октября 2010 г.) и Международной научной конференции «Сахаровские чтения 2011 года: экологические проблемы XXI века» (Минск, 19–20 мая 2011 г.).

ной коэффициент для пересчета биомассы культур в энергетические единицы. Так как последний рассчитывался для одного гектара пашни, значения коэффициента биоэнергетического потенциала переводились в гигаджоули на гектар.

Одним из основных параметров, входящих в первый блок модели, является потенциальная урожайность, рассчитываемая для каждого месяца вегетационного периода по формуле: $Y_{\text{пу}}^j = Q_{\text{ф}}^j \eta_{\text{п}} / q$, где $Y_{\text{пу}}^j$ – потенциальная урожайность расчетного месяца вегетационного периода, ц/га; $Q_{\text{ф}}^j$ – сумма ФАР за расчетный месяц, МДж/м², q – средняя калорийность сухой биомассы сельскохозяйственной культуры, МДж/кг; $\eta_{\text{п}}$ – потенциальный КПД посевов сельскохозяйственной культуры, %.

Потенциальный КПД посева – это максимальный КПД посева, обеспечиваемый биологическими свойствами сельскохозяйственной культуры, современной агротехникой и уровнем плодородия почвы в оптимальных для данной сельскохозяйственной культуры климатических условиях и определяемый по уравнению: $\eta_{\text{п}} = q \cdot Y_{\text{max}} \cdot K_{\text{Б}} / Q_{\text{фmin}}$, где Y_{max} – максимальная урожайность сельскохозяйственной культуры, получаемая на уровне агротехники Госсортосети Беларуси, ц/га; $Q_{\text{фmin}}$ – сумма падающей ФАР за наиболее короткий период вегетации сельскохозяйственных культур, МДж/м²; $K_{\text{Б}}$ – коэффициент, характеризующий уровень плодородия пашни района, безразмерный.

Действительно возможная урожайность расчетного месяца вегетационного периода $Y_{\text{дву}}^j$ определяется по формуле: $Y_{\text{дву}}^j = Y_{\text{пу}}^j \phi^j \gamma^j Z$, где ϕ^j – функция воздействия среднесуточной температуры воздуха на продуктивность посевов, безразмерная; γ^j – функция воздействия влажности полуметрового слоя почвы на продуктивность посевов, безразмерная; Z – функция воздействия условий перезимовки на продуктивность посевов озимых культур, безразмерная. Функции ϕ , γ и Z нормированы и изменяются от 0 до 1. Влияние температуры воздуха на продуктивность посевов учитывается через универсальную температурную кривую ϕ , описываемую уравнением $\phi^j = (\theta/2)^{0,774(\theta-1)} (1,4 - \theta/0,4)^{3,8(\theta-1)}$, где θ – показатель, характеризующий отношение среднесуточной температуры воздуха t , °С к оптимальной $t_{\text{опт}}$, °С для расчетного периода, безразмерный: $\theta = t/t_{\text{опт}}$. Функция воздействия влажности почвы на продуктивность посевов аппроксимирована выражением $\gamma^j = 2,157W/W_{\text{нв}} - 1,163(W/W_{\text{нв}})^2$, где W – запасы продуктивной влаги в слое почвы 0÷50 см, мм; $W_{\text{нв}}$ – наименьшая влагоемкость почвы в слое 0÷50 см, мм [3]. Функция воздействия условий перезимовки на продуктивность посевов озимых культур определяется на основании модифицированной кривой связи площадей погибших посевов крестоцветных культур с комплексным показателем условий перезимовки: $Z = 0,4934 t_{\text{min}}/t_{\text{к}} + 1,4181 \cdot h/n - 0,7015$, где t , h , n – осредненные по району значения: t_{min} – минимальная температура воздуха, °С; h – максимальная глубина промерзания почвы, см; $n_{\text{сп}}$ – продолжительность периода со снежным покровом, дни; $t_{\text{к}}$ – критическая температура вымерзания отдельных культур, °С.

Результаты и их обсуждение

Основная часть посевов крестоцветных приходится на озимый рапс. Его средняя урожайность в Беларуси – около 23 ц/га, однако лучшие хозяйства получают 50 ц/га и более. Одна из основных причин потерь урожая озимого рапса – неблагоприятные агроклиматические условия перезимовки. Как правило, урожайность озимого рапса увеличивается с повышением плодородия почвы. Эта взаимосвязь проявляется тем отчетливее, чем больше отклоняются климатические условия от оптимальных.

С помощью разработанной ГИС «ОБПК» выполнен пространственно-временной анализ и оценка агроклиматического и биоэнергетического потенциала Беларуси применительно к возделыванию крестоцветных культур, в частности озимого рапса.

Наиболее высокие показатели потенциальной и действительно возможной урожайности озимого рапса получены для юго-западных и западных районов Минской и Гродненской областей, в структуре почвенного покрова которых преобладают дерново-подзолистые легкосуглинистые и связносупесчаные автоморфные почвы.

Максимальные значения $Y_{\text{пу}}$ и $Y_{\text{дву}}$ характерны для Несвижского (131,45 и 116,22 ц/га) и Клецкого (124,43 и 111,7 ц/га) районов Минской области, имеющих очень высокий общий балл кадастровой оценки, в том числе плодородия пашни – 42,6 и 40,4 балла соответственно (рис. 1, 2). Также высоки эти показатели для Слуцкого, Минского, Дзержинского, Молодечненского и Копыльского районов, для которых $Y_{\text{пу}}$ превышает 100 ц/га. Благоприятным температурным режимом зимнего периода в условиях возвышенных местоположений вторично-моренных ландшафтов объясняется и невысокий коэффициент K – менее 15 % (рис. 3). Значительны для этих районов коэффициенты использования агроклиматических ресурсов (20 %) и реализации агроэкологического потенциала (17 %).

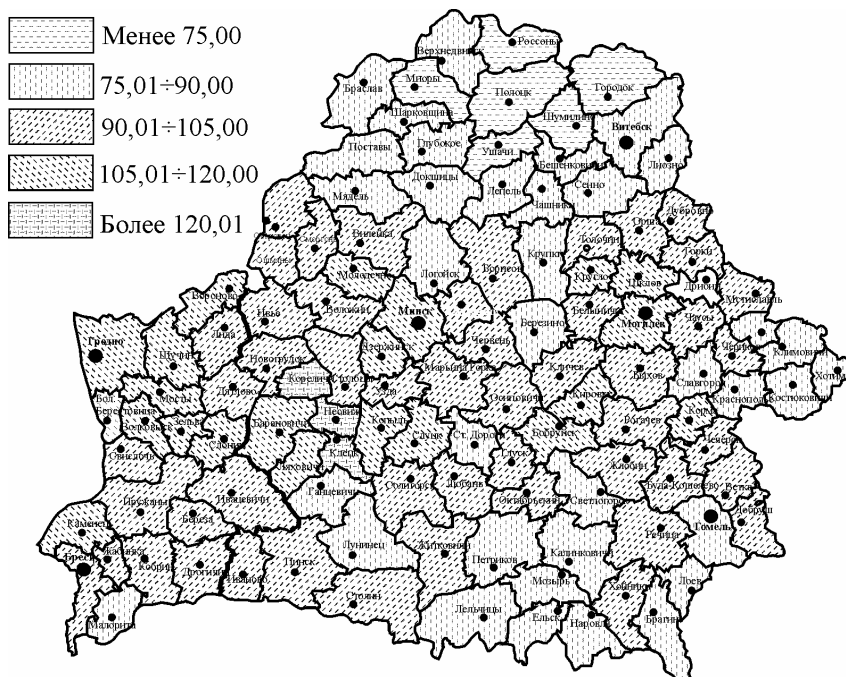


Рис. 1. Потенциальная урожайность озимого рапса в административных районах Беларуси, ц/га

Высокие значения потенциальной урожайности и действительно возможной получены также для большинства западных районов Гродненской области – в Гродненском и Берестовицком $U_{пу}$ превышает 116 ц/га, $U_{дву}$ – 103 ц/га, значительны эти показатели также для Волковысского, Зельвенского и Слонимского районов ($U_{пу}$ достигает 112,53, 116,44 и 108,84 ц/га соответственно; $U_{дву}$ – 97÷100 ц/га). Коэффициент неблагоприятности климатических условий изменяется от 10 до 13 % для большинства районов Гродненской области, за исключением Островецкого и Ошмянского районов (24 и 19 % соответственно, см. рис. 1, 2). Коэффициент использования агроклиматических ресурсов достаточно высок в юго-западных и западных районах Гродненской области (от 18 % в Дятловском до 26 % – в Гродненском). Наиболее низкий он в Ошмянском районе – 13,37 %, так же как и коэффициент реализации агроэкологического потенциала – 11,28 %. Значения D более 20 % получены для Гродненского, Берестовицкого и Волковысского районов, что свидетельствует о высоком по сравнению с другими регионами уровне агротехники озимого рапса.

