



ЖУРНАЛ
БЕЛОРУССКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

ГЕОГРАФИЯ ГЕОЛОГИЯ

JOURNAL
OF THE BELARUSIAN STATE UNIVERSITY

GEOGRAPHY and GEOLOGY

Издается с января 1969 г.
(до 2017 г. – под названием «Вестник БГУ.
Серия 2, Химия. Биология. География»)

Выходит один раз в полугодие

2

2018

МИНСК
БГУ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор	АНТИПОВА Е. А. – доктор географических наук, профессор; заведующий кафедрой экономической и социальной географии географического факультета Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь. E-mail: antipova@bsu.by
Заместитель главного редактора	КЛЕБАНОВИЧ Н. В. – доктор сельскохозяйственных наук, доцент; декан географического факультета Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь. E-mail: n_klebanovich@inbox.ru
Ответственный секретарь	ГАГИНА Н. В. – кандидат географических наук, доцент; доцент кафедры географической экологии географического факультета Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь. E-mail: hahina@bsu.by
<i>Балтрунас В.</i>	Центр изучения природы, Вильнюс, Литва.
<i>Витченко А. Н.</i>	Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь.
<i>Донерт К.</i>	Европейский центр качества, Европейская ассоциация географов, Зальцбург, Германия.
<i>Калицкий Т.</i>	Институт географии Университета Яна Кохановского в Кельце, Кельце, Польша.
<i>Карabanов А. К.</i>	Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь.
<i>Катровский А. П.</i>	Смоленский гуманитарный университет, Смоленск, Россия.
<i>Маркс Л.</i>	Варшавский университет, Варшава, Польша.
<i>Пирожник И. И.</i>	Поморский университет, Слупск, Польша.
<i>Родионова И. А.</i>	Российский университет дружбы народов, Москва, Россия.
<i>Руденко Л. Г.</i>	Институт географии Национальной академии наук Украины, Киев, Украина.
<i>Санько А. Ф.</i>	Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь.

EDITORIAL BOARD

Editor-in-chief	ANTIPOVA E. A. , doctor of science (geography), full professor; head of the department of economic and social geography of the faculty of geography of the Belarusian State University, Minsk, Belarus. E-mail: antipova@bsu.by
Deputy editor-in-chief	KLEBANOVICH N. V. , doctor of science (agriculture), docent; dean of the faculty of geography of the Belarusian State University, Minsk, Belarus. E-mail: n_klebanovich@inbox.ru
Executive secretary	HAHINA N. V. , PhD (geography), docent; associate professor at the department of geographical ecology of the faculty of geography of the Belarusian State University, Minsk, Belarus. E-mail: hahina@bsu.by
<i>Baltrūnas V.</i>	Nature Research Centre, Vilnius, Lithuania.
<i>Vitchenko A. N.</i>	Belarusian State University, Minsk, Belarus.
<i>Donert K.</i>	European Centre of Excellence, EUROGEO, Salzburg, Germany.
<i>Kalicki T.</i>	Institute of Geography of the Jan Kochanowski University in Kielce, Kielce, Poland.
<i>Karabanov A. K.</i>	Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus.
<i>Katrovskii A. P.</i>	Smolensk University of Humanities, Smolensk, Russia.
<i>Marks L.</i>	University of Warsaw, Warsaw, Poland.
<i>Pirozhnik I. I.</i>	Akademia Pomorska, Slupsk, Poland.
<i>Rodionova I. A.</i>	Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia.
<i>Rudenko L. G.</i>	Institute of Geography of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine.
<i>Sanko A. F.</i>	Belarusian State University, Minsk, Belarus.

УДК 332.33+631.1+910.1

ОЦЕНКА АГРОРЕСУРСНОГО ПОТЕНЦИАЛА И ЭФФЕКТИВНОСТИ ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ (НА ПРИМЕРЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ ЛУНИНЕЦКОГО РАЙОНА)

Е. И. ГАЛАЙ¹⁾, Д. П. КОРОТЫШ¹⁾

¹⁾Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь

Приводятся результаты индексной оценки агросуточного потенциала сельскохозяйственных организаций Лунинецкого района. Высокий уровень внесения минеральных и органических удобрений (и соответствующий индекс) отмечен в СПК «Лунинский». Индекс затрат на содержание основных средств в растениеводстве изменяется от 0,39 в СПК «Озерница» до 2,51 в СПК «Лунинский». С использованием множественного корреляционно-регрессионного анализа выявлена степень воздействия каждого вида агросуточных ресурсов на продуктивность сельскохозяйственных земель, выраженную в центнерах кормовых единиц, полученных с 1 га, и установлены наиболее значимые из них. По соотношению уровня интенсивности и уровня эффективности использования сельскохозяйственных земель выделено четыре группы сельскохозяйственных организаций Лунинецкого района: с низкой интенсивностью и низкой эффективностью; низкой интенсивностью и высокой эффективностью; высокой интенсивностью и низкой эффективностью; высокой интенсивностью и высокой эффективностью. Установлено, что половина из них имеют низкую интенсивность, но зато высокую эффективность использования сельскохозяйственных земель. Результаты исследований позволили дифференцировать мероприятия по совершенствованию аграрного землепользования.

Ключевые слова: агросуточный потенциал; индексный метод оценки; интенсивность использования земель; эффективность использования земель; сельскохозяйственные организации.

Образец цитирования:

Галай ЕИ, Коротыш ДП. Оценка агросуточного потенциала и эффективности его использования (на примере сельскохозяйственных организаций Лунинецкого района). *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология.* 2018;2:3–12.

For citation:

Halai EI, Korotish DP. Evaluation of agrosuточного potential and its effective use (in terms of agricultural organisations of Lunenetsk district). *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology.* 2018;2:3–12. Russian.

Авторы:

Елена Ивановна Галай – кандидат географических наук, доцент, доцент кафедры географической экологии географического факультета.

Дмитрий Павлович Коротыш – магистр географических наук, аспирант кафедры экономической и социальной географии географического факультета. Научный руководитель – доктор экономических наук, профессор Н. С. Шелег.

Authors:

Elena I. Halai, PhD (geography), docent, associate professor at the department of geographical ecology, faculty of geography. gaom@mail.ru

Dmitry P. Korotish, master of science (geography); postgraduate student at the department of economic and social geography, faculty of geography. demitrio93@mail.ru

EVALUATION OF AGRORESOURCE POTENTIAL AND ITS EFFECTIVE USE (IN TERMS OF AGRICULTURAL ORGANISATIONS OF LUNENETSK DISTRICT)

E. I. HALAI^a, D. P. KOROTISH^a

^aBelarusian State University, 4 Niezaliežnasci Avenue, Minsk 220030, Belarus

Corresponding author: E. I. Halai (gaom@mail.ru)

The index evaluation results of agroresource potential of agricultural organizations of Lunenetsk district are provided in the article. High level of mineral and organic fertilization (and corresponding index) is noticed in agricultural industrial complex «Lunenetsky». Expense index on the maintenance of main facilities in the crop production ranges from 0.39 in agricultural industrial complex «Ozernitsa» to 2.51 in agricultural industrial complex «Lunenetsky». The degree of influence of each kind of agroresources on the productivity of agricultural lands, expressed in centners of fodder units, gained from 1 hectare, is estimated with the help of multiple correlation-regressive analysis. The most significant agroresources are determined. 4 groups of agricultural organizations of Lunenetsk district are identified according to intensity level and level of effective use of agricultural lands. They are with low intensity and low effectiveness, low intensity and high effectiveness, high intensity and low effectiveness, high intensity and high effectiveness. Half of them is established to have low intensity, but high effectiveness of the agricultural land use. Results of the research allow to differentiate activities for improvement of the agrarian land use.

Key words: agroresource potential; index method of evaluation; intensity of land use; effectiveness of land use; agricultural organizations.

Введение

К основным природным ресурсам относятся земельные, которые отличаются многофункциональностью. Земля, с одной стороны, является главным и незаменимым средством производства, в первую очередь в сельском хозяйстве, с другой стороны, – пространственным базисом. Пространственная неоднородность почвы как главного компонента земли отражается на размещении, территориальной концентрации, специализации, эффективности аграрного производства. Успешное функционирование последнего определяется агрохимическими, водно-физическими и другими свойствами почв, а также наличием трудовых, материальных и энергетических ресурсов, в процессе взаимодействия которых реализуется их интегральная способность производить адекватные объемы и виды сельскохозяйственной продукции [1; 2]. Актуальной научно-прикладной задачей является установление оптимального сочетания почвенно-земельных и других видов ресурсов и определение экономически и экологически оправданного уровня интенсивности и эффективности использования агроресурсного потенциала [3].

На эффективность использования сельскохозяйственных земель влияют следующие факторы: фактический балл плодородия и общий средневзвешенный индекс окультуренности почв [4]; затраты оборотных средств в растениеводстве (семена, минеральные удобрения, средства защиты растений, топливо, смазочные материалы, запасные части и т. д.); затраты основных средств в растениеводстве, включая амортизацию основных средств и нематериальных активов, наличие энергетических мощностей в расчете на 1 га сельскохозяйственных земель, стоимость материально-технических средств по лизингу и т. д.; прямые затраты, количество отработанного времени и величина оплаты труда в растениеводстве в расчете на 1 га сельскохозяйственных земель и др. [3].

В научно-исследовательской лаборатории экологии ландшафтов географического факультета БГУ проведена оценка агроресурсного потенциала Республики Беларусь в разрезе административных районов [3]. Однако целесообразно оценить земельные ресурсы и другие составляющие агроресурсного потенциала не только на республиканском, но и на локальном уровне (в пределах сельскохозяйственных организаций районов) для рационального и эффективного использования сельскохозяйственных и иных земель, воспроизводства почвенного плодородия. Значительной мелиоративной освоенностью (70 % сельскохозяйственных земель) отличается Лунинецкий район, который занимает первое место в Беларуси по этому показателю. Фонд мелиорированных земель района характеризуется разнообразием почвенного покрова. Более 40 % этих земель занимают почвы легкого гранулометрического состава – супесчаные и песчаные. На торфяные почвы, преимущественно с мощностью органического

слоя 0,3–1,0 м, приходится 30 % осушенных земель. Сельскохозяйственное использование осложняется необходимостью предотвращения или уменьшения минерализации органического вещества торфяных почв, оптимального регулирования их водного режима, а также правильного выбора сельскохозяйственных культур [5].

Цель работы – оценить агроресурсный потенциал сельскохозяйственных организаций Лунинецкого района и эффективность его использования.

Материалы и методы исследования

Агроресурсный потенциал территории определяется наличием, качеством и сбалансированностью земельных, трудовых, материально-технических и энергетических ресурсов. Основной составляющей является земельно-ресурсный потенциал. Для оценки природно-ресурсного, в том числе земельно-ресурсного, потенциала используются четыре основных методических подхода: балльная система; индексные величины; стоимостные показатели и оценка энергоёмкости получения товарной продукции [6].

В результате оценки агроресурсного потенциала Беларуси установлено, что наибольшее влияние на продуктивность сельскохозяйственных земель, оцененных через выход растениеводческой продукции за пять лет, оказывают затраты на минеральные удобрения и средства защиты растений (коэффициент корреляции – 0,88), количество внесенных минеральных удобрений (коэффициент корреляции – 0,81), затраты на оборотные средства (кроме минеральных удобрений и средств защиты растений) (коэффициент корреляции – 0,81), количество внесенных органических удобрений (коэффициент корреляции – 0,76), а также уровень плодородия сельскохозяйственных земель, балл бонитета (коэффициент корреляции – 0,79) [3]. В среднем по Республике Беларусь повышение плодородия почв сельскохозяйственных земель на 1 балл увеличивает выход кормовых единиц (к. ед.) на 1,16 ц/га; внесение 1 кг действующего вещества минеральных удобрений дает прибавку урожая на 0,08 ц/га; внесение 1 т/га органических удобрений увеличивает урожайность на 0,72 ц к. ед.; повышение затрат на оборотные средства на 1 млн руб. (кроме удобрений и средств защиты растений) дает прибавку урожая на 4,8 ц/га [3]. По результатам определения соотношения плодородия земель, уровня затрат в растениеводстве и уровня эффективности использования земель все административные районы страны по выходу растениеводческой продукции разделены на четыре группы [3].

В аграрно-экономической науке и практике применяются три основных метода оценки производственного потенциала: стоимостной, индексной и балльной оценки [7]. Суть стоимостного метода заключается в приведении производственных ресурсов сельского хозяйства к сопоставимым единицам, выраженным в денежном эквиваленте. Стоимость сельскохозяйственных угодий выражается капитализированным рентным доходом. Метод индексной оценки производственного потенциала заключается в определении интегрального индекса влияния агроресурсов на конечный результат – продуктивность сельскохозяйственных угодий. Общий балл кадастровой оценки дает представление о ценности сельскохозяйственных земель как средства производства [7].

Учеными Беларуси выполнена сравнительная оценка производственного (агроресурсного) потенциала сельскохозяйственных организаций областей страны по отношению к среднереспубликанским условиям [8]. Для оценки этого потенциала используются следующие его составляющие:

- качество обрабатываемых сельскохозяйственных земель (к их числу относятся суммарная площадь пахотных земель, земель, используемых под постоянные культуры, и улучшенных луговых земель), которое характеризуется общим баллом кадастровой оценки;
- среднегодовая численность работников, занятых в сельскохозяйственном производстве в расчете на 100 га обрабатываемых земель;
- количество основных производственных средств сельскохозяйственного назначения в расчете на 100 га обрабатываемых земель;
- количество энергетических мощностей в расчете на 100 га обрабатываемых земель.

В результате проведенных исследований выявлено [8], что индекс обеспеченности трудовыми ресурсами варьирует от 0,792 в Могилёвской до 1,083 в Гродненской области, индекс обеспеченности основными производственными фондами – от 0,808 в Витебской до 1,279 в Брестской области. Индекс качества обрабатываемых земель изменяется от 0,907 в Витебской до 1,050 в Минской области [8]. По мнению Г. М. Мороза, одной из причин несогласованности фактически используемых и учетных площадей сельскохозяйственных земель является дисбаланс земельных и других производственных ресурсов [8]. Для областей с относительно низким производственным потенциалом (Витебская, Могилёвская) характерна более значительная доля неиспользуемых площадей. Поэтому важно установить территориальное сочетание качества земель и показателей производственного потенциала не только на национальном, но и на локальном уровне в пределах административного района.

Белорусскими учеными выявлены различия в составляющих агресурсного потенциала в пределах 35 административных районов Полесского региона. Для оценки земельно-ресурсного потенциала применялась балльная система. Она основана на результатах кадастровой оценки земель, которая используется для дифференциации продуктивности обрабатываемых земель и определения благоприятности выполнения полевых и транспортных работ при возделывании сельскохозяйственных культур по сравнению с оптимальными условиями [5]. Земельно-ресурсный потенциал выражается в балло-гектарах, которые рассчитываются путем умножения площади обрабатываемых земель на средневзвешенную величину их кадастрового балла.

В Белорусском Полесье интенсивному развитию сельского хозяйства способствует ряд факторов. К их числу относятся выгодное географическое положение, достаточно благоприятные климатические условия, относительно высокая концентрация сельского населения и обеспеченность трудовыми ресурсами [5]. Почвы Полесья различаются как по гранулометрическому составу, так и по степени увлажненности и заторфованности, что наряду с другими факторами влияет на их плодородие. В регионе находятся и плодородные почвы, приближающиеся по своему качеству к 100-балльной оценке, и самые низкопродуктивные, оцененные 15–20 баллами [5]. Качество обрабатываемых земель, выраженное через общий кадастровый балл, различается в 1,4 раза. Индекс по качеству земель в районах, по сравнению с общереспубликанским уровнем, изменяется от 1,1 до 0,8 [5]. Установлено варьирование суммарного земельно-ресурсного потенциала от 3,43 млн балло-гектаров (Пинский район) до 0,51 млн балло-гектаров (Наровлянский район). Это обусловлено как количеством обрабатываемых земель, так и их качеством. На территории Белорусского Полесья выделено четыре группы районов с различным земельно-ресурсным потенциалом: очень низким (4 района), низким (13 районов), средним (10 районов), высоким (8 административных районов Полесского региона) [5].

Для оценки земельного потенциала как важного фактора сельскохозяйственного производства Г. И. Лысанова и А. А. Сороковой используют следующие показатели: общую площадь административных единиц; площадь сельскохозяйственных угодий, в том числе пашни; обеспеченность населения сельскохозяйственными угодьями и пашней; кадастровую оценку сельхозугодий; уровень мелиорации. Таким образом оценен потенциал земельных ресурсов регионов Сибири [9].

В Почвенном институте имени В. В. Докучаева РАН предложен почвенно-экологический индекс (ПЭИ) в качестве интегрального показателя оценки эффективности сельскохозяйственных предприятий, оптимизации структуры землепользования и обоснования ландшафтно-адаптивных подходов в моделях землепользования для реорганизации существующей структуры сельхозугодий. Величина ПЭИ определяется физическими свойствами почв, их гранулометрическим составом, содержанием гумуса, агрохимическими показателями (рН, P_2O_5 , K_2O), лимитирующими факторами почвообразования (степень водной эрозии, дефляции, солонцеватости, засоления, щебнистости, каменистости) [10]. При расчете ПЭИ учитываются климатические характеристики: сумма положительных температур свыше $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, коэффициент увлажнения и континентальности. Апробация почвенно-экологического индекса проведена на примере Бугурусланского, Первомайского и Акбулакского районов Оренбургской области, что позволило выделить фонд высококорентабельных сельскохозяйственных земель с приоритетной зерновой специализацией, фонд консервации пахотных угодий [10].

Для оценки агресурсного потенциала Лунинецкого района использовались индексные величины. Сельскохозяйственные организации района неодинаково обеспечены ресурсами, влияющими на продуктивность культур: земельными, трудовыми, энергетическими, материальными. Определялись частные индексы обеспеченности ресурсами по каждой организации, равные отношению ее показателей к среднерайонному уровню. На основе частных индексов рассчитывался интегральный индекс, который характеризует интенсивность использования земель. Влияние каждого вида ресурсов (фактора производства) на производство сельскохозяйственной продукции неодинаково и определяется с помощью корреляционно-регрессионного анализа. Для этого строятся регрессионные уравнения и рассчитываются корреляционные зависимости. При оценке эффективности и интенсивности использования земельных ресурсов в сельскохозяйственных организациях Лунинецкого района в качестве результирующего показателя применялась величина продуктивности сельскохозяйственных земель, выраженная в центнерах кормовых единиц, полученных с 1 га. Рассчитанные значения выхода валовой продукции (в виде кормовых единиц) представляют ту ее величину, которая должна быть в данном хозяйстве при имеющемся уровне интенсивности производства, наличии ресурсов и качестве земель. Разность между расчетным и фактическим уровнем выхода продукции может служить характеристикой качества работы организаций. По соотношению уровня интенсивности и эффективности использования земель сельскохозяйственные организации Лунинецкого района разделены на группы:

- 1) с низкой интенсивностью и низкой эффективностью;
- 2) низкой интенсивностью и высокой эффективностью;

- 3) высокой интенсивностью и низкой эффективностью;
4) высокой интенсивностью и высокой эффективностью.

Различие указанных показателей сельскохозяйственных организаций района служит основанием для дифференцированной разработки мероприятий по совершенствованию аграрного землепользования.

Для исследований использованы данные Государственного земельного кадастра Республики Беларусь за 2012–2015 гг., землеустроительной службы и управления сельского хозяйства и продовольствия Лунинецкого районного исполнительного комитета (2012–2015), фондовые материалы научно-исследовательской лаборатории экологии ландшафтов географического факультета БГУ.

Результаты исследования и их обсуждение

Для оценки использования сельскохозяйственных земель первоначально выбрано восемь факторов производства, которые могут оказать влияние на выход продукции в кормовых единицах. К числу этих факторов относятся балл бонитета пахотных земель, количество вносимых минеральных удобрений на единицу площади, количество вносимых органических удобрений на единицу площади, количество энергетических мощностей на единицу площади, затраты на содержание основных средств в растениеводстве в расчете на единицу площади, затраты на семена, затраты на удобрения и средства защиты растений на 1 га, количество работников на единицу площади. В Лунинецком районе рассматриваемые факторы изменяются. Значительной площадью земель отличается сельскохозяйственный производственный кооператив (СПК) «Дворецкий» (7032,9 га), коммунальное унитарное предприятие (КУП) «Межлесское» (6383,7 га), СПК «Новое Полесье» (5929,5 га). В хозяйствах района органических удобрений используется больше, чем минеральных. СПК «Лунинский», «Велута», «Вульковский рассвет» по количеству органических удобрений превосходят все остальные СПК. Максимальным использованием минеральных удобрений отличается СПК «Лунинский». Большое количество финансовых средств затрачивается на семена в СПК «Вульковский рассвет» и «Новое Полесье», на средства защиты растений – в КУП «Межлесское» и СПК «Дворецкий». Сельскохозяйственные организации Лунинецкого района значительно различаются по показателям производственного потенциала.

Для определения статистической связи факторов производства, формирующих агропроизводственный потенциал, и результирующей переменной, а также для исключения избыточных признаков выполнен многофакторный анализ, результаты которого приведены в табл. 1.

Таблица 1

Коэффициенты корреляции r между факторами-аргументами и результирующим признаком в Лунинецком районе

Table 1

Correlation index r between factors-arguments and resulting characteristics of Lunenetsk district

Признак	Фактор производства								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1,00								
2	0,15	1,00							
3	-0,42	0,30	1,00						
4	0,31	0,60	0,20	1,00					
5	0,80	0,24	-0,12	0,46	1,00				
6	0,41	0,18	0,26	0,30	0,26	1,00			
7	0,64	-0,22	-0,26	-0,11	0,30	0,57	1,00		
8	0,84	-0,16	-0,35	0,15	0,85	0,15	0,59	1,00	
9	0,89	0,24	-0,10	0,30	0,80	0,49	0,47	0,72	1,00

Примечание. 1 – выход продукции сельскохозяйственных земель, у. к. ед./га; 2 – балл бонитета пахотных земель; 3 – затраты на семена, млн руб./га; 4 – затраты на удобрения и средства защиты растений, млн руб./га; 5 – затраты на содержание основных средств в растениеводстве в расчете на единицу площади, млн руб./га; 6 – количество работников на единицу площади, чел./га; 7 – наличие энергетических мощностей на единицу площади, л. с./га; 8 – количество вносимых органических удобрений на единицу площади, т/га; 9 – количество вносимых минеральных удобрений на единицу площади, т/га.

По данным Института системных исследований в АПК НАН Беларуси, в Брестской области в структуре затрат на производство зерновых культур и сахарной свеклы за 2012–2014 гг. преобладают затраты на удобрения и средства защиты растений, а также по содержанию основных средств; в структуре затрат на производство картофеля – таковые на удобрения и средства защиты растения, а также на семена.

В результате анализа табл. 1 установлено влияние четырех факторов на выход сельскохозяйственной продукции в кормовых единицах. Количество вносимых минеральных удобрений имеет линейную зависимость с выходом кормовых единиц в хозяйствах (рис. 1). Коэффициент корреляции составляет 0,89.

Количество вносимых органических удобрений также имеет сильную линейную корреляцию с результирующим показателем, коэффициент корреляции равен 0,84 (рис. 2). С выходом кормовых единиц коррелируют затраты на содержание основных средств в растениеводстве (коэффициент корреляции – 0,80), а также количество энергетических мощностей на единицу площади (коэффициент корреляции – 0,64).

Балл плодородия почв варьирует от 21 до 29. Он мало влияет на продуктивность сельскохозяйственных культур. Лунинецкий район отличается высокой степенью мелиорированности земель, 55 % осушенных торфяников деградировано. Осушенные торфяно-болотные почвы отличаются экологической

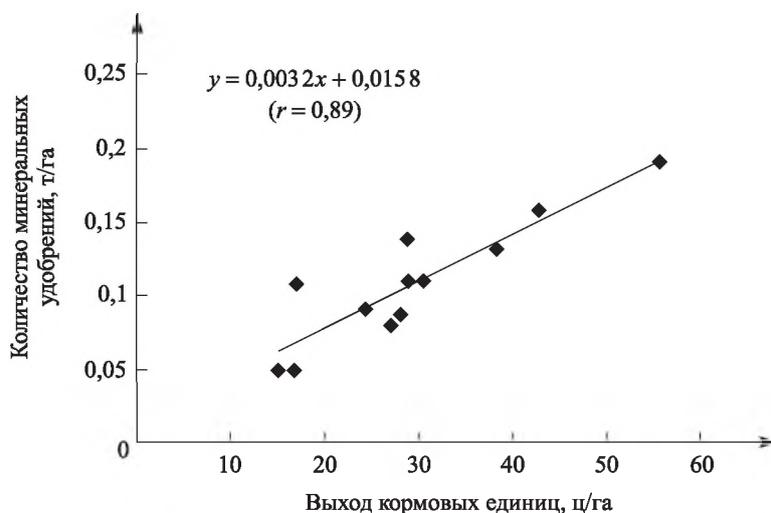


Рис. 1. Зависимость выхода кормовых единиц от количества вносимых минеральных удобрений на 1 га в сельскохозяйственных организациях Лунинецкого района
Fig. 1. Food output dependence of the amount of mineral fertilizers putting into 1 hectare of Lunenetsk agricultural enterprises

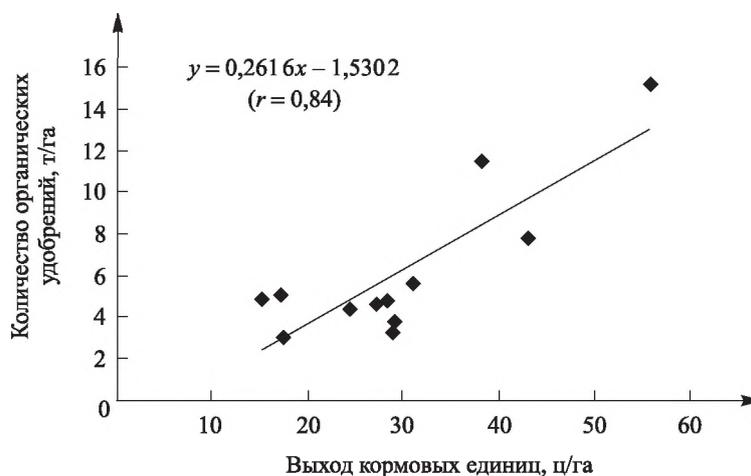


Рис. 2. Зависимость выхода кормовых единиц от количества вносимых органических удобрений на 1 га в сельскохозяйственных организациях Лунинецкого района
Fig. 2. Food output dependence of the amount of organic fertilizers putting into 1 hectare of Lunenetsk agricultural enterprises

неустойчивостью. В результате нерационального их использования происходит минерализация органического вещества и развитие эрозии, в первую очередь ветровой. По данным Института почвоведения и агрохимии НАН Беларуси, потери урожая сельскохозяйственных культур в зависимости от степени эродированности земель составляют 12–40 % для зерновых культур, 15–40 % – для льна, 2–30 % – для многолетних трав, 20–60 % – для пропашных культур [11].

Анализ данных табл. 1 свидетельствует о разном уровне взаимной корреляции большинства рассматриваемых факторов. Поэтому при построении производственной функции выбраны наиболее значимые ее переменные, влияющие на продуктивность сельскохозяйственных земель. С учетом выявленных корреляционных связей между показателями на основе регрессионного анализа была построена производственная функция:

$$Y = -3,87 + 9,21X_1 + 4,47X_2 + 0,78X_3 + 146,86X_4,$$

где Y – выход кормовых единиц в хозяйстве, ц/га; X_1 – затраты на содержание основных средств в растениеводстве в расчете на единицу площади, млн руб./га; X_2 – количество энергетических мощностей на единицу площади, л. с./га; X_3 – количество вносимых органических удобрений на единицу площади, т/га; X_4 – количество вносимых минеральных удобрений на единицу площади, т/га.

Коэффициент множественной корреляции данного уравнения очень высок (равен 0,944), а значение критерия Фишера (14,47) значительно превосходит критическое (4,12). Поэтому коэффициент детерминации (0,892) статистически значим и уравнение регрессии статистически достоверно.

Коэффициент детерминации свидетельствует о том, что 89,2 % вариации выхода продукции в кормовых единицах объясняется влиянием учтенных в модели факторов, остальное – другими, неучтенными факторами. При этом рассчитанные коэффициенты отдельного определения показывают, что 8,2 % вариации урожайности приходится на затраты на содержание основных производственных средств, 14 % – на количество энергетических мощностей в хозяйстве, 20 % – на внесение органических удобрений, а 47 % – на количество внесенных минеральных удобрений. В сумме коэффициенты отдельного определения дают коэффициент детерминации.

Для каждого рассматриваемого фактора в пределах сельскохозяйственной организации района рассчитан индекс по отношению к среднерайонному уровню (табл. 2). Индекс затрат на содержание основных средств изменяется от 0,38 в СПК «Озерница» до 2,51 в СПК «Лунинский». Минимальная энергооснащенность хозяйств, по сравнению со среднерайонным уровнем, – 0,60 (СПК «Новое Полесье»), максимальная – 1,5 (СПК «Велута»). Сельскохозяйственные организации используют различное количество удобрений. Низкий уровень внесения минеральных удобрений отмечен в СПК «Дятловичский» и «Богдановка», высокий – в СПК «Лунинский».

Таблица 2

Индексные значения показателей
для расчета интенсивности использования
сельскохозяйственных земель Лунинского района

Table 2

Index value of the intensity estimation
of Lunenetsk agricultural land usage

Организация		Выход кормовых единиц	Затраты на содержание основных средств на 1 га	Обеспеченность энергетическими мощностями на 1 га	Внесение органических удобрений на 1 га	Внесение минеральных удобрений на 1 га
СПК	Городокский	0,98	0,75	1,00	0,62	1,00
	Богдановка	0,51	0,77	0,83	0,79	0,45
	Лунинский	1,89	2,51	1,19	2,45	1,73
	Велута	1,29	1,37	1,50	1,86	1,18
	Дятловичский	0,58	0,49	0,81	0,50	0,45
	Вульковский рассвет	1,45	1,20	1,05	1,26	1,45
	Дворецкий	0,98	1,24	1,01	0,54	1,27
	Озерница	0,82	0,38	0,99	0,72	0,82

Окончание табл. 2
Ending table 2

Организация		Выход кормовых единиц	Затраты на содержание основных средств на 1 га	Обеспеченность энергетическими мощностями на 1 га	Внесение органических удобрений на 1 га	Внесение минеральных удобрений на 1 га
СПК	Новое Полесье	0,57	1,02	0,60	0,82	1,00
	Чучевичи	0,92	0,66	1,11	0,75	0,73
	Хвоецкое	1,05	0,54	1,21	0,91	1,00
КУП	Межлесское	0,96	1,12	0,69	0,78	0,82

Построенная производственная функция характеризует фактически сложившуюся за последние годы в среднем по району окупаемость выходом продукции в кормовых единицах основных затрат, удобрений, энергетических мощностей, используемых в растениеводстве. Рассчитанные по уравнению теоретические значения выхода продукции растениеводства в кормовых единицах (табл. 3) представляют тот уровень, который должен быть в районе при указанной средней окупаемости и сложившемся уровне интенсивности производства (количество внесенных удобрений, величина затрат). Разность фактических и расчетных величин выхода продукции характеризует качество работы, уровень использования сельскохозяйственных земель. Если фактический выход продукции меньше расчетного, то рассматриваемые факторы производства, а значит, и сельскохозяйственные земли используются недостаточно эффективно, и наоборот.

Как указывалось выше, по соотношению уровня интенсивности и уровня эффективности использования земель все сельскохозяйственные организации можно разделить на четыре группы: с низкой интенсивностью и низкой эффективностью; низкой интенсивностью и высокой эффективностью; высокой интенсивностью и низкой эффективностью; высокой интенсивностью и высокой эффективностью.

К первой группе (с низкой интенсивностью и низкой эффективностью) относятся 25 % хозяйств. В СПК «Новое Полесье» фактический выход продукции растениеводства на 31 % меньше расчетного, что свидетельствует о неэффективном использовании средств производства. На территории этой организации широко распространены деградированные почвы. Они занимают до 10 % площади сельскохозяйственных угодий. Для очень сильно- и сильнодеградированных торфяно-минеральных почв характерна большая дефляционная опасность (потенциальный вынос 12,0–15,0 т/га и более в год) и крайне низкое плодородие [12]. В данном СПК энергообеспеченность почти в два раза меньше среднерайонного показателя. В почву вносится малое количество минеральных удобрений.

Таблица 3

Расчетные показатели эффективности использования земель сельскохозяйственных организаций Лунинецкого района

Table 3

Estimation value of the effective land usage of Lunenetsk agricultural enterprises

Организация		Фактический выход кормовых единиц, ц/га	Расчетный выход кормовых единиц, ц/га	Интегральный индекс (интенсивность использования земель)	Эффективность использования земель	Соотношение интенсивности и эффективности использования земель
СПК	Городокский	29,08	27,27	0,79	1,07	Низкая – высокая
	Богдановка	15,11	17,58	0,8	0,86	Низкая – низкая
	Лунинский	55,80	53,6	1,33	1,04	Высокая – высокая
	Велута	38,08	42,77	1,16	0,89	Высокая – низкая
	Дятловичский	17,20	15,39	0,72	1,12	Низкая – высокая
	Вульковский рассвет	42,93	39,24	0,96	1,09	Высокая – высокая
	Дворецкий	28,83	32,46	0,81	0,89	Низкая – низкая

Окончание табл. 3
Ending table 3

Организация		Фактический выход кормовых единиц, ц/га	Расчетный выход кормовых единиц, ц/га	Интегральный индекс (интенсивность использования земель)	Эффективность использования земель	Соотношение интенсивности и эффективности использования земель
СПК	Озерница	24,30	23,92	0,77	1,02	Низкая – высокая
	Новое Полесье	16,98	24,62	0,79	0,69	Низкая – низкая
	Чучевичи	27,07	24,49	0,82	1,11	Низкая – высокая
	Хвоецкое	30,93	30,43	0,86	1,02	Низкая – высокая
КУП	Межлесское	28,21	22,67	0,81	1,24	Низкая – высокая

Во вторую группу (низкая интенсивность, но высокая эффективность) входят 50 % сельскохозяйственных организаций. Среди них КУП «Межлесское» отличается самым высоким показателем эффективности использования земель в районе: фактический выход кормовых единиц на 24 % больше расчетного. Однако количество вносимых в почву удобрений и объем энергетических мощностей меньше среднерайонных показателей на 20 и 30 % соответственно.

К третьей группе относятся 8 % хозяйств (используют сельскохозяйственные земли интенсивно, но малоэффективно). В СПК «Велута» расчетный показатель выхода кормовых единиц на 11 % выше фактического, что обуславливает низкую эффективность использования сельскохозяйственных земель. Высокая интенсивность достигается за счет внесения органических удобрений и энергооснащенности – на 86 и 50 % выше среднерайонных показателей соответственно.

Сельскохозяйственные организации четвертой группы (высокие интенсивность и эффективность) составляют 17 % от всех хозяйств. Здесь следует выделить СПК «Лунинский», где самый высокий показатель интенсивности использования сельскохозяйственных земель в районе. В СПК основные затраты на средства производства и количество вносимых минеральных удобрений в 2,5 раза выше среднерайонных. Данная сельскохозяйственная организация является филиалом ОАО «Лунинецкий молочный завод», поэтому отличается самым большим поголовьем крупного рогатого скота.

Так как сельскохозяйственные организации отличаются неодинаковым агропроизводственным потенциалом, то необходимо проводить соответствующие мероприятия. Для увеличения продуктивности растениеводства в первой группе хозяйств рекомендуется выводить непродуктивные земли (в первую очередь очень сильно- и сильнодеградированные торфяно-минеральные почвы) из сельскохозяйственного производства и интенсифицировать последнее, в том числе оптимизировать структуру посевов, формировать севообороты, соблюдать технологию возделывания сельскохозяйственных культур. Земли со слабо- и среднедеградированными торфяно-болотными почвами должны использоваться при строгом соблюдении норм и приемов щадящего земледелия [12].

Во второй группе сельскохозяйственных организаций рекомендуется повышать плодородие почв, в том числе путем внесения удобрений, приобретать оборотные средства (каких меньше, чем в среднем по району).

В третьей группе хозяйств главная задача – увеличение окупаемости используемых ресурсов за счет совершенствования организации производства, улучшения культуры земледелия, соблюдения технологии возделывания сельскохозяйственных культур. Для этой группы СПК актуально совершенствование территориальной организации сельскохозяйственного производства (оптимизация состава, структуры и размещения сельскохозяйственных земель, структуры и размещения посевов культур, формирования севооборотов и т. д.).

В хозяйствах четвертой группы земли являются дефицитным производственным ресурсом, поэтому речь может идти об увеличении площади интенсивно используемых земель. Это возможно за счет перевода части пригодных для этой цели сельскохозяйственных земель в более интенсивно используемые виды, улучшения сельскохозяйственных земель, в том числе в процессе восстановления и реконструкции мелиоративных систем, передачи таких земель от других землепользователей.

Заключение

Таким образом, в Лунинецком районе по соотношению уровня интенсивности и эффективности использования земель выделено четыре группы сельскохозяйственных организаций. Половина (50 %) организаций имеют низкую интенсивность, но высокую эффективность использования сельскохозяйственных земель. К группе с низкой интенсивностью и низкой эффективностью использования земель

относятся 25 % хозяйств. Сельскохозяйственные организации, отличающиеся высокими интенсивностью и эффективностью использования земель, составляют 17 %. Малочисленна (8 %) группа хозяйств, которые используют земли интенсивно, но малоэффективно. Это позволило дифференцировать мероприятия по совершенствованию аграрной отрасли. Результаты исследований практически значимы в настоящее время, например при обосновании целесообразности объединения, присоединения и укрупнения сельскохозяйственных предприятий, оптимизации землепользования, установлении объективных прогнозных валовых показателей в растениеводстве и др.

Библиографические ссылки

1. Савельева ИЛ. Оценка природных ресурсов в экономической географии. *География и природные ресурсы*. 2009;4:10–16.
2. Лециловский ПВ, Мозоль АВ. Индексная оценка ресурсного потенциала, ее сущность и значение. *Вестник БГУ*. 2004;3:27–31.
3. Яцухно ВМ. Агроресурсный потенциал административных районов Беларуси: оценка состояния и современное использование. *Вестник БГУ. Серия 2, Химия. Биология. География*. 2016;3:144–148.
4. Мороз ГМ. Плодородие сельскохозяйственных земель и его влияние на эффективность производства сельскохозяйственной продукции. *Земля Беларуси*. 2015;1:27–33.
5. Яцухно ВМ, Ольшевская ЕС. Современное состояние и использование агроресурсного потенциала Полесского региона. *Природнае асяроддзе Палесся: асаблівасці і перспектывы развіцця*. 2014;7:81–83.
6. Яцухно ВМ, Ольшевская ЕС, Давыдик ЕЕ. Земельно-ресурсный потенциал административных районов Беларуси и его использование в аграрной отрасли. *Вестник БГУ. Серия 2, Химия. Биология. География*. 2012;1:75–80.
7. Лециловский ПВ, Мозоль АВ. Механизм оценки производственного потенциала организаций АПК и его роль в выравнивании условий хозяйствования. *Аграрная экономика*. 2017;1:2–10.
8. Мороз ГМ. Об использовании сельскохозяйственных земель в аграрном производстве. *Земля Беларуси*. 2013;3:16–22.
9. Лысанова ГИ, Сороковой АА. Потенциал земельных ресурсов регионов Сибири. *География и природные ресурсы*. 2015;2:149–155.
10. Чибилев АА, Петрицев ВП, Левыкин СВ, Ашиккалиев АХ, Казачков ГВ. Почвенно-экологический индекс как интегральный показатель для оптимизации структуры землепользования. *География и природные ресурсы*. 2016;4:148–155.
11. *Национальный доклад о состоянии, использовании и охране земельных ресурсов Республики Беларусь* (по состоянию на 1 января 2011 г.). Минск: РУП «БелНИЦзем»; 2011. 184 с.
12. Черныш АФ, Качков ЮП, Юхновец АВ, Бачила СС. Территориальная организация Полесских агроландшафтов на основе типизации земель как фактор оптимизации землепользования и охраны почв. *Природнае асяроддзе Палесся: асаблівасці і перспектывы развіцця*. 2014;7:188–190.

References

1. Savelieva IL. [Natural resources estimation in economical geography]. *Geografiya i prirodnye resursy* [Geography and natural resources]. 2009;4:10–16. Russian.
2. Leschilovsky PV, Mozol AV. [Index evaluation of resource potential, its essence and meaning]. *Vestnik BGEU*. 2004;3:27–31. Russian.
3. Yatsukhno VM. Agresource potential of Belarus administrative districts: state evaluation and modern use. *Vestnik BGU. Seriya 2, Khimiya. Biologiya. Geografiya*. 2016;3:144–148. Russian.
4. Moroz GM. [Agricultural land fertility and its influence on the effective producing of the agricultural goods]. *Zemlja Belarusi*. 2015;1:27–33. Russian.
5. Yatsukhno VM, Olshevskaya ES. Modern state and use of the agresource potential of Polesie district. *Polesie natural environment: peculiarities and prospects of development*. 2014;7:81–83. Russian.
6. Yatsukhno VM, Olshevskaya ES, Davidik EE. Land-resource potential of Belarus administrative districts and its use in agrarian field. *Vestnik BGU. Seriya 2, Khimiya. Biologiya. Geografiya*. 2012;1:75–80. Russian.
7. Leschilovsky PV, Mozol AV. Methods of evaluating industrial potential of argoindustrial organisations and its role in balancing conditions of economy. *Agricultural economics*. 2017;1:2–10. Russian.
8. Moroz GM. Use of agricultural lands in agrarian production. *Zemlja Belarusi*. 2013;3:16–22. Russian.
9. Lisanova GI, Sorokovoi AA. Land resource potential of Siberia regions. *Geography and natural resources*. 2015;2:149–155. Russian.
10. Chibelev AA, Petrishev VP, Levikin SV, Aschikaliev AH, Kazachkov GV. Soil-ecological index as an integral factor for optimization of the land-utilization structure. *Geography and natural resources*. 2016;4:148–155. Russian.
11. *National report about the state, use and protection of the land resources of Belarus* (according to 2011 January 1). Minsk: RUP «BelNITszem»; 2011. 184 p.
12. Chernish AF, Kachkov UP, Uhnovets AV, Bachila SS. Territorial organization of Polesie agrolandscapes based on land typing as an optimization factor of land use and protection. *Polesie natural environment: peculiarities and prospects of development*. 2014;7:188–190. Russian.

Статья поступила в редакцию 28.03.2018.
Received by editorial board 28.03.2018.

ДИНАМИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ ОЗЕРНЫХ ЭКОСИСТЕМ БЕЛОРУССКОГО ПООЗЕРЬЯ К ВНЕШНЕМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ

Н. Ю. СУХОВИЛО¹⁾, Б. П. ВЛАСОВ¹⁾, А. А. НОВИК¹⁾

¹⁾Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь

Изложены результаты исследования влияния внешнего и внутреннего водообмена на устойчивость озер к внешнему воздействию. Объектами исследования послужили 24 разнотипных водоема Белорусского Поозерья, различающихся происхождением, морфометрическими показателями, температурным режимом и степенью использования в хозяйственной деятельности. Расчет показателей перемешивания и стратификации осуществлялся с помощью *online*-модели *Lake Analyzer*. Выявление закономерностей изменения изучаемых характеристик производилось на основе методов математической статистики. В ходе исследования такие закономерности установлены для гидро- и термодинамических показателей в зависимости от морфометрии котловин и метеословий, рассмотрены особенности их влияния на устойчивость озер к внешней нагрузке. Анализ взаимосвязей комплекса зональных и азональных, внешних и внутренних факторов и их количественная оценка позволили выделить три группы водоемов по устойчивости к антропогенному воздействию: устойчивые, среднеустойчивые и неустойчивые. Полученные результаты могут использоваться для управления водными экосистемами и определения допустимой нагрузки на них.

Ключевые слова: озеро; ветровая работа; термическая устойчивость; устойчивость к внешнему воздействию; водообмен.

DYNAMIC CRITERIA FOR EVALUATION OF THE RESISTANCE OF LAKE ECOSYSTEMS OF BELARUSIAN POOZERIE TO EXTERNAL IMPACT

N. Y. SUKHOVILO^a, B. P. VLASOV^a, A. A. NOVIK^a

^aBelarusian State University, 4 Niezaliežnasci Avenue, Minsk 220030, Belarus

Corresponding author: B. P. Vlasov (vlasov_@tut.by)

The article describes the results of the investigation of influence of external and internal water exchange on the stability of lakes to external impact. The objects of the study are 24 reservoirs of the Belarusian Poozerie, differing in origin, morphometric parameters, temperature regime and degree of economic using. The calculation of the mixing and

Образец цитирования:

Суховило НЮ, Власов БП, Новик АА. Динамические критерии оценки устойчивости озерных экосистем Белорусского Поозерья к внешнему воздействию. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология*. 2018; 2:13–24.

For citation:

Sukhovilo NY, Vlasov BP, Novik AA. Dynamic criteria for evaluation of the resistance of lake ecosystems of Belarusian Poozerie to external impact. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology*. 2018;2:13–24. Russian.

Авторы:

Нина Юрьевна Суховило – младший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории озераведения географического факультета.

Борис Павлович Власов – доктор географических наук, профессор; заведующий научно-исследовательской лабораторией озераведения географического факультета.

Алексей Александрович Новик – кандидат географических наук, доцент; доцент кафедры общего землеведения и гидрометеорологии географического факультета.

Authors:

Nina Y. Sukhovilo, junior researcher at the laboratory of lake research, faculty of geography.

nina_s3894@mail.ru

Boris P. Vlasov, doctor of science (geography), full professor; head of the laboratory of lake research, faculty of geography.

vlasov_@tut.by

Aliaksei A. Novik, PhD (geography), docent; associate professor at the department of earth science and hydrometeorology, faculty of geography.

novikA@bsu.by

stratification was carried out using the *online* model *Lake Analyzer*. The determination of the regularities of changes in the characteristics studied was based on methods of mathematical statistics. In the course of the study, regularities for the changes in hydro- and thermodynamic parameters were established, depending on the morphometry of their basins and weather conditions, and the features of their influence on the stability of lakes to the external load were considered. The analysis of the interconnections of the complex zonal and azonal, external and internal factors and their quantitative assessment made it possible to distinguish three groups of reservoirs in terms of their resistance to anthropogenic effects: stable, medium-stable and unstable. The results obtained can be used to manage water ecosystems and determine the permissible load on them.

Key words: lake; wind work; thermal stability; resistance to external impact; water exchange.

Введение

Скорость водообмена и характер перемешивания водной массы являются факторами, которые в наибольшей мере влияют на гидрохимические и гидробиологические процессы. В условиях антропогенного воздействия меняются все компоненты лимносистем, поэтому установление пределов допустимой нагрузки на них невозможно без всестороннего анализа гидро- и термодинамических показателей.

Начало изучению термодинамического перемешивания было положено Ф. Форелем в XIX в. Дальнейшее развитие представлений о формировании термической структуры водоемов и ее влиянии на внутриводоемные процессы связано с именами Э. А. Берджа, В. Шмидта, Э. Горхама, Дж. Имбергера и др. [1–7]. Исследованию термической и экологической устойчивости озер Беларуси посвящены работы О. Ф. Якушко, Л. В. Гурьяновой, Б. П. Власова и др. В большинстве случаев при ее оценке использовались отдельные характеристики, в том числе температурная стратификация. В то же время необходим учет всего комплекса показателей во главе с динамикой водной массы как связующим звеном между морфометрией, гидрохимическими процессами и биологической продуктивностью.

Цель данного исследования – оценка устойчивости озер Белорусского Поозерья к внешнему воздействию по динамическим критериям.

Общая характеристика и местоположение объектов исследования

Исследуемые озера расположены в бассейне Западной Двины. Площади их водосборов, оказывающие непосредственное влияние на водообмен, изменяются от 3 км² у оз. Болойсо до 1279,6 км² у оз. Лепельского. Котловины водоемов относятся к подпрудному (Богинское, Лукомское, Дривяты), ложбинному (Долгое, Сарро), эвразийскому (Болойсо), сложному (Мядель, Отолово, Гомель) и остаточному (Россоно, Добеевское) типам. Из-за различий в происхождении и строении котловин водоемы обладают различными морфометрическими характеристиками (табл. 1).

Таблица 1

Морфометрические характеристики исследованных озер [8]

Table 1

Morphometric characteristics of studied lakes [8]

Озеро	Объем, млн м ³	Площадь, км ²	Максимальная глубина, м	Средняя глубина, м	Период водообмена, лет
Богинское	64,42	13,2	15	4,7	0,35
Болойсо	7,29	1,4	15,6	5,3	11,74
Волосо Южный	15,07	1,2	40,4	12,5	12,25
Гомель	19,01	3,5	23	5,5	0,12
Девинское	9,73	2	9,6	4,9	1,76
Добеевское	1,65	2,3	3,6	0,7	0,24
Долгое	43,17	2,6	53,6	16,6	7,01
Дривяты	223,52	36,1	12	6,1	2,58
Езерище	66,95	15,4	11,5	4,4	1,24
Лепельское	74,67	10,2	33,7	7,3	0,14
Лосвида	82	11,4	20,2	7,2	3,73

Окончание табл. 1
Ending table 1

Озеро	Объем, млн м ³	Площадь, км ²	Максимальная глубина, м	Средняя глубина, м	Период водообмена, лет
Лукомское	249	37,7	11,5	6,6	6,62
Лядно	4,35	0,6	22	7,5	1,49
Миорское	5,24	1,2	13,2	4,5	1,64
Мядель	102	16,2	24,6	6,3	4,86
Нещердо	84,72	24,6	8,1	3,4	2,5
Обстерно	50	9,9	12	5,1	2,06
Освейское	104	52,8	7,5	2	2,13
Отолово	27,86	8,2	16,4	3,5	0,43
Потех	4,52	1,4	9,1	3,4	0,71
Ричи	131,5	12,8	51,9	10,2	4,52
Россоно	4,93	2,4	3,3	2,1	0,7
Савонар	1,41	0,5	3,8	1,9	0,01
Сарро	60,76	5,3	36,3	11,4	2,84

В гидрологическом режиме озер существуют некоторые различия. По условиям водообмена они относятся к слабопроточным, оз. Лукомское после сооружения плотины на р. Лукомке стало бессточным. Водообмен в нем осуществляется путем забора воды на охлаждение агрегатов Лукомльской ГРЭС с последующим возвратом подогретых вод в озеро.

Термический режим озер и водохранилищ в наибольшей степени зависит от географического положения и морфометрии котловин. Расположение в умеренном климатическом поясе определяет особенности годового хода температуры воды и ледового режима. В зимний период, когда водоемы покрыты льдом, наблюдается обратная температурная стратификация, летом же прямая стратификация прослеживается только в глубоких озерах с достаточно укрытыми котловинами, что не способствует интенсивному ветровому перемешиванию.

Химический состав вод сформировался под воздействием климатических условий, главным из которых является преобладание осадков над испарением, а также пород, слагающих водосбор. По гидрохимической классификации все изучаемые водоемы относятся к гидрокарбонатному классу кальциевой группы. Минерализация воды колеблется от 136 до 280 мг/дм³ и более. При этом максимальные показатели характерны для водоемов, расположенных вблизи городов и промышленных предприятий (Лепельское, Болойсо). Распределение кислорода в водной толще определяется особенностями динамических процессов и биологической продуктивностью. В мелководных высокоэвтрофных, а также в глубоких мезотрофных с признаками олиготрофии озерах может наблюдаться дефицит кислорода. Гидрохимические и гидробиологические характеристики изученных озер представлены в табл. 2.

Таблица 2

Гидрохимические и гидробиологические характеристики озер [8]

Table 2

Hydrochemical and hydrobiological characteristics of lakes [8]

Озеро	Прозрачность, м	Общая минерализация, мг/дм ³	PO ₄ ³⁻ , мг/дм ³	Биомасса фитопланктона, мг/дм ³	Трофический статус
Богинское	3	204,9	0,04	13,78	Эвтрофное
Болойсо	3,6	195,8	0,08	4,5	Эвтрофное
Волосо Южный	5,8	186,3	0,015	1	Мезотрофное с признаками олиготрофии
Гомель	3	220	–	2,57	Эвтрофное
Девинское	2	217,1	0,008	2,73	Эвтрофное
Добеевское	3,6	139,8	0,085	0,58	Эвтрофное

Окончание табл. 2
Ending table 2

Озеро	Прозрачность, м	Общая минерализация, мг/дм ³	PO ₄ ³⁻ , мг/дм ³	Биомасса фитопланктона, мг/дм ³	Трофический статус
Долгое	4	220,4	0,004	0,56	Мезотрофное с признаками олиготрофии
Дривяты	2,5	187,5	0,021	4,8	Эвтрофное
Езерище	1,4	163,3	0,186	25,18	Эвтрофное
Лепельское	2	280,3	0,056	0,98	Мезотрофное
Лосвида	3,6	173,1	0,187	0,72	Мезотрофное
Лукомское	2,5	213,3	0,006	1,97	Эвтрофное
Лядно	1,1	278,8	0,29	1,48	Эвтрофное
Миорское	1,5	185,9	0,058	3,84	Эвтрофное
Мядель	3	240,8	0,012	1,83	Мезотрофное
Нещердо	2	255,4	0,006	4,36	Эвтрофное
Обстерно	2,75	152	0,025	30,6	Эвтрофное
Освейское	2,5	153,9	0,036	6,82	Эвтрофное
Отолово	2	234	0,002	27,57	Эвтрофное
Потех	1,8	234,9	0,057	13,2	Эвтрофное
Ричи	5,3	136,8	0,005	0,43	Мезотрофное с признаками олиготрофии
Росоно	0,8	187,6	0,014	13,59	Эвтрофное
Савонар	1,5	225,3	0,222	7,38	Эвтрофное
Сарро	3,9	250,1	0,002	0,24	Мезотрофное с признаками олиготрофии

Особенности распространения макрофитов и их состав обусловлены морфометрией котловин. Мелководные озера (Добеевское, Россоно) зарастают по всей акватории, в то время как глубокие ложбинные водоемы (Сарро, Долгое) зарастают незначительно и только в прибрежной части. Качественный и количественный состав макрофитов тесно связан с общими экологическими условиями водоемов, формой их котловин, химической структурой воды, характером донных отложений и др. Занимая прибрежную зону, именно макрофиты принимают на себя и усваивают основные сбросы биогенных веществ с водосбора. В этом смысле прибрежные водные растения в определенной степени регулируют расход питательных элементов и проникновение их в пелагическую зону озера. Глубина распространения высших водных растений зависит прежде всего от прозрачности водоемов.

Биомасса фитопланктона изменяется от 0,1–1,2 мг/дм³ в мезотрофных озерах до 8–15 мг/дм³ и более в высокоэвтрофных. При этом преобладающей группой являются диатомовые (в периоды цветения – синезеленые) водоросли.

Донные отложения есть результат взаимодействия всех внешних (геологических, геоморфологических, климатических, хозяйственной деятельности человека) и внутриводоемных (главным образом биотических) факторов. В эвтрофных водоемах сформировались мощные толщи органоминеральных отложений, оказывающих достаточно сильное воздействие на температурный режим водоемов в период ледостава. Зимой за счет выделения тепла при разложении органического вещества в озерах Освейском и Нещердо происходит разогревание придонных слоев до 5,5–5,8 °С – это выше температуры максимальной плотности, что сказывается на газовом режиме и гидробионтах.

Материалы и методы

Оценка устойчивости экосистем озер производилась с помощью анализа условий водообмена, термодинамических особенностей (термической устойчивости, числа Веддерберна, ветровой работы Берджа), морфометрических показателей и выявления их связи с гидрохимическими характеристиками. Информационной основой исследования послужили результаты проведенного НИЛ озераведения комплексного

обследования более 800 озер Беларуси. Из них выбраны 24 репрезентативных водоема Белорусского Поозерья, различающихся по происхождению, морфометрии, условиям проточности и антропогенного воздействия и находящихся на различных стадиях эволюции. Указанное обследование проводилось в период 1967–2015 гг. Источником данных метеорологических и гидрологических наблюдений стали фондовые материалы Республиканского центра по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды [9].

Под воздействием всего комплекса описанных выше факторов в озерах создаются определенные динамические условия, которые в сочетании с другими компонентами лимносистемы формируют фон для протекания всех внутриводоемных процессов.

Основными показателями, используемыми при оценке энергии, затрачиваемой ветром на нагревание водной толщи водоема, являются термическая устойчивость и ветровая работа Берджа.

Для оценки количества работы, затрачиваемой ветром на перераспределение тепла в водной массе, использовано понятие ветровой работы, предложенное американским лимнологом Э. А. Берджем. Она рассчитывается по формуле

$$W_b = RT \cdot Z(1 - D_n),$$

где W_b – работа ветра по перераспределению тепла в воде, г-см/см²; RT – приведенная мощность слоя, см; Z – расстояние от поверхности воды до данного слоя, см; D_n – плотность воды при температуре n °С, г/см³ [10].

На скорость перемешивания также значительно влияет устойчивость водной массы. Термическая устойчивость озер определяется как работа, которую необходимо совершить для перевода озера в состояние гомотермии в адиабатических условиях. Для ее расчета используется формула

$$W_t = \frac{g}{A_0} \int_0^{z_m} z \rho_z A_z dz - z_v V \rho_{av},$$

где W_t – термическая устойчивость, Дж/м²; g – ускорение свободного падения, м/с²; ρ_{av} – средняя плотность воды, кг/м³; z_v – глубина центра масс озера при постоянной плотности, м; z_m – максимальная глубина, м; ρ_z – плотность воды на глубине z , кг/м³; A_0 – общая площадь озера, м²; A_z – площадь озера под изобатой z м, м²; V – общий объем озера, м³ [11].

Главное различие этих двух параметров заключается в том, что в первом случае речь идет о работе по перемешиванию и разрушению стратификации, уже совершенной ветром, а во втором – о теоретическом ее количестве, необходимом для приведения озера или водохранилища в состояние гомотермии. Оба параметра имеют свои достоинства и недостатки. Так, ночное остывание и перемешивание верхних слоев воды (в том числе под действием ветра) сменяется дневным нагреванием и возвратом к первоначальному их состоянию. Работа против силы тяжести совершена, но при измерении температуры на следующий день результат оказывается очень близким к исходному. Поэтому без частого измерения температуры адекватная оценка количества ветровой работы затруднительна. Термическая устойчивость также не лишена недочетов, наиболее явным из которых является отсутствие в реальных условиях адиабатических процессов. Кроме этого, она не позволяет точно оценить ту часть ветровой энергии, которая будет использована для разрушения стратификации, поскольку не учитывает геометрические характеристики водоема. Для устранения таких недостатков используются другие термодинамические параметры, приведенные ниже.

Безразмерное число Веддерберна показывает баланс между ветровым воздействием и силой плавучести и рассчитывается по формуле

$$W = \frac{g' z_e^2}{u_*^2 L_s},$$

где W – число Веддерберна; $g' = g(\Delta\rho/\rho_h)$ – приведенное ускорение свободного падения (g) из-за изменения плотности ($\Delta\rho$) между гипolimнионом (ρ_h) и эпилимнионом (ρ_e), м/с²; z_e – глубина перемешиваемого слоя, м; u_* – сила трения из-за ветрового воздействия, Н; L_s – длина разгона волны, м [11]. Если число Веддерберна намного больше единицы, то ветровое воздействие играет решающую роль в перераспределении тепла в водной толще.

Для сопоставления динамических условий в озерах с различными морфометрией и периодом водообмена использовался показатель гидравлической нагрузки, определяемый как частное от деления средней глубины на удельную водообменность.

Показатели перемешивания и стратификации рассчитывались с помощью *online*-модели *Lake Analyzer* [12], созданной в Западно-Австралийском университете и представляющей собой программный код с поддержкой инструментов визуализации полученных результатов. Допустимая фосфорная нагрузка определялась по формуле Фолленвайдера.

Результаты и их обсуждение

На основании проведенных расчетов были выявлены закономерности изменения термодинамических показателей в зависимости от морфометрических параметров, метеорологических условий и водообмена.

Анализ зависимости термической устойчивости от температуры воздуха показал наличие средней по силе прямой связи между исследуемыми параметрами в июне – августе. В остальные месяцы она выражена слабее из-за большой теплоемкости воды [13]. Полученную закономерность на примере оз. Лукомского иллюстрирует рис. 1.

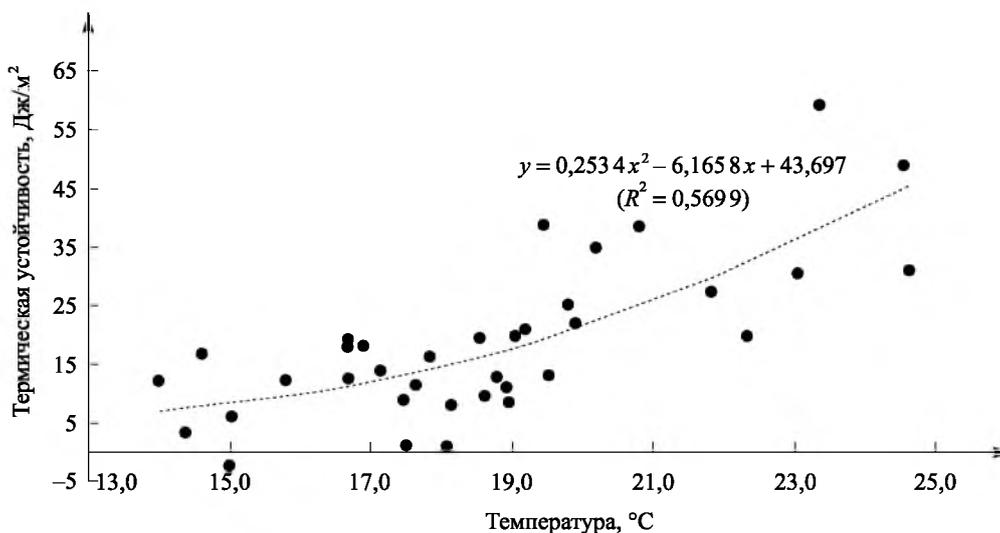


Рис. 1. Зависимость термической устойчивости оз. Лукомского на 1 августа от температуры воздуха 27–31 июля (1974–2015)

Fig. 1. The dependence of thermal stability of Lukomskoe Lake in August, 1st on air temperature in July 27–31 (1974–2015)

Прямая зависимость термической устойчивости от температуры воздуха может нарушаться под действием других метеорологических факторов, главным образом ветра. При возрастании его скорости термическая устойчивость падает, так как происходит перемешивание поверхностного слоя с более глубокими, холодными и оттого плотными водами и выравнивание температурного профиля. Кроме этого, для оз. Лукомского большую роль играет направление ветра. Если он дует с востока, теплые воды с водосбора Лукомльской ГРЭС распространяются по всей водной массе и термическая устойчивость повышается даже в районе рейдовой вертикали. Ветры западного направления, наоборот, способствуют аккумуляции подогретой воды у восточного берега, сохраняя естественный термический режим на большей части акватории. Анализ многолетней динамики показал наличие слабой тенденции к росту термической устойчивости в озерах с длительными рядами наблюдений, но это пока не повлекло значительных изменений в их вертикальной термической структуре и газовом режиме.

Для сравнения термодинамических условий разнотипных водоемов были установлены закономерности их изменения в озерах с различной морфометрией. На рис. 2 и 3 приведены графики зависимости термической устойчивости и ветровой работы от средней глубины водоема. Как видно, эти зависимости носят нелинейный характер, а существующие отклонения обусловлены различиями морфометрии котловин и метеоусловий в период наблюдений за температурой воды. Так, в озерах со средней глубиной до 7,5 м термическая устойчивость изменяется слабо. Это означает, что прямая стратификация в них не формируется, а для того чтобы привести их в состояние гомотермии, не требуется большого количества энергии [14; 15]. Сильное отклонение для самого глубокого озера – Долгого – от полученной зависимости обусловлено тем, что температура воды в его поверхностных слоях составляла всего около 21 °C, а для распределения такого количества тепла по водной массе было затрачено меньше энергии, чем в случае с менее глубокими, но более теплыми озерами Ричи и Волосо Южный.

Следует отметить, что общая устойчивость озера к внешнему воздействию имеет прямую зависимость от показателя ветровой работы. Чем более равномерно распределено тепло, а следовательно, и плотность в водной массе, тем более сильное воздействие необходимо для выведения экосистемы из состояния равновесия.

Сопоставление факторов внешнего и внутреннего водообмена в озерах позволило установить связь между термической устойчивостью и периодом водообмена (см. рис. 4).

На графиках (см. рис. 4) отчетливо выделяются две группы озер с близким периодом водообмена и различной внутренней структурой водной массы. Верхняя линия тренда иллюстрирует взаимосвязь между двумя группами динамических факторов в глубоких стратифицированных озерах, нижняя – в мелководных, хорошо перемешиваемых. Иными словами, данное соотношение отражает влияние морфометрии как азонального фактора на внутриводоемные процессы. Она же во многом определяет баланс силы Архимеда и ветрового воздействия в перераспределении тепла по глубине, который показывает число Веддерберна. Последнее возрастает по мере увеличения глубины озер и уменьшения их открытости, но сильно зависит от метеоусловий, определяющих температуру воды. Поэтому для выявления закономерностей его изменения необходимы синхронные наблюдения на разнотипных озерах.

Допустимая величина воздействия на водоем во многом определяется показателем гидравлической нагрузки. Максимальные ее значения, достигающие $52 \text{ м}^3/\text{м}^2$, характерны для среднелюбких озер с достаточно интенсивным внешним водообменом (Гомель, Лепельское, Богинское), что значительно повышает их способность поддерживать равновесие в экосистеме при усилении антропогенного давления. Наименьшим значением данного показателя характеризуется оз. Болысо ($0,45 \text{ м}^3/\text{м}^2$), отличающееся значительным периодом водообмена. В результате в нем происходит аккумуляция загрязняющих веществ, поступающих из расположенного рядом г. Браслава, что приводит к антропогенному эвтрофированию [16].

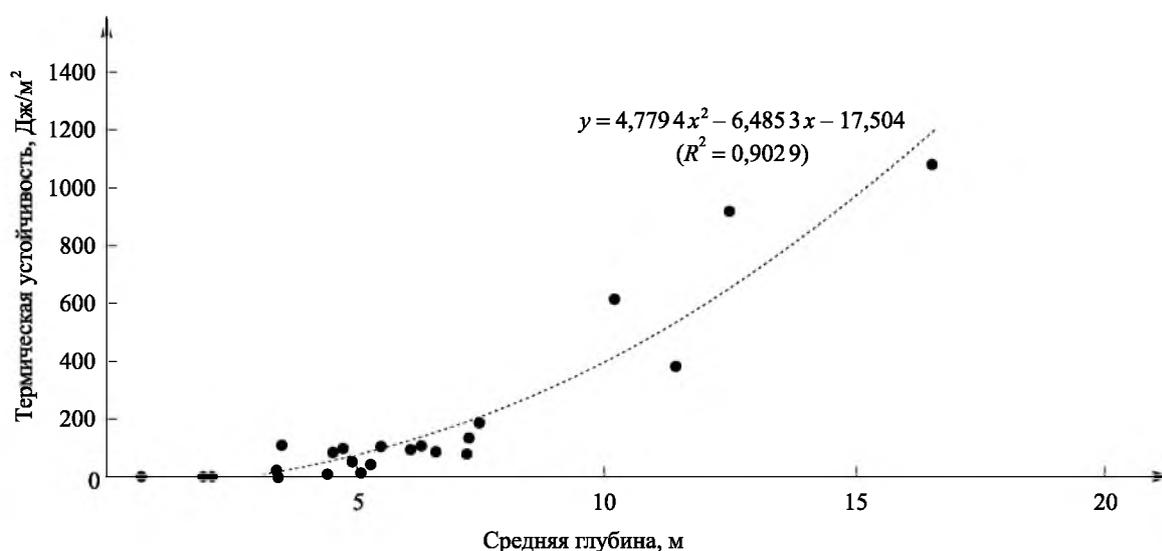


Рис. 2. Зависимость термической устойчивости от средней глубины озера

Fig. 2. The dependence of thermal stability on mean depth of the lake

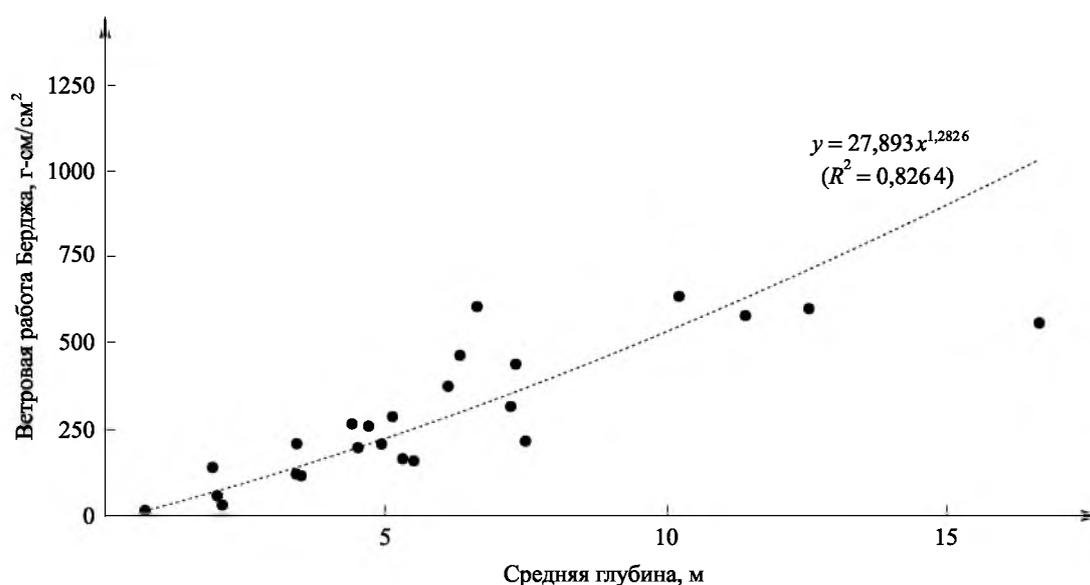


Рис. 3. Зависимость ветровой работы Берджа от средней глубины озера

Fig. 3. Relationship between Birgean work and mean depth of the lake

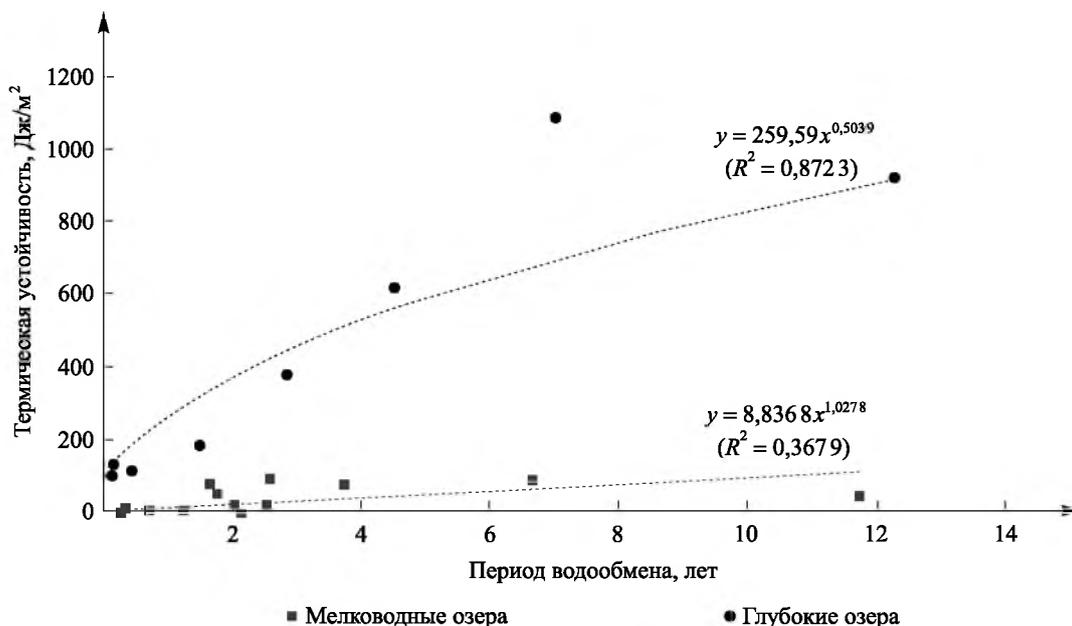


Рис. 4. Связь между термической устойчивостью и периодом водообмена
 Fig. 4. Connection between thermal stability and residence time of lake

Скорость эвтрофирования в наибольшей мере зависит от поступления соединений азота и фосфора с водосбора. Взаимосвязь между периодом водообмена и допустимой фосфорной нагрузкой иллюстрирует рис. 5.