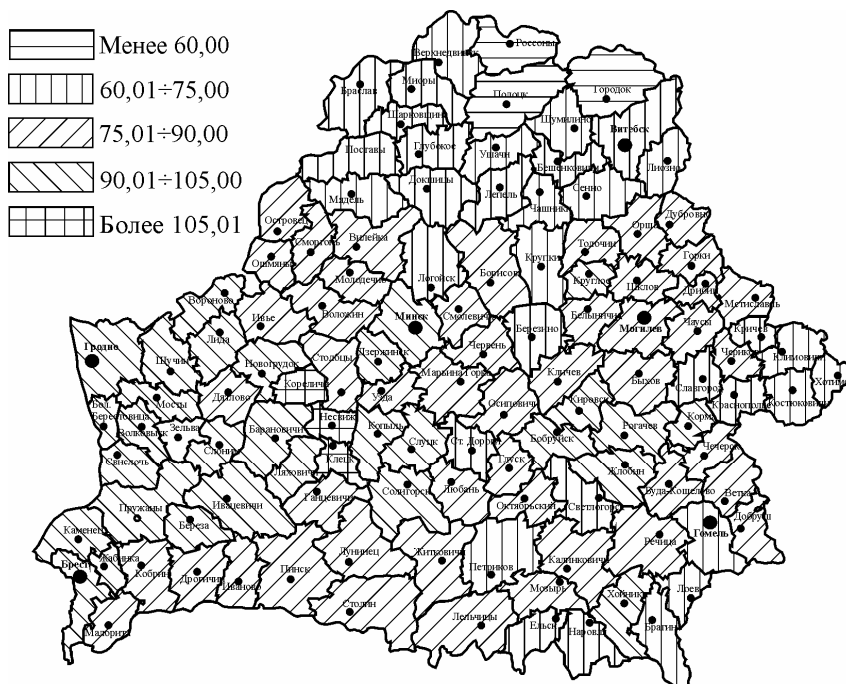


Рис. 2. Действительно возможная урожайность озимого рапса в административных районах Беларуси, ц/га

Весьма благоприятны для выращивания озимого рапса также некоторые районы Могилевской области, относящиеся к Восточно-Белорусской провинции вторично-моренных и лессовых ландшафтов, имеющих высокий балл почвенного плодородия (35) дерново-подзолистых супесчано-суглинистых почв с преобладанием плоских видов ландшафтов. К ним относятся Кировский и Бобруйский, Круглянский, Шкловский и Могилевский районы ($U_{пу}$ – более 107 ц/га и $U_{дву}$ – более 90 ц/га). Коэффициент неблагоприятности климатических условий здесь выше среднереспубликанского показателя – в большинстве районов он варьирует в пределах 17÷19 % (рис. 3). Наиболее высокий он в Горечком районе (21 %), а самый низкий – в Осиповичском – 11,97 %. Уровень использования агроклиматических ресурсов выше среднереспубликанского значения (15,76 %) для большинства районов Могилевской области. Менее 12 % этот показатель в Хотимском, Костюковичском, Чериковском и Краснопольском районах. Уровень реализации агроэкологического потенциала на 3 % выше среднего значения по Беларуси только в Кировском, Глусском и Могилевском районах. Низкие значения коэффициента (не более 10 %) получены для восточных районов области – Хотимского, Чериковского и др.

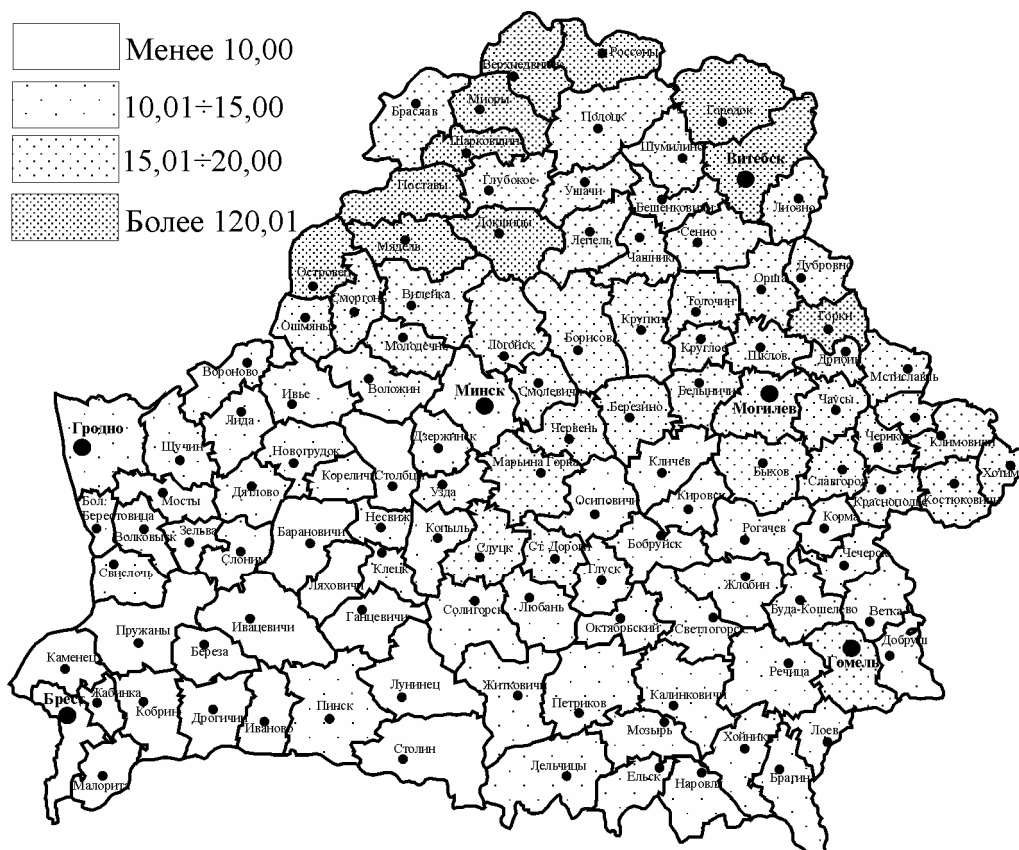


Рис. 3. Коэффициент неблагоприятности климатических условий применительно к возделыванию озимого рапса в административных районах Беларуси, %

Значительным агроэкологическим потенциалом располагают предполесские районы Брестской области. Это объясняется прежде всего высокими значениями КПД использования ФАР и благоприятными условиями зимовки. Максимальные значения $U_{пу}$ получены для Барановичского, Ляховичского – более 109 ц/га и Каменецкого – 105 ц/га районов. $U_{дву}$ для этих районов составляет 99 ц/га. Высоки эти показатели для Березовского, Брестского, Жабинковского и Пружанского районов – $U_{пу}$ превышает 100 ц/га, а $U_{дву}$ колеблется от 91 ц/га в Пружанском до 96 ц/га в Брестском районе. В более южных районах Брестской области с увеличением в структуре почвенного покрова доли песчаных, а также переувлажненных торфяных почв показатели урожайности снижаются, например, до 84,62 ц/га $U_{пу}$ и 77,07 ц/га $U_{дву}$ в Малоритском районе. Коэффициент неблагоприятности климатических условий имеет здесь самые низкие значения по Беларуси – менее 10 % (см. рис. 3). Исключение составляет Пинский район, где он равен 12,45 %, что, вероятно, объясняется достаточно глубоким промерзанием осушенных торфяных почв, доля которых в структуре сельскохозяйственных земель превышает 60 %. Уровень использования агроклиматических ресурсов также низкий в районах Пинского

Полесья – Пинском и Лунинецком – чуть более 13 %. Наиболее высокий этот показатель для Брестского (22 %), Дрогичинского и Ивановского – по 20,5 %. В этих же районах наиболее высок уровень реализации агроэкологического потенциала: более 21 % – в Брестском, 18 % – в Ивановском и Дрогичинском. Для остальных районов Брестской области он несколько выше или на уровне среднереспубликанского. В Пинском, Ивацевичском и Ганцевичском районах этот показатель не достигает 13 %.

Потенциальная продуктивность озимого рапса в Гомельской области ниже, чем в Брестской. Только в Кормянском районе значение $У_{пу}$ составляет 108,20 ц/га, а $У_{дву}$ достигает 94,05 ц/га. Для остальных районов Гомельской области эти показатели характеризуются более низкими значениями: $У_{пу}$ от 79,56 ц/га в Лоевском районе до 96 ц/га – в Октябрьском, $У_{дву}$ для этих районов – 70,31 и 84 ц/га соответственно. Коэффициент неблагоприятности климатических условий уменьшается при смещении к югу. По уровню использования агроклиматических ресурсов выделяются Хойникский и Гомельский районы (по 19 %), а также Лоевский и Мозырский (по 16 %). Для остальных районов Гомельской области этот показатель значительно ниже – в Калинковичском он достигает лишь 8,13 %. Уровень реализации агроэкологического потенциала также низкий для большинства районов области – не более 15÷16 % в Речицком, Гомельском и Хойникском районах.

Наименее благоприятные условия для выращивания озимого рапса в Северной агроклиматической области, что объясняется более низким по сравнению с остальной территорией Беларуси уровнем КПД использования ФАР, а также более суровыми условиями перезимовки. Уровень потенциальной урожайности во всех районах Витебской области ниже среднереспубликанского – от 69,41 ц/га в Полоцком районе до 98,03 ц/га – в Оршанском. Более 95 ц/га показатель $У_{пу}$ получен для Толочинского и Дубровенского районов. Эти же районы имеют наиболее высокие по области значения $У_{дву}$ (79,19; 78,9; 79,31 ц/га соответственно). Низкие значения $У_{дву}$ характерны для Городокского (50,7 ц/га), Россонского (52,91 ц/га) и Полоцкого районов (57,81 ц/га). Коэффициент неблагоприятности климатических условий для всех районов Витебской области довольно высок – около 20 %. В Поставском районе он достигает 22 %, Россонском, Витебском и Верхнедвинском – 23,8 %, Городокском – более 24 %. Коэффициент использования агроклиматических ресурсов наиболее высокий в Верхнедвинском районе – 19 %, на уровне 15÷17 % он получен для Поставского, Докшицкого, Глубокского, Миорского и Полоцкого районов, низкий – для Бешенковичского района. В большинстве остальных районов этот показатель варьирует в пределах 15÷17 %. Коэффициент реализации агроэкологического потенциала также невысокий для Витебской области (7÷11 %), так как уровень агротехники возделывания озимого рапса при более низких температурах и более глубоком промерзании почв еще требует совершенствования. Только в Оршанском районе он составляет 17,05 %. На уровне среднего по стране (13,46 %) коэффициент D получен для Поставского, Миорского и Верхнедвинского районов.

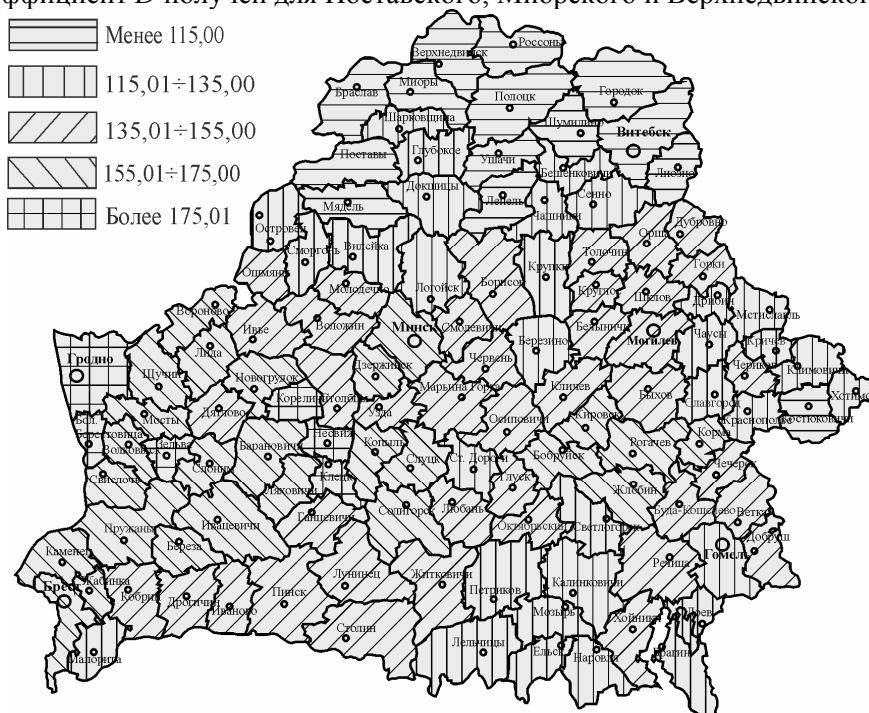


Рис. 4. Биоэнергетический потенциал административных районов Беларуси применительно к возделыванию озимого рапса, ГДж/га

Реальная урожайность рапса в большинстве административных районов Беларуси в 3–6 раз ниже действительно возможной в данных агроклиматических условиях. В отдельных районах Гомельской области (Жлобинский, Буда-Кошелевский, Чечерский, Гомельский) $U_{дву}$ превышает производственную урожайность в 8 раз и более. Значительно выше показатели $U_{дву}$ по сравнению с $U_{уп}$ для Ляховичского, Березовского, Дрогичинского, Ивановского и Столинского районов Брестской области, Кореличского Гродненской области. Для большинства районов Минской, Могилевской и Витебской областей средняя пропорция между $U_{дву}$ и $U_{уп}$ сохраняется. Вероятно, значительный разрыв между показателями производственного урожая и действительно возможного обусловлен в основном агротехническими факторами возделывания озимого рапса, что подтверждает и коэффициент реализации агроэкологического потенциала, имеющий значительную региональную вариабельность – от 6,93 % для Кормянского района до 23,27 % – для Гродненского.

Наиболее перспективные по показателю биоэнергетического потенциала районы расположены в южной части страны. Их северная граница практически соответствует северной границе зоны целесообразного выращивания рапса. Около 200 ГДж/га можно получать в Несвижском районе, более 185 ГДж/га – в Гродненском, Берестовицком и Зельвенском районах. Минимальные значения 87 и 91 ГДж/га соответственно получены для Городокского и Россонского районов Витебской области (рис. 4).

Прогнозируемое в связи с климатическими изменениями повышение температуры воздуха будет способствовать увеличению урожайности крестоцветных в северных районах, а уменьшение количества осадков в течение вегетационного периода приведет к снижению урожайности в Гомельской и части районов Брестской области.

1. РАПС: масло, белок, биодизель: Материалы Междунар. науч.-практ. конф., г. Жодино, 25–27 сент. 2006 г. / Под общ. ред. М.А. Кадырова. Мн., 2006.

2. Ивашкевич О.А. и др. // Энергоэффективность. 2005. № 6. С. 18.

3. Витченко А.Н. Теоретические и прикладные основы оценки агроэкологического потенциала ландшафтов Беларуси: Автореф. дис. ... д-ра геогр. наук. Мн., 1996.

Поступила в редакцию 20.06.11.

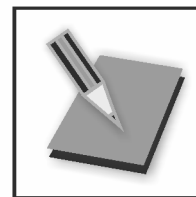
Александр Николаевич Витченко – доктор географических наук, профессор, заведующий кафедрой географической экологии. Заместитель председателя УМО по экологическому образованию Минобразования. Председатель экспертного Совета ВАК Республики Беларусь по географическим и геолого-минералогическим наукам. Область научных интересов – геоэкология, физическая география, биоклиматология. Опубликовал 253 научные работы.

Елена Евгеньевна Давыдик – научный сотрудник НИЛ экологии ландшафтов. Область научных интересов – оценка природно-ресурсного потенциала, территориально-организационное обоснование аграрного землепользования. Автор 22 научных работ.

Валентин Минович Яцухно – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий НИЛ экологии ландшафтов. Лауреат премии им. А.Н. Севченко в области естественных наук (1999 г.), заместитель председателя Совета по проблемам Полесья НАН Беларуси, член Международной ассоциации ландшафтной экологии, член комитета по науке и технологиям Конвенции ООН по борьбе с опустыниванием/деградацией земель. Область научных интересов – рациональное использование и охрана агроландшафтов и земельных ресурсов, территориальное, в том числе ландшафтное, планирование. Автор 380 научных работ, более 40 работ опубликованы в странах дальнего зарубежья.

90
ЛЕТ

Хроника



IV МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «ОЗЕРНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ: БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, АНТРОПОГЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ, КАЧЕСТВО ВОДЫ»

IV Международная научная конференция «Озерные экосистемы: биологические процессы, антропогенная трансформация, качество воды», организованная Научно-исследовательской лабораторией гидроэкологии, Нарочанской биологической станцией им. Г.Г. Винберга Белорусского государственного университета при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований и научного журнала «Management of environmental quality», проходила с 12 по 17 сентября 2011 г. на базе УНЦ «Нарочанская биологическая станция им. Г.Г. Винберга» БГУ и была посвящена 90-летию университета. Конференция проводится с интервалом в 4 года и привлекает большое внимание исследователей. Ее тематика охватывает широкий круг вопросов гидроэкологии и представляет интерес для организаций и ведомств, связанных с охраной и эксплуатацией природных ресурсов водоемов.

Представленные на IV конференцию доклады были сгруппированы по следующим основным направлениям:

I. Реакция озерных экосистем на изменение природных и антропогенных факторов среды.

II. Структура и продуктивность озерных экосистем:

II. 1. Автотрофный уровень (фитопланктон, фитоперифитон, макрофиты, микрофитобентос).

II. 2. Гетеротрофный уровень (бактериопланктон, зоопланктон, зооперифитон, зообентос).

II. 3. Ихтиоценозы, их состояние, структура, трансформация.

III. Качество воды озерных экосистем. Механизмы формирования.

IV. Природные ресурсы озер и проблемы их рационального использования.

V. Чужеродные виды и их роль в водных экосистемах.

На пленарных заседаниях было заслушано **20 докладов, на секционных – 135, в качестве постерных было рассмотрено 60 докладов.**

К началу конференции изданы тезисы докладов. Всего опубликовано 215 тезисов докладов участников конференции, представляющих 100 научных учреждений из 15 стран (Беларуси, России, Украины, Литвы, Латвии, Армении, Польши, Германии, США, Великобритании, Турции, Китая, Индонезии, Румынии, Молдовы).

Непосредственное участие в работе конференции приняли 145 человек, из них, как и ранее, наибольшее число было представителей из России – 78 человек, 48 – из Республики Беларусь, 12 – из Украины, 4 – из Турции, по 2 – из США и Латвии, по 1 – из Германии, Литвы и Польши.

География исследований озерных экосистем, результаты которых были рассмотрены, охватывает обширные территории земного шара: с востока на запад – от Петропавловска-Камчатского (Россия) до Буффало (США), с севера на юг – от Сыктывкара, Архангельска (Россия) до Турции, Китая и Индонезии.