Выявленная зависимость показывает, что с увеличением периода водообмена до двух лет резко сокращается допустимая фосфорная нагрузка на водоем. Ее зависимость от гидравлической нагрузки носит линейный характер с небольшими отклонениями, обусловленными морфометрией или высокой проточностью. Реальная фосфорная нагрузка существенно отличается от расчетной. Максимальные ее значения характерны для озер, расположенных на урбанизированных территориях или в непосредственной близости от них, а также для водоемов, водосборы которых активно используются в сельском хозяйстве. Например, для оз. Миорского она составляет 7,75 г/м² при допустимой 0,3 г/м². Наиболее уязвимы экосистемы тех озер, на водосборах которых расположены локальные источники загрязнения (животноводческие комплексы, промышленные предприятия), осуществляющие сброс в водоем неочищенных или недостаточно очищенных вод. Яркими примерами таких водоемов являются озера Миорское и Болойсо.

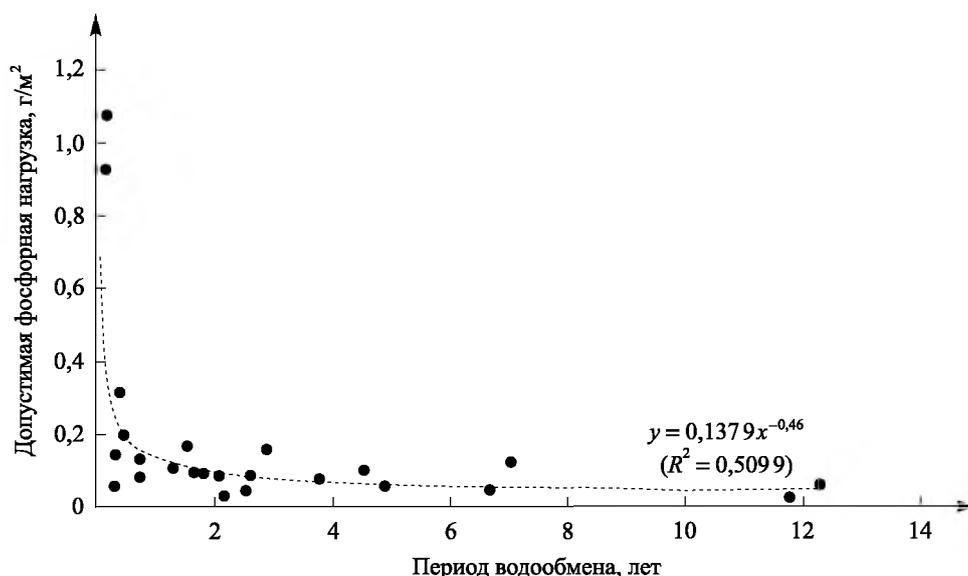


Рис. 5. Зависимость допустимой фосфорной нагрузки от периода водообмена озера
 Fig. 5. The dependence of permissible phosphorus load on the period of lake water exchange

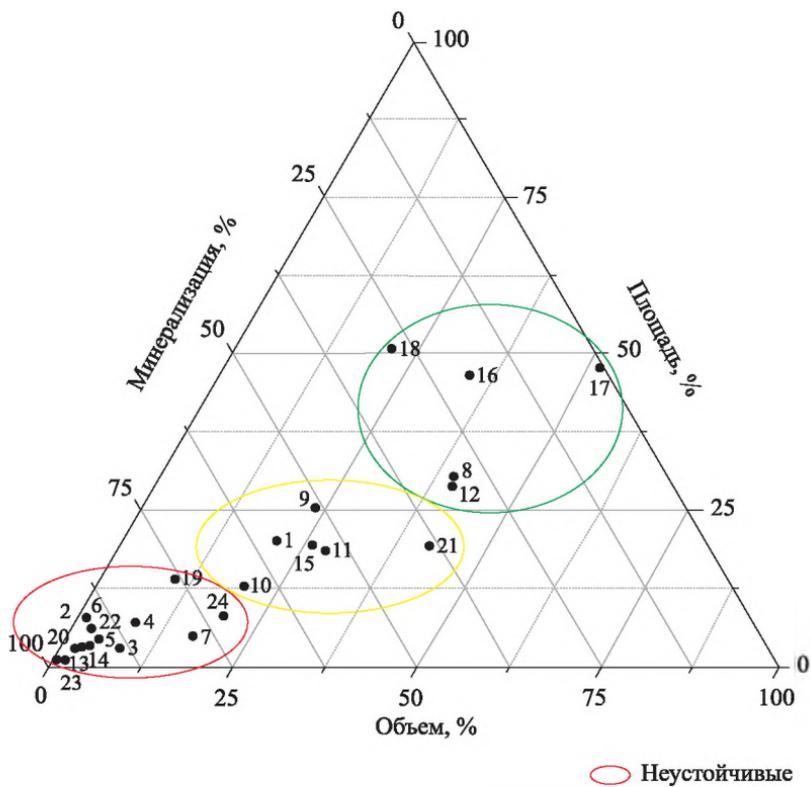
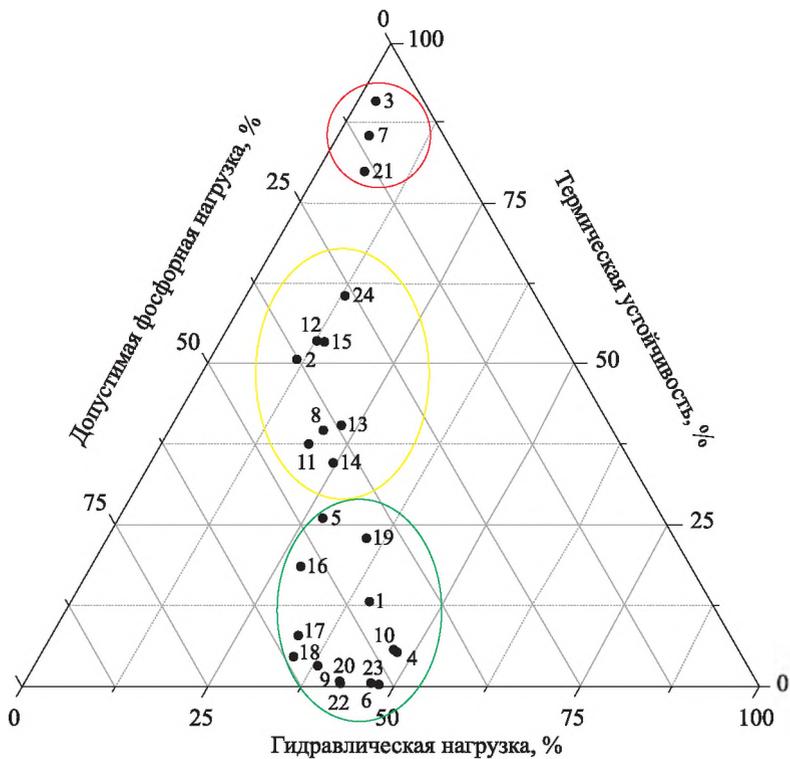


Рис. 6. Группы озер по устойчивости к внешнему воздействию, выделенные по статическим критериям

Fig. 6. Groups of lakes for resistance to external influences, distinguished by static criteria

- Озера:
- 1 – Богинское
 - 2 – Болойсо
 - 3 – Волосо Южный
 - 4 – Гомель
 - 5 – Девинское
 - 6 – Добеевское
 - 7 – Долгое
 - 8 – Дривяты
 - 9 – Езерице
 - 10 – Лепельское
 - 11 – Лосвида
 - 12 – Лукомское
 - 13 – Лядно
 - 14 – Миорское
 - 15 – Мядель
 - 16 – Нецердо
 - 17 – Обстерно
 - 18 – Освейское
 - 19 – Отолово
 - 20 – Потех
 - 21 – Ричи
 - 22 – Россоно
 - 23 – Савонар
 - 24 – Сарро



○ Среднеустойчивые ○ Устойчивые

Рис. 7. Группы озер по устойчивости к внешнему воздействию, выделенные по динамическим критериям

Fig. 7. Groups of lakes for resistance to external influences, distinguished by dynamic criteria

На основании произведенных расчетов и сопоставления морфометрических, гидравлических, гидрохимических, термодинамических показателей, а также периода водообмена произведена группировка исследованных озер по степени устойчивости к внешнему воздействию. При этом определяющими статическими параметрами стали площадь и объем водоема, а также величина минерализации как результат воздействия природных и антропогенных факторов (рис. 6).

Оценка роли динамических критериев в формировании устойчивости исследованных озер к внешнему воздействию проводилась на основе сопоставления гидравлической нагрузки, допустимой фосфорной нагрузки и термической устойчивости (рис. 7). Использование комплекса этих показателей позволяет выявить особенности внешнего и внутреннего водообмена в отдельном водоеме.

Всего было выделено три группы озер: устойчивые, среднеустойчивые и неустойчивые. К группе устойчивых можно отнести слабопроточные неглубокие водоемы с объемом более 50 млн м³ и интенсивным внутренним водообменом (Дривяты, Лукомское, Освейское, Нещердо, Обстерно). Если рассматривать динамические критерии оценки устойчивости, к этой же группе будет отнесен ряд нестратифицированных озер с меньшей площадью и достаточно интенсивным водообменом (Езерище, Россоно, Богинское, Гомель).

Согласно группировке по статическим критериям к группе среднеустойчивых принадлежат озера с меньшей, чем у первой группы, площадью, но большей средней глубиной (Богинское, Езерище, Лосвида, Мядель). Их объем меняется от 64,4 до 131,5 млн м³. В них ярче выражена прямая температурная стратификация в летний период, а потому внутренний водообмен не затрагивает всю водную толщу. При наличии точечного источника загрязнения водоемы этой группы быстро переходят на более высокий трофический уровень. При учете динамических критериев оз. Дривяты является среднеустойчивым, так как термическая стратификация в нем выражена ярче, чем в близком к нему по морфометрическим показателям оз. Лукомском.

Неустойчивыми к внешнему воздействию благодаря наличию четко выраженных слоев в водной массе являются небольшие по площади стратифицированные озера (Долгое, Сарро, Волосо Южный). В то же время из-за большого периода водообмена и незначительного поступления веществ с водосбора, при отсутствии антропогенного воздействия они способны длительное время сохранять свои свойства. Неглубокие нестратифицированные озера (Россоно, Добеевское) также являются неустойчивыми, так как сток с водосборов в них интенсивнее, чем в глубокие водоемы. Второе по глубине оз. Ричи по динамическим критериям относится к группе неустойчивых, но его устойчивость, обусловленная морфометрией, выше, чем у других водоемов с глубиной более 40 м.

Заключение

В ходе исследования установлены достаточно сильные прямые зависимости термодинамических показателей от морфометрических характеристик, температуры воздуха и периода водообмена. Допустимые нормы воздействия, напротив, имеют обратную зависимость от этих показателей, что свидетельствует о снижении устойчивости озер к внешней нагрузке при ослаблении взаимодействия между слоями внутри водной массы.

В многолетнем разрезе в водоемах с длительными рядами наблюдений (Нещердо, Дривяты, Лукомское) отмечается рост термической устойчивости и числа Веддерберна, что свидетельствует об усилении стратификации и снижении допустимой нагрузки на водные экосистемы. Несмотря на это, в настоящее время вертикальная структура нестратифицированных озер, а соответственно и их устойчивость к внешнему воздействию не претерпевает значительных изменений. Если данная тенденция сохранится, возможно ослабление способности озер к самовосстановлению. Предположительно, в стратифицированных озерах вертикальные температурные и плотностные градиенты также возрастают. Для их экосистем эта тенденция более опасна, так как с уменьшением гидродинамического объема уменьшается и объем окислительной среды, в котором происходит нейтрализация загрязняющих веществ.

Выделение трех групп водоемов по устойчивости к внешнему воздействию позволит более эффективно производить управление их экосистемами путем определения допустимой величины воздействия с учетом особенностей сочетания всех местных факторов и условий.

Полученные результаты могут быть применены в целях гидрологического прогнозирования и моделирования процессов, происходящих в водоемах как под влиянием природных процессов, так и при антропогенной нагрузке, а также при определении способов наиболее рационального использования водных и минеральных ресурсов, для рекреационных целей и в рыбохозяйственных организациях.

Библиографические ссылки

1. Adrian R, O'Reilly CM, Zagarese H, Baines SB, Hessen DO, Keller W, et al. Lakes as sentinels of climate change. *Limnology and Oceanography*. 2009;54(6–2):2283–2297. DOI: 10.4319/lo.2009.54.6_part_2.2283.
2. Ambrosetti W, Barbanti L. Physical limnology of Italian lakes. 1. Relationship between morphometry and heat content. *Journal of Limnology*. 2002;61(2):147–157. DOI: 10.4081/jlimnol.2002.147.
3. Ambrosetti W, Barbanti L. Physical limnology of Italian lakes. 2. Relationship between morphometric parameters, stability and Birgean work. *Journal of Limnology*. 2002;61(2):159–167. DOI: 10.4081/jlimnol.2002.159.
4. Fischer H, List J, Koh C, Imberger J, Brooks N. *Mixing in Inland and Coastal Waters*. New York: Academic Press; 1979. 487 p.
5. Gorham E. Morphometric control of annual heat budgets in temperate lakes. *Limnology and Oceanography*. 1964;9(4):525–529. DOI: 10.4319/lo.1964.9.4.0525.
6. Idso SB. On the concept of lake stability. *Limnology and Oceanography*. 1973;18(4):681–683. DOI: 10.4319/lo.1973.18.4.0681.
7. Imboden DM, Wüest A. Mixing mechanisms in lakes. In: *Physics and Chemistry of Lakes*. Berlin: Springer; 1995. p. 83–138.
8. Власов БП, Якушко ОФ, Гигевич ГС, Рачевский АН, Логинова ЕВ. *Озера Беларуси*. Минск: Минсктиппроект; 2004. 284 с.
9. Государственный водный кадастр. *Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши*. Минск: ЦНИИ-КИВР; 1965–2016 [до 1977 г. – Гидрологический ежегодник].
10. Birge EA. The work of the wind in warming a lake. *Transactions of the Wisconsin Academy of Sciences, Arts and Letters*. 1916; 18(2):341–391.
11. Read JS, Muraoka K. Lake Analyzer. Ver. 3.3. User Manual. *The Global Lake Ecological Observatory Network*. 2011. 21 p.
12. Lake analyzer web [Internet]. [Cited 2017 October 25]. Available from: <http://lakeanalyzer.gleon.org>.
13. Суховило НЮ. Роль метеорологических факторов в перемешивании водоемов Беларуси. В: *Вопросы наук о Земле в концепции устойчивого развития Беларуси. Часть 2*. Павловский АИ, редактор. Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины; 2017. с. 198–203.
14. Суховило НЮ. Тепловой режим озер Белорусского Поозерья как фактор их экологического состояния. В: *Новые идеи в науках о Земле. XIII Международная научно-практическая конференция; 5–7 апреля 2017 г.; Москва, Россия. Том 2*. Москва: МГРИ – РГГРУ; 2017. с. 99–100.
15. Суховило НЮ. Формирование термической структуры водоемов Беларуси. В: *Теория и практика современных географических исследований. Материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 220-летию выдающегося русского мореплавателя, географа, вице-председателя Русского географического общества Ф. П. Литке в рамках XIII Большого географического фестиваля; 7–9 апреля 2017 г.; Санкт-Петербург, Россия*. Санкт-Петербург: Свое издательство; 2017. с. 233–239.
16. Власов БП, Самойленко ВМ, Грищенко НД. Антропогенные изменения экосистемы озера Болысо и пути ее восстановления. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология*. 2017;1:14–25.

References

1. Adrian R, O'Reilly CM, Zagarese H, Baines SB, Hessen DO, Keller W, et al. Lakes as sentinels of climate change. *Limnology and Oceanography*. 2009;54(6–2):2283–2297. DOI: 10.4319/lo.2009.54.6_part_2.2283.
2. Ambrosetti W, Barbanti L. Physical limnology of Italian lakes. 1. Relationship between morphometry and heat content. *Journal of Limnology*. 2002;61(2):147–157. DOI: 10.4081/jlimnol.2002.147.
3. Ambrosetti W, Barbanti L. Physical limnology of Italian lakes. 2. Relationship between morphometric parameters, stability and Birgean work. *Journal of Limnology*. 2002;61(2):159–167. DOI: 10.4081/jlimnol.2002.159.
4. Fischer H, List J, Koh C, Imberger J, Brooks N. *Mixing in Inland and Coastal Waters*. New York: Academic Press; 1979. 487 p.
5. Gorham E. Morphometric control of annual heat budgets in temperate lakes. *Limnology and Oceanography*. 1964;9(4):525–529. DOI: 10.4319/lo.1964.9.4.0525.
6. Idso SB. On the concept of lake stability. *Limnology and Oceanography*. 1973;18(4):681–683. DOI: 10.4319/lo.1973.18.4.0681.
7. Imboden DM, Wüest A. Mixing mechanisms in lakes. In: *Physics and Chemistry of Lakes*. Berlin: Springer; 1995. p. 83–138.
8. Vlasov BP, Yakushko OF, Gigevich GS, Rachevskii AN, Loginova EV. *Ozera Belarusi* [Lakes of Belarus]. Minsk: Minsktip-proekt; 2004. 284 p. Russian.
9. *Gosudarstvennyi vodnyi kadastr. Ezhegodnye dannye o rezhime i resursakh poverkhnostnykh vod sushi* [State water cadaster. Annual data on the regime and resources of surface waters]. Minsk: TsNIIKIVR; 1965–2016 [by 1977 – Gidrologicheskii ezhegodnik [Hydrological yearbook]]. Russian.
10. Birge EA. The work of the wind in warming a lake. *Transactions of the Wisconsin Academy of Sciences, Arts and Letters*. 1916; 18(2):341–391.
11. Read JS, Muraoka K. Lake Analyzer. Ver. 3.3. User Manual. *The Global Lake Ecological Observatory Network*. 2011. 21 p.
12. Lake analyzer web [Internet]. [Cited 2017 October 25]. Available from: <http://lakeanalyzer.gleon.org>.
13. Sukhovilo NY. [The role of meteorological factors in mixing of water bodies in Belarus]. In: *Voprosy nauki o Zemle v kontseptsii ustoychivogo razvitiya Belarusi. Chast' 2* [Questions of earth sciences in the concept of sustainable development of Belarus. Part 2]. Pavlovsky AI, editor. Gomel: Francisk Skorina Gomel State University; 2017. p. 198–203. Russian.
14. Sukhovilo NY. [Thermal regime of lakes of the Belarusian Poozerie as a factor of their ecological state]. In: *Novye idei v nauках o Zemle. XIII Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya; 5–7 aprelya 2017 g.; Moskva, Rossiya. Tom 2* [New ideas in the earth sciences. XIII International scientific and practical conference; 2017 April 5–7; Moscow, Russia. Volume 2]. Moscow: MGRI – RGGRU; 2017. p. 99–100. Russian.

15. Suhovilo NY. [Formation of the thermal structure of water reservoirs of Belarus]. In: *Teoriya i praktika sovremennykh geograficheskikh issledovaniy. Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh, posvyashchennoi 220-letiyu vydavushchegosya russkogo moreplavatelya, geografa, vitse-predsedatelya Russkogo geograficheskogo obshchestva F. P. Litke v ramkakh XIII Bol'shogo geograficheskogo festivalya; 7–9 aprelya 2017 g.*; Sankt-Peterburg, Rossiya [Theory and practice of modern geographical research. Proceedings of the International scientific and practical conference of students, graduate students and young scientists, dedicated to the 220th anniversary of the outstanding Russian navigator, geographer, vice-chairman of the Russian Geographical Society F. P. Litke as part of the XIII Grand Geographic Festival; 2017 April 7–9; Saint Petersburg, Russia]. Saint Petersburg: Svoe izdatel'stvo; 2017. p. 233–239. Russian.

16. Vlasov BP, Samoilenka VM, Hryshchankava ND. Anthropogenic changes of the Boloysko Lake ecosystem and ways of its restoration. *Journal of the Belarusian State University. Geography. Geology.* 2017;1:14–25. Russian.

Статья поступила в редакцию 29.03.2018.
Received by editorial board 29.03.2018.

РЕГИОНАЛЬНОЕ ВЛИЯНИЕ СТРАТОСФЕРНЫХ
ПРОЦЕССОВ В ФОРМИРОВАНИИ ПОГОДЫ И КЛИМАТА
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ ПО ДАННЫМ МОНИТОРИНГАТ. В. ШЛЕНДЕР¹⁾, В. В. ЖУЧКЕВИЧ¹⁾, А. Н. КРАСОВСКИЙ^{1), 2)}¹⁾Национальный научно-исследовательский центр мониторинга озоносферы

Белорусского государственного университета, ул. Курчатова, 7, 220045, г. Минск, Беларусь

²⁾Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь

Рассматриваются последние тенденции изменения стратосферных процессов, в частности дифференциация общего содержания озона, над территорией Республики Беларусь и их связь с приземной циркуляцией атмосферы. В результате статистического анализа подтверждена обнаруженная ранее отрицательная корреляционная связь общего содержания озона и приземной температуры, которая позволяет корректировать среднесрочный прогноз погоды. Установлен факт нарушения данной корреляции во время весенне-летних озоновых аномалий. Теоретически обоснована и практически проиллюстрирована гипотеза воздействия озонового механизма на тропосферные циркуляционные процессы (случай июльского урагана 2016 г. над территорией Беларуси). Представленный пример урагана показал частичное влияние стратосферы на тропосферу, продемонстрировав влияние струйных течений и больших градиентов в поле общего содержания озона на высоту тропопаузы. Сделан вывод о том, что летние резкие перепады общего содержания озона могут приводить к сильным перепадам уровня тропопаузы, появлению мощных струйных течений в зонах разрыва и, как следствие, ухудшению погодных условий в нижней тропосфере.

Ключевые слова: атмосферная циркуляция; стратосферный озон; прогноз погоды; высота тропопаузы; струйные течения; стратосферно-тропосферные процессы; озоновый механизм.

Образец цитирования:

Шлендер ТВ, Жучкевич ВВ, Красовский АН. Региональное влияние стратосферных процессов в формировании погоды и климата Республики Беларусь по данным мониторинга. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология.* 2018;2:25–38.

For citation:

Shlender TV, Zhuchkevich VV, Krasouski AN. Regional influence of stratospheric processes in the formation of weather and climate of the Republic of Belarus employing monitoring data. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology.* 2018;2:25–38. Russian.

Авторы:

Тимофей Викторович Шлендер – младший научный сотрудник лаборатории биофотоники.

Вероника Вадимовна Жучкевич – старший научный сотрудник лаборатории биофотоники.

Александр Николаевич Красовский – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры общего землеведения и гидрометеорологии географического факультета²⁾, ведущий научный сотрудник лаборатории оптических средств измерений¹⁾.

Authors:

Timofey V. Shlender, junior researcher at the laboratory of biophotonics.

timajaya@mail.ru

Veronika V. Zhuchkevich, senior researcher at the laboratory of biophotonics.

ronya@tut.by

Aliaksandr N. Krasouski, PhD (physics and mathematics); associate professor at the department of earth science and hydro-meteorology, faculty of geography^b, leading researcher at the laboratory of optical measuring instruments^a.

krasovsky@bsu.by

REGIONAL INFLUENCE OF STRATOSPHERIC PROCESSES IN THE FORMATION OF WEATHER AND CLIMATE OF THE REPUBLIC OF BELARUS EMPLOYING MONITORING DATA

T. V. SHLENDER^a, V. V. ZHUCHKEVICH^a, A. N. KRASOUSKI^{a, b}

^aNational Ozone Monitoring Research and Education Center, Belarusian State University,
7 Kurčatava Street, Minsk 220045, Belarus

^bBelarusian State University, 4 Niezaliežnasci Avenue, Minsk 220030, Belarus

Corresponding author: T. V. Shlender (timajaya@mail.ru)

The article aims at examining the latest trends in stratospheric processes, in particular, the differentiation of total ozone over the territory of the Republic of Belarus and their relationship with surface atmospheric circulation. As a result of the statistical analysis, the negative correlation link of total ozone and surface temperature, enabling to correct a medium-term weather forecast, is confirmed. Furthermore, the fact of violation of the correlation between total ozone and the surface temperature during the spring-summer ozone anomalies is revealed. The hypothesis of the influence of ozone mechanism on tropospheric circulation processes based on the specific case of the July hurricane of 2016 occurred over the territory of Belarus, is theoretically substantiated and practically illustrated. The hurricane has exemplified the partial effect of the stratosphere on the troposphere, demonstrating the influence of jet streams and large gradients in the field of total ozone on a height of the tropopause. Thus, one has been positive to conclude that summer sharp changes in total ozone can lead to strong tropopause variations along with the appearance of powerful jet streams in the gap zones resulted in deterioration of the weather conditions in the lower troposphere.

Key words: atmospheric circulation; stratospheric ozone; weather forecast; tropopause height; jet streams; stratospheric-tropospheric processes; ozone mechanism.

Введение

Изменение климата – одна из основных тем в специализированной литературе и средствах массовой информации. Причиной этого являются как глобальный характер проблемы, так и сохраняющиеся неопределенности предсказаний в среднесрочной и долгосрочной перспективе. Прогнозирование возможных изменений климата требует знания вариаций внешних и антропогенных климатообразующих факторов, понимания механизмов, определяющих ответ климатической системы Земли на эти воздействия.

До недавних пор обсуждение изменений климата и их прогнозирование ограничивались нижним слоем атмосферы – тропосферой. Исследования последних десятилетий показали, что слои верхней атмосферы (стратосфера, мезосфера) являются существенными звеньями общей циркуляции атмосферы, изменения термодинамических параметров которых оказывают воздействие на характер тропосферной циркуляции. Найдены многочисленные свидетельства того, что возмущения в верхней атмосфере могут распространяться вниз и состояние средней и верхней атмосферы имеет влияние на тропосферу [1; 2]. Механизмы этих связей проработаны не полностью, недостаточно количественных характеристик, однако взаимосвязь средней и нижней атмосферы совершенно очевидна.

Один из возможных механизмов передачи изменений, происходящих в верхней атмосфере (стратосфере, мезосфере), на приземный слой атмосферы – озоновый механизм [3]. Атмосферный озон, концентрация которого на различных высотах измеряется миллионными и миллиардными долями, является одним из важнейших атмосферных газов в силу своих оптических свойств. В стратосфере на высотах от 10 до 50 км находится около 90 % озона (~300–10 мбар). Это основной газ, участвующий в радиационном нагреве стратосферы и определяющий ее термическую структуру (увеличение температуры в диапазоне высот 9–50 км) и, следовательно, циркуляционный режим. Ультрафиолетовое излучение (УФ-излучение), которое составляет 3 % всего излучения, падающего на Землю, поглощается в основном стратосферным озоном. Такое циклическое преобразование озона формирует выделение тепловой энергии, которая идет на повышение температуры стратосферы.

Общее содержание озона (СО) в верхней стратосфере определяется совокупностью фотохимических и химических процессов, ниже – динамическими процессами, протекающими в верхней тропосфере и стратосфере. А. Х. Хргиан еще в начале 1970-х гг. обращал внимание на то, что «вызываемое озоном нагревание очень значительно и в большой степени определяет температурное поле стратосферы... Возможно, озон является главным фактором циркуляции атмосферы...» [4].

Содержание озона в атмосфере над каким-либо регионом характеризуется его количеством в вертикальном столбе с основанием 1 см^2 . В качестве единицы ОСО в атмосфере принята единица Добсона (eД, или DU). Одна единица Добсона равна слою озона 10 мкм при стандартных давлении и температуре. Это соответствует $2,69 \cdot 10^{16}$ молекул озона на 1 см^2 поверхности Земли.

В настоящее время проблема озонового слоя Земли является одной из наиболее значимых глобальных проблем сохранения природной среды. Существенные изменения содержания озона в атмосфере Антарктики (Антарктическая озоновая дыра), происходящие весной в течение многих лет, привели к заметным нарушениям климата на континенте, течений в океане, повлияли на количество осадков в Австралии. Влияние озона на климат – это сложный механизм, обусловленный различными процессами с обратными связями, определяющими теплообмен в атмосфере и зависящими от внешних и внутренних геофизических факторов. В настоящее время Всемирная метеорологическая организация рассматривает ОСО как один из важнейших климатических факторов [5; 6].

Более 40 лет назад уже высказывались идеи о роли вихрей верхнего уровня в циклогенезе нижней тропосферы [7]. Достаточно много исследований посвящено связи ОСО с высотой уровня тропопаузы [8; 9]. Максимум ОСО прогнозирует местоположение основной аномалии потенциальной завихренности (PVU) до зарождения циклона и во время его развития. Данные ОСО могут быть полезным индикатором структуры мезомасштабной (горизонтальный масштаб в приблизительном интервале $10\text{--}1000 \text{ км}$) тропопаузы, особенно в регионах, слабо охваченных тропосферными термодинамическими процессами [10]. Дж. Р. Холтон [11] определял уровень тропопаузы как изэнтропическую поверхность, или поверхность потенциальной завихренности. Р. Д. Гадсон представил четкие доказательства того, что общее поле озона в Северном полушарии может быть разделено на отдельные зоны, границы которых связаны с фронтами субтропической и полярной верхней тропосферы, а зимой – с положением стратосферного полярного вихря [12].

Связь величины ОСО с ложбинами и гребнями барических образований отмечалась с первых лет исследований. В Главной геофизической обсерватории (ГГО) имени А. И. Воейкова выполнялось сопоставление синоптических карт АТ300, АТ200 с данными ОСО [13]. Наибольшие значения ОСО характерны для арктических воздушных масс, наименьшие – для тропических, промежуточные – для умеренных. Границы областей с высокими и низкими уровнями ОСО всегда совпадают с полярными и субтропическими высотными фронтальными зонами, разделяющими указанные воздушные массы.

Большая часть исследований связи ОСО с погодой и климатом проведена с использованием данных, осредненных за большой период времени и осредненных зонально. Существующие численные прогностические модели учитывают температуру стратосферы, но не рассматривают влияние перемещающихся тропосферных воздушных масс на озоновый слой, который определяет изменения температурного режима нижней стратосферы.

В Национальном научно-исследовательском центре мониторинга озоносферы Белорусского государственного университета (НИИЦ МО БГУ) и ГГО имени А. И. Воейкова на протяжении ряда лет исследуются стратосферно-тропосферные взаимодействия. При этом проводится тщательный анализ одной из сторон этого взаимодействия – влияния распределения стратосферного озона на характеристики тропосферной циркуляции и связанные с ними погодные и климатические условия. Особое внимание уделено стационарным атмосферным фронтам, струйным течениям, положению уровня тропопаузы и внутритропической зоны конвергенции.

Изучение многолетних рядов наблюдений за ОСО показало, что летом изменения ОСО происходят синхронно с изменением температуры у земной поверхности, а зимой эта связь нарушается и снова восстанавливается весной. На основании полученных закономерностей в БГУ разработана методика краткосрочного (до 3 дней) прогноза уровней и доз облученности биологически активным УФ-излучением (УФ-индекс), базирующаяся на прогнозе ОСО и облачности в вегетационный период (конец марта – середина сентября) [14].

Из анализа данных орбитальных наблюдений за перемещением озоновых аномалий совместно с данными численного моделирования в системах WRF (Weather Research Forecast) и IFS (Integrated Forecast System) следует, что существует корреляция специфических изменений погодных условий с маршрутом движения озоновых аномалий [15; 16].

Полученные результаты позволили сформулировать некоторые предположения о причинно-следственных связях между динамикой стратосферного озона и тропосферной циркуляцией, а также о конкретных деталях механизма реализации этих связей [3]. Поле ОСО формируется за счет конкуренции двух механизмов, один из которых, условно названный радиационным, отвечает за образование этого вещества в верхней стратосфере и понижает высоту тропопаузы, другой, традиционный, условно названный термодинамическим, действует в тропосфере, создает условия для сухой и влажной неустойчивости и за счет этого поднимает высоту тропопаузы, в результате чего ОСО уменьшается. Взаимное влияние данных механизмов зависит от региона и времени года.