В работе конференции приняли участие 2 академика и 2 члена-корреспондента, 26 докторов биологических наук, 2 доктора географических наук, 1 – физико-математических наук и 1 – химических наук; 67 кандидатов наук, из них 52 – кандидаты биологических наук, 8 – географических наук, по 1 – медицинских, химических, психологических наук, со степенью PhD – 4 участника и 47 человек без степени, из них 16 аспирантов, представители административных и управленческих органов, а также студенты.

Возрастной состав участников конференции: молодые ученые (до 35 лет) – 46, старше 70 лет – 13 участников. Гендерный состав: женщины – 74, мужчины – 71.

Выступавшие отмечали, что IV Международная конференция «Озерные экосистемы: биологические процессы, антропогенная трансформация, качество воды» явилась значительным событием в гидробиологической науке. Был заслушан ряд оригинальных докладов, существенно расширяющих понимание гидробиологических процессов и повышающих уровень гидробиологических исследований. Говорилось и о необходимости дальнейшего развития продукционно-гидробиологических исследований для создания теории функционирования водных экосистем. Особо отмечался высокий уровень работ НИЛ гидроэкологии Белорусского государственного университета, впервые доказавшей, что при бентификации озер сохраняется высокий уровень первичной продукции фитопланктона.

Участники конференции выступили с предложением подготовить публикацию материалов, полученных НИЛ гидроэкологии БГУ и УНЦ «Нарочанская биологическая станция им. Г.Г. Винберга», в одном из ведущих международных журналов, а также считают целесообразным продолжение издания ежегодного «Бюллетеня экологического состояния озер Нарочь, Мясстро, Баторино», предоставляющего оперативную информацию о состоянии этих известных во всем мире озер Беларуси.

Было высказано пожелание обратить внимание государственных служб и организаций на необходимость учитывать новейшие достижения гидробиологической науки при разработке критериев качества воды и принятии управленческих решений, направленных на сохранение и рациональное использование водных ресурсов, и подчеркивалась важность разработки экологических аспектов управления водными ресурсами.

Конференция призвала ученых-гидробиологов более активно участвовать в создании базы инвазивных видов гидробионтов.

Ее участники поддержали инициативу белорусских гидробиологов, обратившихся с просьбой к президенту Российского гидробиологического общества академику А.Ф. Алимову рассмотреть вопрос о принятии их в Российское гидробиологическое общество в рамках Союзного государства Беларуси и России.

На конференции отмечалась важная роль Нарочанской биологической станции им. Г.Г. Винберга в развитии продукционной гидробиологии, подготовке кадров высшей квалификации, а также в экологическом образовании и воспитании студентов.

Выступавшие отметили отличную работу оргкомитета и выразили ему благодарность, а также обратились с просьбой к белорусским гидробиологам организовать очередную конференцию.

Оргкомитет, в свою очередь, выразил благодарность администрации БГУ, Национального парка «Нарочанский», деканам биологического и географического факультетов В.В. Лысаку и И.И. Пирожнику за всестороннюю поддержку и помощь в организации и проведении конференции, а также Издательскому центру БГУ за своевременное издание тезисов докладов конференции на высоком полиграфическом уровне.

Т.М. Михеева,

доктор биологических наук, доцент

А.П. Остапеня,

член-корреспондент НАН Беларуси,
доктор биологических наук, профессор

РЕФЕРАТЫ

УДК 541.64/66-313:577.121.2:616-08

Круль Л.П., Белов Д.А., Бутовская Г.В. **Структура и физико-химические свойства биodeградируемых материалов на основе полилактидов** // Вестн. БГУ. Сер. 2. 2011. № 3.

Методами рентгенофазового анализа, совмещенного термического и термомеханического анализа исследована фазовая структура и термомеханические свойства пленок из индивидуальных поли-L-лактидов и поли-D,L-лактидов с различными молекулярно-массовыми характеристиками и их смесей, полученных из раствора полимеров в трихлорметане путем испарения растворителя и последующей термообработки при 50 °С. Обнаружен эффект сверхаддитивного увеличения степени кристалличности и температуры перехода полимера в вязкотекучее состояние при введении в аморфный поли-D,L-лактid добавок стереорегулярного поли-L-лактида.

Библиогр. 12 назв., табл. 4, ил. 3.

УДК 541

Свиридов Д.В. **Фотохимический, сольво-термический и сонохимический синтез нано- и мезоструктурных материалов** // Вестн. БГУ. Сер. 2. 2011. № 3.

Представлены результаты исследований, выполненных в последнее десятилетие на кафедре неорганической химии в области синтеза нано- и мезоструктурных материалов и систем с использованием фотокаталитической литографии, термоиндуцированной полимеризации оксикислот и сонохимической обработки активных металлов и их сплавов.

Библиогр. 14 назв., ил. 3.

УДК 541.138:539.216

Стрельцов Е.А. **Электрохимическое осаждение тонких пленок и наноструктур полупроводниковых халькогенидов металлов** // Вестн. БГУ. Сер. 2. 2011. № 3.

Рассмотрены термодинамические и кинетические аспекты электросинтеза бинарных халькогенидов металлов (на примере PbSe и PbTe), а также новые направления использования наноструктур этих полупроводников, полученных методом ЭО на поверхности широкозонных оксидов (TiO₂).

Библиогр. 24 назв., ил. 3.

УДК 541.10

Лесникович А.И. **Кафедра общей химии и методики преподавания химии: от истоков до наших дней** // Вестн. БГУ. Сер. 2. 2011. № 3.

Приведен краткий обзор исследований кафедры общей химии и методики преподавания химии со времени ее образования. Подчеркнута роль В.Ф. Тикавого в становлении кафедры и ее развитии, создании неорганических ионообменников и термостойких покрытий, компьютеризации учебного процесса; дана информация о работах его учеников. Отражена научная и научно-методическая работа сотрудников кафедры на современном этапе, их организационная деятельность и международное сотрудничество, а также сотрудничество с НИИФХП БГУ.

Библиогр. 16 назв., ил. 1.

УДК 544.2 + 544.3

Кабо Г.Я., Блохин А.В., Павлечко Е.В. **Термодинамические исследования на кафедре физической химии в 2000–2010 гг.** // Вестн. БГУ. Сер. 2. 2011. № 3.

Представлены наиболее значимые результаты исследований термодинамических свойств пластических кристаллов, гидридов фуллеренов, клеточных углеводов и низкотемпературных ионных жидкостей, выполненных группой преподавателей и сотрудников кафедры физической химии в 2000–2010 гг. Приведена библиография публикаций авторов по перечисленным темам.

Библиогр. 50 назв., ил. 3.

УДК 541.182

Паньков В.В. **Физико-химические процессы синтеза многокомпонентных оксидов для создания новых функциональных магнитных и проводящих материалов** // Вестн. БГУ. Сер. 2. 2011. № 3.

Рассмотрены достижения кафедры физической химии, начиная с 2000 г., в области создания с использованием современных методов химии твердого тела многокомпонентных функциональных оксидных материалов с управляемыми свойствами. Подчеркивается, что развитие атомистических подходов в изучении электрических, магнитных свойств веществ смещает интересы современного материаловедения в сторону физической химии.

Библиогр. 32 назв.

УДК 547.512+547.717

Матюшенков Е.А., Козырьков Ю.Ю. **Развитие химии малых циклов на кафедре органической химии в последнее десятилетие** // Вестн. БГУ. Сер. 2. 2011. № 3.

Рассматриваются успехи и достижения кафедры органической химии за последние 10 лет по четырем основным направлениям: исследование механизма реакции Кулинковича, поиск новых превращений с участием комбинации реагентов R₂MgX/Ti(Oi-Pr)₄, реакцией гидроксциклопропанов с сохранением или раскрытием трехчленного цикла, а также развитие методологий тонкого органического синтеза на основе трансформаций циклопропановых соединений. Наиболее ярким достижением является полный синтез эпоксилона D – макроцикла с таксоподобной противоопухолевой активностью, выполненный группой профессора О.Г. Кулинковича.

Библиогр. 47 назв.

УДК 581.1:575.2

Юрин В.М., Дитченко Т.И. **Фитобиотехнология – новое направление в учебной и научно-исследовательской работе кафедры физиологии и биохимии растений** // Вестн. БГУ. Сер. 2. 2011. № 3.

Рассмотрены основные направления развития на кафедре физиологии и биохимии растений научных исследований в области фитобиотехнологии. Значительный объем полученных научных результатов и методических разработок свидетельствует о существенном расширении и усовершенствовании на кафедре в последние годы учебно-методической и научной базы для подготовки специалистов по биотехнологии растений.

Библиогр. 16 назв., ил. 1.

УДК 581.9+582.28

Поликсенова В.Д., Черник В.В. **Развитие исследований по разнообразию и ресурсной оценке растений и микромицетов** // Вестн. БГУ. Сер. 2. 2011. № 3.

Названы научные направления исследований флоры и фитопатогенных грибов, которые проводятся на кафедре ботаники, история их развития и основные итоги.

Библиогр. 16 назв.

УДК 571.27

Прокулевич В.А., Потапович М.И. **Ветеринарные препараты на основе интерферона** // Вестн. БГУ. Сер. 2. 2011. № 3.

Успешное конструирование штаммов-сверхпродуцентов интерферонов животных, разработка сложнейших методов рефолдинга и очистки, создание оригинальной препаративной формы – все это позволило разработать на кафедре микробиологии БГУ большую линейку моно- и поликомпонентных ветеринарных препаратов, предназначенных для решения самых разнообразных задач ветеринарии. Главной отличительной особенностью всех разработанных препаратов является их видоспецифичность, соответствующая видоспецифичности интерферонов, входящих в состав препарата. Это уникальные в своем роде препараты, действующим началом в которых являются защитные белки, полностью идентичные собственным белкам животных.