Концепция взаимодействия ОСО и циркуляции тропосферы, основанная на сопоставлении состояния глобальной циркуляции в тропосфере и состояния полей ОСО в стратосфере, включает в себя следующие ключевые моменты механизма, влияющего непосредственно на погоду и климат в заданном регионе:

- совокупность стратосферных процессов определяет пространственное распределение ОСО в стратосфере, которое, в свою очередь, формирует высоту тропопаузы над ячейками глобальной циркуляции;
- изменение положения тропопаузы изменяет скорости циркуляционных процессов в тропосфере и таким образом влияет на положение стационарных фронтов;
- стационарные фронты, которые являются границами между глобальными ячейками циркуляции, определяют траектории движения барических образований в тропосфере.

Рельеф тропопаузы напрямую отражает общую картину циркуляции атмосферы и распределение полей ОСО. Где последнего больше, там тропопауза ниже, где меньше – выше. В итоге уровень тропопаузы определяется конкуренцией как нижележащих, так и вышележащих атмосферных процессов.

Таким образом, влияние озона на погоду и климат в заданном регионе осуществляется не через некоторое прямое воздействие на атмосферные потоки, а в первую очередь путем изменения положения стационарных фронтов (рис. 1) и, соответственно, характеристик самих глобальных циркуляционных ячеек (например, смещение уровня тропопаузы воздействует на всю ячейку циркуляции).

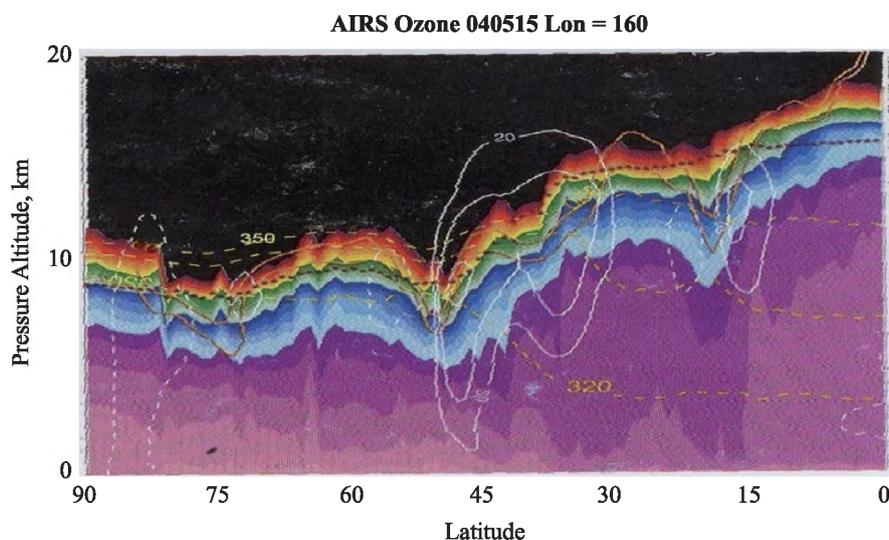


Рис. 1. Вертикальный разрез ОСО (eД) по 160-й долготе (желтый пунктир), области струйных течений, стационарных фронтов, скоростей ветра (м/с) (сплошные белые линии) и высота тропопаузы (темный пунктир).

Источник: [17]

Fig. 1. Vertical profile of TO (DU) at the longitude of 160° (indicated in units D and marked by a yellow dotted line), areas of jet streams, stationary fronts, wind speeds (marked by solid white lines and indicated in m/s) and height of the tropopause (marked by a dark dotted line).

Source: [17]

Как указывалось, степень влияния тропосферных и стратосферных механизмов зависит от региона и времени года. В тропической области в течение всего года преобладают термодинамические процессы (конвекция) в неустойчивой тропосфере, а в полярных широтах – стратосферный озоновый механизм. В зоне средних широт, в которой располагается Беларусь, в летний период существенное влияние оказывают тропосферные процессы, а при переходе в зимний период начинает преобладать и играть существенную роль озоновый механизм [3].

Материалы и методы

Статистический анализ связей стратосферных процессов и приземной циркуляции атмосферы проводился с использованием следующих данных мониторинга стратосферного озона и приземной температуры воздуха:

- спутниковые данные (OMI/OMPS), представленные средненежными значениями ОСО в узлах геодезической сетки $1,10 \times 2,50$ за периоды 1979–1992 и 1997–2016 гг. и картами полей ОСО [18; 19].

На основании этих материалов получены временные ряды значений ОСО для нескольких среднеширотных озонметрических станций: городов Бельска (Польша, 51,84° с. ш., 20,79° в. д.), Потсдама (Германия, 52,22° с. ш., 13,05° в. д.) и Минска (53,83° с. ш., 27,47° в. д.). Спутниковые данные использовались ввиду того, что величины наземных измерений (в силу методики измерений по прямому солнцу) носят дискретный характер и вследствие этого плохо пригодны для статистического анализа. Проведенный нами сравнительный анализ наземных и спутниковых данных показал, что, несмотря на некоторые различия в значениях ОСО, их величины, временной ход (межсуточные изменения и тенденции) характеризуются хорошим совпадением. Многолетние средние (ежедневные и среднемесячные) значения за период 1997–2016 гг., полученные для рассматриваемых регионов, определялись как климатическая норма;

- карты распределения полей ОСО и полей отклонений от многолетних средних значений из [19];
- метеорологические данные из [17] (1979–1992) и [20] (1997–2016). Климатическая норма для приземной температуры воздуха г. Минска бралась за период 1961–1990 гг.

При анализе связи ОСО с циркуляционными процессами использована классификация циркуляционных механизмов по Б. Л. Дзердзеевскому [21]. Связь полей ОСО с тропосферными температурами выявлялась с помощью корреляционного анализа для временных рядов годовой длины (365 дней), а также для отдельных сезонов.

Использовались численная модель GFS (Global Forecast System) [22] и численная мезомасштабная модель *WRF version 3.9*. Для визуализации экспериментальных данных и построения карт ОСО над Беларусью и приграничной территорией методом интерполяции значений в указанных точках применялась программа *ArcGis*. Данные спутникового мониторинга ОСО брались по координатам следующих городов: Минска, Могилёва, Витебска, Гродно, Бреста, Гомеля, Полоцка, Пинска, Киева, Львова, Варшавы, Люблина, Даугавпилса, Вильнюса, Пскова, Рославля, Смоленска, Брянска.

Исходные материалы для численного математического расчета моделью *WRF version 3.9* синоптической ситуации 13 июля 2016 г. над территорией Беларуси следующие:

- расчетная сетка с шагом 15 и 3 км;
- 35 уровней по вертикали, до 50 гПа;
- картографическая проекция Ламберта;
- параметризация микрофизики *WRF Single moment 6 class Scheme*;
- параметризация облачности *Grell 3D Ensemble Scheme*.

Результаты и их обсуждение

Статистическая оценка стратосферно-тропосферных связей для региона Республики Беларусь. Совместный анализ ежедневных и среднемесячных значений ОСО и температуры изобарической поверхности 1000 мбар (T_{1000}) за периоды 1979–1992 и 1997–2016 гг. показал, что в летний период изменения ОСО над рассмотренными регионами происходят синхронно с изменением T_{1000} (рис. 2). Зимой эта связь нарушается и снова восстанавливается весной. Для всего исследуемого периода получена статистически значимая антикорреляция между ежедневными значениями температур воздуха T_{1000} и ОСО. Величины коэффициентов корреляции испытывают межгодовую изменчивость и составляют от $-0,6$ до $-0,8$.

Для уточнения корреляционной зависимости между ОСО и приземной температурой воздуха были использованы значения ОСО (спутник ОМІ) для г. Минска и данные наблюдений Белгидромета указанной температуры за период 1997–2016 гг. Полученные ежедневные значения рассчитывались в среднемесячные и среднегодовые. Для корреляционной связи рассматривались отклонения среднемесячных величин ОСО и T_{1000} от их климатической нормы. Результаты приведены в табл. 1.

Средний годовой корреляционный коэффициент составил $-0,32$. В отдельные годы он достигает $-0,7$. Наибольшие сезонные многолетние коэффициенты наблюдаются осенью ($-0,37$) и летом ($-0,44$). В некоторые сезоны коэффициент может достигать $-1,0$ или, наоборот, положительного значения: от $0,4$ до $0,7$.

Исследование динамики ОСО над территорией республики выявило ее связь с глобальными циркуляционными процессами в тропосфере. Так, годовой максимум среднемесячных значений ОСО в период 1997–1992 гг. наблюдался в апреле, а с середины 1990-х гг. до 2009 г. он переместился на более ранние сроки и отмечался в марте.

Для определения связи ОСО с колебаниями тропосферных циркуляционных процессов была использована типизация макромасштабных атмосферных циркуляционных процессов по Б. Л. Дзердзеевскому (так называемые элементарные циркуляционные механизмы – ЭЦМ) и соответствующий календарь смены ЭЦМ над европейским сектором Северного полушария. Рассчитана частота повторяемости основных групп циркуляционных процессов для весенних месяцев. Выяснилось, что в период 1979–1997 гг. в апреле, когда наблюдается максимум среднемесячных значений ОСО, количество дней с меридиональной северной циркуляцией испытывает значительный отрицательный тренд. А в период

1997–2009 гг. в марте, когда максимум среднемесячных значений ОСО сместился на более ранний месяц, количество дней с меридиональной северной циркуляцией растёт (рис. 3). Сопоставление количества дней с определенным типом циркуляции со среднемесячными величинами ОСО за те же периоды показывает, что смещение годового озонного максимума на более ранние сроки совпадает с колебаниями макромасштабных циркуляционных процессов в Северном полушарии.

При изучении долговременных тенденций озоносферы над территорией республики установлено замедление отрицательного тренда содержания озона, что соответствует оценкам глобальных тенденций в озоносфере Земли. Анализ среднемесячных значений ОСО для периода сильного отрицательного тренда ОСО (1979–2000) и замедления этого тренда (2000–2014) показал следующее. В первый период отрицательный тренд в той или иной мере был выражен во все сезоны. Начиная с 2000 г. величина отрицательного тренда для всех месяцев, за исключением июня и сентября, значительно снизилась, а в январе и феврале отмечается небольшой положительный тренд среднемесячных значений ОСО.

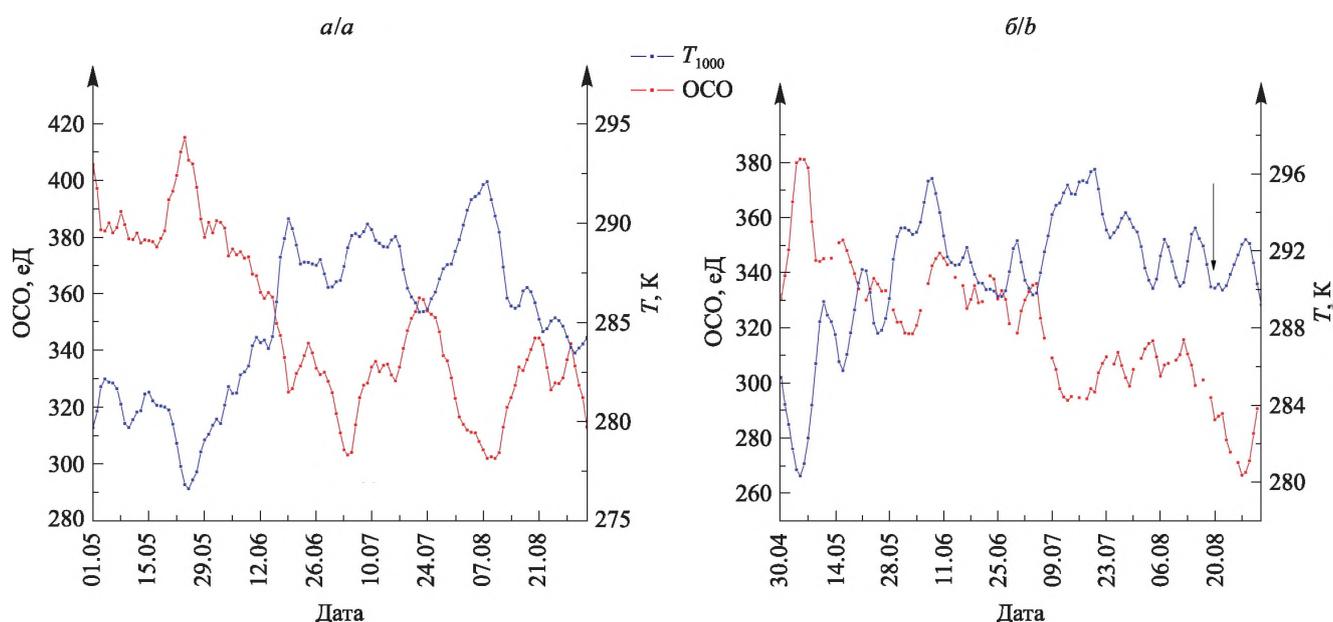


Рис. 2. Сглаженные 5-дневным скользящим средним ежедневные значения ОСО и температуры воздуха изобарической поверхности 1000 мбар: а – 1991 г.; б – 2011 г.

Fig. 2. Daily values of TO and surface air temperature of 1000 mbar smoothed by a 5-day moving average: a – 1991; b – 2011

Коэффициенты корреляции для вариаций ОСО

Correlation coefficients for variations

Коэффициент	Год									
	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Годовой	0,35	-0,56	-0,46	-0,38	-0,76	-0,40	-0,24	-0,20	-0,20	-0,37
Весна (МAM)	0,92	-1,00	-0,80	-0,37	-0,55	-0,66	-0,52	-0,93	-0,83	0,42
Лето (ИИА)	-0,93	-0,98	-1,00	-0,54	-0,94	-0,88	-0,98	-0,92	-0,29	-0,49
Зима (ЯФМ)	0,36	-0,82	-0,95	0,79	-0,86	0,48	-0,24	0,86	0,13	0,59
Осень (СОНД)	0,36	-0,99	-0,31	-0,21	-0,87	-0,02	-0,78	0,62	-0,93	-0,93

Примечание. Красным фоном помечены наиболее высокие коэффициенты антикорреляции, желтым – средние, март; СОНД – сентябрь, октябрь, ноябрь, декабрь.

Таким образом, проведенные исследования подтвердили наличие связи между динамикой полей ОСО (или динамикой стратосферного озона) и циркуляционными процессами тропосферы в нашем регионе. Высокий коэффициент корреляции между ОСО и приземными температурами воздуха свидетельствует о том, что в теплое время года на высоту тропопаузы большое влияние оказывают тропосферные конвективные процессы, в холодное время года, очевидно, высота тропопаузы формируется за счет стратосферных процессов, изменений поля ОСО.

Гипотеза влияния стратосферного озона (озонового механизма) на тропосферные процессы была применена к конкретной синоптической ситуации. Последняя отражает нарушение статистической связи ОСО и приземной температуры воздуха, которое наиболее часто проявляется, как уже было сказано выше, летом и весной. В то же время летом поле ОСО подвержено термодинамической деформации, но все же имеются ситуации, когда оно влияет на циркуляцию в тропосфере. Чаще всего это связано с прохождением озоновых аномалий.

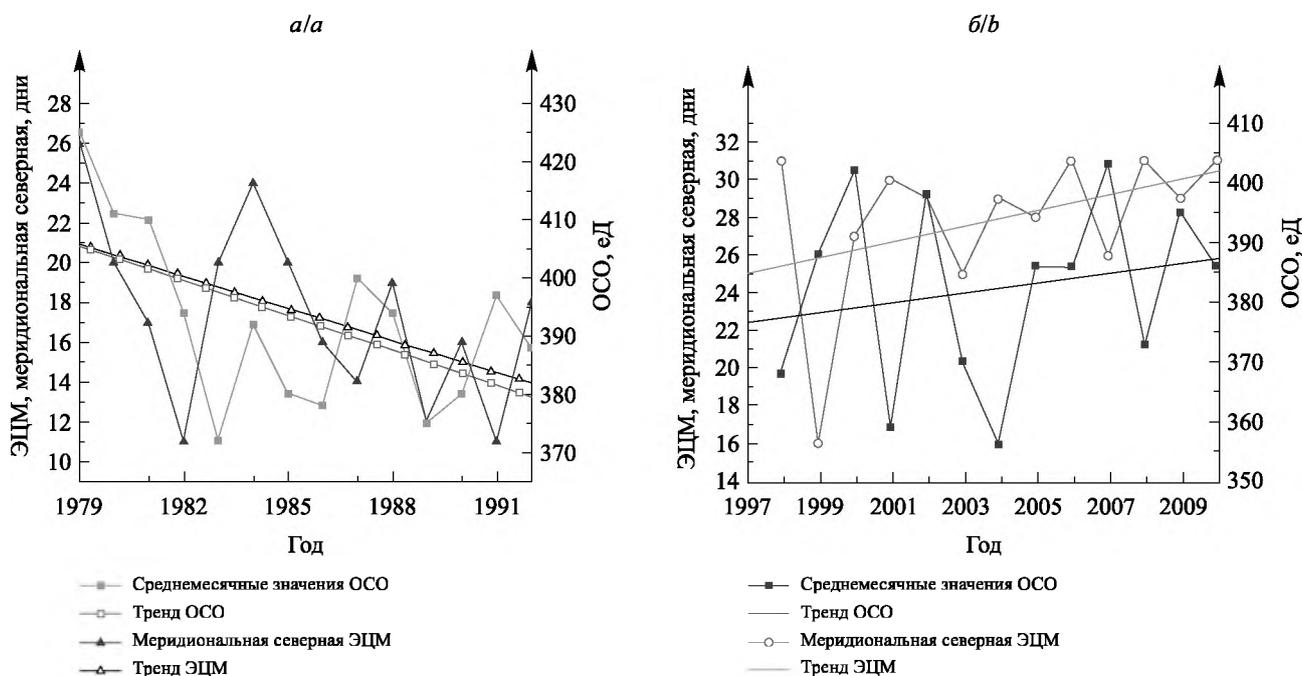


Рис. 3. Тренды среднемесячных значений ОСО и количества дней с меридиональной северной циркуляцией атмосферы над европейским сектором Северного полушария в период 1979–1993 гг. для апреля (а) и в период 1997–2009 гг. для марта (б)

Fig. 3. Trends in average monthly (April) values of TO and number of days with the northern meridional circulation over Europe sector of Northern hemisphere in the period of 1979–1993, April (a) and in the period of 1997–2009, March (b)

Таблица 1

и приземной температуры воздуха (г. Минск)

Table 1

of TO and surface air temperature (Minsk)

Год										
2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Среднее
-0,20	-0,36	-0,49	-0,59	-0,31	0,07	-0,66	-0,62	-0,18	-0,55	-0,32
-0,76	-0,28	-0,78	-0,77	-0,71	0,28	-1,00	-0,98	-0,97	-0,81	-0,36
-0,98	-0,92	0,26	0,41	0,30	-0,17	-1,00	-0,77	-0,88	-1,00	-0,44
-0,28	-0,01	-0,24	0,62	-0,01	-0,55	-0,78	-0,72	0,74	-0,82	-0,31
-0,15	-0,56	-0,84	-0,86	0,37	0,78	-0,39	0,66	-0,66	0,21	-0,37

белым – низкие и зеленым – положительные. МАМ – март, апрель, май; ИИА – июнь, июль, август; ЯФМ – январь, февраль,

Анализ верхней атмосферы и численные расчеты тропосферы 10–13 июля 2016 г. В указанный период над территорией Беларуси прошел мощнейший за всю историю страны ураган с порывами ветра до 21 м/с, который, по сводкам Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, повредил 510 населенных пунктов. Наша республика находилась в промежуточной зоне между глубоким циклоном, центр которого располагался над Кольским полуостровом, и антициклоном над Черным морем. Также по картам (500 гПа) видно, что через Беларусь проходил максимум волны Россби. Таким образом, данная синоптическая ситуация привела к стыку холодных и теплых масс, что создало неустойчивость в атмосфере и обусловило образование мини-циклона над территорией Карпатских гор.

Для территории Беларуси расчетные карты модели *WRF* были визуализированы на 13 июля 2016 г. с разным шагом разрешения – 3 и 15 км – и временным интервалом 1 ч для более подробного, детального и точного анализа синоптической ситуации. На рис. 4 представлено прохождение через страну мини-циклона с минимальным давлением в центре 1005 гПа. Районы, где выпало наибольшее количество осадков, – Гродненская, Минская и Витебская области.

Согласно определению Всемирной метеорологической организации, нижняя граница тропопаузы (соответственно верхняя – тропосферы) – это минимальная высота, на которой вертикальный градиент температуры падает до 0,2 °С/100 м (или ниже), и среднее значение этого параметра в вышележащем слое толщиной 2 км не превышает 2 °С/км. Толщина тропопаузы составляет от нескольких сотен метров до 2–3 км. Уровень высоты тропопаузы отражает основные особенности стационарных фронтов, которые имеют тесную взаимосвязь со стратосферно-тропосферными процессами. Для верхней части полярного стационарного фронта характерным является полярное струйное течение, которое образуется на стыке полярных и умеренных воздушных масс. Беларусь 10 июля 2016 г. находилась в зоне низкой высоты тропопаузы, а 13 июля – в зоне высокой высоты (рис. 5).

Карты изэнтропической поверхности отражают поверхности равной потенциальной температуры или энтропии. По картам 1,5 PVU на 10–13 июля можно сделать вывод о том, что Беларусь находилась в промежуточной зоне изэнтропической поверхности, которая характеризуется нестабильностью и неустойчивостью. Анализ струйных течений показал, что во все дни на территории страны преобладали сильные ветры и сам поток проходил непосредственно через Беларусь, что и привело к образованию порывистых ветров свыше 20 м/с (рис. 6).

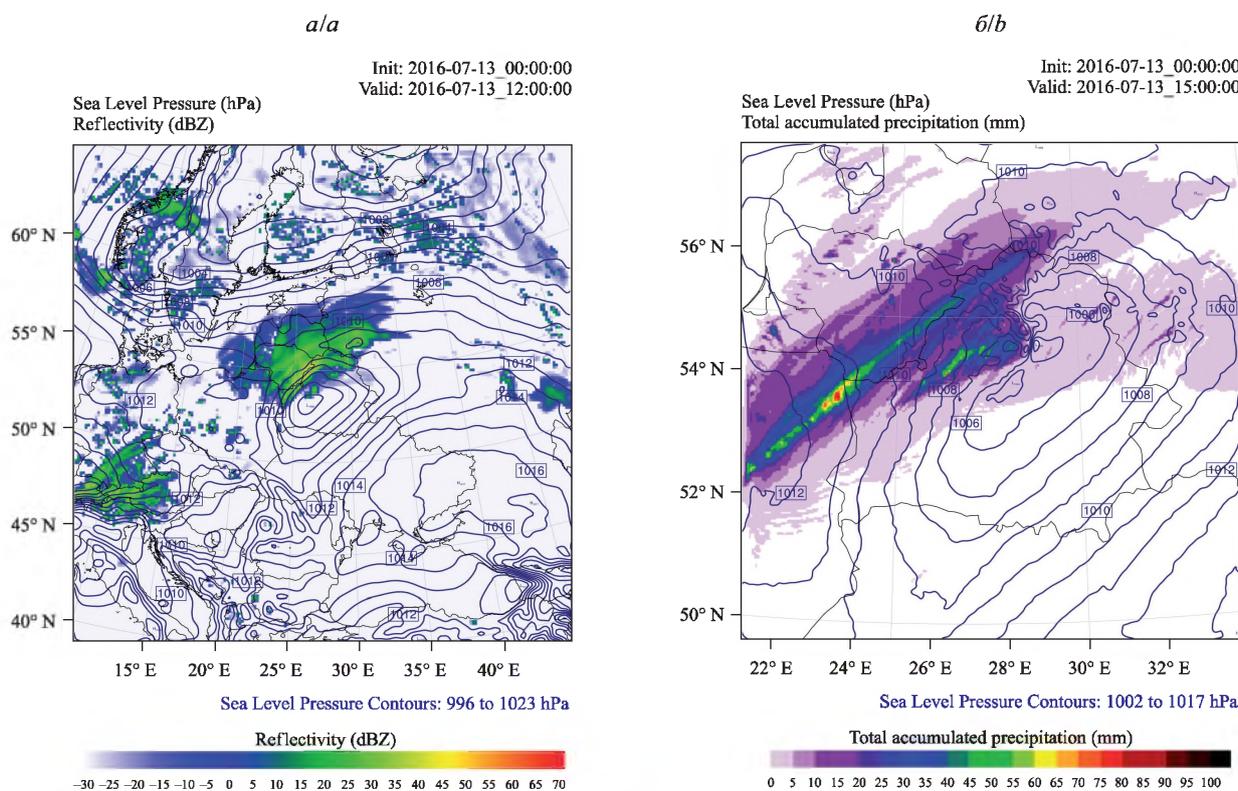


Рис. 4. Прохождение мини-циклона с юго-запада на северо-восток через территорию Беларуси 13 июля 2016 г.

Карта облачности и давления на 12 ч (а), карта осадков и давления на 15 ч (б)

Fig. 4. Mini-cyclone passing from the south-west to the north-east through the territory of Belarus on July 13, 2016. Map of cloudiness and pressure at 12:00 a. m. (a), a map of precipitation and pressure at 15:00 p. m. (b)

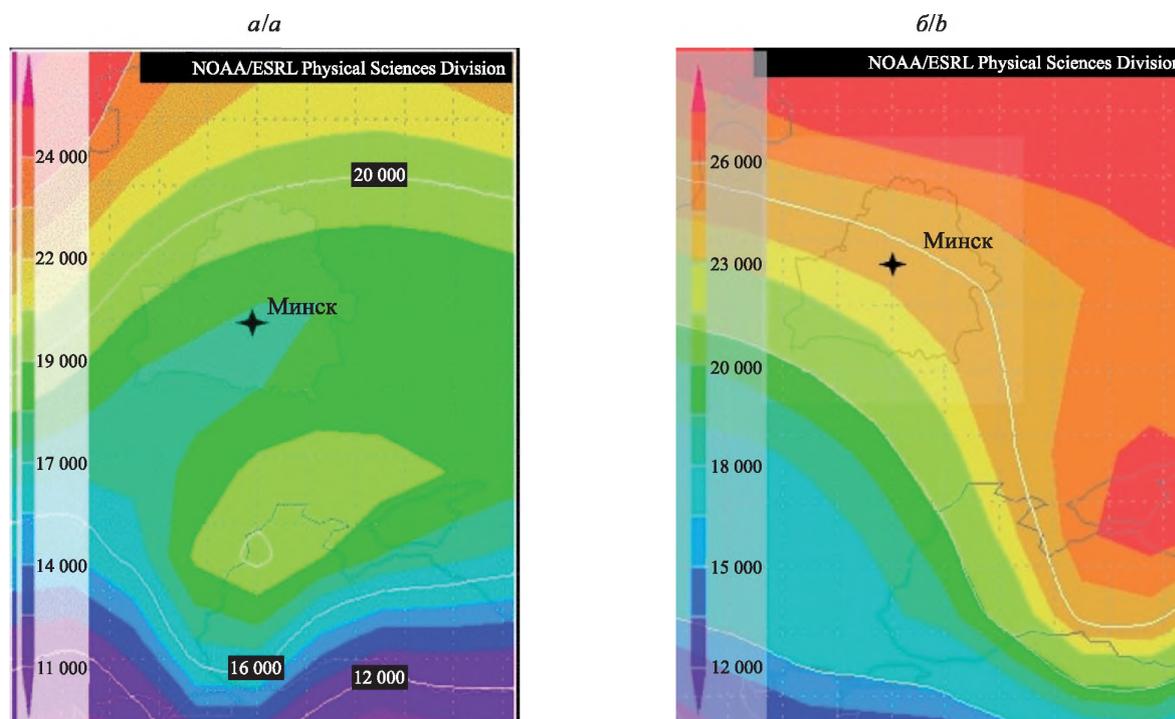


Рис. 5. Состояние уровня тропопаузы (Па) на 12 ч 10 июля (а) и 13 июля (б) 2016 г.
Источник: [19]

Fig. 5. State of the tropopause level at 12:00 a.m. on the 10th of July (a) and 13th of July (b), 2016.
Source: [19]

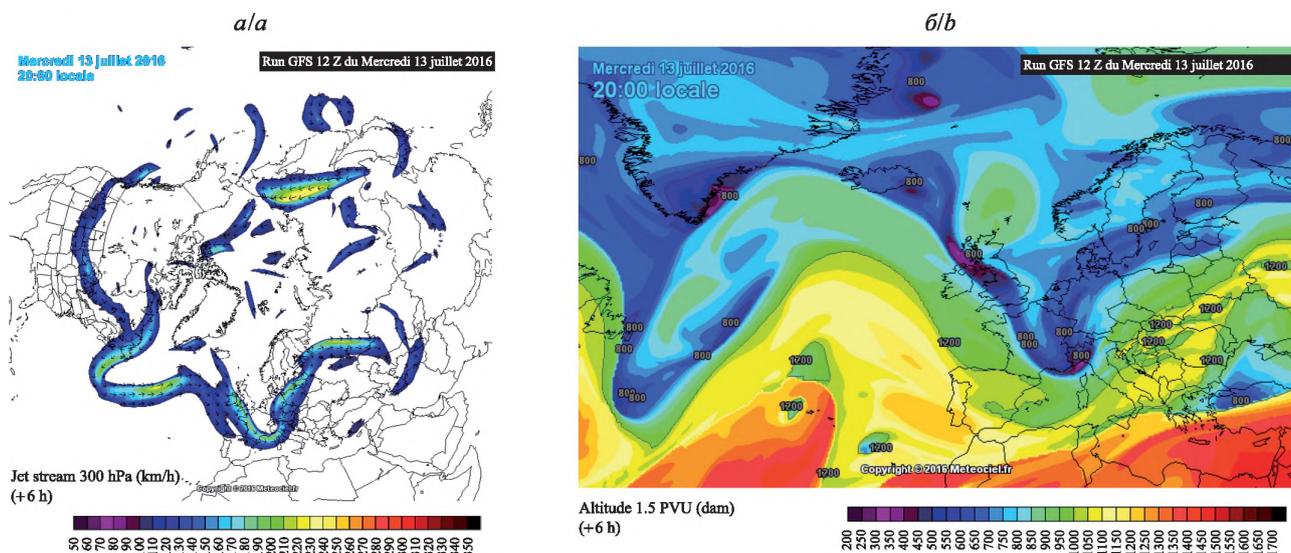


Рис. 6. Состояние струйных течений на высоте 300 гПа (а) и изэнтропической поверхности 1,5 PVU (б) на 12 ч 13 июля 2016 г.
Источник: [22]

Fig. 6. State of jet streams at an altitude of 300 hPa (a) and an isentropic surface of 1.5 PVU (b) at 12:00 a.m. on July 13, 2016.
Source: [22]

Данные реанализа (NOAA/NCEP) распределения скорости ветра за 10–13 июля 2016 г. над г. Минском также свидетельствуют об усилении скорости ветра на высоте 300 гПа. Максимальные значения наблюдались 12 и 13 июля (рис. 7).

Из вертикального распределения относительной влажности воздуха (рис. 8) во время прохождения мини-циклона видно, что 13 июля на севере страны влага (относительная влажность 75–90 %) достигала самых верхних уровней высот 200–300 гПа, проникая в стратосферу и тем самым разрушая поле ОСО. А 14 июля, когда циклон ушел с территории Беларуси, наблюдается низкая относительная влажность воздуха (10–30 %) в верхней части всего разреза.

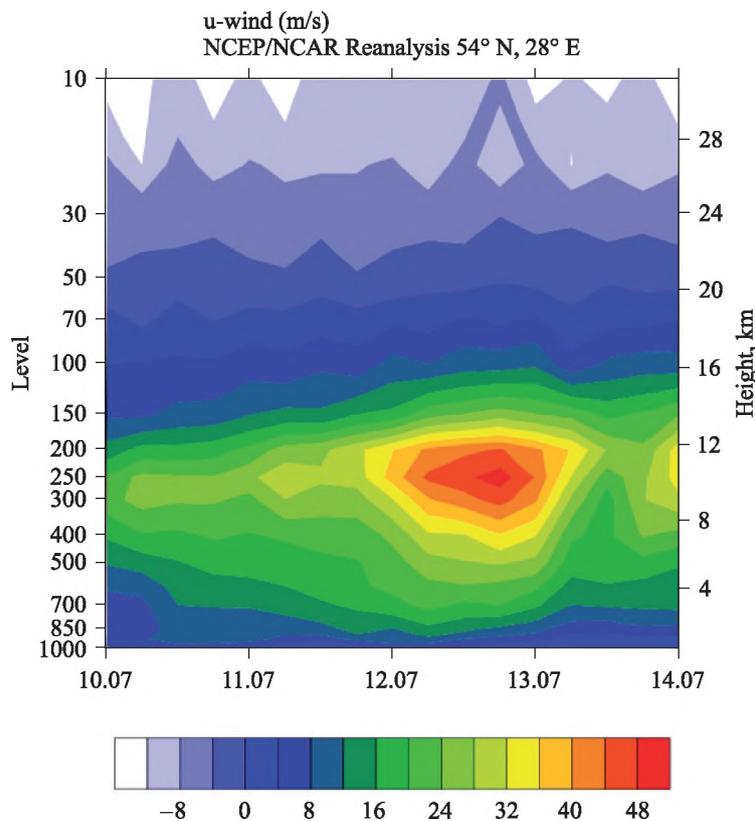


Рис. 7. Вертикальный разрез распределения скорости ветра над г. Минском 10–13 июля 2016 г.
 Источник: [19]

Fig. 7. Vertical profile of zonal wind for the city of Minsk, July 10–13, 2016.
 Source: [19]

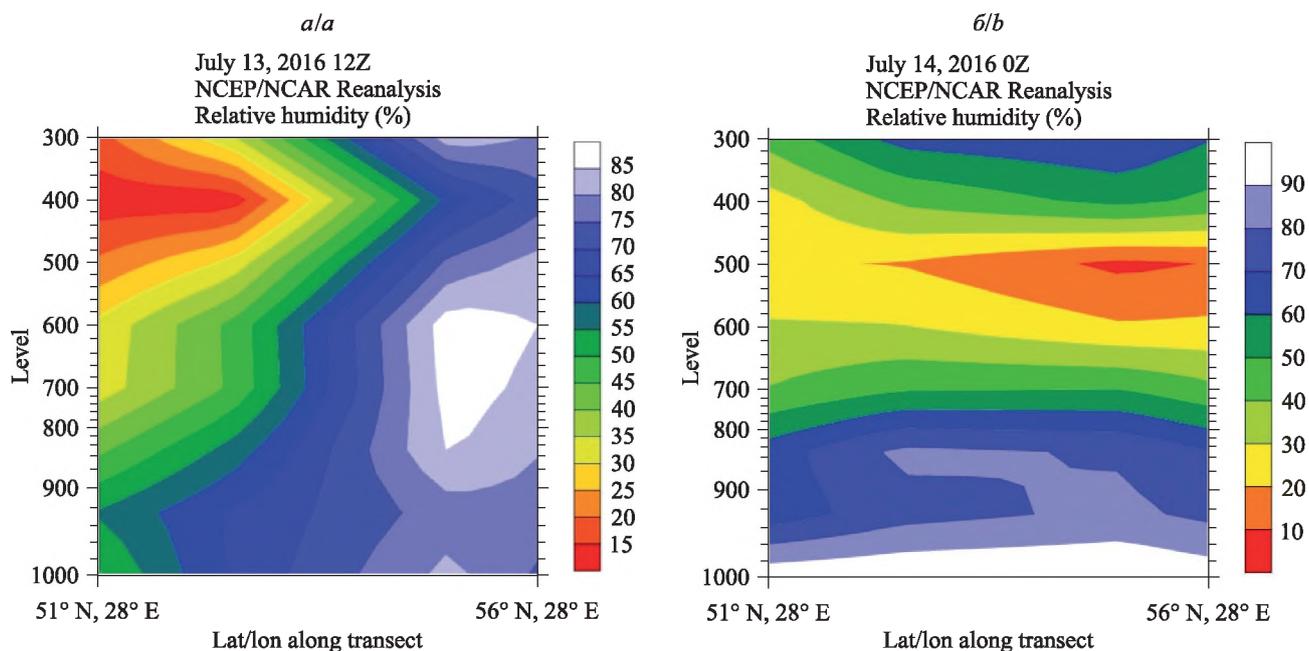


Рис. 8. Вертикальный разрез распределения относительной влажности воздуха для территории Беларуси по широте 28° на 13 июля (а) и 14 июля (б) 2016 г.
 Источник: [19]

Fig. 8. Vertical profile of air relative humidity for the territory of Belarus at the latitude of 28° on the 13 (a) and 14 (b) of July, 2016.
 Source: [19]

Для более детального изучения приведенной ситуации были получены данные мониторинга по координатам спутниковых измерений ОСО в локальных точках для территории Беларуси и ближнего зарубежья (табл. 2). После интерполяции значений с одинаковыми показателями ОСО при помощи программы *ArcGIS* выяснилось, что поле ОСО имеет неоднородный характер.

При детальном анализе распределения ОСО (рис. 9) по всем городам Беларуси четко прослеживается его снижение перед ураганом, что связано с поступлением влаги в стратосферу. Минимум озона был достигнут 13 июля, после чего ОСО начало восстанавливаться. Интересно отметить, что 11–13 июля во всех областных городах ОСО было практически на одинаковом уровне, кроме Могилёва и Полоцка, где оно было выше примерно на 20–35 еД (см. табл. 2). Получается, что в поле ОСО имелись большие градиенты по линии Брест – Орша. На севере и юге наблюдались максимумы ОСО, которые понизили высоту тропопаузы, что и создало определенный узкий пространственный коридор с юго-запада на северо-восток, по которому проходил мини-циклон, сформировавшийся буквально за полсутки в районе Карпат (см. рис. 4).

Таблица 2

Распределение ОСО над городами Беларуси и ближнего зарубежья, еД

Table 2

Distribution of TO for cities of Belarus and border areas, DU

Дата	Витебск	Гомель	Гродно	Брест	Минск	Могилёв	Пинск	Полоцк	Киев
08.07.2016	356	357	343	369	365,5	358	340	345	367
09.07.2016	355	346	360	373	353	344	338	344	357
10.07.2016	346	337,5	338	335	345	345	358	343	374
11.07.2016	326	329	316	315	317	331	370	371	369
12.07.2016	316	313	305	309	311,5	321	339	336	313
13.07.2016	297	308	303	307	306	325	314	330	312
14.07.2016	299,5	303,5	313	312,5	308,5	316	321	362	300
15.07.2016	302	299	323	318	311	308	336	350	325
16.07.2016	305	283	311	310	299	308	315	312	313

Дата	Львов	Люблин	Варшава	Смоленск	Псков	Рославль	Брянск	Вильнюс	Даугавпилс
08.07.2016	360	342	341	334	352	343	346	354	345
09.07.2016	357	349	345	339	350	338	338	349	345
10.07.2016	366	355	344	356	343	358	362	347	352
11.07.2016	372	371	369	364	355	362	342	360	361
12.07.2016	330	347	322	323	351	322	315	372	353
13.07.2016	309	314	314	324	331	330	307	322	335
14.07.2016	298	304	322	362	354	364	310	335	364
15.07.2016	308	310	324	338	371	337	334	347	353
16.07.2016	316	318	325	305	318	316	329	306	315

Воздуху, который насыщен влагой и ограничен с двух сторон (северная и южная части Беларуси) низкой высотой тропопаузы и высокими значениями ОСО, пришлось продвигаться по узкому коридору с большой высотой тропопаузы и низкими значениями ОСО. Эта ситуация напоминает известную задачу решения уравнения Бернулли, когда скорость потока увеличивается в месте сужения русла.

Данный пример хорошо иллюстрирует основные положения гипотезы озонового механизма влияния на погодные процессы и региональный климат и дополняет понимание развития атмосферных процессов: изменение высоты тропопаузы (или ОСО) над конкретной воздушной массой может изменить интенсивность и общий характер тропосферной циркуляции в определенном районе. Анализ и численный расчет показали, что даже летом в условиях, когда ОСО играет как бы вторичную роль в циркуляции атмосферы, все же при озоновых аномалиях (положительных или отрицательных) влияние происходит по сценарию (зимнего) озонового механизма воздействия на тропосферную циркуляцию.

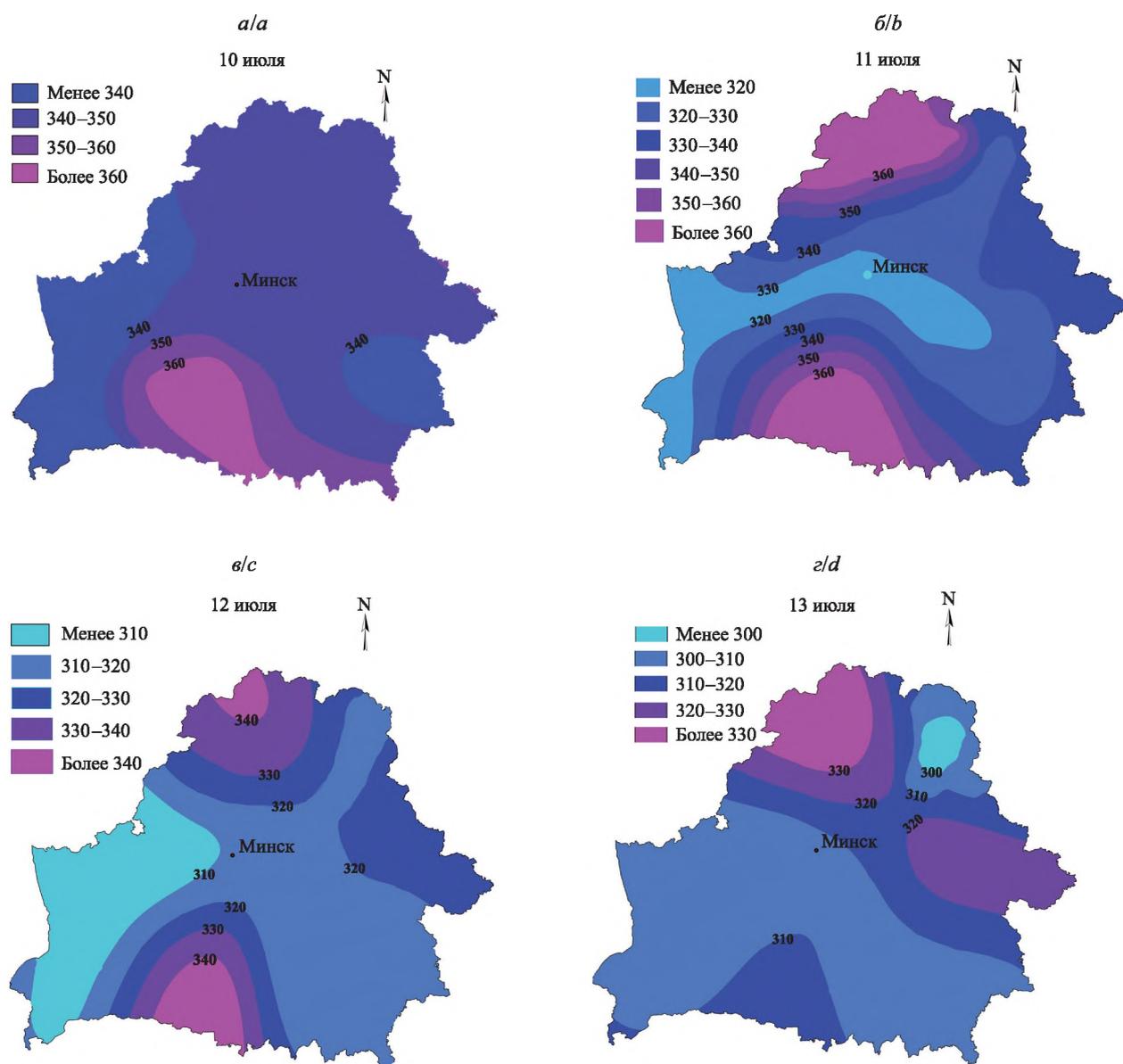


Рис. 9. Распределение ОСО (еД) над территорией Беларуси 10–13 июля 2016 г. (а – д)
 Fig. 9. Distribution of TO (DU) over the territory of Belarus for July 10–13, 2016 (a – d)

Таким образом, летние резкие перепады ОСО могут приводить к сильным перепадам уровня тропопаузы, появлению мощных струйных течений и, как следствие, – ухудшению погодных условий в нижней тропосфере.

Заключение

В результате статистической обработки многолетних данных мониторинга ОСО установлена устойчивая антикорреляционная связь между колебаниями отклонений приземной температуры и отклонений ОСО для г. Минска за период 1979–1992 гг. Средний многолетний коэффициент антикорреляции равен $-0,39$ (с наибольшими коэффициентами в отдельные годы от $-0,6$ до $-0,8$). Для периода 1997–2016 гг. среднегодовое значение корреляционного коэффициента составило $-0,32$. Наибольшие сезонные многолетние значения коэффициента антикорреляции отмечаются осенью ($-0,37$) и летом ($-0,44$). В некоторые сезоны он достигает значений как $-1,0$, так и $+0,7$.

Подтвердилась правомерность концепции озонового механизма развития атмосферных процессов. Суть концепции заключается в том, что поле ОСО формируется за счет конкуренции двух механизмов, один из которых (радиационный) отвечает за образование этого вещества в верхней стратосфере и понижает высоту тропопаузы, другой, традиционный (термодинамический), действующий в тропосфере,

создает условия для поднятия высоты тропопаузы, в результате чего ОСО уменьшается. Сам механизм воздействует не напрямую, а посредством изменения положения глобальных циркуляционных ячеек (с характерными элементами – стационарными фронтами, струйными течениями и уровнем высоты тропопаузы).

В процессе статистического анализа был установлен факт нарушения корреляции ОСО и приземной температуры во время весенне-летних озоновых аномалий. Для выяснения причин этих отклонений рассмотрен конкретный случай экстремального погодного явления в летний период. Пример урагана 10–13 июля 2016 г. в Беларуси иллюстрирует частичное влияние стратосферных процессов на формирование приземной погоды. Оно характеризовалось наличием мощных струйных течений в области верхней тропосферы – нижней стратосферы, больших градиентов в поле распределения ОСО, которые воздействовали на уровень высоты тропопаузы. Этот пример дополняет понимание развития атмосферных процессов, в частности, изменение высоты тропопаузы (или ОСО) может изменять тропосферную циркуляцию не только в зимний период, но и в летний, когда наблюдаются озоновые аномалии.

Таким образом, статистически, экспериментально и методом моделирования установлено, что даже летом стратосферные процессы (а именно изменения ОСО) могут влиять на погоду в тропосфере и способствовать появлению опасных метеорологических явлений, таких как ураганные ветры.

Работа является частью научного проекта «Разработка методов анализа спутниковой информации для оценки влияния озонового механизма на качество прогнозирования атмосферных процессов в Республике Беларусь» в рамках государственной программы «Информатика, космос и безопасность» на 2016–2020 гг.

Библиографические ссылки

1. Логинов ВФ, Микуцкий ВС. *Изменения климата: тренды, циклы, паузы*. Минск: Беларуская навука; 2017. 179 с.
2. Чижевский АЛ. *Земное эхо солнечных бурь*. Москва: Мысль; 1976. 367 с.
3. Красовский АН, Турьшев ЛН, Светашев АГ, Бородко СК, Жучкевич ВВ. Озоновый механизм управления региональным климатом и погодой. *Наука и инновации*. 2016;9:17–20.
4. Хргиан АХ. *Физика атмосферного озона*. Ленинград: Гидрометеиздат; 1973. 291 с.
5. Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2014. Report No. 55. *World Meteorological Organization, Global Ozone Research and Monitoring Project*. Geneva: WMO; 2015.
6. Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2010. WMO Report No. 52. *World Meteorological Organization, Global Ozone Research and Monitoring Project*. Geneva: WMO; 2011.
7. Kleinschmidt E. Über Aufbau und Entstehung von Zyclonen (3. Teil). *Meteorologische Rundschau*. 1950;4:89–96.
8. Иванова АР. Динамика тропопаузы для случаев резкого изменения озона в умеренных широтах Северного полушария. *Метеорология и гидрология*. 2011;7:13–25.
9. Vojkov RD, Zerefos CS, Balis DS, Ziomas IC, Bais AF. Record low total ozone during northern winters of 1992 and 1993. *Geophysical Research Letters*. 1993;20(13):1351–1354.
10. Reader MC, Kent Moore GW. Stratosphere-troposphere interactions associated with a case of explosive cyclogenesis in the Labrador Sea. *Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography*. 1995;47(5):849–863.
11. Holton JR, Haynes P, McIntyre ME, Douglass AR, Rood RB, Pfister L. Stratosphere-troposphere exchange. *Reviews of Geophysics*. 1995;33:403–439.
12. Hudson RD, Andrade MF, Follette MB, Frolov AD. The total ozone field separated into meteorological regimes. Part II: Northern Hemisphere mid-latitude total ozone trends. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2006;6:5183–5191.
13. Шаламянский АМ. Концепция взаимодействия атмосферного озона и воздушных масс Северного полушария. *Труды Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова*. 2013;568:173–194.
14. Турьшев ЛН, Красовский АН, Жучкевич ВВ, Борковский НБ, Атрашевский ЮИ, Пвирко МП, Сикорский ВВ. Методика краткосрочного прогноза ультрафиолетового индекса в районе г. Минска. *Природные ресурсы*. 2005;1:15–25.
15. Barodka S, Krasouski A, Lapo P, Svetashev A, Shlender T, Turishev L, Yakautsava Y, Zhuchkevich V. Dynamical structure and formation mechanisms of local ozone anomalies. In: *Quadrennial ozone symposium; 2016 September 4–9; Edinburgh, United Kingdom*. Edinburgh: [publisher unknown]; 2016.
16. Schlender T, Zhuchkevich V, Krasouski A, Barodka S, Mitskevich Y, Shalamyansky A, et al. Characteristics of the stratospheric ozone influence on tropospheric circulation. In: *Challenges for Climate Science – Synergies between SPARC and the WCRP Grand Challenges; 2016 October 31 – November 1; Berlin, Germany*. Berlin: [publisher unknown]; 2016.
17. NCEP/NCAR Reanalysis 1 [Internet]. [Cited 2017 February 17]. Available from: <https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalysis.html>.
18. OMI/OMPS Ozone Data archive [Internet]. [Cited 2017 March 20]. NOAA. Available from: <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/grad/neubrew/SatO3DataTimeSeries.jsp>.
19. World Ozone Monitoring and Mapping Centre. Environment Canada [Internet]. [Cited 2017 February 15]. Available from: <http://es-ee.tor.ec.gc.ca/e/ozone/ozoneworld.htm>.
20. Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды. *Архив погоды* [Интернет]. [Процитировано 11 января 2017 г.]. Доступно по: http://tr5.by/archive.php?wmo_id=26850&lang=ru.
21. Кононова НК. *Классификация циркуляционных механизмов Северного полушария по Б. Л. Дзердзеевскому*. Москва: Воентехиниздат; 2009. 372 с.
22. Site de météorologie en temps réel, Observations, prévisions, modèles [Internet]. France: Météociel; 2004–2017 [cited 2017 February 15]. Available from: http://www.meteociel.fr/modeles/gfse_cartes.php.

References

1. Loginov VF, Mikutsky VS. *Izmeneniya klimata: trendy, tsikly, pauzy* [Climate change: trends, cycles, pauses]. Minsk: Belaruskaya navuka; 2017. 179 p. Russian.
2. Chizhevsky AL. *Zemnoe ekho solnechnykh bur'* [Earth echo of solar storms]. Moscow: Mysl'; 1976. 367 p. Russian.
3. Krasovsky AN, Turyshev LN, Svetashev AG, Borodko SK, Zhuchkevich VV. Ozone mechanism of regional climate and weather control. *Nauka i innovatsii*. 2016;9:17–20. Russian.
4. Khragian AKh. *Fizika atmosfernogo ozona* [Physics of atmospheric ozone]. Leningrad: Gidrometeoizdat; 1973. 291 p. Russian.
5. Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2014. Report No. 55. *World Meteorological Organization, Global Ozone Research and Monitoring Project*. Geneva: WMO; 2015.
6. Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2010. WMO Report No. 52. *World Meteorological Organization, Global Ozone Research and Monitoring Project*. Geneva: WMO; 2011.
7. Kleinschmidt E. Uber Aufbau und Entstehung von Zyklonen (3. Teil). *Meteorologische Rundschau*. 1950;4:89–96.
8. Ivanova AR. Dynamics of the tropopause for the cases of sharp changes in total ozone at the midlatitudes of the northern hemisphere. *Meteorologiya i gidrologiya*. 2011;7:13–25. Russian.
9. Bojkov RD, Zerefos CS, Balis DS, Ziomias IC, Bais AF. Record low total ozone during northern winters of 1992 and 1993. *Geophysical Research Letters*. 1993;20(13):1351–1354.
10. Reader MC, Kent Moore GW. Stratosphere-troposphere interactions associated with a case of explosive cyclogenesis in the Labrador Sea. *Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography*. 1995;47(5):849–863.
11. Holton JR, Haynes P, McIntyre ME, Douglass AR, Rood RB, Pfister L. Stratosphere-troposphere exchange. *Reviews of Geophysics*. 1995;33:403–439.
12. Hudson RD, Andrade MF, Follette MB, Frolov AD. The total ozone field separated into meteorological regimes. Part II: Northern Hemisphere mid-latitude total ozone trends. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2006;6:5183–5191.
13. Shalamyansky AM. [The concept of the interaction of atmospheric ozone and air masses of the Northern Hemisphere]. *Trudy Glavnoi geofizicheskoi observatorii im. A. I. Voeikova*. 2013;568:173–194. Russian.
14. Turyshev LN, Krasovsky AN, Zhuchkevich VV, Borkovsky NB, Atrashevsky YuI, Tsvirko MP, Sikorsky VV. [Development of a short-term ultraviolet index forecasting method in the area of Minsk]. *Prirodnye resursy*. 2005;1:15–25. Russian.
15. Barodka S, Krasouski A, Lapo P, Svetashev A, Schlender T, Turishev L, Yakautsava Y, Zhuchkevich V. Dynamical structure and formation mechanisms of local ozone anomalies. In: *Quadrennial ozone symposium; 2016 September 4–9; Edinburgh, United Kingdom*. Edinburgh: [publisher unknown]; 2016.
16. Schlender T, Zhuchkevich V, Krasouski A, Barodka S, Mitskevich Y, Shalamyansky A, et al. Characteristics of the stratospheric ozone influence on tropospheric circulation. In: *Challenges for Climate Science – Synergies between SPARC and the WCRP Grand Challenges; 2016 October 31 – November 1; Berlin, Germany*. Berlin: [publisher unknown]; 2016.
17. NCEP/NCAR Reanalysis 1 [Internet]. [Cited 2017 February 17]. Available from: <https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalysis.html>.
18. OMI/OMPS Ozone Data archive [Internet]. [Cited 2017 March 20]. NOAA. Available from: <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/grad/neubrew/SatO3DataTimeSeries.jsp>.
19. World Ozone Monitoring and Mapping Centre. Environment Canada [Internet]. [Cited 2017 February 15]. Available from: <http://es-ee.tor.ec.gc.ca/e/ozone/ozoneworld.htm>.
20. Republican center for hydrometeorology, control of radioactive contamination and environmental monitoring. *Arkhiv pogody* [Internet]. [Cited 2017 January 11]. Available from: http://rp5.by/archive.php?wmo_id=26850&lang=ru. Russian.
21. Kononova NK. *Klassifikatsiya tsirkulyatsionnykh mekhanizmov Severnogo polushariya po B. L. Dzerdzeevskom* [Classification of the circulation mechanisms of the Northern Hemisphere according to B. L. Dzerdzeevsky]. Moscow: Voentekhnizdat; 2009. 372 p.
22. Site de météorologie en temps réel, Observations, prévisions, modèles [Internet]. France: Meteociel; 2004–2017 [cited 2017 February 15]. Available from: http://www.meteociel.fr/modeles/gfse_cartes.php.

Статья поступила в редакцию 04.04.2018.
Received by editorial board 04.04.2018.

**ПАРАДИНАМИЧЕСКАЯ АНТРОПОГЕННАЯ
ЛАНДШАФТНАЯ СИСТЕМА ЭКОСЕТИ
МОГИЛЕВ-ПОДОЛЬСКОГО РАЙОНА
ВИННИЦКОЙ ОБЛАСТИ УКРАИНЫ****Ю. В. ЯЦЕНТЮК¹⁾**¹⁾*Винницкий государственный педагогический университет им. Михаила Коцюбинского,
ул. Острожского, 32, 21000, г. Винница, Украина*

Экосеть Могилев-Подольского района Винницкой области Украины рассматривается как парадинамическая антропогенная ландшафтная система. В условиях тотального антропогенного преобразования природы, в отличие от традиционных исследований экосетей, такой подход позволяет формировать сбалансированный природно-антропогенный планировочный каркас территорий. Выделены и охарактеризованы 17 локальных биоцентров экосети Могилев-Подольщины. Определен перечень видов животных и растений Красной книги Винницкой области, Красной книги Украины и Европейского Красного списка, обитающих в биоцентрах района. Указан перечень растительных сообществ Зеленой книги Украины, обнаруженных в пределах биоцентров исследуемой территории. Выявлены особенности простирающихся экокоридоров Могилев-Подольского района, которые соединяют между собой региональные центры биоразнообразия и локальные биоцентры. Выделены зоны потенциальной ренатурализации экосети исследуемой территории. Спроектированная парадинамическая антропогенная ландшафтная система экосети Могилев-Подольского района уже используется как основной документ для планирования территориального развития этого региона.

Ключевые слова: парадинамическая антропогенная ландшафтная система; ключевая территория; биоцентр; экосеть; региональный центр биоразнообразия; соединительная территория; экокоридор.

**THE PARADYNAMYC ANTHROPOGENIC LANDSCAPE SYSTEM
OF THE ECOLOGICAL NETWORK OF MOHYLIV-PODILSKYI DISTRICT
OF VINNYTSIA REGION OF UKRAINE****Yu. V. YATSENTYUK^a**^a*Vinnytsia Mikhailo Kotsiubynskyi State Pedagogical University,
32 Ostrojskogo Street, Vinnytsia 21000, Ukraine*

The parodynamyc anthropogenic landscape system of the ecological network of Mohyliv-Podilskyi district of Vinnytsia region of Ukraine is considered in this article. Under conditions of total anthropogenic transformation of the nature, unlike traditional researches of ecological networks, such approach allows to form a balanced natural-anthropogenic planning framework of the territories. The object of the research is the parodynamyc anthropogenic landscape system of the ecological network of Mohyliv-Podilskyi district of Vinnytsia region of Ukraine. The aim of the article is to consider the

Образец цитирования:

Яцентюк Ю.В. Парадинамическая антропогенная ландшафтная система экосети Могилев-Подольского района Винницкой области Украины. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология.* 2018;2:39–49.

For citation:

Yatsentyuk YuV. The parodynamyc anthropogenic landscape system of the ecological network of Mohyliv-Podilskyi district of Vinnytsia region of Ukraine. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology.* 2018;2:39–49. Russian.

Автор:

Юрий Васильевич Яцентюк – кандидат географических наук, доцент, доцент кафедры географии естественно-географического факультета.

Author:

Yuriy V. Yatsentyuk, PhD (geography), docent, associate professor at the department of geography, faculty of natural and geographical sciences.
yatsentyuk@gmail.com
ORCID: 0000-0003-2906-4828

ecological network of Mohyliv-Podilskyi district of Vinnytsia region as a paradynamec anthropogenic landscape system. Seventeen local biocentres of the ecological network of the researched region are identified and characterized in the article. The list of species of animals and plants belonging to the Red Book of Vinnytsia region, the Red Book of Ukraine and the European Red List, living in the biocentres of this district are determined. The list of plant associations belonging to the Green Book of Ukraine, which are identified in the biocentres in the studied area is given. The peculiarities of the stretching of the ecological corridors of Mohyliv-Podilskyi ecological network are defined. These ecological corridors combine the regional centers of biodiversity and the local biocentres. The areas of potential renaturalization of the ecological network of Mohyliv-Podilskyi district are identified. The designed paradynamec anthropogenic landscape system of the ecological network of Mohyliv-Podilskyi district is already used as the main document for planning the territorial development of this region.

Key words: paradynamec anthropogenic landscape system; key area; biocentre; ecological network; regional centre of biodiversity; connective territory; ecological corridor.

Введение

Природные компоненты и комплексы Винницкой области за многие тысячелетия антропогенного освоения претерпели коренные преобразования. Натуральные ландшафты занимают лишь несколько процентов площади региона. Расстояние между ними часто достаточно большое. При значительной изолированности и антропогенном влиянии уменьшается биотическое и ландшафтное разнообразие заповедных территорий и объектов, ухудшается состояние окружающей природной среды и среды жизнедеятельности человека. В результате растет заболеваемость и смертность населения. В этих условиях значимым является формирование местных экосетей административных районов Винницкой области. Они позволяют спроектировать целостную систему важных для поддержания экологического баланса объектов и территорий.

Поскольку натуральные ландшафты сохранились на небольших территориях Винницкой области, предлагается формировать экологическую сеть как парадинамическую антропогенную ландшафтную систему (ПДАЛС) – систему смежных или незначительно удаленных ландшафтных комплексов, между которыми происходит активная взаимосвязь [1]. ПДАЛС выделяются на основе взаимных (парадинамических) связей между структурными элементами экосети. Такие связи представлены воздушными, водными потоками и биотическими миграциями. Преимущества такого подхода:

- в структуру экосети могут быть включены ценные, в разной степени антропогенизированные территории и даже искусственно созданные элементы;
- учитываются все парадинамические связи между биоцентрами, экокоридорами, буферными и восстановительными территориями;
- обеспечивается генетическая, динамическая и ландшафтная целостность спроектированных экосетей.

Формирование ПДАЛС экосетей административных районов Винницкой области только началось. Для других территорий такие исследования не проводились. Поэтому публикации по этой тематике пока что единичны. Нами спроектированы ПДАЛС экосети Мурованокурловецкого района [2] и Винницкой области [3]. Разработаны местные схемы экологической сети городов Бар, Ямполь, Немировского [4] и Жмеринского районов. Результаты этих исследований не опубликованы. Сейчас разрабатывается проект ПДАЛС экосети г. Винницы.

Цель статьи – рассмотреть экосеть Могилев-Подольского района Винницкой области как парадинамическую антропогенную ландшафтную систему. Для этого необходимо выделить и описать ключевые территории экосети района, спроектировать и описать локальные экокоридоры, выделить зоны потенциальной ренатурализации, описать виды растений и животных Могилев-Подольщины, включенные в красные списки Винницкой области, Украины и Европы.

Объектом исследования выступает ПДАЛС экосети Могилев-Подольского района Винницкой области Украины.

Материалы и методы

В основу работы положены материалы наших собственных полевых исследований, проведенных в период с 2005 по 2017 г., а также фондовые материалы Департамента агропромышленного развития и экологии Винницкой областной государственной администрации. В процессе сбора данных использованы методы наблюдения и полевых исследований на ключевых участках и маршрутах Могилев-Подольского района, литературно-картографический метод, метод аналитико-картографического анализа. Это позволило выделить ключевые территории с высокой концентрацией редких и исчезающих видов

растений и животных, с типичными и уникальными ландшафтными комплексами; экокоридоры, которые выступают связующими элементами ПДАЛС экосети Могилев-Подольского района; буферные территории, защищающие предыдущие элементы от негативного антропогенного влияния; зоны потенциальной ренатурализации как потенциальные ключевые и соединительные территории.

В качестве локальных биоцентров выбирались территории наибольшей концентрации видов растений и животных красных книг и списков Винницкой области, Украины и Европы, ассоциаций Зеленой книги Украины, места высокого историко-культурного значения. Как соединительные территории рассматривались речные долины, балки и пути миграций животных, как буферные – местности, приближенные к природным. Зонами потенциальной ренатурализации были выбраны участки, в которых природоохранные, восстановительные мероприятия могут привести к возобновлению ценной растительности и животного мира.

На основе парадинамических связей выявлены ключевые, соединительные, восстановительные и буферные территории, определены зоны влияния каждого структурного элемента на другие элементы экосети и окружающую среду. Также было учтено влияние окружающих ландшафтов на структуру и функционирование экосети Могилев-Подольского района. Это позволило сформировать целостную ПДАЛС экосети региона.

При выделении структурных частей экосети использовалась геоинформационная система *Digital/Delta version 5.0 Professional*. С ее помощью анализировались слои компонентов природы и ландшафтов, а также была создана карта «Парадинамическая антропогенная ландшафтная система экосети Могилев-Подольского района». Геоинформационная система позволила получить точную информацию о морфометрических показателях (площадь, длина, ширина, периметр) составных частей экологической сети района.

Результаты исследования

Экологическая сеть рассматривается как целостная ПДАЛС ключевых, соединительных, восстановительных и буферных территорий. Они связаны между собой общностью генезиса, одновременностью или последовательностью возникновения и развития, потоками вещества, энергии и информации.

В пределах Могилев-Подольского района в качестве ключевых территорий выделены Днестровско-Мурафское национальное природное ядро, 4 региональных центра биоразнообразия (Вендичанско-Серебрянский, Лядовский, Могилев-Подольский и Надднестрянско-Бернашовский) и 17 локальных биоцентров. Поскольку ключевые территории национального и регионального уровней были детально рассмотрены в [5; 6], остановимся на характеристике локальных биоцентров.

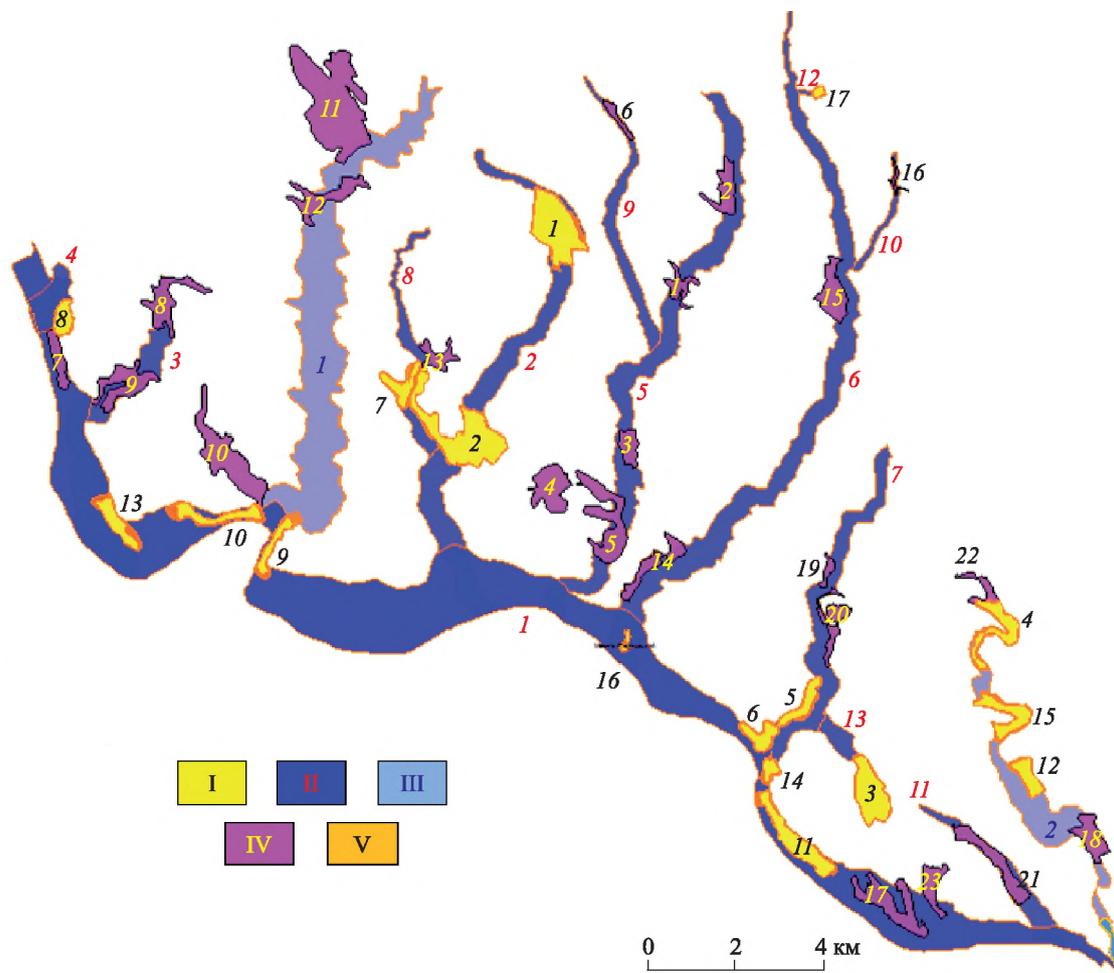
Для исследуемого района определены следующие **биоцентры** (см. рисунок):

- | | |
|------------------------|-------------------------|
| 1. Вендичанский; | 10. Нагорянский; |
| 2. Грабаровский; | 11. Садковцевский; |
| 3. Новогригоровский; | 12. Козловский; |
| 4. Грушковский; | 13. Бронницкий; |
| 5. Григоровский; | 14. Бандышовский; |
| 6. Криштофовский; | 15. Мервинцевский; |
| 7. Слобода-Ярышевский; | 16. Могилев-Подольский; |
| 8. Бернашовский; | 17. Троповской. |
| 9. Лядовский; | |

Вендичанский биоцентр находится на севере Могилев-Подольского района, между п. г. т. Вендичаны и селами Тарасовка, Кукавка, Серебринцы, Подлесным, Борщевцы. Он простирается с севера на юг, вдоль р. Серебрии, сформировался на основе ботанического заказника общегосударственного значения «Вендичанская дубина» и занимает площадь 412,48 га. На территории биоцентра охраняются преимущественно ландшафты плосковолнистого лёссового плато с дубовыми лесами в возрасте от 90 до 120 лет на серых лесных почвах.