Библиогр. 14 назв., табл. 3.

УДК 591.9 + 598.2 (476)

Гричик В.В. **Подвид в системе биохорологической структуры вида (на материале орнитофауны Беларуси)** // Вестн. БГУ. Сер. 2. 2011. № 3.

На примере различий в трактовке подвидовой структуры 22 видов птиц фауны Беларуси показано, что в рамках различных концепций вида («biospecies» и «geospecies») категория подвида отражает разные уровни хорологической дифференциации.

Библиогр. 9 назв., табл. 1.

УДК 612.816:616-009

Чумак А.Г., Руткевич С.А., Казакевич В.Б., Альфер И.Ю. **Роль нейромедиаторов аминокислотного происхождения в регуляции жизненно важных функций организма** // Вестн. БГУ. Сер. 2. 2011. № 3.

Результаты исследований преподавателей, сотрудников, аспирантов и студентов кафедры физиологии человека и животных посвящены обоснованию существенной роли монооксида азота, ГАМК, глицина и глутамата в реализации симпатических рефлекторных реакций на спинальном уровне.

Библиогр. 18 назв., ил. 2.

УДК 577.475:577.1

Остапеня А.П., Жукова Т.В., Михеева Т.М. **Бентификация как этап эволюции Нарочанских озер** // Вестн. БГУ. Сер. 2. 2011. № 3.

На основании результатов многолетних исследований озер Нарочанской группы показано, что в последние годы, несмотря на снижение концентрации взвешенных веществ и хлорофилла, общего фосфора и азота, биомассы фито-, зоо- и бактериопланктона, нет никаких оснований говорить о деэвтрофировании или олиготрофизации Нарочанских озер. Наоборот, их продуктивность возросла за счет увеличения роли донных и прикрепленных сообществ в биотическом круговороте.

Библиогр. 16 назв., табл. 1, ил. 2.

УДК 592/599

Лопатин И.К. **Развитие таксономических исследований в Белорусском государственном университете** // Вестн. БГУ. Сер. 2. 2011. № 3.

В последние годы исследования кафедры зоологии в области систематики животных дополнились новыми методами – цитогенетическими и молекулярно-генетическими, что объясняется современными задачами. Продолжает развиваться и традиционный (фауногенетический) метод, позволивший добиться значительных успехов. Изданы монографии по фауне Беларуси, стран Балтии и Центральной Азии. За последние десятилетия успешно формируется школа энтомологов-систематиков.

Библиогр. 54 назв.

УДК 577.21: 632.3.01

Николайчик Е.А., Присяженко О.К., Кулик Е.В., Валентович Л.Н., Чжан Янь (КНР), Селезнева Ю.В., Евтушенков А.Н. **От бактериальных генов – к трансгенным растениям** // Вестн. БГУ. Сер. 2. 2011. № 3.

Представлены результаты исследований молекулярных механизмов взаимодействия между бактериальным фитопатогеном *Pectobacterium carotovorum* и растениями семейства пасленовых, создания эффективных генетических конструкций,

обуславливающих устойчивость к гербициду глифосату. Показано, что посредством системы секреции третьего типа (ССТТ) *P. carotovorum* эффектор DspE непосредственно транспортируется в клетки растений. Идентифицированы белки-мишени томата и табака, взаимодействующие с DspE. Выявлено, что как в результате обработки растений табака и томатов препаратами харпинов (HrpN, HrpJ и HrpW), так и у трансгенных растений, экспрессирующих HrpN, происходит существенная индукция PR-генов и отмечается повышенная устойчивость к ряду патогенов. Выявленное специфическое связывание секреторного шаперона DspF с DspE может потенциально обеспечить устойчивость трансгенных растений, экспрессирующих DspF, к патогенам из рода *Pectobacterium*. Сконструированы и отобраны эффективные бинарные векторы, пригодные для трансформации растений с целью придания им устойчивости к гербициду глифосату.

Библиогр. 15 назв.

УДК 577.1

Семак И.В., Курченко В.П., Шолух М.В. **Биохимия биологически активных веществ** // Вестн. БГУ. Сер. 2. 2011. № 3.

Рассмотрены научные достижения кафедры биохимии в области биохимии биологически активных веществ.

Библиогр. 38 назв.

УДК 579.841.11:579.334.042.2

Максимова Н.П., Анохина В.С., Гринев В.В., Храмцова Е.А., Феклистова И.Н., Лысак В.В. **Использование молекулярных и клеточных технологий для исследования геномов у микроорганизмов, растений и человека** // Вестн. БГУ. Сер. 2. 2011. № 3.

Дан обзор научных исследований кафедры генетики в области биотехнологий и молекулярной генетики. Расшифрована функциональная активность генов, участвующих в метаболизме ряда вторичных микробных метаболитов (феназиновых антибиотиков, бактериальных пигментов и стимуляторов роста растений – ИУК и АЦК-дезаминазы), у перспективных в биотехнологическом отношении бактериальных штаммов; разработаны новые подходы к использованию биосинтетического потенциала данных организмов и созданию на их основе новых микробных продуцентов, пригодных для практического применения, часть из которых уже внедрена в производство в Республике Беларусь (биопестицидные препараты «Бактоген», «Немацид», «Стимул», «Аурин»). С использованием комплекса биоинформационных и молекулярно-генетических методов исследования – от компьютерного моделирования гибридных генов до генетической модификации лейкозных клеток и анализа последствий нокаута специфических генов в этих клетках – исследована роль хромосомной транслокации t(8; 21)(q22; q22) в инициации и поддержании острого миелоидного лейкоза человека. Кроме того, в настоящее время активно развивается новое направление – получение бета-подобных продуцирующих инсулин клеток на основе генетически модифицированных мезенхимальных стволовых клеток человека. По результатам молекулярно-биохимического анализа спектров запасных белков зернобобовых культур этот метод предложен для паспортизации испытуемых образцов люпина и определения степени их родства.

Библиогр. 45 назв., табл. 6, ил. 8.

УДК 911.3:339.9(476)

Пирожник И.И. **Экономико-географические тенденции регионального развития Беларуси в период постсоциалистической трансформации** // Вестн. БГУ. Сер. 2. 2011. № 3.

Показаны особенности социально-экономического развития стран Центральной и Восточной Европы за 20 лет постсоциалистической трансформации, тенденции изменения макроэкономической и территориальной структуры хозяйственного комплекса. С учетом комплекса экономических и социальных показателей проведена типология и выделены три группы стран по степени внедрения рыночных механизмов, уровню экономического и социального развития. Приводится уровень социально-экономического развития регионов (областей) Беларуси, характеризуются пространственные диспропорции в их экономическом развитии и меры государственного регулирования по выравниванию социальных показателей уровня жизни населения. Изложены основные подходы к активизации региональной политики, меры по совершенствованию территориальной организации социально-экономического комплекса регионов в условиях преодоления последствий мирового кризиса и перехода к механизмам устойчивого инновационного развития.

Библиогр. 16 назв., табл. 2, ил. 1.

УДК 911.3 (476)

Козловская Л.В. **Регионы Беларуси: потенциал и факторы интенсификации социально-экономического развития** // Вестн. БГУ. Сер. 2. 2011. № 3.

Представлена информация о направлениях и результатах исследований кафедры экономической географии Беларуси и государств Содружества в 1991–2010 гг. Дается краткая оценка ресурсного потенциала областей и г. Минска и путей интенсификации его использования в современных условиях.

Библиогр. 7 назв.

УДК 911(075.8)

Марцинкевич Г.И., Счастливая И.И. **Современные ландшафты Белорусского Полесья: районирование, направления оптимизации** // Вестн. БГУ. Сер. 2. 2011. № 3.

Представлена структура современных ландшафтов Белорусского Полесья, сформировавшихся под влиянием различных видов хозяйственной деятельности. Дана оценка степени их антропогенной трансформации, приведены результаты районирования и намечены основные направления оптимизации природопользования в границах выделенных районов.

Библиогр. 4 назв., ил. 3.

УДК 553.982.23:550.814 (476)

Губин В.Н. **Космогеологические критерии прогноза нефтеносности Припятского палеорифта** // Вестн. БГУ. Сер. 2. 2011. № 3.

На основе комплексного анализа космогеологических и геолого-геофизических данных установлены структурные, неогеодинамические и гляциотектонические критерии прогноза залежей нефти, выраженные на космических снимках. Выявлены пространственные закономерности распределения нефтеперспективных зон разломов и локальных структур в продуктивных горизонтах осадочного чехла Припятского палеорифтового бассейна.

Библиогр. 5 назв., ил. 2.

УДК 911.3:312

Антипова Е.А. **Динамика и пространственные сдвиги в демографической структуре мира в эпоху глобализации** // Вестн. БГУ. Сер. 2. 2011. № 3.

Установлены основные демографические тенденции развития мира в XXI в. Проанализированы тренды динамики численности, рождаемости, смертности и естественного движения населения мира и основных регионов за 1950–2009 гг. Охарактеризована структура демографического баланса на основе анализа сочетания естественного движения и миграции и разработаны модели демографической динамики регионов мира.

Библиогр. 4 назв., табл. 3.

УДК 551.79:561(476)

Еловичева Я.К., Мотузко А.Н., Иванов Д.Л. **Эволюция природной среды Беларуси и модели ее трансформации** // Вестн. БГУ. Сер. 2. 2011. № 3.