Грабаровский биоцентр находится в центральной части Могилев-Подольского района, между деревнями Грабаровкой, Озаринцы, Юрковцы и Ярышев. Он простирается вдоль р. Серебрии (к югу от Вендичанского биоцентра) и ее правого притока, сформировался на основе ландшафтного заказника общегосударственного значения «Грабарковский» и занимает площадь 487 га. В нем охраняются ландшафтные комплексы пологих (3–5°) склонов с коренными грабово-дубовыми лесами на темно-серых лесных почвах с растительностью Красной и Зеленой книг Украины (табл. 1).

Новогригоровский биоцентр размещается на юго-востоке Могилев-Подольского района, между деревнями Новая Григоровка, Бронницей, Садковцы и Оленовкой. Он занимает водоразделы бассейнов



Парадинамическая антропогенная ландшафтная система экосети Могилев-Подольского района:
 I – биоцентры; II – национальный и локальные экокоридоры; III – региональные экокоридоры;
 IV – зоны потенциальной ренатурализации; V – буферные территории.
 Номера элементов экосети на рисунке отвечают порядку их рассмотрения в тексте

The paradynamic anthropogenic landscape system of the ecological network of Mohylyv-Podilskiy district:
 I – biocentres; II – national and local ecological corridors; III – regional ecological corridors;
 IV – zones of potential renaturalization; V – buffer territories.
 The numbers of elements of ecological network
 in the figure correspond to the order of their appearance in the text

левых притоков Днестра – рек Котлубаевки и Мурафы, сформировался на основе ботанического заказника общегосударственного значения «Бронницкий» и занимает площадь 265 га. Тут охраняются ландшафтные комплексы лёссового плато с редкими для Подолья дубово-грабовыми и дубовыми лесами с реликтовыми дубами скальным и пушистым на черноземах оподзоленных.

Грушковский биоцентр расположен на востоке Могилев-Подольского района, между деревнями Грушкой и Бандышовкой, а также между селами Косы, Вилы-Яругские и Букагинка Черновицкого района. Он занимает склоновые местности правых берегов рек Лозовой и Мурафы, сформировался на основе регионального ландшафтного парка «Мурафа», занимает площадь 159 га. На территории биоцентра охраняются ландшафтные комплексы крутых (10–15°) известняковых склонов речных долин с хорошо сохранными степными фитоценозами на сухих дерново-карбонатных почвах (табл. 1 и 2). Тут выявлены 26 видов природной фауны. Из них 13 видов – членистоногих, 4 – пресмыкающихся, 1 – земноводных, 5 – птиц и 3 – млекопитающих.

Григоровский биоцентр находится на юго-востоке Могилев-Подольского района, между деревнями Григоровкой, Бронницей и Криштофовкой. Он занимает склоновые местности правого берега р. Котлубаевки, сформировался на основе ботанических заказников местного значения «Григоровская гора» и «Криштофовская гора» и имеет площадь 96,3 га. Ландшафтные комплексы биоцентра представлены покатыми (5–10°) и крутыми (10–15°) известняковыми склонами речной долины с хорошо сохранными луговыми степями на сухих дерново-карбонатных почвах.

Криштофовский биоцентр размещается также на юго-востоке Могилев-Подольского района, между г. Могилев-Подольский и селами Криштофовка и Бронница. Биоцентр сформировался на основе регионального ландшафтного парка «Днестр», ботанического заказника местного значения «Бронницкая гора», геологических памятников природы местного значения «Бронницкие слои» и «Сеноманские известняки», занимает площадь 91,4 га. На территории биоцентра охраняются ландшафты крутых (10–15°) склонов речных долин Котлубаевки и Днестра с урочищами «стенки» и естественных обнажений (карнизов и уступов), занятых степными фитоценозами на сухих дерново-карбонатных почвах (см. рисунок).

Таблица 1

**Растительность Красной и Зеленой книг Украины
в биоцентрах Могилев-Подольского района**

Table 1

**Vegetation of the Ukrainian Red Book and Green Book
in biocentres of Mohyliv-Podilskyi district**

Биоцентр	Виды растений Красной книги Украины	Растительные группировки Зеленой книги Украины
Вендичанский	Подснежник белоснежный, дремлик морозниковидный, дремлик темно-красный, гнездовка обыкновенная, лилия лесная, любка двулистная, любка зеленоцветковая, лук медвежий, морозник черный	Ассоциации дубовых лесов свидиново-горноосоковых и свидиново-парвскоосоковых, ассоциации грабово-дубового леса волосистоосокового и снытевого (старые типичные насаждения), группа ассоциаций дубовых лесов кизилевых
Грабаровский	Дремлик морозниковидный, прострел большой, прострел луговой, мялик разноцветный, лилия лесная и ковыль волосатик	Группа ассоциаций дубовых лесов кизилевых, группа ассоциаций дубовых лесов татарскокленовых, ассоциации грабово-дубового леса волосистоосокового и снытевого, формация миндаля низкого, формация ковыля волосатика, формация осоки низкой
Новогригоровский	Прострел луговой, подснежник белоснежный, дремлик морозниковидный, дремлик пурпурный, лилия лесная, гнездовка обыкновенная, скополия карниольская, ковыль волосатик	Ассоциации дубовых лесов свидиново-горноосоковых и свидиново-парвскоосоковых, ассоциации грабово-дубового леса площевого и ясенниково-площевого, ассоциации грабово-дубового леса волосистоосокового и снытевого, группа ассоциаций пушисто-дубовых лесов татарскокленовых, группа ассоциаций дубовых лесов кизилевых, ассоциации дубовых лесов скумпиево-воробейниковых с примесью дуба скального
Грушковский, Лядовский	Ковыль волосатик	Формация ковыля волосатика
Григоровский	Ковыль волосатик, прострел луговой, ракатник белый, шафран узколистный	Формации ковыля волосатика и осоки низкой
Криштофовский	Ковыль волосатик, ковыль Лессинга, прострел луговой, ракатник белый	Формации ковыля волосатика, ковыля Лессинга и осоки низкой
Слобода-Ярышевский	Ковыль волосатик, ковыль перистый и прострел луговой	Формации ковыля волосатика, ковыля перистого, осоки низкой и миндаля низкого
Нагорянский, Козловский, Бронницкий	Ковыль волосатик	Формации ковыля волосатика и осоки низкой
Садковцевский	Ковыль волосатик, ковыль Лессинга и прострел луговой	Формации ковыля волосатика, ковыля Лессинга и осоки низкой

Окончание табл. 1
 Ending table 1

Биоцентр	Виды растений Красной книги Украины	Растительные группировки Зеленой книги Украины
Мервинцевский	Ковыль волосатик, аконит Бессера и дремлик морозниковидный	Группа ассоциаций дубовых лесов из дуба обыкновенного татарскокленовых; группа ассоциаций дубовых лесов из дуба обыкновенного кизилых; ассоциации грабово-дубового леса из дуба обыкновенного волосистоосокового; ассоциации грабово-дубового леса из дуба обыкновенного плющевого; ассоциации грабово-дубового леса из дуба обыкновенного снытевого
Бандышовский	Аконит Бессера и дремлик морозниковидный	Группа ассоциаций дубовых лесов из дуба обыкновенного кизилых; группа ассоциаций дубовых лесов из дуба обыкновенного татарскокленовых; ассоциации грабово-дубового леса из дуба обыкновенного плющевого; ассоциации грабово-дубового леса из дуба обыкновенного волосистоосокового; ассоциации грабово-дубового леса из дуба обыкновенного снытевого

Слобода-Ярышевский биоцентр сформировался на юге Могилев-Подольского района, между деревнями Слобода-Ярышевская, Серебринцы, Грабаровкой, Юрковцы, Ярышев. Он представляет собой склоновые местности с балками, оврагами и промоинами. Значительная часть биоцентра занимает балку с ручьем, который с левого берега впадает в р. Серебрию. Биоцентр сформировался на основе ботанического заказника местного значения «Звеняча долина», имеет площадь 93,4 га. Тут охраняются ландшафты слабо наклоненных (3–5°) лёссовых склонов с постоянно производными и коренными природными лугово-степными фитоценозами на черноземах оподзоленных. Биоцентр выделяется большим количеством редкостных видов растений и животных (табл. 1 и 3).

Таблица 2

**Растения Красной книги Винницкой области
 в биоцентрах Могилев-Подольского района**

Table 2

**Plants of the Red Book of Vinnytsia region
 in biocentres of Mohyliv-Podilskiy district**

Биоцентр	Виды растений
Грушковский	Горицвет весенний, железница хохлатая, леопольдия тонкоцветковая и девясил мечелистный
Бернашовский	Истод сибирский, истод молдавский, фиалка голая, воловик ложно-бледно-желтый, ветреница лесная, горицвет весенний, зопник клубненосный, шиповник крючковатый, шиповник прутский, шиповник Шмальгаузена
Лядовский	Колочник Биберштейна, железница хохлатая, перловник трансильванский, можжевельник обыкновенный
Нагорянский	Колочник Биберштейна, горицвет весенний, осока низкая, перловка трансильванская, девясил мечелистный, железница хохлатая
Садковцевский	Астра ромашковая, ветреница лесная, барвинок травянистый, сухоцвет однолетний, колочник Биберштейна, горицвет весенний, железница хохлатая, ломонос цельнолистный, девясил мечелистный, осока низкая, перловник трансильванский
Козловский	Горицвет весенний, перловник трансильванский, колочник Биберштейна, девясил мечелистный, железница хохлатая, осока низкая
Бронницкий	Чермуха обыкновенная, барвинок малый, барвинок травянистый, горицвет весенний, девясил мечелистный, осока низкая
Бандышовский	Ветреница лесная, кизил настоящий, железница хохлатая, осока парвская, плющ обыкновенный

Бернашовский биоцентр находится на западе Могилев-Подольского района, между деревнями Жван (Мурованокуриловецкий район), Бернашовкой, Хоньковцы, Липчаны, Текливкой. Он занимает первые и вторые надпойменные террасы долины р. Днестр. Одновременно биоцентр охватывает восточную часть долины р. Жван (левый приток р. Днестр) со склоновыми местностями. Биоцентр сформировался на основе ботанического заказника местного значения «Бернашовский» и занимает площадь 83,25 га. Преобладают ландшафты плосковолнистых поверхностей низких (250–200 м) надпойменных террас на песчаниках и известняках нижнего сармата, с серыми лесными почвами под дубово-грабовыми лесами. Есть растительность скальных известняковых отложений верхних частей склонов. Здесь выявлены три вида небольших скальных папоротников, которые мало распространены в Украине: асплений волосовидный, асплений настенный, пузырник ломкий (см. рисунок).

Таблица 3

Животные красных книг в биоцентрах Могилев-Подольского района

Table 3

Animals of Red Books in biocentres of Mohyliv-Podilskiy district

Биоцентр	Виды животных красных книг (списков)	
	Европы	Украины
Вендичанский	Соня орешниковая, толстоголовка палемон, червонец непарный, голубянка арион, голубянка точечная, сатурния большая	Шмель моховой, шмель степной, медведица Гера, медянка, сорокопут серый, барсук, махаон
Грабаровский	Соня орешниковая, усач большой дубовый западный, коростель (гнездовой вид), толстоголовка палемон, голубянка арион, шашечница матурна	Медянка, барсук, шмель степной, медведица Гера, сорокопут серый (встречается зимой), совка шпорниковая
Григоровский	Муравьиный лев обычный, толстоголовка палемон, мнемозина, поликсена	Шмель степной, усач земляной крестоносец, люцина, подалирий, сорокопут серый, мелиттурга булавоусая, совка шпорниковая, сколия степная
Криштофовский	Муравьиный лев обычный и толстоголовка палемон	Сорокопут серый (встречается зимой), шмель степной, усач земляной крестоносец, люцина, подалирий, совка шпорниковая
Слобода-Ярышевский	Коростель, толстоголовка палемон, голубянка арион, шашечница матурна и улитка виноградная	Шмель степной, шмель глинистый, шмель моховый, шмель душистый, бражник скабиозовый, сорокопут серый, мегахила округлая, барсук

Лядовский биоцентр находится на юго-западе Могилев-Подольского района, между деревнями Лядова и Кременное. Эта ключевая территория сформировалась на основе ботанического заказника местного значения «Лядовский» и геологического памятника природы местного значения «Сеноманские известняки», занимает площадь 75 га. Тут охраняются ландшафтные комплексы высоких, цокольных плиоцен-раннеплейстоценовых террас р. Днестр на неогеновых отложениях, которые подстелены меловыми породами. Это ценный участок квазиприродной степной растительности на черноземах типичных (см. табл. 1 и 2).

В Лядовском биоцентре находится один из древнейших в Украине Лядовский Свято-Усекновенский скальный мужской монастырь. Он был основан в 1013 г. преподобным Антонием Печерским. Вокруг монастыря – более десятка источников с кристально чистой и целебной водой. Поэтому данная ключевая территория является центром сохранения не только природы, но и историко-культурного наследия Винницкой области.

Нагорянский биоцентр расположен также на юго-западе Могилев-Подольского района, между деревнями Лядова, Нагоряны и Козлов (см. рисунок). Он сформировался на основе ботанического заказника местного значения «Нагорянский» и геологического памятника природы местного значения «Пещеры», занимает площадь 121,58 га. На его территории охраняются ландшафты очень крутых (60–70° и больше), обрывистых склонов долины р. Днестр с наскальной и кустарниковой степной растительностью на дерново-карбонатных почвах (см. табл. 1 и 2).

В каньоне р. Днестр вблизи д. Нагоряны на крутых склонах находятся 7 карстовых пещер (памятник природы «Пещеры»). В них найдено место гнездования филина, занесенного в Красную книгу Украины.

Садковцывский биоцентр размещается на юго-востоке Могилев-Подольского района, между деревнями Садковцы и Бронницей. Он сформировался на основе регионального ландшафтного парка «Днестр» и занимает площадь 244,17 га. Тут охраняются ландшафты высоких, цокольных плиоцен-раннеплейстоценовых террас р. Днестр на неогеновых отложениях, которые подстелены меловыми породами. Это ценный участок вторичной степной растительности на темно-серых лесных почвах.

Козловский биоцентр расположен на западе Могилев-Подольского района, между деревнями Нагоряны, Козлов, Липчаны и Хоньковцы. Он сформировался на основе ботанического заказника местного значения «Нагорянский» и занимает площадь 112,08 га. Тут охраняются ландшафты очень крутых (60–70° и больше), обрывистых склонов долины р. Днестр с наскальной и кустарниковой степной растительностью на черноземах типичных (см. табл. 1 и 2).

Бронницкий биоцентр находится на юго-востоке Могилев-Подольского района, между деревнями Садковцы и Бронницей. Эта ключевая территория сформировалась на основе парка-памятника садово-паркового искусства местного значения «Бронницкий парк» и занимает площадь 40,68 га. Парк представлен дворцово-усадебным ландшафтно-архитектурным комплексом 1940-х гг. Остатки имения прусского князя генерал-фельдмаршала Витгенштейна охраняются как памятник истории и архитектуры.

В биоцентре имеется коллекция типичных и редких местных и экзотических растений (см. табл. 2). В парке сохранились экземпляры ясеня обыкновенного возрастом более 100 лет. Среди коренных пород тут распространены дубы скальный и обычный, липы широколистная и мелколистная, клен остролистный – всего более 60 видов и форм деревьев и кустов.

Ландшафты биоцентра представлены низкими (первой – третьей), позднеплейстоценовыми надпойменными террасами р. Днестр на известняковых и меловых породах меловой системы отложений, с лугово-степными фитоценозами на темно-серых лесных почвах и антропогенными садово-парковыми ландшафтами (см. рисунок).

Бандышовский биоцентр расположен на юго-востоке Могилев-Подольского района, между деревнями Бандышовкой, Грушкой и Букатинкой. Эта ключевая территория сформировалась на основе регионального ландшафтного парка «Мурафа» и занимает площадь 143,56 га. Тут охраняются ландшафтные комплексы покатых (5–10°) и крутых (10–20°) известняковых склонов долины р. Мурафы с луговыми степями, дубовыми и грабово-дубовыми лесами на темно-серых лесных почвах и черноземах оподзоленных (см. табл. 1 и 2).

Мервинцывский биоцентр находится на юго-востоке Могилев-Подольского района, между деревнями Мервинцы, Новоникольск, Оленовкой, Бандышовкой и Букатинкой. Он сформировался на основе регионального ландшафтного парка «Мурафа» и занимает площадь 94,2 га. Тут охраняются ландшафты пологих (3–5°) склонов долины р. Мурафы с черноземами оподзоленными и темно-серыми лесными почвами под дубовыми и грабово-дубовыми лесами и покатых (5–10°) склонов с черноземами карбонатными под луговыми степями (см. табл. 1 и 2).

Могилев-Подольский биоцентр занимает центр города Могилев-Подольский (юг района) и имеет площадь 15,5 га. Он сформировался на основе парка-памятника садово-паркового искусства местного значения «Центральный парк культуры и отдыха г. Могилев-Подольский» (см. рисунок), основанного в 1960-х гг. В нем собрана коллекция 120 видов и форм редких и типичных, местных и экзотических деревьев и кустов. Среди них 27 экзотов (катальпа бигнониевидная, платан пальчатолистный, каштан съедобный, самшит вечнозеленый, ель сизая). Установлено существование 49 видов природной фауны (3 вида земноводных, 1 вид пресмыкающихся, 42 вида птиц и 3 вида млекопитающих). Сорок один вид животных этой ключевой территории включен в Приложение 2 Бернской конвенции.

Биоцентр представлен садово-парковыми городскими ландшафтами на плоских поверхностях третьей надпойменной террасы р. Днестр с темно-серыми лесными почвами. Эти геокомплексы сформировались на месте грабово-дубовых лесов.

Троповской биоцентр находится на северо-востоке Могилев-Подольского района, между деревнями Троповое и Сугаки. Эта ключевая территория сформировалась на основе зоологического памятника природы местного значения «Озеро» и занимает площадь 15 га. Тут охраняются слабоволнистые водораздельные ландшафты междуречья рек Дерло и Лозовой с прудом (3 га) на месте грабово-дубовых лесов на серых лесных почвах в прошлом.

В Троповском биоцентре обнаружено 57 видов природной флоры и 76 видов природной фауны. Из животных тут обитают 17 видов членистоногих и 59 видов хордовых (2 вида пресмыкающихся, 4 вида земноводных, 43 вида птиц и 10 видов млекопитающих). Выявлены подальирий и барсук (трофические миграции) Красной книги Украины. Сорок видов животных включены в Приложение 2 Бернской конвенции.

Все ключевые территории Могилев-Подольского района занимают площадь около 8000 га, или 8,54 % площади района. Они в разной степени антропогенизированы и имеют в своем составе антропогенные

ландшафты разных классов. Локальные биоцентры, региональные центры биоразнообразия и национальное природное ядро посредством соединительных территорий динамически связаны в единую ПДАЛС экологической сети района.

В пределах Могилев-Подольского района простирается одна **соединительная территория национального уровня** – Днестровский субмеридиональный экокоридор и два **региональных экокоридора**:

1. Лядовский;
2. Мурафский.

Они подробно описаны в [7, с. 112–116; 8; 9], поэтому не будем останавливаться на их характеристике.

Также в районе выделены 12 соединительных территорий локального уровня, или **локальных экокоридоров**:

- | | |
|-------------------|-------------------------|
| 1. Серебрянский; | 7. Кукавско-Юрковецкий; |
| 2. Караецкий; | 8. Вендичанский; |
| 3. Жванский; | 9. Следывский; |
| 4. Немийский; | 10. Оленокский; |
| 5. Дерловский; | 11. Троповской; |
| 6. Котлубаевский; | 12. Новогригоровский. |

Большинство этих коридоров по своему местоположению являются долинными (сформированы долинами рек). Троповской и Новогригоровский экокоридоры – овражно-балочные, поскольку сформированы в балках. Перенос вещества, энергии и информации в них происходит посредством водных, воздушных, минеральных (частицы смытых почв и горных пород) потоков и биотических миграций. Они играют роль парадинамических связей, которые объединяют ключевые территории в единую ПДАЛС экологической сети Могилев-Подольского района.

Серебрянский локальный экокоридор простирается долиной р. Серебрии, между селами Кукавка и Серебрия. Он соединяет Вендичанский и Грабаровский биоцентры между собой и с Днестровским национальным субмеридиональным экокоридором. Площадь экокоридора – 1997 га, длина – 24 км.

Караецкий локальный экокоридор представлен долиной р. Караец, начинается с Барского района и проходит через Мурованокуриловецкий район. В Могилев-Подольском районе экокоридор простирается между селами Хоньковцы и Козлов. Этот экокоридор соединяет Снитковский, Дружбовский, Ровенский и Нишивецкий биоцентры Мурованокуриловецкого района с Козловским биоцентром Могилев-Подольского района. Также он соединяет между собой Мурованокуриловецкий, Надднестрянско-Бернашовский и Лядовский региональные центры биоразнообразия. Кроме ключевых территорий, Караецкий локальный экокоридор соединяет Хоньковецкую и Липчанскую зоны потенциальной ренатурализации. Площадь экокоридора в пределах Могилев-Подольского района – 1581,2 га, длина – 13,1 км.

Жванский локальный экокоридор представлен долиной р. Жван, он начинается с Барского района и проходит через Мурованокуриловецкий. В Могилев-Подольском районе экокоридор простирается между селами Жван и Бернашовка. Этот экокоридор соединяет Михайловецкий и Мурованокуриловецкий биоцентры между собой и с Бернашовским биоцентром Могилев-Подольского района. Он соединяет также Мурованокуриловецкий и Надднестрянско-Бернашовский региональные центры биоразнообразия. Площадь экокоридора в Могилев-Подольском районе – 302,35 га, длина – 2470 м.

Немийский локальный экокоридор представлен долиной р. Немии. Начинаясь с Барского района, он проходит через Мурованокуриловецкий. В Могилев-Подольском районе экокоридор простирается между с. Сугаки и г. Могилев-Подольский. Он соединяет Ялтушковско-Дашевский региональный и Галицко-Слобжанский национальный субширотный экокоридоры с Днестровским национальным субмеридиональным экокоридором. Кроме того, Немийский экокоридор соединяет Горайскую (Мурованокуриловецкий район), Сугакивскую, Кричановскую, Озаринецкую и Могилев-Подольскую зоны потенциальной ренатурализации. Площадь экокоридора в Могилев-Подольском районе – 2059,73 га, длина – 26 км.

Дерловский локальный экокоридор начинается в Мурованокуриловецком районе, проходит через Шаргородский район долиной р. Зарваницы. В Могилев-Подольском районе экокоридор простирается долиной р. Дерло, от окраин с. Тропового до г. Могилев-Подольский. Дерловский экокоридор соединяет Ялтушковско-Дашевский региональный экокоридор с Днестровским национальным субмеридиональным экокоридором, а посредством Троповского экокоридора – Могилев-Подольский и Троповской биоцентры. Кроме ключевых территорий, указанный экокоридор также соединяет Следывскую и Карповскую зоны потенциальной ренатурализации, а с помощью Следывского локального экокоридора – еще и Троповскую зону потенциальной ренатурализации. Площадь экокоридора в Могилев-Подольском районе – 2583,8 га, длина – 32 км.

Котлубаевский локальный экокоридор начинается в Черновицком районе. В Могилев-Подольском районе он простирается долиной р. Котлубаевки, между селами Петровка и Бронница. Этот экокоридор соединяет Григоровский, Криштофовский, Бронницкий биоцентры, Шлишковецкую

и Пилиповскую зоны потенциальной ренатурализации. Посредством Новогригоровского локального экокоридора с вышеперечисленными структурными объектами экосети соединится еще и Новогригоровский биоцентр. Площадь Котлубаевского локального экокоридора в Могилев-Подольском районе – 1225,35 га, длина – 16 км.

Кукавско-Юрковецкий локальный экокоридор представлен долиной безымянного правого притока р. Серебрии, простирается между селами Кукавка и Юрковцы. Этот экокоридор соединяет Грабаровский и Слобода-Ярышевский локальные биоцентры с Серебриницкой зоной потенциальной ренатурализации. Посредством Серебрийского локального экокоридора эти структурные элементы экосети соединяются с Днестровским национальным субмеридиональным экокоридором. Площадь Кукавско-Юрковецкого локального экокоридора – 543,56 га, длина – 11 км.

Вендичанский локальный экокоридор представлен долиной безымянного правого притока р. Немии. Экокоридор начинается северо-западнее с. Лучинчик Мурованокуроиловецкого района, в Могилев-Подольском районе простирается от п. г. т. Вендичаны до с. Борщевцы. Он соединяет Вендичанскую зону потенциальной ренатурализации с Немийским локальным экокоридором, а при посредничестве последнего – с Озаринецкой и Могилев-Подольской зонами потенциальной ренатурализации. Площадь экокоридора – 533,53 га, длина – 12,8 км.

Следывский локальный экокоридор простирается от юго-восточных окраин с. Тропового до с. Следы и представлен долиной безымянного ручья – левого притока р. Дерло. Он соединяет Троповскую зону потенциальной ренатурализации с Дерловским локальным экокоридором, а при его посредничестве – со Следывской и Карповской зонами потенциальной ренатурализации, Могилев-Подольским биоцентром. Площадь Следывского локального экокоридора – 139,56 га, длина – 5,7 км.

Оленокский локальный экокоридор представлен долиной небольшого пересыхающего руч. Оленок – левого притока р. Днестр. Экокоридор начинается на южной окраине с. Оленовка и простирается на юго-восток к с. Яруга. Он соединяет Оленовскую зону потенциальной ренатурализации с Днестровским национальным субмеридиональным экокоридором. Площадь Оленокского локального экокоридора – 497,72 га, длина – 8,5 км.

Троповской локальный экокоридор представлен балкой, которая открывается в долину р. Дерло с левого берега. Экокоридор простирается от западных окрестностей с. Тропового и соединяет Троповской биоцентр с Дерловским локальным экокоридором, а при его посредничестве – с Могилев-Подольским биоцентром, Следывской и Карповской зонами потенциальной ренатурализации, Днестровским национальным субмеридиональным экокоридором. Площадь Троповского локального экокоридора – 15,3 га, длина – 780 м.

Новогригоровский локальный экокоридор представлен двумя балками, которые открываются в долину р. Котлубаевки с левого берега. Он простирается между селами Новая Григоровка и Бронница. Экокоридор соединяет Новогригоровский биоцентр с Котлубаевским локальным экокоридором, а при посредничестве последнего – с Григоровским, Криштофовским и Бронницким биоцентрами, Днестровским национальным субмеридиональным экокоридором. Площадь Новогригоровского локального экокоридора – 157,78 га, длина – 2155 м.

Общая площадь соединительных территорий Могилев-Подольского района с учетом наложения элементов экосети одного на другой – 23 176 га, что составляет 24,75 % площади района.

В структуре ПДАЛС экосети выделяются буферные территории. Они проектируются для защиты ландшафтов ключевых и соединительных территорий от негативного антропогенного воздействия и представлены буферными зонами вокруг национального природного ядра, региональных центров биоразнообразия, биоцентров, национальных, региональных и локальных экокоридоров. Общая площадь буферных территорий Могилев-Подольского района – 6528,97 га, что составляет 6,97 % его площади.

В состав экосети как ПДАЛС входят восстановительные территории. Они представлены зонами потенциальной ренатурализации, которые охватывают участки крутых склонов речных долин с эрозионными формами рельефа, лесные и лугово-степные ландшафтные комплексы. Восстановление природных компонентов в них позволит в будущем увеличить биотическое разнообразие территории.

В Могилев-Подольском районе нами выделено 23 **зоны потенциальной ренатурализации**:

- | | | | |
|------------------------|--------------------|--------------------|-------------------|
| 1. Кричановская; | 7. Текливская; | 13. Серебриницкая; | 19. Пилиповская; |
| 2. Сугакивская; | 8. Хоньковецкая; | 14. Карповская; | 20. Шлишковецкая; |
| 3. Озаринецкая; | 9. Липчанская; | 15. Следывская; | 21. Оленовская; |
| 4. Немийская; | 10. Нагорянская; | 16. Троповская; | 22. Садковская; |
| 5. Могилев-Подольская; | 11. Ираклиевская; | 17. Садковецкая; | 23. Субботовская. |
| 6. Вендичанская; | 12. Жеребиловская; | 18. Ивоновская; | |

Вместе они занимают площадь 4564,4 га, или 4,87 % площади района.

Заклучение

В структуре ПДАЛС экосети Могилев-Подольского района выделены 22 ключевые территории (1 – национального, 4 – регионального и 17 – локального уровней), 15 соединительных территорий (1 – национального, 2 – регионального и 12 – локального уровней), 23 зоны потенциальной ренатурализации, а также буферные зоны вокруг ключевых и соединительных территорий. Они взаимно связаны между собой минеральными, воздушными, водными потоками, биотическими миграциями, их общая площадь составляет 42 269,37 га (45,13 % площади района). Это достаточно высокий показатель, особенно в сравнении с Мурованокуриловецким и Жмеринским районами Винницкой области. Однако площадь ключевых территорий (8000 га, или 8,54 % площади района) еще недостаточна (оптимально 15 %) для сбалансированного экономического, социального и экологического развития Могилев-Подольского района. Поэтому будущие исследования следует направить на расширение существующих и формирование новых ключевых территорий.

Спроектированная нами ПДАЛС экосети Могилев-Подольского района Винницкой области уже используется районной государственной администрацией как основа для территориального планирования этого региона. Она ограничивает развитие вредных производственных комплексов. Например, это позволило в 2012 г. запретить строительство атомной электростанции около с. Нагоряны.

Библиографические ссылки

1. Яценюк ЮВ. Промислові антропогенні парадинамічні та парагенетичні ландшафтні системи міста Вінниці. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2014;3-4:94–98.
2. Яценюк ЮВ. Екомережа Мурованокуриловецького району як парадинамічна антропогенна ландшафтна система. *Наукові записки Вінницького державного педагогічного університету ім. М. Коцюбинського. Серія: Географія*. 2016;28(3-4):35–44.
3. Яценюк ЮВ. Екомережа як антропогенна парагенетична ландшафтна система (на прикладі Вінницької області). *Наукові записки Вінницького державного педагогічного університету ім. М. Коцюбинського. Серія: Географія*. 2014;26:17–24.
4. Іщенко ВА, Коріненко МС, Кватернюк СМ. Розроблення схеми екологічної мережі Немирівського району Вінницької області. *Екологічна безпека та природокористування*. 2012;9(2):88–94.
5. Яценюк ЮВ. Національні природні ядра екомережі Вінницької області. *Український географічний журнал*. 2011;2:48–52.
6. Яценюк ЮВ. Регіональна екомережа Вінницької області. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2012;1-2:77–85.
7. Яценюк ЮВ. *Екомережа Вінницької області*. Вінниця: ТД «Едельвейс і К»; 2011.
8. Яценюк ЮВ. Сполучні території екомережі Вінницької області. У: *Збірник наукових статей III-го Всеукраїнського з'їзду екологів з міжнародною участю* [Internet]. [Процитовано 14 лютого 2018]. 2011. Том 1. с. 279–282. URL: <http://eco.com.ua/>.
9. Shavrina V, Tkach Ye. Rare plants of ecological network in connecting areas of Vinnytsia region. *Агроекологічний журнал*. 2017;1:115–120.

References

1. Yatsenyuk YuV. [Industrial anthropogenic paragenetic and paradynamic landscape systems of Vinnitsa]. *Ljudyna ta dovkillja. Problemy neoeologii*. 2014;3-4:94–98. Ukrainian.
2. Yatsenyuk YuV. [The ecological network of Murovanokurylovetsky district of Vinnytsia region as a paradynamic anthropogenic landscape system]. *Naukovi zapysky Vinnyts'kogo derzhavnogo pedagogichnogo universytetu im. M. Kocjubyns'kogo. Serija: Geografija* [Scientific notes of Vinnytsya State Pedagogical University named after Michailo Kotzubynsky. Series: Geography]. 2016;28(3-4):35–44. Ukrainian.
3. Yatsenyuk YuV. [Ecological network as an anthropogenic paragenetic landscape system (on the example of Vinnytsya region)]. *Naukovi zapysky Vinnyts'kogo derzhavnogo pedagogichnogo universytetu im. M. Kocjubyns'kogo. Serija: Geografija* [Scientific notes of Vinnytsya State Pedagogical University named after Michailo Kotzubynsky. Series: Geography]. 2014;26:17–24. Ukrainian.
4. Ishchenko VA, Korinenko MS, Kvaternjuk SM. [Development of the scheme of the ecological network of Nemyriv district in Vinnytsia region]. *Ekologichna bezpeka ta pryrodokorystuvannja*. 2012;9(2):88–94. Ukrainian.
5. Yatsenyuk YuV. [The national core areas of Vinnitsya region]. *Ukrain's'kyj geografichnyj zhurnal*. 2011;2:48–52. Ukrainian.
6. Yatsenyuk YuV. [The regional econetwork of Vinnitsya region]. *Ljudyna ta dovkillja. Problemy neoeologii*. 2012;1-2:77–85. Ukrainian.
7. Yatsenyuk YuV. *Ekomerezha Vinnyts'koi oblasti* [Ecological network of Vinnytsia region]. Vinnitsya: TD «Edel'vejs i K»; 2011. Ukrainian.
8. Yatsenyuk YuV. [Connective territories of Vinnytsya region ecological network]. In: *Zbirnyk naukovykh statej III-go vseukrai'ns'kogo z'їzdu ekologiv z mizhnarodnoju uchastju* [Collection of scientific articles of Third All-Ukrainian Congress of Ecologists with International Participation] [Internet]. [Cited 2018 February 14]. 2011. Volume 1. p. 279–282. Ukrainian. URL: <http://eco.com.ua/>.
9. Shavrina V, Tkach Ye. Rare plants of ecological network in connecting areas of Vinnytsia region. *Агроекологічний журнал*. 2017;1:115–120.

Статья поступила в редакцию 18.03.2018.
Received by editorial board 18.03.2018.

УДК 528.88

ТЕХНОЛОГИЯ ВЫЯВЛЕНИЯ, ДЕШИФРИРОВАНИЯ И КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ДЕГРАДИРОВАННЫХ ЗЕМЕЛЬ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ¹

А. В. ОЛЬШЕВСКИЙ¹), И. П. САМСОНЕНКО²), В. М. ЯЦУХНО³)

¹)Ростелеком, ул. Арбат, 46, 119002, г. Москва, Россия

²)Проектный институт «Белгипрозем», ул. Казинца, 68, корп. 3, 220108, г. Минск, Беларусь

³)Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь

Описан экспериментальный образец технологии выявления, дешифрирования и картографирования деградированных земель, созданный в рамках выполнения программы Союзного государства «Мониторинг-СГ». Экспериментальный образец основан на использовании моделей автоматизации обработки данных дистанционного зондирования Земли, разработанных на базе открытого геоинформационного программного обеспечения *QGIS*. Такие модели в совокупности дают возможность осуществлять автоматизированную предварительную обработку, классификацию космических снимков, оценку точности классификации, а также векторизацию и картографирование полученных результатов тематического дешифрирования. Предлагаемая технология позволяет создавать цифровые карты проявлений деградации земель, обеспечивает экономию затрат времени, а также упрощение процесса обработки данных дистанционного зондирования Земли. На основе полученной картографической продукции созданы база данных деградированных земель и электронный атлас проявлений процессов деградации земель Республики Беларусь, доступ к которым реализован через специализированный геопортал (веб-сервис). Результаты исследований могут быть применены для борьбы с деградацией земель на национальном уровне, а также при решении задач создания и актуализации планово-картографической основы, разработки тематических геоинформационных систем и документов планирования землепользования.

Ключевые слова: деградация земель; геоинформационные системы; данные дистанционного зондирования.

THE TECHNOLOGY OF IDENTIFICATION, INTERPRETATION AND MAPPING OF DEGRADED LANDS BASED ON REMOTE SENSING DATA

A. V. ALSHEUSKI^a, I. P. SAMSONENKA^b, V. M. YATSUKHNA^c

^aRostelecom, 46 Arbat Street, Moscow 119002, Russia

^bProject Institute «Belgiprozem», 68 Kazinca Street, 3 building, Minsk 220108, Belarus

^cBelarusian State University, 4 Niezaliežnasci Avenue, Minsk 220030, Belarus

Corresponding author: V. M. Yatsukhna (yatsukhno@bsu.by)

Described experimental sample of the technology of identification, interpretation and mapping of degraded land, created in the framework of the Union State program «Monitoring-SG». The experimental sample is based on the use of GIS models of automatization of remote sensing data (RSD) processing, created on the basis of an open geoinformation

¹По материалам научного доклада на VII Белорусском космическом конгрессе (Минск, 24–26 октября 2017 г.).

Образец цитирования:

Ольшевский АВ, Самсоненко ИП, Яцухно ВМ. Технология выявления, дешифрирования и картографирования деградированных земель на основе данных дистанционного зондирования Земли. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология.* 2018;2:50–58.

For citation:

Alsheuski AV, Samsonenka IP, Yatsukhna VM. The technology of identification, interpretation and mapping of degraded lands based on remote sensing data. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology.* 2018;2:50–58. Russian.

Авторы:

Алексей Валерьевич Ольшевский – кандидат географических наук; технический директор продуктового офиса «Гео-данные».

Игорь Павлович Самсоненко – кандидат географических наук; ведущий специалист отдела научно-исследовательских работ.

Валентин Минович Яцухно – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент; ведущий научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории экологии ландшафтов географического факультета.

Authors:

Aleksey V. Alsheuski, PhD (geography); technical director of GeoData product office.

aleksey.olshevskiy@rt.ru

Igor P. Samsonenka, PhD (geography); leading researcher at the research department.

samsonenka@gmail.com

Valentin M. Yatsukhna, PhD (agricultural sciences), docent; leading researcher at the landscape ecology laboratory, faculty of geography.

yatsukhno@bsu.by

software *QGIS*. Developed GIS models are used together to implement an automated pre-processing, satellite images classification, accuracy assessment of the classification and vectorization and mapping of the received results of thematic interpretation. The proposed technology allows to create digital land degradation maps, provides a cost savings and simplification of remote sensing data processing. The database of degraded lands and the electronic atlas of land degradation forms of the Republic of Belarus are created, access to which is realized through a dedicated geoportal (web-service). The research results could be applied for combat land degradation at national level, but also at the solution of tasks of creating and updating of cartographic products, development of thematic geographic information systems and land use planning documents.

Key words: land degradation; geoinformation systems; remote sensing data.

Введение

В настоящее время деградация земель, включая их ключевой компонент – почвы, представляет собой существенную угрозу, определяющую негативные социально-экономические и экологические последствия. Усиливающееся антропогенное воздействие на земельные ресурсы, сокращение биоразнообразия экосистем, увеличение их уязвимости к климатическим изменениям, нерациональное управление и организация землепользования не только снижают продукционную способность земель (почв), но и отрицательно сказываются на других жизненно важных, предоставленных ими экосистемных услугах. По данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (ФАО), общая площадь деградированных земель составляет свыше 25 % территории суши, а ежегодный глобальный ущерб, наносимый деградацией земель, – около 300 млрд долл. США [1].

Для Республики Беларусь деградация земель также является одной из наиболее актуальных проблем, от решения которой зависят как успешность экономического развития, так и экологическая безопасность. Это находит отражение в международных обязательствах страны в связи с присоединением к Конвенции ООН по борьбе с опустыниванием/деградацией земель (Указ Президента Республики Беларусь от 17 июля 2001 г. № 393) и реализацией положений стратегии и Национального плана действий по предотвращению деградации земель (включая почвы) на 2016–2020 гг., утвержденных постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 29 апреля 2015 г. № 361 [2].

К основным формам (видам) деградации земель (почв) применительно к условиям Беларуси относятся водная и ветровая эрозия; минерализация (разрушение) осушенных торфяно-болотных почв; ухудшение гранулометрического состава; химическое, в том числе радионуклидное, загрязнение; загрязнение отходами производства и потребления, подтопление, переуплотнение; выгорание осушенных торфяников; нарушение земель при разработке месторождений полезных ископаемых, а также при ведении строительных работ и иных раскопках; самовольное занятие и нецелевое использование земель; заброшенность земель, в том числе занятых пустующими объектами, и др.

Одной из главных причин, сдерживающих проведение мероприятий по борьбе с деградацией, является отсутствие оперативной, точной и низкочувствительной технологии выявления, картографирования, классификации, учета и оценки процессов деградации и деградированных земель.

В силу развития технологий сбора, обработки, хранения и использования данных дистанционного зондирования (ДЗ), снижения их стоимости, возможности выбора каналов спектрального сканирования земной поверхности и периода наблюдений, а также получения актуальных данных и применения программных средств автоматизации эти методы наиболее приемлемы для выявления и картографирования процессов деградации и деградированных земель.

Решению указанной проблемы на национальном уровне уделяется все больше внимания, однако до настоящего времени из всех видов деградации земель лишь для водной и ветровой эрозии и минерализации торфяников имеется некоторый опыт их изучения средствами дистанционного зондирования. Вопросы методического обеспечения и внедрения таких работ в практику все еще остаются нерешенными.

Экспериментальная часть

В настоящее время в научно-исследовательской лаборатории экологии ландшафтов географического факультета БГУ завершена работа над проектом «Разработка экспериментального образца технологии выявления, дешифрирования и картографирования динамики процессов деградации, деградирующих и деградированных земель на основе современных спутниковых данных» в рамках программы Союзного государства «Разработка космических и наземных средств обеспечения потребителей России и Беларуси информацией дистанционного зондирования Земли» («Мониторинг-СГ») [3].

Создаваемая в ходе проекта технология основана на использовании геоинформационных моделей обработки ДДЗ, которые представляют собой определенные последовательности операций, в совокупности позволяющих осуществлять автоматизированную предварительную обработку, классификацию космических снимков, оценку точности классификации, а также векторизацию и картографирование полученных результатов тематического дешифрирования [4].

Для разработки геоинформационных моделей в качестве базового используется программное обеспечение (ПО) с открытым кодом *Quantum GIS (QGIS)* и дополнительные модули к нему (*SAGA*, *OTB*). При выборе данного ПО существенной являлась возможность подключения к основному функционалу пространственного анализа *QGIS* инструментов обработки ДДЗ из других геоинформационных пакетов и их последующего использования в виде отдельных модулей, а также наличие специализированного модуля создания моделей, в котором можно комбинировать имеющиеся алгоритмы для решения различных прикладных задач. ПО *QGIS* позволяет оперировать графическими моделями рабочих процессов, создавать, редактировать, запускать и документировать пространственные модели. При этом основными используемыми категориями являются исходные геоинформационные слои, процессы, их параметры и связи между ними, а также результирующие слои.

В рамках разработки технологии создан ряд геоинформационных моделей: предварительной обработки ДДЗ, автоматизированной классификации, оценки точности классификации и векторной пост-обработки ее результатов.

Геоинформационная модель предварительной обработки ДДЗ (рис. 1) предназначена для подготовки исходных данных к последующему автоматизированному дешифрированию и включает в себя:

- исходные слои:
 - растровый космический снимок;
 - отдельные спектральные каналы снимка (*NIR band*, *R band* и т. д.);
- геоинформационные процессы (алгоритмы программных пакетов *QGIS*, *SAGA* и *OTB*), которые можно отключать или активировать в зависимости от решаемой задачи и целей обработки ДДЗ:
 - разделение многозонального снимка на *N* каналов (*Split Image*);
 - разделение многозонального снимка на *RGB*-каналы (*Split RGB bands*);
 - линейное растяжение гистограммы (*Rescale Image*);
 - расчет вегетационных индексов (*NDVI*, *PVI* и др.);
 - фильтрация методами Гаусса (*Gaussian filter*) и Лапласа (*Laplacian filter*);
 - композит *RGB* (*Rgb composite*);
 - расчет статистики второго порядка (*Compute Images second order statistics*);
- результирующие слои, которые возможно сохранять в памяти компьютера либо во временной папке.

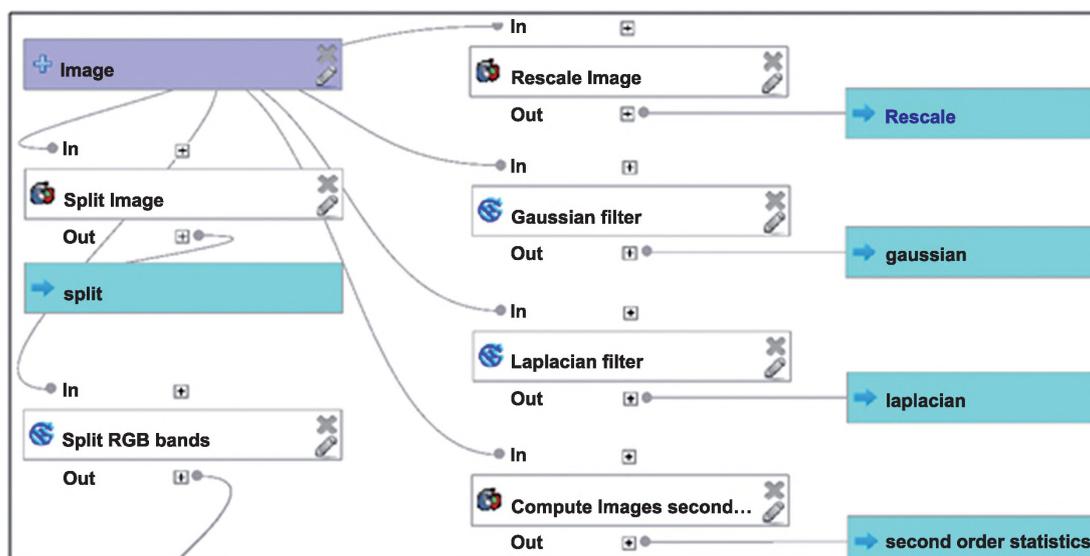


Рис. 1. Геоинформационная модель предварительной обработки ДДЗ (фрагмент)

Fig. 1. Geoinformation model of preliminary processing of RSD (fragment)

Геоинформационные модели автоматизированной классификации предназначены для автоматического разбиения изображений по заданному признаку или совокупности признаков на однородные содер­жательно интерпретируемые области и включают:

- исходные слои:
 - растровый снимок (может использоваться исходный снимок либо результирующие слои модели предварительной обработки (комбинации каналов));
 - векторный слой эталонов (для модели автоматизированной контролируемой классификации с обучением);
- геоинформационные процессы (алгоритмы пакетов *QGIS*, *SAGA* и *OTB*):
 - модель классификации без обучения (*Unsupervised KMeans classification*);
 - модель классификации с обучением (*Supervised classification*);
- результирующие слои классифицированных снимков.

Геоинформационная модель оценки точности предназначена для определения объективных показателей достоверности и надежности информации, полученной при классификации ДДЗ, и состоит из следующих процессов (алгоритмов пакета *GRASS*):

- преобразование векторного слоя в растровый с использованием атрибута слоя (*v.to.rast.attribute*);
- расчет параметров оценки точности классификации (*r.kappa*).

Исходные слои модели:

- классифицированный растровый снимок, полученный на предыдущем этапе обработки ДДЗ;
- векторный полигональный слой с информацией об известных видах земель.

Алгоритм расчета матрицы ошибок и параметра *kappa* для оценки точности результатов классификации вычисляет матрицу ошибок классификации и подготавливает таблицу, в которой отражены количество правильно классифицированных пикселей, общая площадь (в пикселях) и процент правильно классифицированных пикселей. Отчет о работе алгоритма записывается в результирующий файл в текстовом формате.

Геоинформационная модель постобработки результатов классификации ДДЗ предназначена для оформления этих результатов в виде цифровой карты. Векторная постобработка заключается в фильтрации шумов (алгоритм *r.neighbors*) и автоматической векторизации (алгоритм *r.to.vect*) полученных данных. В качестве исходного слоя для модели выступает классифицированный растровый снимок, созданный на предыдущем этапе обработки ДДЗ.

Результаты и их обсуждение

Последовательная реализация разработанных моделей позволяет создавать цифровые карты проявлений деградации, на которых отображаются границы контуров деградированных земель, различающихся по видам деградации, а также дополнительные необходимые элементы содержания (рис. 2).

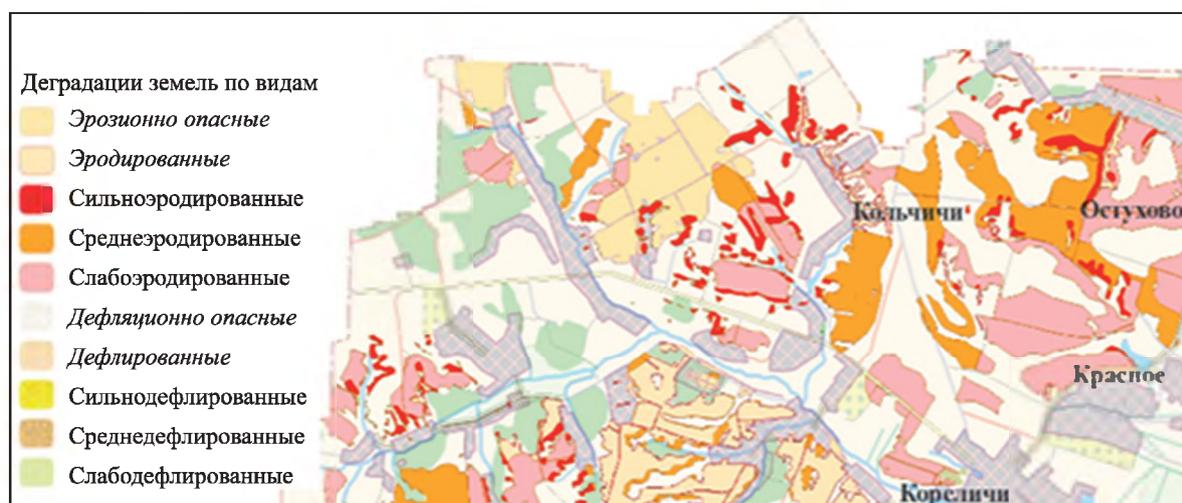


Рис. 2. Цифровая карта проявлений деградации земель, созданная с использованием геоинформационных моделей обработки ДДЗ (фрагмент)

Fig. 2. Digital map of degradation land worked out with geoinformation models of RSD (fragment)

Карты являются важнейшим итогом работ по выявлению и картографированию процессов деградации и деградированных земель и предназначены для анализа почвенно-экологической ситуации и принятия управленческих решений по борьбе с негативными процессами.

Цифровые карты деградации земель хранятся в созданной пространственной базе данных деградированных земель в виде специального класса объектов, структура которого представлена в табл. 1.

Таблица 1

Структура класса объектов «Деградированные земли»

Table 1

Structure of the «Degraded Land» class of objects

Наименование поля	Имя поля	Тип поля (размер или диапазон значений)	Описание
ID	ID	Числовое целое (0–255)	Идентификационный номер
Название	Name	Символьное (40 знаков)	Собственное название участков, вводится по необходимости
Вид деградации	DegrType	Числовое целое (0–255)	Кодируется в соответствии со справочником DEGRTYPES
Вид земель	ZemVid	Числовое целое (0–255)	Кодируется в соответствии со справочником ZEMVIDS
Процесс деградации	DegrProc	Числовое целое (0–255)	Кодируется в соответствии со справочником DEGRPROC
Проявление процесса	DegrDem	Числовое целое (0–255)	Кодируется в соответствии со справочником DEGRDEM
Индикатор деградации	DegrInd	Числовое целое (0–255)	Кодируется в соответствии со справочником DEGRIND
Координаты ареала (центральной точки)	AreCor	Числовое	Определяются GPS-приемником
Площадь ареала	ArePlo	Числовое	Картометрические измерения
Область	Region	Символьное (40 знаков)	Административная область
Район	District	Символьное (40 знаков)	Административный район
Код административно-территориальной единицы	RegCod	Числовое целое	В соответствии с единым государственным регистром недвижимого имущества (ЕГРНИ)
Кадастровый номер	CadNum	Числовое целое	В соответствии с ЕГРНИ
ID ЗИС	IDZIS	Числовое целое	В соответствии с земельными информационными системами
Уточняющая подпись	Text	Символьное (40 знаков)	Кодируется в соответствии со справочником DEGRTEXTS

На основе полученной картографической продукции создан электронный атлас проявлений процессов деградации земель Республики Беларусь, содержащий обзорные (масштаб 1 : 1 000 000) и крупномасштабные (1 : 10 000–1 : 100 000) карты, охватывающие территорию отдельных административных районов страны. В атлас входят:

- обзорная карта процессов водной и ветровой эрозии по Беларуси масштаба 1 : 1 000 000 (создана по материалам первичного наполнения базы данных деградированных земель и в результате уточнения накопленной ранее картографической информации);
- обзорная карта процессов деградации земель на осушенных торфяниках в разрезе административных районов масштаба 1 : 1 000 000 (создана по материалам первичного наполнения базы данных деградированных земель);
- карты очагов проявления процессов деградации земель в пределах административных районов масштаба 1 : 10 000–1 : 100 000.

Крупномасштабные карты данного атласа отражают ареалы распространения основных причин снижения производительной способности почвенно-земельных ресурсов республики, в первую очередь

сельскохозяйственного назначения. Динамика процессов и явлений деградации земель интегрально проявляется в почвенном покрове территории, его структуре и качественном состоянии. В связи с этим основной исходной информацией для учета деградации сельскохозяйственных земель являются данные о структуре почвенного покрова, т. е. системном объединении не только факторов землепользования (соответственно техногенной нагрузки на территорию), но и условий прошлого и современного почвообразования.

Для организации возможности обращения заинтересованных лиц к базе данных деградированных земель и указанному выше электронному атласу посредством интернета в ходе выполнения проекта был создан специализированный геопортал (рис. 3), который доступен по следующей ссылке: <http://maps.geo.bs.u.by:8080/geoexplorer/viewer/#maps/4>.

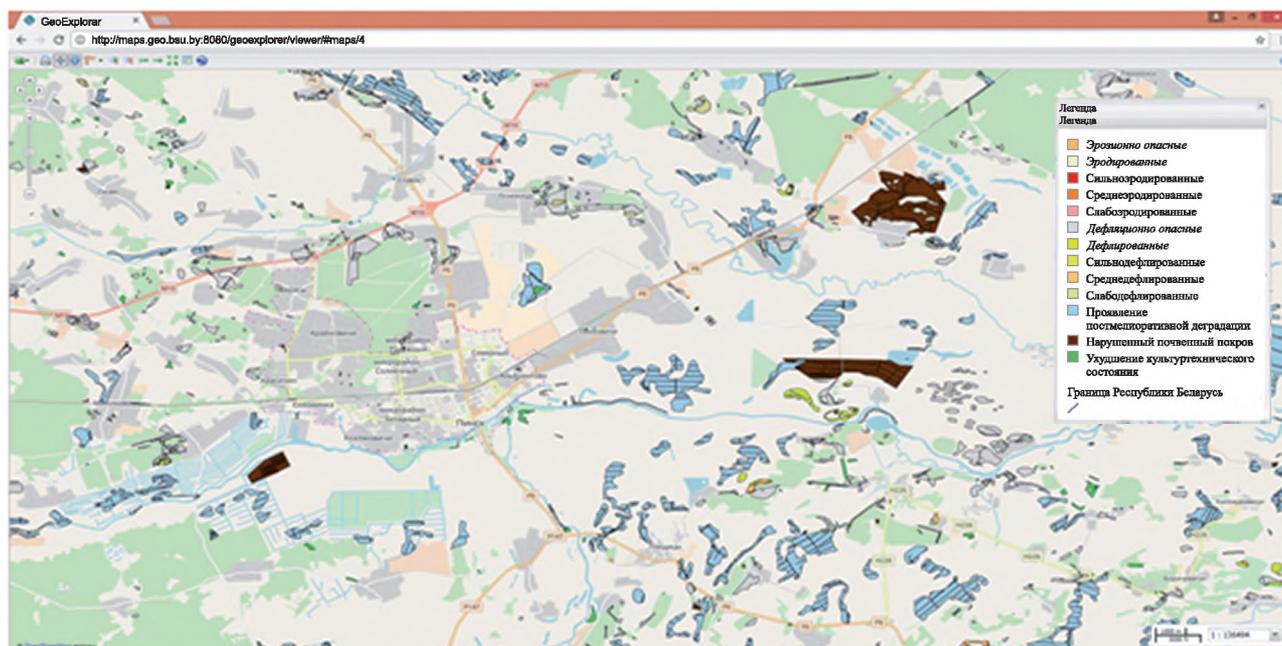


Рис. 3. Геопортал данных о проявлении процессов деградации земель
Fig. 3. The geportal of data on the manifestation of land degradation processes

Доступ к перечисленным ресурсам реализован по протоколу *http* посредством сервис-ориентированной архитектуры (SOA) с использованием стандартизированных интероперабельных веб-сервисов. При этом применялось серверное ПО *GeoServer*, которое является открытым, бесплатным и позволяет реализовать все виды геоинформационных сервисов в соответствии со стандартами OGC.

Основные функции, выполняемые указанными геосервисами, – это визуализация пространственных данных (Web Map Service – WMS), их предоставление пользователю в векторном (Web Feature Service – WFS) и растровом (Web Coverage Service – WCS) форматах, удаленное редактирование данных (Web Feature Service Transactional – WFS-T).

Использование реализованных геосервисов и геопортальных технологий при планировании землепользования, создании и актуализации карт деградированных земель дает пользователям возможность получить необходимые пространственные данные в онлайн-режиме, хранить данные и результаты анализа в одном месте, обеспечивая доступ всех заинтересованных на любом этапе работы. Это позволяет преодолеть ограниченность ресурсов (времени, данных, связи) и в конечном итоге повышает эффективность проводимых работ [5; 6].

Разработчики публикуют пространственные данные о деградированных землях на центральном сервере в виде геоинформационных сервисов визуализации, передачи и редактирования данных. Геосервисы визуализации размещаются на соответствующих веб-страницах в интернете и совмещаются с пользовательскими инструментами, предназначенными для обсуждения картографических материалов и совместного принятия решений. Актуализация исходных данных, необходимых для разработки документов планирования землепользования, осуществляется с помощью удаленного редактирования. Согласование мероприятий по борьбе с деградацией земель происходит в онлайн-режиме путем просмотра картографических материалов и их комментирования. Землепользователи, общественность

и другие заинтересованные также могут обсуждать имеющиеся картографические материалы и предполагаемые изменения использования земель, тем самым участвуя в процессе планирования такового. Зайдя на страницу системы в интернете, представители органов государственного управления могут обращаться к утвержденным в установленном порядке документам планирования землепользования при обосновании и принятии решений. Специалисты, находясь в командировках, непосредственно в поле, имеют возможность удаленно обращаться к серверу как при разработке, так и при проведении авторского надзора (без необходимости иметь картографические материалы в бумажном виде).

Данная технология может применяться на различных этапах работы для следующих целей.

- Согласование предварительных материалов документов планирования землепользования в онлайн-режиме с руководителями и специалистами исполкомов, их структурных подразделений и иных организаций. При этом существует несколько вариантов использования системы. При условии наличия интернета и технических средств на местах специалисты райисполкомов и других организаций просматривают подготовленные карты в интернете, высказывают замечания и предложения с помощью соответствующих инструментов, вносят необходимые изменения путем удаленного редактирования. В случае отсутствия такой технической возможности осуществляется командировка одного из разработчиков в район (при этом ему понадобятся ноутбук и 3G-модем для выхода в интернет). В этом случае отпадает необходимость дорогостоящей распечатки картографических материалов на плоттере и сотрудник демонстрирует их удаленно (если нужно, редактирует пространственные данные).

- Актуализация исходных пространственных данных о деградированных землях с помощью удаленного редактирования. При этом разработчики используют космический снимок, описывающий текущую ситуацию, совмещая его на странице портала с текущим слоем деградированных земель. В этом случае наглядно видно, где необходима актуализация.

Технология может быть полезна для вовлечения местного населения и землепользователей в мероприятия по борьбе с деградацией земель и процесс планирования землепользования через обсуждение предложений на страницах геопортала, а также для демонстрации материалов разработчиками. Картографические материалы могут использоваться учеными и преподавателями при проведении различных исследований и в образовательных целях.

Отдельная стадия работ по проекту – подготовка методических рекомендаций, устанавливающих порядок применения экспериментального образца (ЭО) технологии для различных целей в области землеустройства, государственного земельного кадастра и государственного контроля за использованием и охраной земель.

В соответствии с разработанными рекомендациями использование ЭО технологии предполагает следующие этапы (рис. 4):

- подготовка исходных данных;
- использование ПО (геоинформационных моделей) ЭО;
- использование результатов автоматизированного дешифрирования деградированных земель.

Заключительная стадия проекта – оценка экономической эффективности разработанного ЭО. Методика ее определения основывалась на хронометрировании процессов обработки ДДЗ и вычислении разницы во времени реализации этих процессов с использованием разработанных моделей и без их использования (при последовательном применении соответствующих традиционных инструментов обработки ДДЗ – программных пакетов *QGIS*, *SAGA*, *OTB* и *GRASS* в программной оболочке *QGIS*). Полученная временная разница умножалась на показатель стоимости человеко-часа сотрудников, выполняющих обработку ДДЗ, что позволило определить экономию затрат в денежном выражении.

Результаты хронометрирования показали, что с помощью разработанных геоинформационных моделей временные затраты на обработку ДДЗ для целей выявления, дешифрирования и картографирования динамики процессов деградации, деградирующих и деградированных земель сокращаются на 36 % по сравнению с обработкой без использования указанных моделей (традиционные инструменты в программной оболочке *QGIS*) и на 88 % – по сравнению с выполнением аналогичных работ в ходе создания земельных информационных систем. Уменьшение времени происходит за счет ускорения выполнения отдельных операций обработки ДДЗ, отсутствия необходимости ручного ввода параметров алгоритмов, а также поиска и прописывания путей к файлам при загрузке данных в ПО и сохранении результатов, открытия и запуска множества отдельных алгоритмов обработки.

Для определения экономии затрат в денежном выражении использовался соответствующий средний показатель стоимости человеко-часа сотрудников предприятия «Геоинтех» (12,5 руб./ч (с учетом налогов и накладных расходов)), планирующего использовать ЭО при решении задач создания и актуализации планово-картографической основы, разработки тематических геоинформационных систем и документов планирования землепользования.

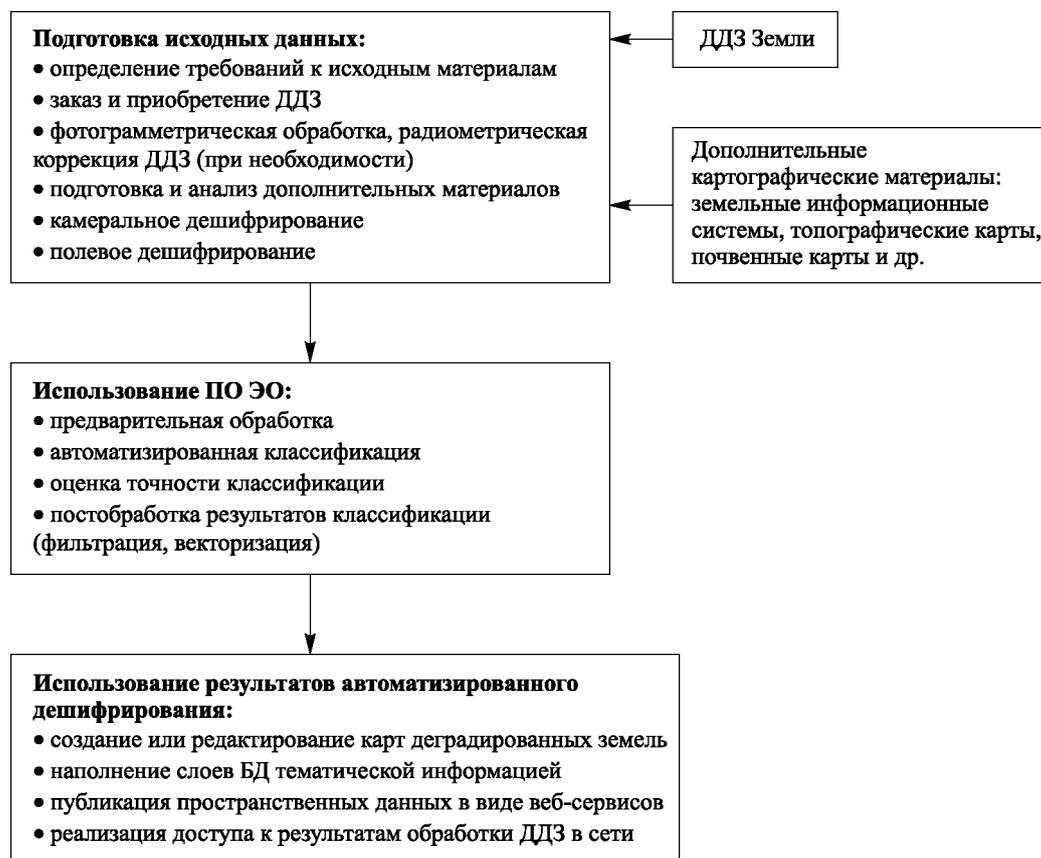


Рис. 4. Схема использования ЭО

Fig. 4. Scheme of using the experimental technology sample

Выполненные расчеты показали, что экономия затрат от применения ЭО в денежном выражении составляет 9072 руб. в год по сравнению с использованием традиционных инструментов обработки ДДЗ в среде *QGIS* и 22 176 руб. в год по сравнению с проведением аналогичных работ для создания земельных информационных систем.

Заключение

В ходе выполнения научных работ по проекту создан экспериментальный образец технологии выявления, дешифрирования и картографирования деградированных земель, основанный на использовании геоинформационных моделей автоматизации обработки ДДЗ. Разработанные модели в совокупности позволяют осуществлять автоматизированную предварительную обработку, классификацию космических снимков, оценку точности классификации, а также векторизацию и картографирование полученных результатов тематического дешифрирования. Проведенные предварительные испытания и опытная эксплуатация ЭО показали работоспособность созданных геоинформационных моделей и возможность получения требуемой информации в результате полного цикла обработки ДДЗ в полуавтоматическом режиме.

Предлагаемая технология позволяет создавать цифровые карты проявлений деградации земель, обеспечивает экономию затрат времени, а также упрощение процесса обработки ДДЗ Земли. На основе картографической продукции получены база данных деградированных земель и электронный атлас проявлений процессов деградации земель Республики Беларусь, доступ к которым реализован через специализированный геопортал (веб-сервис).

Результаты выполненных исследований могут быть применены для борьбы с деградацией земель на национальном уровне, а также при решении задач создания и актуализации планово-картографической основы, разработке тематических геоинформационных систем и документов планирования землепользования. Потенциальными пользователями предлагаемой технологии выявления и картографирования деградации земель являются организации и предприятия Минприроды, Госкомимущества, НАН Беларуси, а также преподаватели и студенты соответствующих специальностей.

Библиографические ссылки

1. Nkonya E, Mirzabaev A, Joachim von Braun, editors. *Economics of Land Degradation and Improvement – A Global Assessment for Sustainable Development*. Bonn: Springer, 2016. 685 p.
2. Стратегия по реализации Конвенции ООН по борьбе с опустыниванием в тех странах, которые испытывают серьезную засуху и/или опустынивание, особенно в Африке. Национальный план действий по предотвращению деградации земель (включая почвы) на 2016–2020 гг. Минск: Минприроды; 2015. 56 с.
3. Разработать экспериментальный образец технологии выявления, дешифрирования и картографирования динамики процессов деградации, деградирующих и деградированных земель на основе современных спутниковых данных: научно-технический отчет о научно-исследовательской работе (заключительный). Яцухно ВМ, руководитель; Ольшевский АВ, исполнитель. Минск: БГУ; 2015. 115 с. № SR 20141420.
4. Ольшевский А. Разработка геоинформационной модели автоматизированной классификации мультиспектральных космических снимков. *Земля Беларуси*. 2013;1:36–39.
5. Ольшевский А. Технология предоставления и редактирования картографических материалов схем землеустройства в сети Интернет. *Земля Беларуси*. 2011;4:39–45.
6. Giri CP, editor. *Remote Sensing of Land Use and Land Cover: Principles and Applications*. New York: CRC Press; 2012. 477 p.

References

1. Nkonya E, Mirzabaev A, Joachim von Braun, editors. *Economics of Land Degradation and Improvement – A Global Assessment for Sustainable Development*. Bonn: Springer, 2016. 685 p.
2. [Strategy of Implementation of the UN Convention to Combat Desertification in Those Countries Experiencing Serious Drought and/or Desertification, Particularly in Africa. 2016–2020 National Action Plan for the Prevention of Land (and soil) Degradation]. Minsk: Minprirody; 2015. 56 p. Russian.
3. [Develop an experimental model of technology for identifying, satellite image interpretation and mapping the dynamics of degradation processes, degraded lands based on modern satellite data: a scientific and technical report on research (final)]. Yatsukhno VM, scientific supervisor; Olshevsky AV, responsible performer. Minsk: Belarusian State University; 2015. 115 p. No. SR 20141420. Russian.
4. Olshevsky A. [Model of the automated classification of multispectral satellite images]. *Zemlya Belarusi*. 2013;1:36–39. Russian.
5. Olshevsky A. [The technology of presenting and editing of cartographical materials of land management schemas in the Internet]. *Zemlya Belarusi*. 2011;4:39–45. Russian.
6. Giri CP, editor. *Remote Sensing of Land Use and Land Cover: Principles and Applications*. New York: CRC Press; 2012. 477 p.