Представлены научные достижения белорусских ученых в развитии научного направления «эволюционная география» для понимания современного состояния природной среды региона и прогноза ее изменения в будущем.

Библиогр. 12 назв.

УДК 628.394.17:631.862.2

Власов Б.П., Грищенко Н.Д. **Содержание тяжелых металлов в водных растениях водоемов и водотоков Беларуси по данным мониторинга** // Вестн. БГУ. Сер. 2. 2011. № 3.

Рассмотрена способность макрофитов накапливать тяжелые металлы в концентрациях, превышающих их содержание в окружающей среде. Это свойство определило их использование в системе мониторинга высшей водной растительности и контроля состояния водоемов и водотоков. Определены концентрации и фоновое содержание тяжелых металлов в макрофитах, выделены перечень приоритетных элементов и виды-индикаторы с высокой накопительной способностью солей тяжелых металлов.

Библиогр. 5 назв., табл. 2, ил. 1.

УДК 550.4:911.2 (476)

Чертко Н.К., Карпиченко А.А. **Геохимическая структура ландшафтов Беларуси** // Вестн. БГУ. Сер. 2. 2011. № 3.

Рассмотрена латеральная и радиальная геохимическая структура ландшафтов Беларуси и методика их исследования. Выделены виды структур в пределах родов ландшафтов. Проведена типизация латеральных и радиальных геохимических структур.

Библиогр. 10 назв., табл. 2.

УДК 633.853.494

Витченко А.Н., Давыдик Е.Е., Яцухно В.М. **Оценка и территориальные различия продуктивности озимого рапса как нетрадиционного источника энергии** // Вестн. БГУ. Сер. 2. 2011. № 3.

Отражена методика оценки продуктивности крестоцветных культур, позволяющая установить функции влияния комплекса агроэкологических факторов на урожайность озимого рапса; предложены комплексные показатели, характеризующие уровень использования агроклиматических ресурсов и уровень агроэкологического потенциала при существующей в производственных условиях культуре земледелия. Сопоставление потенциальной с действительно возможной и производственной продуктивностью позволило выявить лимитирующие природные и хозяйственные факторы, влияющие на урожайность в разных природно-климатических условиях. Выявлено, что основными лимитирующими факторами формирования урожая рапса являются отклонения от оптимальных значений температурного и влажностного режимов в течение вегетационного периода, особенности условий перезимовки рапса в отдельные годы, а также несовершенство агротехнических приемов выращивания. Определены наиболее перспективные регионы для производства крестоцветных культур с целью использования их в дальнейшем в технических целях.

Библиогр. 3 назв., ил. 4.

**УКАЗАТЕЛЬ
статей, опубликованных в 2011 г.**

№ С.
3 3

БГУ – 90 лет! Поздравление ректора Белорусского государственного университета академика С.В. Абламейко 3 3

ХИМИЯ

<i>Боровикова Л.Н., Камышников В.С., Чубуков А.М.</i> Обнаружение трамадола и его основных метаболитов в моче методом тонкослойной хроматографии	1	33
<i>Высоцкий А.Э., Шабловский В.О., Тучковская А.В., Лысенко А.П.</i> Биоцидные свойства и токсикологическая характеристика порошкового дезинфектанта ВАЛИСАН при проведении ветеринарной дезинфекции.....	1	36
<i>Ивановская М.И., Оводок Е.А., Котиков Д.А.</i> Особенности взаимодействия нанокластеров золота и оксида индия в нанокompозите Au-In ₂ O ₃ , синтезированном золь-гель методом.....	2	5
<i>Кабо Г.Я., Блохин А.В., Павлечко Е.В.</i> Термодинамические исследования на кафедре физической химии в 2000–2010 гг.	3	25
<i>Какарека А.С., Врублевская О.Н., Воробьева Т.Н.</i> Химическое осаждение пленок Ni-W-P и Ni-P на алюминий как способ защиты алюминия от коррозии.....	1	18
<i>Круль Л.П., Белов Д.А., Бутовская Г.В.</i> Структура и физико-химические свойства биodeградируемых материалов на основе полилактидов	3	5
<i>Лесникович А.И.</i> Кафедра общей химии и методики преподавания химии: от истоков до наших дней.....	3	19
<i>Луговский А.П., Луговский А.А., Самцов М.П., Воропай Е.С., Истомин Ю.П., Александрова Е.А.</i> Синтез и фотодинамическая активность мезозамещенных трикарбоцианиновых красителей с ортофениленовым мостиком в хромофоре	1	14
<i>Матулис Вадим Э., Матулис Виталий Э., Ивашкевич О.А.</i> Квантовохимическое исследование механизма десорбции молекулы СО с поверхности угля.....	2	20
<i>Матюшенков Е.А., Козырьков Ю.Ю.</i> Развитие химии малых циклов на кафедре органической химии в последнее десятилетие	3	35
<i>Махнач Л.В., Ломоносов В.А., Саевич В.В., Новицкая М.В., Паньков В.В.</i> Влияние оксидных добавок с перовскитоподобной структурой на микроструктуру и некоторые свойства магний-цинкового феррита	1	10
<i>Милевич И.А., Воробьева С.А., Лесникович А.И.</i> Получение и исследование гидрозолей золота, стабилизированных фолатом натрия.....	1	30
<i>Паньков В.В.</i> Физико-химические процессы синтеза многокомпонентных оксидов для создания новых функциональных магнитных и проводящих материалов	3	30
<i>Подтероб А.П.</i> Некоторые характеристики торфяных гумусовых кислот месторождения «Гумановщина».....	1	23
<i>Пригожаева Л.М., Круль Л.П., Семененко Е.А., Поликарпов А.П.</i> Термическое окисление волокнистого карбоксильного катионита на основе полипропилена с привитой акриловой кислотой	2	14
<i>Рахманько Е.М., Матвейчук Ю.В., Ясинецкий В.В.</i> Роданидная функция тетрароданоцинкат-селективного электрода на основе тринилоктадециламмония	2	10
<i>Савицкий А.А., Зайцев А.Л.</i> Особенности взаимодействия низкоэнергетической водородной плазмы с поликристаллическим алюминием.....	1	5
<i>Свиридов Д.В.</i> Фотохимический, сольвотермический и сонохимический синтез нано- и мезоструктурных материалов	3	12
<i>Стрельцов Е.А.</i> Электрохимическое осаждение тонких пленок и наноструктур полупроводниковых халькогенидов металлов.....	3	15

БИОЛОГИЯ

<i>Адамович А.В., Римжа Е.А., Тарасюк И.В., Юрага Т.М., Швед И.А.</i> Биохимические и морфологические изменения при воспроизведении никотинозависимости у молодых крыс.....	1	43
<i>Верес Ю.К., Остапеня А.П.</i> Содержание лабильного органического вещества в воде озер Нарочанского региона ...	2	45
<i>Гричик В.В.</i> Подвид в системе биохорологической структуры вида (на материале орнитофауны Беларуси)	3	55
<i>Губич О.И., Плевако М.В.</i> Регуляция активности изоферментов пируваткиназы биофлавоноидами и куркумином <i>in vitro</i>	2	27
<i>Клемантович А.В.</i> Филогенетическая характеристика белорусских штаммов <i>Clavibacter michiganensis</i> subsp. <i>michiganensis</i>	2	23
<i>Кудин К.В., Прокулевич В.А.</i> Клонирование гена белка капсида белорусского штамма цирковируса свиней 2 типа	2	37
<i>Лопатин И.К.</i> Развитие таксономических исследований в Белорусском государственном университете	3	67
<i>Максимова Н.П., Анохина В.С., Гринев В.В., Храпцова Е.А., Феклистова И.Н., Лысак В.В.</i> Использование молекулярных и клеточных технологий для исследования геномов у микроорганизмов, растений и человека.....	3	77
<i>Маслак Д.В., Можарова И.В., Смирнова В.А., Максимова Н.П.</i> Создание комплексного препарата системного действия на основе бактерий <i>Pseudomonas sp.</i> и гидрогумата торфа	1	69
<i>Михеев А.В. (Украина).</i> Пространственные аспекты следовой активности косули (<i>Capreolus capreolus</i> Linnaeus, 1758) в снежный период года в условиях лесов юго-востока Украины	1	73
<i>Михеева Т.М., Лукьянова Е.В.</i> Многолетняя динамика показателей структурной организации фитопланктонных сообществ Нарочанских озер (Беларусь)	1	49
<i>Нестерова О.Л.</i> Кариотип <i>Labidostomis longimanus</i> (Linnaeus, 1761) (Coleoptera, Chrysomelidae, Clytrinae)	1	59

137

Николайчик Е.А., Присяженко О.К., Кулик Е.В., Валентович Л.Н., Чжан Янь (КНР), Селезнева Ю.В., Евтушенков А.Н. От бактериальных генов – к трансгенным растениям	3	69
Остапеня А.П., Жукова Т.В., Михеева Т.М. Бентификация как этап эволюции Нарочанских озер	3	62
Поликсенова В.Д., Черник В.В. Развитие исследований по разнообразию и ресурсной оценке растений и микроорганизмов	3	46
Прокулевич В.А., Потапович М.И. Ветеринарные препараты на основе интерферона	3	51
Садрния М. (Иран), Жардецкий С.С., Храмова Е.А., Максимова Н.П. Повышение устойчивости растений к стрессовым факторам среды с помощью штамма <i>Pseudomonas mendocina</i> – продуцента АЦК-дезаминазы	2	59
Садрния М. (Иран), Жардецкий С.С., Храмова Е.А., Максимова Н.П. Роль бактериальной АЦК-дезаминазы в повышении устойчивости растений к стрессовым факторам среды	2	62
Сапегин Л.М., Дайнеко Н.М., Тимофеев С.Ф. Радиоактивное загрязнение растений пойменных лугов Ветковского и Добрушского районов Гомельской области	1	47
Семак И.В., Курченко В.П., Шолух М.В. Биохимия биологически активных веществ	3	73
Сидорович А.А. Оценка влияния хищничества лисицы обыкновенной (<i>Vulpes vulpes</i> L.) на популяции ресурсно-значимых видов жертв в Беларуси	2	41
Стадниченко М.А. Перспективы биологического контроля возбудителя ботритиоза на пасленовых культурах	2	49
Файбіч А.М. Аналіз узроставага складу эксплуатаемай папуляцыі лясной куницы (<i>Martes martes</i> L.)	2	29
Федорович М.Н., Поликсенова В.Д. Формирование хламидоспор у видов рода <i>Alternaria</i> Nees в условиях культуры	2	32
Черник В.В., Джус М.А. Комплексы редких и охраняемых видов растений центрального региона Белорусской гряды	1	54
Чумак А.Г., Руткевич С.А., Казакевич В.Б., Альфер И.Ю. Роль нейромедиаторов аминокислотного происхождения в регуляции жизненно важных функций организма	3	58
Шапчиц М.П., Кудряшов А.П., Юрин В.М. Влияние полимерного матрикса на потребление кислорода иммобилизованными клетками суспензионной культуры <i>Syringia vulgaris</i>	2	55
Шляхтин С.В., Трухачева Т.В., Исаков Г.А., Федорук С.Л., Семак И.В. Фармакокинетика и биодоступность фотосенсибилизатора Фотолон (экспериментальное исследование)	1	62
Юрин В.М., Дитченко Т.И. Фитобиотехнология – новое направление в учебной и научно-исследовательской работе кафедры физиологии и биохимии растений	3	42

ГЕОГРАФИЯ

Аль-Обайди М.М. (Ирак). Минералогическое и геохимическое исследование железных руд и бокситов в среднечерноморских и палеогеновых отложениях Западного Ирака	2	97
Аль-Обайди М.М. (Ирак). Системы разломов тектонической зоны Рутба-Джезира на северо-востоке Аравийской платформы (Ирак) по космогеологическим данным	1	103
Аношко В.С., Рудь А.В., Ковалевская О.М. Характеристика техногенных почв и почвенно-грунтовых образований и возможность их хозяйственного использования	2	67
Антипин Е.Б., Гледко Ю.А. Трансформация природных комплексов Припятского Полесья под воздействием нефтебуровых работ	2	83
Антипова Е.А. Динамика и пространственные сдвиги в демографической структуре мира в эпоху глобализации ...	3	110
Борковский Е.Т., Гурьянова Л.В. Оценка недвижимости г. Браслава с использованием ГИС-технологий	2	91
Вашиков А.А. Структура дочетвертичной поверхности в пределах Городокской возвышенности	2	94
Витченко А.Н., Давыдик Е.Е., Яцухно В.М. Оценка и территориальные различия продуктивности озимого рапса как нетрадиционного источника энергии	3	125
Витченко А.Н., Телеш И.А. Геоэкологическая оценка комфортности климата крупных городов Беларуси	2	73
Власов Б.П., Грищенкова Н.Д. Содержание тяжелых металлов в водных растениях водоемов и водотоков Беларуси по данным мониторинга	3	117
Губин В.Н. Космогеологические критерии прогноза нефтеносности Припятского палеорифта	3	106
Еловичева Я.К., Мотузко А.Н., Иванов Д.Л. Эволюция природной среды Беларуси и модели ее трансформации	3	113
Зарубов А.И. Оценка качества воды р. Свислочь и парковых водоемов в пределах г. Минска по структурным показателям зоопланктона	2	78
Кабушева Т.С. Современное состояние растительности Осиповичского водохранилища	1	99
Клебанович Н.В., Сорокин А.А. Увлажненность территории Беларуси	1	77
Ковальчик Н.В., Струк М.И., Хомич В.С. Сравнительная оценка управления отходами в Беларуси и Европейском Союзе	1	91
Козловская Л.В. Регионы Беларуси: потенциал и факторы интенсификации социально-экономического развития	3	97
Колендо Е.Т. Типология малых городских поселений как центров туризма	1	85
Марцинкевич Г.И., Счастливая И.И. Современные ландшафты Белорусского Полесья: районирование, направления оптимизации	3	101
Мечковская О.А. Особенности освоения туристского пространства стран Центральной и Восточной Европы	2	87
Пирожник И.И. Экономико-географические тенденции регионального развития Беларуси в период постсоциалистической трансформации	3	91
Писарчук Н.М. Региональные различия в характере растительности муравьиного межледниковья Беларуси	1	95

<i>Сидоренко В.П.</i> Конкурентоспособность продукции химической промышленности Беларуси	1	81
<i>Чертко Н.К., Карпиченко А.А.</i> Геохимическая структура ландшафтов Беларуси	3	121

РЕЦЕНЗИИ

<i>Витченко А.Н., Марцинкевич Г.И.</i> Атлас Курильских островов	2	100
<i>Оношко М.П.</i> Н.К. Чертко. Геохимия: учебное пособие	2	101
<i>Яцухно В.М.</i> Атлас современных и прогнозных аспектов последствий аварии на Чернобыльской АЭС на пострадавших территориях России и Беларуси	1	107

ВЫДАЮЩИЕСЯ УЧЕНЫЕ БЕЛАРУСИ

Вадим Васильевич Свиридов	2	103
---------------------------------	---	-----

НАШИ ЮБИЛЯРЫ

Анатолий Иванович Лесникович	2	106
Ольга Филипповна Якушко	2	105

ХРОНИКА

<i>Антипова Е.А.</i> Международная научная конференция «Региональные социально-экономические процессы в Центральной и Восточной Европе – 20-летний переходный период и 2 года глобального экономического кризиса»	2	109
<i>Еловичева Я.К.</i> О проведении чтений к 95-летию со дня рождения доктора географических наук, профессора В.А. Жучкевича	2	108
<i>Еловичева Я.К.</i> Республиканская научно-практическая конференция «Система географического образования Беларуси в условиях инновационного развития»	1	110
<i>Курченко В.П.</i> Международная научно-практическая конференция «Фундаментальные и прикладные проблемы получения и применения биологически активных веществ» (Нарочанские чтения-6)	1	109
<i>Михеева Т.М., Остапеня А.П.</i> IV Международная научная конференция «Озерные экосистемы: биологические процессы, антропогенная трансформация, качество воды»	3	131

ПАМЯТИ УЧЕНОГО

<u>Эдуард Александрович Высоцкий</u>	2	110
--	---	-----

СОДЕРЖАНИЕ

БГУ – 90 лет! Поздравление ректора Белорусского государственного университета академика С.В. Абламейко	3
--	---

ХИМИЯ

<i>Круль Л.П., Белов Д.А., Бутовская Г.В.</i> Структура и физико-химические свойства биodeградируемых материалов на основе полилактидов	5
<i>Свиридов Д.В.</i> Фотохимический, сольвотермический и сонохимический синтез нано- и мезоструктурных материалов	12
<i>Стрельцов Е.А.</i> Электрохимическое осаждение тонких пленок и наноструктур полупроводниковых халькогенидов металлов	15
<i>Лесникович А.И.</i> Кафедра общей химии и методики преподавания химии: от истоков до наших дней	19
<i>Кабо Г.Я., Блохин А.В., Павлечко Е.В.</i> Термодинамические исследования на кафедре физической химии в 2000–2010 гг.	25
<i>Паньков В.В.</i> Физико-химические процессы синтеза многокомпонентных оксидов для создания новых функциональных магнитных и проводящих материалов	30
<i>Матюшенко Е.А., Козырьков Ю.Ю.</i> Развитие химии малых циклов на кафедре органической химии в последнее десятилетие	35

БИОЛОГИЯ

<i>Юрин В.М., Дитченко Т.И.</i> Фитобиотехнология – новое направление в учебной и научно-исследовательской работе кафедры физиологии и биохимии растений	42
<i>Поликсенова В.Д., Черник В.В.</i> Развитие исследований по разнообразию и ресурсной оценке растений и микромицетов	46
<i>Прокулевич В.А., Потапович М.И.</i> Ветеринарные препараты на основе интерферона	51
<i>Гричик В.В.</i> Подвид в системе биохорологической структуры вида (на материале орнитофауны Беларуси)	55
<i>Чумак А.Г., Руткевич С.А., Казакевич В.Б., Альфер И.Ю.</i> Роль нейромедиаторов аминокислотного происхождения в регуляции жизненно важных функций организма	58
<i>Остапеня А.П., Жукова Т.В., Михеева Т.М.</i> Бентификация как этап эволюции Нарочанских озер	62
<i>Лопатин И.К.</i> Развитие таксономических исследований в Белорусском государственном университете	67
<i>Николайчик Е.А., Присяженко О.К., Кулик Е.В., Валентович Л.Н., Чжан Янь (КНР), Селезнева Ю.В., Евтушенко А.Н.</i> От бактериальных генов – к трансгенным растениям	69
<i>Семак И.В., Курченко В.П., Шолух М.В.</i> Биохимия биологически активных веществ	73
<i>Макимова Н.П., Анохина В.С., Гринев В.В., Храпцова Е.А., Феклистова И.Н., Лысак В.В.</i> Использование молекулярных и клеточных технологий для исследования геномов у микроорганизмов, растений и человека	77

ГЕОГРАФИЯ

<i>Пирожник И.И.</i> Экономико-географические тенденции регионального развития Беларуси в период постсоциалистической трансформации	91
<i>Козловская Л.В.</i> Регионы Беларуси: потенциал и факторы интенсификации социально-экономического развития	97
<i>Марцинкевич Г.И., Счастливая И.И.</i> Современные ландшафты Белорусского Полесья: районирование, направления оптимизации	101
<i>Губин В.Н.</i> Космогеологические критерии прогноза нефтеносности Припятского палеорифта	106
<i>Антипова Е.А.</i> Динамика и пространственные сдвиги в демографической структуре мира в эпоху глобализации	110
<i>Еловичева Я.К., Мотузко А.Н., Иванов Д.Л.</i> Эволюция природной среды Беларуси и модели ее трансформации	113
<i>Власов Б.П., Грищенко Н.Д.</i> Содержание тяжелых металлов в водных растениях водоемов и водотоков Беларуси по данным мониторинга	117
<i>Чертко Н.К., Карпиченко А.А.</i> Геохимическая структура ландшафтов Беларуси	121
<i>Витченко А.Н., Давыдик Е.Е., Яцухно В.М.</i> Оценка и территориальные различия продуктивности озимого рапса как нетрадиционного источника энергии	125

ХРОНИКА

<i>Михеева Т.М., Остапеня А.П.</i> IV Международная научная конференция «Озерные экосистемы: биологические процессы, антропогенная трансформация, качество воды»	131
Рефераты	133
Указатель статей, опубликованных в 2011 г.	137

ПРАВИЛА оформления статей

1. Авторы представляют в редколлегию оригинал статьи (Воробьевой Светлане Александровне по адресу: химический факультет, к. 815а, тел. 209-51-93, e-mail: vorobyova@bsu.by) на белорусском, русском или английском языках, набранный на компьютере через 1,5 интервала на бумаге формата А4 (210×297 мм) с полями с левой стороны не менее 40 мм в редакторе Word 2003 (размер шрифта – 12 кегль, гарнитура – Times New Roman, интервал 1,5), и дискету 3,5” с ее файлом (название файла – по фамилии автора). Объем статьи не должен превышать 8 страниц текста (включая не более 4 таблиц, литературу, не более 3 рисунков или фотографий); для кратких сообщений – 3 страницы текста (2 рисунка).

2. Простые формулы и буквенные обозначения величин нужно вставлять, используя Symbol (например, Σ , A^1 , β_k , °C...). Сложные формулы набираются при помощи редактора формул (Equation) и по ширине не должны превышать 170 мм.

3. Рисунки (черно-белые) должны быть четкими и качественными. Файлы рисунков необходимо подготовить в одном из следующих форматов: .cdr (CorelDRAW), .obj (Origin), .psd (Adobe Photoshop) (без склеивания слоев). Обозначения на рисунках для статей должны быть набраны шрифтом Times New Roman. Рисунки выполняются в едином масштабе, их максимальная ширина не должна превышать 170 мм, максимальная высота – 220 мм (с учетом подрисовочной подписи), небольшие рисунки – не более 70 мм по ширине. Минимально допустимое разрешение (для .psd) должно составлять 200 dpi.

Кривые на рисунках нумеруются проставленными на «полочках» курсивными арабскими цифрами, которые расшифровываются в подрисовочных подписях. К статье также прилагается распечатка рисунка.

4. Таблицы (обязательно с заголовками) и подписи к рисункам необходимо печатать на отдельных страницах. Места для таблиц и рисунков указываются на полях рукописи. Следует избегать повторения данных, содержащихся в таблицах и графиках, а также представления численных результатов одновременно в виде таблиц и графиков.

5. Ссылки на литературные источники даются в порядке цитирования (упоминания) – порядковый номер сноски пишется в квадратных скобках. Список использованной литературы прилагается в конце статьи и должен быть оформлен следующим образом:

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

б) для журнальных статей (коллективных сборников и др.) – фамилия и инициалы авторов, после двух «косяков» – принятое сокращенное название издания, год, том, номер выпуска, страница.

6. К статье прилагаются: рекомендация кафедры, экспертное заключение, сведения об авторе (фамилия, имя и отчество, место работы, ученая степень, звание, адрес, номера мобильного, служебного и домашнего телефонов), для аспирантов дополнительно – фамилия и инициалы, ученая степень, звание научного руководителя; а также резюме, фамилия и инициалы авторов, название статьи – все на английском языке, реферат на языке статьи (не более половины страницы), указывается УДК.

7. Корректурa статьи должна быть возвращена в редакцию не позднее чем через три дня после получения ее автором. В корректуре допускается исправление только фактических ошибок.

8. Статьи, оформленные с нарушением приведенных правил, редакцией не принимаются.

Журнал включен в Перечень научных изданий Республики Беларусь для публикации результатов диссертационных исследований по естественным наукам.

CONTENTS

90th Anniversary of the Belarusian State University! Greetings from academician S.V. Ablameiko, Rector of BSU	3
---	---

CHEMISTRY

<i>Krul L.P., Belov D.A., Butovskaya G.V.</i> Structure and physico-chemical properties of biodegradable polylactide based materials.....	5
<i>Sviridov D.V.</i> Photochemical, solvothermal and sonochemical methods for nano- and mesostructured materials synthesis....	12
<i>Streltsov E.A.</i> Electrochemical deposition of thin films and nanostructures of metal chalcogenide semiconductors	15
<i>Lesnikovich A.I.</i> General chemistry and chemistry teaching methodology department: from the beginnings to the present day	19
<i>Kabo G.Ja., Blokhin A.V., Paulechka Y.U.</i> Thermodynamic studies at the Chair of Physical Chemistry in 2000–2010	25
<i>Pankov V.V.</i> Physical chemical processes of multicomponent oxide synthesis for creation of new functional magnetic and conductive materials	30
<i>Matiushenkov E.A., Kozyrkov Yu.Yu.</i> Development of the chemistry of small ring compounds at the organic chemistry department over last decade.....	35

BIOLOGY

<i>Yurin V.M., Ditchenko T.I.</i> Phytobiotechnology – new direction in training and research plant physiology and biochemistry department.....	42
<i>Poliksenova V.D., Chernik V.V.</i> The development of research on the diversity and resource assessment of the plant and phytopathogenic fungi.....	46
<i>Prakulevich U.A., Patapovich M.I.</i> Interferon-based veterinary preparations.....	51
<i>Gritshik V.V.</i> A subspecies in the biochorological species structure system (based on the Belarusian avifauna material)	55
<i>Chumak A.G., Rutkevich S.A., Kazakevich V.B., Alfer I.U.</i> Aminoacide mediators impact in spinal regulation of vital functions	58
<i>Ostapenya A.P., Zhukova T.V., Mikheyeva T.M.</i> Benthification as a stage of the Naroch lakes evolution	62
<i>Lopatin I.K.</i> The development of taxonomic studies in the Belarusian State University	67
<i>Nikolaichik Y.A., Prisyazhnenko O.K., Kulik A.W., Valentovich L.N., Zhang Yan (China), Seleznyova Ju.V., Evtushenkov A.N.</i> From bacterial genes to transgenic plants	69
<i>Semak I.V., Kurchenko V.P., Sholukh M.V.</i> Biochemistry of biologically active compounds	73
<i>Maximova N.P., Anohina V.S., Grinev V.V., Khrantsova E.A., Feklistova I.N., Lysak V.V.</i> Using of molecular and cellular technology for the research of microorganisms, plants and human genomes.....	77

GEOGRAPHY

<i>Pirozhnik I.I.</i> Economic and geographic trends in regional development of Belarus during the period of post-socialist transformation	91
<i>Kozlovskaya L.V.</i> Regions of Belarus: potential and the factors of intensification of a social-economic development.....	97
<i>Martsinkevich G.I., Schastnaya I.I.</i> The contemporary landscapes of Belarusian Palesse: subdivision, directions of optimization	101
<i>Gubin V.N.</i> Finding oil within the Pripyat Paleorift using remote sensing techniques and geological criteria	106
<i>Antipova E.A.</i> Dynamics and spatial shifts in the demographic structure of the world in globalization epoch.....	110
<i>Yelovicheva Ya.K., Motuzko A.N., Ivanov D.L.</i> Evolution of an environment of Belarus and models of it transformation	113
<i>Vlasov B.P., Hryshchankava N.D.</i> Heavy metals' content in aquatic plants of reservoirs and streams of Belarus by monitoring data	117
<i>Chartko M.K., Karpichenka A.A.</i> Geochemical structure of landscapes of Belarus.....	121
<i>Vitchenko A.N., Davydik E.E., Yatsukhno V.M.</i> Estimation and territorial differences of the productivity of winter rape as an alternative source of energy	125

CHRONICLE

<i>Mikheyeva T.M., Ostapenya A.P.</i> The forth International scientific conference «Lake ecosystems: biological processes, anthropogenic transformation, water quality»	131
Summary.....	133
Index of articles published in 2011	137