Статья поступила в редколлегию 02.04.2018.
Received by editorial board 02.04.2018.

УДК 550.4:551.3(476)

ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ ЗЕМЕЛЬ (ПОЧВ) УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ БЕЛАРУСИ В ЦЕЛЯХ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОГО НОРМИРОВАНИЯ СОДЕРЖАНИЯ В НИХ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ. I. МЫШЬЯК И РТУТЬ

О. В. ЛУКАШЁВ¹⁾, Н. В. ЖУКОВСКАЯ¹⁾,
Н. Г. ЛУКАШЁВА¹⁾, И. И. ИЛЬЮКОВА²⁾, В. В. САВЧЕНКО³⁾

¹⁾Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь

²⁾Научно-практический центр гигиены, ул. Академическая, 8, 220012, г. Минск, Беларусь

³⁾ООО «Проектирование горнорудных предприятий», пр. Независимости, 169, 220114, г. Минск, Беларусь

Приведены результаты эколого-геохимического исследования As и Hg в почвах урбанизированных территорий Беларуси. Всего на содержание указанных элементов было проанализировано 292 почвенных образца (из них на г. Минск приходится 148 проб, на областные и районные центры – 132, на Березинский биосферный заповедник – 12). Валовое содержание As и Hg определялось атомно-абсорбционным методом. За пределами

Образец цитирования:

Лукашёв ОВ, Жуковская НВ, Лукашёва НГ, Ильюкова ИИ, Савченко ВВ. Эколого-геохимическое изучение земель (почв) урбанизированных территорий Беларуси в целях дифференцированного нормирования содержания в них загрязняющих веществ. I. Мышьяк и ртуть. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология.* 2018; 2:59–73.

For citation:

Lukashev OV, Zhukovskaya NV, Lukasheva NG, Ilyukova II, Savchenko VV. Ecological and geochemical study of land (soils) within urbanized areas of Belarus for the differentiated norming of pollutant content. I. Arsenic and mercury. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology.* 2018;2:59–73. Russian.

Авторы:

Олег Валентинович Лукашёв – кандидат геолого-минералогических наук, доцент; заведующий кафедрой региональной геологии географического факультета.

Наталья Викторовна Жуковская – кандидат географических наук; доцент кафедры почвоведения и земельных информационных систем географического факультета.

Наталья Григорьевна Лукашёва – лаборант научно-исследовательской лаборатории экологии ландшафтов географического факультета.

Ирина Ивановна Ильюкова – кандидат медицинских наук; заведующий лабораторией профилактической и экологической токсикологии.

Владимир Васильевич Савченко – кандидат геолого-минералогических наук; заместитель директора по научной работе.

Authors:

Oleg V. Lukashev, PhD (geology and mineralogy), docent; head of the department of regional geology, faculty of geography. 240660@mail.ru

Natalia V. Zhukovskaya, PhD (geography); associate professor at the department of soil science and land information systems, faculty of geography. natazhuk@gmail.com

Natalia G. Lukasheva, laboratory assistant at the research and development laboratory of landscape ecology, faculty of geography. 240660@list.ru

Irina I. Ilyukova, PhD (medicine); head of the laboratory of preventive and ecological toxicology. ecotox@rspch.by

Vladimir V. Savchenko, PhD (geology and mineralogy); deputy director for science. savchenko@tut.by

промплощадок, хозяйственных дворов предприятий и свалок наблюдается достаточно стабильный средний уровень валового содержания As в гумусированном горизонте почв, обусловленный естественными природными факторами (главным образом минералогическими). Среднее содержание элемента в почвах рекреационной зоны Беларуси в целом – 0,57 мг/кг, селитебной зоны – 0,48 мг/кг, транспортной зоны – 0,64 мг/кг, промышленной зоны – 0,57 мг/кг. В почвах сельскохозяйственных земель Березинского биосферного заповедника среднее содержание As составляет 0,50 мг/кг. Выявлено незначительное накопление As в почвах транспортной зоны (коэффициент концентрации равен 1,2). Минимальное медианное значение (около 0,01 мг/кг), близкое к мировому кларку, установлено для сельскохозяйственных земель Березинского биосферного заповедника, земель рекреационной и селитебной (0,013 мг/кг) зон в целом. Медианные значения содержания Hg в почвах транспортной (0,036 мг/кг) и промышленной (0,021 мг/кг) зон в 3,6 и 2,1 раза выше соответственно. Полученные геохимические показатели использовались при разработке нормативов загрязнения почв.

Ключевые слова: геохимия почв; металлы; загрязнение почв; предельно допустимая концентрация (ПДК); урбанизированные территории; функциональные зоны.

ECOLOGICAL AND GEOCHEMICAL STUDY OF LAND (SOILS) WITHIN URBANIZED AREAS OF BELARUS FOR THE DIFFERENTIATED NORMING OF POLLUTANT CONTENT. I. ARSENIC AND MERCURY

O. V. LUKASHEV^a, N. V. ZHUKOVSKAYA^a,
N. G. LUKASHEVA^a, I. I. ILYUKOVA^b, V. V. SAVCHENKO^c

^aBelarusian State University, 4 Niezaliežnasci Avenue, Minsk 220030, Belarus

^bScientific and Practical Center of Hygiene, 8 Akademičnaja Street, Minsk 220012, Belarus

^cDesign of Mining Enterprises, LLC, 169 Niezaliežnasci Avenue, Minsk 220114, Belarus

Corresponding author: O. V. Lukashev (240660@mail.ru)

The article presents the ecological and geochemical research results of As and Hg in soils within urbanized areas of Belarus. 292 soil samples have been analyzed for As and Hg content (of which 148 samples were taken within Minsk, 132 – regional and district centres, and 12 – Berezinsky Biosphere Reserve). Determination of As and Hg total content has been carried out by atomic absorption method. Outside the industrial sites, the territories of enterprises and dumps, a fairly stable average level of As in the humus horizon, determined by natural factors (mainly mineralogical) has been observed. The average content of the element in the soils of the recreational zone for Belarus as a whole is 0.57 mg/kg, in the residential area is 0.48 mg/kg, in the transport zone is 0.64 mg/kg, in the industrial zone is 0.57 mg/kg. The average content of As in the soils of Berezinsky Biosphere Reserve agricultural lands is 0.50 mg/kg. An insignificant accumulation of As in the soils of the transport zone has been revealed (concentration coefficient is 1.2). The minimum median value (about 0.01 mg/kg), close to the world clark, has been established for Berezinsky Biosphere Reserve agricultural lands, the recreational and residential (0.013 mg/kg) zones in general. Median values of Hg content in transport soils (0.036 mg/kg) and industrial zones (0.021 mg/kg), respectively, are 3.6 and 2.1 times higher. The obtained geochemical indicators has been used when developing soil contamination standards.

Key words: soil geochemistry; metals; soil contamination; maximum permissible concentration (MPC); urbanized areas; functional zones.

Введение

В 2006–2011 гг. по инициативе Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды (В. В. Савченко) и Республиканского научно-практического центра гигиены (РНПЦ гигиены) (И. И. Ильюкова) в Беларуси при разработке нормативов загрязнения почв использовался принцип дифференциации нормирования содержания химических веществ в землях (почвах) в зависимости от их функционального назначения или категории. Выполненные работы включали в себя следующие основные этапы: 2006 г. – разработка общей методики исследования (РНПЦ гигиены, БГУ, Институт природопользования НАН Беларуси), в дальнейшем принявшей форму Инструкции по определению дифференцированных гигиенических нормативов загрязнения почв [1]; 2007–2009 гг. – опробование почв урбанизированных территорий республики для установления их реального эколого-геохимического состояния по ряду показателей (БГУ); 2007–2011 г. – разработка нормативов загрязнения земель (почв) металлами и нефтепродуктами (РНПЦ гигиены) [2–5]. Новым аспектом выполненных работ являлось использование при нормировании наряду с традиционным валовым содержанием (As, Hg, Pb, нефтепродукты) также подвижных фракций (форм) ряда металлов (Cr, Ni, Cu, Zn, Cd) [6]. Работа в основной своей

части проводилась в соответствии с Национальным планом действий по рациональному использованию природных ресурсов и охране окружающей среды Республики Беларусь на 2006–2010 гг. (п. 7), а также с заданием НИР 4.10 «Разработать показатели вредности (токсикологический, воздушно-миграционный, водно-миграционный, фитотоксический, общесанитарный) и исходные данные для обоснования ПДК нефтепродуктов в почвах» (ГНТП «Экологическая безопасность» (2009–2010)) [7].

Наиболее трудоемким был этап эколого-геохимического изучения почв урбанизированных территорий, выполненный в БГУ (научный руководитель – О. В. Лукашёв). В рамках отводимых Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды на проведение работ времени (как правило, 3–7 мес. на 1 проект в год) и финансовых средств, при существующих ценах на выполнение химико-аналитических работ и нормах командировочных расходов практически возможно было осуществить детальное изучение только одного наиболее крупного города (столица) и контрольно-рекогносцировочное – прочих 5 областных центров, а также 6 районных центров республики и пахотных земель одного компактного района (в нашем случае – бывших и существующих коллективных хозяйств Березинского биосферного заповедника). При выборе конкретных районных центров должно было быть учтено возможное влияние на химический состав почв как природных (литогеохимическая провинция), так и антропогенных (уровень развития промышленности и транспорта) факторов.

Полевые работы

Распределение опробованных городских населенных пунктов по территории Беларуси показано на рис. 1. Подобное размещение позволяет включить в изучаемую выборку пробы почв из городов, расположенных в различных литогеохимических провинциях республики: *Северной* – Витебск (рис. 1, I); *Центральной* – Минск, Гродно, Могилёв, Лида, Молодечно, Борисов, Столбцы, Осиповичи, Бобруйск (рис. 1, II) и *Южной* – Брест, Гомель (рис. 1, III), а также дает возможность при необходимости рассматривать исследуемые показатели в системе своеобразных трансрегиональных профилей: *запад – восток* – Гродно, Лида, Молодечно, Минск, Борисов, Могилёв; *северо-восток – юго-запад* – Витебск, Борисов, Минск, Столбцы, Брест; *северо-запад – юго-восток* – Молодечно, Минск, Осиповичи, Бобруйск, Гомель. Кроме того, среди районных центров по степени общего влияния антропогенных факторов могут быть выделены разные группы, например: Бобруйск, Борисов, Молодечно (средняя степень); Столбцы, Осиповичи (слабая степень) и т. д.

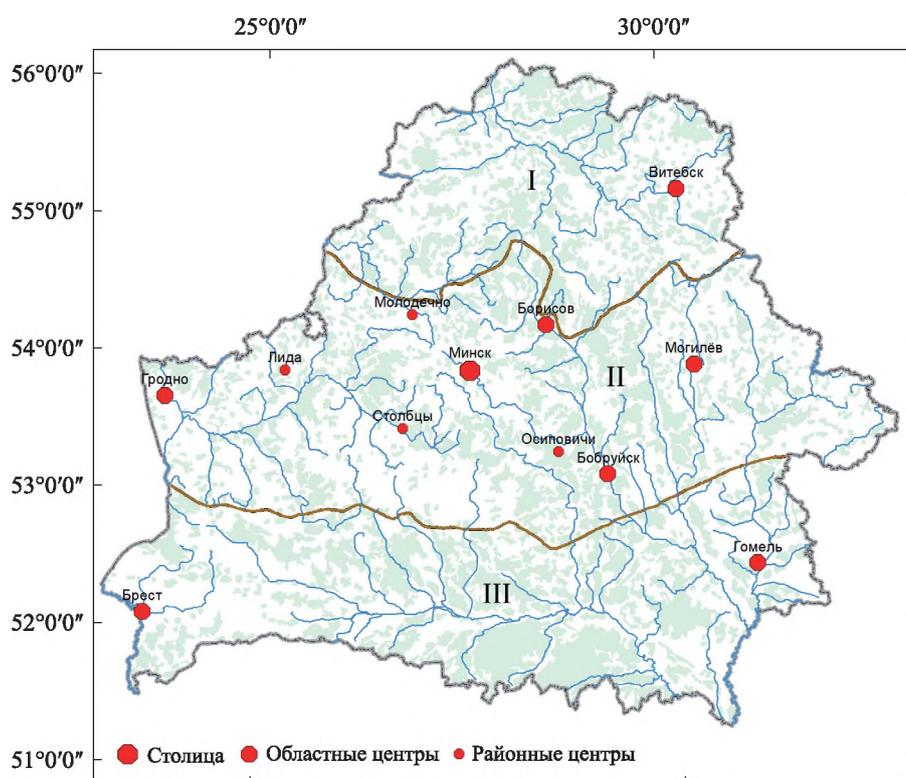


Рис. 1. Опробование урбанизированных территорий Республики Беларусь в 2007–2009 гг.

Fig. 1. Belarus urbanized territories sampling in 2007–2009

При опробовании г. Минска и прочих 5 областных и 6 районных центров использовались различные сценарии. Минск – столица и крупнейший город Беларуси – опробовался детально, с предварительным выбором на карте масштаба 1 : 27 000 расположения пробных площадок (первоначально – не менее 30 площадок на функциональную зону). Непосредственно отбор проб (лето – осень) производился во время пешеходных маршрутов, на которых уточнялся выбор репрезентативных участков для тех или иных конкретных районов города. Последовательно опробовались рекреационная, транспортная (автомобильные дороги), селитебная, транспортная (железные дороги), промышленная зоны столицы. Подобный сценарий позволял с первого же дня полевых работ в соответствующей зоне составить представление о ее репрезентативном участке и далее сохранять однотипность выбора размещения очередной пробной площадки.

Под пробной площадкой для рекреационной, селитебной и промышленной зон понимался участок площадью не менее 100 м² (10 × 10 м), на котором из почвенного горизонта 0–20 см отбиралась смешанная проба, состоявшая не менее чем из 5 точечных проб. Для повышения надежности выполняемых работ в большинстве случаев опробовались более крупные площадки (400 м²), на которых отбиралось по 15–20 точечных проб.

Под пробной площадкой для транспортной зоны в реальных условиях г. Минска понимались обочина (0–3 м от полотна) или газон разделительной полосы дороги протяженностью 30–50 м, на которых также отбиралось 15–20 точечных проб.

Вес одной смешанной пробы для всех функциональных зон на долабораторной стадии составлял не менее 5–6 кг.

Так как параллельно с проведением опробования почв г. Минска осуществлялось определение содержания в них изучавшихся в данный год токсикантов и анализ литературных источников по данной теме, то к началу выполнения полевых работ в областных и районных центрах Беларуси в общих чертах уже были ясны основные закономерности распределения этих веществ в почвах всех изучаемых функциональных зон. По этой причине с учетом указанных выше временных и финансовых факторов в 5 областных и 6 районных центрах Беларуси для подтверждения установленных закономерностей проводилось контрольно-рекогносцировочное опробование, включавшее в себя изучение 12 пробных площадок на каждый город, с методической точки зрения аналогичное таковому для г. Минска. По сравнению с работами 2007–2008 гг. по Cr, Ni, Zn, Cu, Cd, Pb в сеть опробования городов Лиды, Молодечно, Осиповичей применительно к As, Hg и нефтепродуктам в 2009 г. внесены необходимые изменения. В частности, для характеристики загрязнения As, Hg и нефтепродуктами сельскохозяйственных земель были также опробованы 12 площадок, расположенных на пашнях различных хозяйств в пределах Березинского биосферного заповедника.

Лабораторные работы

Подготовка проб почв к химико-аналитическому определению металлов и нефтепродуктов включала перемешивание (гомогенизацию) объемных смешанных образцов по мере их сушки в затененных комнатных условиях (около 1 мес.) и выделение из общей пробы гранулометрической фракции менее 1 мм при помощи алюминиевых сит для дальнейших анализов.

Непосредственно аналитические работы выполнялись в 2007–2009 гг. в центральной лаборатории – филиале РУП «Белгеология» (Cr, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb, нефтепродукты) и в 2009 г. – в лаборатории массовых анализов Института радиологии (г. Гомель) (As, Hg) по стандартным методикам.

Статистическая обработка полученных данных включала в себя определение закона распределения величин концентраций исследуемых веществ, расчет основных статистических показателей, непараметрический дисперсионный анализ Краскела – Уоллиса.

В настоящей статье приведены результаты эколого-геохимического изучения As и Hg в почвах урбанизированных территорий Беларуси. Соответствующие материалы по подвижным фракциям Cr, Ni, Cu, Zn, Cd и валовому содержанию Pb будут представлены в последующих статьях.

Геохимическая характеристика As и Hg

Согласно классификации В. М. Гольдшмидта, As и Hg принадлежат к группе *халькофильных* элементов, имеют специфическое химическое сродство к S, Se, Te. Кларк As в земной коре по А. П. Виноградову равен 1,7 мг/кг, Hg – 0,083 мг/кг [8].

В различных горных породах кларки As составляют (мг/кг):

хондриты	0,3	средние	2,4
ультраосновные	0,5	кислые	1,5
основные	2,0	осадочные	6,6

Аналогично кларки Hg (мг/кг):

хондриты	3	кислые	0,08
ультраосновные	0,01	осадочные	0,4
основные	0,09		

Приводятся также несколько иные показатели: среднее содержание As и Hg равно соответственно (мг/кг):

в изверженных породах разных типов	1–2	0,0n–0,09
в осадочных породах	1,0–1,3	0,0n–0,n

Среднее содержание As составляет (мг/кг):

в почвах мира	5
в зональных почвах бывшего СССР:	
подзолистых	3
серых лесных	4,7
черноземах	5,9
каштановых	5,2
сероземах	2,5

Содержание Hg в почвах мира – 0,01 мг/кг, в дерново-подзолистых почвах Московской области – 0,009 мг/кг [10].

Подробный обзор литературных данных по геохимии As и Hg представлен в работах В. В. Иванова [11; 12].

Многочисленные оригинальные данные, характеризующие техногенную геохимию Hg и As (в существенно меньшей степени), приведены в работе Ю. Е. Саета с соавторами [10].

Отходы и стоки. Коэффициент концентрации (КК) Hg относительно кларка в рассеиваемых пылях промышленных предприятий может составлять 50 000 (изготовление масляных красок, коксохимическое производство), в бытовом мусоре – 15, в золах и шлаках электростанций – 6, в стоках промышленных предприятий – 100 000. КК As в пылях электростанций – 5, в стоках промышленных предприятий – 10, в стоках электростанций – 50.

Содержание Hg в продуктах сжигания твердых бытовых отходов достигает 0,4–0,9 мг/кг (КК = 5–10). Среднее содержание As в золах бурых углей мира составляет 60 мг/кг, каменных – 90 мг/кг.

Концентрация Hg в осадках сточных вод городов с развитым машиностроением, химической и легкой промышленностью может достигать 10 мг/кг (КК = 1110), с развитыми машиностроением и легкой промышленностью – 0,8 мг/кг (КК = 90), с легкой промышленностью – 0,3 мг/кг (КК = 33).

Содержание As в сточных водах гальванических производств может достигать 30 мкг/л (КК = 10), городской канализации – 0,25 мкг/л (КК = 8).

Воздух. Концентрация As в воздухе (мкг/м³):

Южный полюс	$3 \cdot 10^{-6}$
средний пригород	$5 \cdot 10^{-3}$
промышленный город	10^{-1}
около мощных источников загрязнения	60

Фон Hg в условиях пригорода – 0,001 мкг/м³, промышленного города – 0,005 мкг/м³, у источника загрязнения – 3 мкг/м³.

В естественных условиях Hg и As находятся в воздухе, главным образом в виде парогазовой формы; даже в воздухе жилых территорий крупного промышленного города 66 % As и 60 % Hg присутствуют в подобном виде. По этой причине распространение ртутных выбросов, например углеперерабатывающего предприятия, может происходить двумя способами: в виде грубой взвеси (зона загрязнения – до 1,5 км от предприятия) и тонкой взвеси и газовой фазы (от 3 до 5 км).

Hg, как правило, сохраняется в воздушных потоках до 5-километрового удаления от источника выброса. Отмечается линейная зависимость между концентрацией Hg в атмосферном воздухе x и почве y (например, $y = 130x + 1$).

В фоновых пылевых выпадениях содержание Hg составляет 0,01 мг/кг, среднесуточная нагрузка – 0,1–0,2 мг/км². На урбанизированных территориях техногенное давление по Hg формируется за счет собственно аномального типа нагрузки (выпадение пыли с аномальным содержанием элемента).

Воды. Для Hg характерна миграция преимущественно в растворенном состоянии (доля взвешенной составляющей – 0,n %). Содержание Hg в речных водах антропогенных ландшафтов обычно не превышает 0,5 мкг/л.

Почвы. КК Hg в почвах, равный 45, установлен в районе предприятия по производству пластмасс, 21 – в районе коксохимического производства, 3 – у цементного завода.

Донные отложения. В городах с населением 100 тыс. человек КК Hg, равные 317 и 398, установлены на участках влияния стоков тяжелого машиностроения, металлообработки, производства кабелей, аккумуляторов, электронной, строительной, легкой и пищевой промышленности; в городах с населением 30–100 тыс. человек для стоков строительной промышленности и металлообработки КК равен 399, для стоков химической промышленности – 31; в городах с населением до 30 тыс. человек для стоков ткацкой фабрики – 53, для стоков производства грампластинок – 553, для стоков научного центра радиотехнического направления – 43. В поселках городского типа для стоков вторичной переработки цветных металлов КК равен 180, для стоков кирпичных заводов – 35, для стоков керамико-плиточных заводов – 3–10.

Сельскохозяйственная продукция. По имеющимся данным, содержание As в кукурузе составляет 0,20 мг/кг сухого вещества, Hg в пшенице – 0,008–0,010, в кукурузе – 0,003, в фасоли – 0,005 6, в моркови – 0,005 2, в свекле – 0,006 8 мг/кг сухого вещества.

Загрязнение продукции As может происходить за счет внесения фосфорных удобрений (КК удобрений равен 10–25, увеличение подвижности As).

В течение длительного периода в составе ядохимикатов повсеместно использовались токсичные ртутьсодержащие соединения. В результате концентрация Hg в почвах садово-огородных участков ряда районов, по сравнению с природным уровнем, может быть повышена на 200–550 %.

К загрязнению почв и сельскохозяйственной продукции также ведет внесение в качестве удобрений компостов из бытового мусора (содержание Hg составляет 2,0–7,5 мг/кг, КК = 200–750) и осадков городских сточных вод (1,3–1,8 мг/кг, КК = 130–180). При этом наблюдается загрязнение почв полей Hg до КК = 25, почв теплиц – до КК = 125. Для As характерны более низкие показатели загрязнения – до КК = 15.

Биологические субстраты. При воздействии As и Hg на человека диагностическими субстратами являются кровь, моча, волосы и ногти.

Среднее содержание As в волосах детей фоновых районов городов Нечерноземья составляет 0,16 мг/кг, Hg – 0,99 мг/кг сухого вещества, тогда как в волосах взрослого населения – 0,09 мг/кг и 1,81 мг/кг соответственно.

Основной путь поступления неорганической Hg в организм – ингаляционное поглощение. С атмосферным воздухом поступает в среднем около 1 мкг Hg в сутки. Большая часть вдыхаемых паров Hg задерживается в легких. В желудочно-кишечный тракт элемент попадает в основном с питьевой водой и продуктами питания (рыба, рыбные продукты).

В районах с высоким местным загрязнением суточное потребление Hg может достигать 300 мкг, что приводит к массовому отравлению метилртутью (проникает в том числе и в грудное молоко).

При ингаляционном поступлении основным депо Hg являются почки, элемент также накапливается в тканях головного мозга, приводя к нервным поражениям.

Психомоторные поражения начинают проявляться при содержании Hg 1–2 мкг/100 мл крови. По мнению японских ученых, изучавших болезнь Минамата, содержание Hg в волосах, равное 20 мг/кг, является критическим.

Среднее содержание Hg в волосах детей, проживающих у машиностроительных предприятий, составляет 1,19 мг/кг, у предприятий по вторичной переработке цветных металлов – 1,64 мг/кг, у свинцово-кадмиевого комбината – 2,02 мг/кг сухого вещества.

Накопление As отмечено в волосах рабочих, занятых на производстве Cd (КК = 8), выплавке (61) и рафинировании (10) Cu, производстве минеральных красок (8). Допустимое содержание As в волосах детей составляет 2,0 мг/кг сухого вещества.

Hg в почвах Беларуси (предшествующие исследования)

Применительно к условиям Беларуси рекогносцировочные оценки сделаны В. С. Хомичем с соавторами [13] на основе данных, предоставленных Н. П. Петровым. Всего было проанализировано 134 пробы (12 населенных пунктов, Березинский биосферный заповедник, Беловежская пуца), концентрации Hg варьировали от менее 0,03 до 2,31 мг/кг, повышенными значениями выделялся г. Витебск (55 % проб содержало Hg в количествах более 0,4 мг/кг).

Более детально вопрос загрязнения городов Беларуси Hg изучался С. В. Какарекой с соавторами [14] на примере г. Гомеля, опробовавшегося в 1992–1993 гг. с плотностью 4 пробы на 1 км². Всего было проанализировано 692 пробы. Значение содержания элемента варьировало от «не обнаружен» до 3,62 мг/кг, медианное значение составило 0,07 мг/кг. Были выявлены аномалии, приуроченные к почвам огородов в районе индивидуальной застройки в центре города, к почвам в районе заводов «Коралл» и «Гомель-кабель», на территории стихийной свалки и химического завода.

Среднее содержание Hg в почвах разных функциональных зон г. Гомеля составляет (мг/кг): многоэтажной застройки – 0,12; индивидуальной жилой застройки – 0,13; промышленной – 0,15; сельскохозяйственной – 0,12; рекреационной – 0,09; санирующей – 0,23; неиспользуемых территорий – 0,08.

Таким образом, повышенным средним значением характеризовались только санирующие ландшафты (загрязняемые фильтратами со свалок бытовых отходов и отстойников очистных сооружений, о чем свидетельствовали результаты исследования грунтовых вод заложенных шурфов).

В целом авторы обзора [13] констатируют, что диагностировать конкретные источники загрязнения почв городов Беларуси Hg весьма сложно. Данный вывод также подтверждается оценками структуры выбросов Hg и As для территории республики. В частности, в 2006 г. было выброшено в природную среду 0,72 т Hg и 1,20 т As [15]. Из них для Hg на обрабатывающую промышленность и строительство пришлось 86 %, на энергетику общего пользования и производство тепла – 10 %; для As на обрабатывающую промышленность и строительство – 52 %, на производство металлов – 19 %, на энергетику общего пользования и производство тепла – 9 %. Таким образом, техногенные источники Hg и As в регионе мелкие, хотя и распространены повсеместно.

С другой стороны, на территории Беларуси имеется несколько предприятий – потенциальных источников значительного загрязнения Hg, на площадях которых в почвах выявлены высокие концентрации данного элемента (ПРУП «Кричевцементношифер» – до 4,5 мг/кг, Минский автомобильный завод – до 15,2 мг/кг) [16].

As и Hg в почвах урбанизированных территорий Беларуси (по данным опробования 2009 г.)

Объем выполненного опробования характеризуют показатели, представленные в табл. 1. Всего на валовое содержание As и Hg было проанализировано 292 почвенных образца (из них на г. Минск приходится 148 смешанных проб (из 229 отобранных), на областные и районные центры – 132, на Березинский биосферный заповедник – 12). Подобный отбор проб в г. Минске («с запасом») позволил при последующей интерпретации аналитических данных провести (в случае необходимости) дополнительные контрольные измерения и проверки.

Как указывалось выше, аналитические работы выполнялись в лаборатории массовых анализов Института радиологии на атомно-абсорбционном спектрометре Solaar M-6. При определении Hg использовалась ртутно-гидридная приставка VP-110 (*Termoelectronics*, Великобритания). Извлечение As и Hg производилось в соответствии с методическими указаниями [17].

Таблица 1

Опробование почв на пробных площадках различных функциональных зон урбанизированных территорий Беларуси (лето – осень 2009 г.), шт.

Table 1

Soil sampling on trial plots within different functional zones of Belarus urbanized territories (summer – autumn 2009), pcs

Город	Зона, пробные площадки				Пробные площадки
	Рекреационная	Селитебная	Транспортная	Промышленная	
Минск	51 (26)	75 (37)	73 (55)	30 (30)	229 (148)
Брест	2	3	4	3	12
Витебск	1	6	3	2	12
Гомель	2	3	5	2	12
Гродно	2	4	4	2	12
Могилёв	1	3	6	2	12
Бобруйск	–	2	4	6	12
Борисов	1	3	3	5	12
Лида	2	4	4	2	12
Молодечно	1	2	4	5	12
Осиповичи	2	3	4	3	12
Столбцы	2	2	8	–	12
Всего	67	110	122	62	361

Примечание. Сельскохозяйственная зона представлена 12 пробами, отобранными на территории Березинского биосферного заповедника. Для г. Минска в скобках показано количество проб, проанализированных на содержание As и Hg.

Мышьяк. Статистическая обработка данных показала (табл. 2), что встречаемость As во всех зонах составляет 100 % и величины концентрации элемента в большинстве выборок распределены нормально (исключение – селитебная зона в целом и промышленная зона г. Минска).

За пределами промплощадок, хозяйственных дворов предприятий и свалок наблюдается достаточно стабильный средний уровень валового содержания As в гумусированном горизонте почв, определяемый естественными природными факторами (главным образом минералогическими). По нашим данным, среднее содержание элемента в почвах сельскохозяйственных земель Березинского биосферного заповедника составляет 0,50 мг/кг, рекреационной зоны для Беларуси в целом – 0,57 мг/кг, селитебной зоны – 0,48, транспортной зоны – 0,64, промышленной зоны – 0,57 мг/кг. Таким образом, в настоящее время, по-видимому, можно говорить только о слабой тенденции накопления As в почвах транспортной зоны (КК = 1,2).

Концентрации As, превышающие 1 мг/кг, установлены в г. Витебске (1,37 мг/кг – максимальное отмеченное значение) и г. Могилёве (3 пробы, 1,08–1,19 мг/кг).

По содержанию As в почвах статистически значимых различий между функциональными зонами урбанизированных территорий Беларуси в целом не установлено (Н-критерий Краскела – Уоллиса равен 10,4; $n = 4$, $p = 0,03$) (рис. 2).

Сопоставление средних значений валового содержания As в почвах автотранспортной (0,65 (0,23–1,19) мг/кг; $n = 65$) и железнодорожной (0,62 (0,11–1,37) мг/кг; $n = 39$) подзон транспортной зоны свидетельствует о том, что по данному показателю они статистически достоверно не различаются.

Таблица 2

Статистические характеристики содержания As и Hg в землях (почвах) (0–20 см) различных функциональных зон урбанизированных территорий Беларуси, мг/кг

Table 2

Descriptive statistics of As and Hg concentration in lands (soils) (0–20 cm) within different functional zones of Belarus urbanized territories, mg/kg

Функциональная зона, n	Средняя арифметическая или геометрическая (индекс g) либо медиана (индекс m)	Пределы варьирования	Показатель σ , или ϵ , или R
Мышьяк			
Урбанизированные территории в целом			
Рекреационная, 42	0,57	0,15–0,94	0,227
Селитебная, 72	0,48 _g	0,17–1,08	1,59
Транспортная, 104	0,64	0,11–1,37	0,252
Промышленная, 62	0,57	0,24–0,99	0,220
Агроселитебная, 12	0,50	0,13–0,74	0,168
г. Минск			
Рекреационная, 26	0,47	0,15–0,94	0,194
Селитебная, 37	0,38	0,17–0,67	0,115
Транспортная, 55	0,54	0,15–0,98	0,204
Промышленная, 30	0,43 _g	0,24–0,98	1,50
Областные центры			
Рекреационная, 8	0,74	0,35–0,91	0,189
Селитебная, 19	0,75	0,29–1,08	0,233
Транспортная, 21	0,82	0,11–1,37	0,298
Промышленная, 11	0,76	0,47–0,98	0,149
Районные центры			
Рекреационная, 8	0,74	0,49–0,91	0,173
Селитебная, 16	0,62	0,30–0,98	0,223
Транспортная, 27	0,68	0,24–0,96	0,210
Промышленная, 21	0,63	0,24–0,99	0,190

Окончание табл. 2
Ending table 2

Функциональная зона, n	Средняя арифметическая или геометрическая (индекс g) либо медиана (индекс m)	Пределы варьирования	Показатель σ , или ϵ , или R
Ртуть			
Урбанизированные территории в целом			
Рекреационная, 42	0,010 _{m}	Не обн. – 0,500	0,019
Селитебная, 72	0,013 _{m}	Не обн. – 2,03	0,029
Транспортная, 104	0,036 _{m}	Не обн. – 1,620	0,038
Промышленная, 62	0,021 _{m}	Не обн. – 1,410	0,044
Агроселитебная, 12	0,010*	Не обн. – 0,045	–
г. Минск			
Рекреационная, 32	0,0089 _{m}	0,0064–0,056	0,0068
Селитебная, 37	0,0096 _{m}	0,0024–0,041	0,0081
Транспортная, 55	0,038 _{m}	0,0082–0,156	0,027
Промышленная, 30	0,020 _{m}	0,0061–0,086	0,035
Областные центры			
Рекреационная, 8	0,043 _{m}	Не обн. – 0,140	0,078
Селитебная, 19	0,045 _{m}	Не обн. – 2,03	0,082
Транспортная, 22	0,034 _{m}	Не обн. – 1,62	0,048
Промышленная, 11	0,081 _{m}	Не обн. – 0,130	0,077
Районные центры			
Рекреационная, 8	0,017 _{m}	Не обн. – 0,500	0,046
Селитебная, 16	0,038 _{m}	Не обн. – 0,270	0,116
Транспортная, 27	0,016 _{m}	Не обн. – 0,260	0,032
Промышленная, 21	0,015 _{m}	Не обн. – 1,41	0,043

Примечание. σ – стандартное отклонение (при расчете средней арифметической); ϵ – стандартный множитель (при расчете средней геометрической); R – межквартильный размах (при расчете медианы). Не обн. – не обнаружено (содержание элемента ниже предела обнаружения использованного метода определения). * Рассчитано по формуле $\bar{x} = (\bar{x}_{\max} - \bar{x}_{\min})n : N + \bar{x}_{\min}$, где \bar{x}_{\max} – максимально возможное среднее (при исключении из расчетов проб с концентрациями ниже предела обнаружения); \bar{x}_{\min} – минимально возможное среднее (при обнулении проб с концентрациями ниже предела обнаружения); n – число «непустых» проб; N – число всех проб.

При рассмотрении средних показателей, полученных для г. Минска, областных и районных центров, отмечено заметное проявление природного литологического фактора. Так, почвы рекреационной (0,47 мг/кг), селитебной (0,38 мг/кг), транспортной (0,54 мг/кг) и промышленной (0,43 мг/кг) зон г. Минска содержат As примерно в 1,3–2,0 раза меньше, чем соответствующие почвы областных (0,74; 0,75; 0,82; 0,76 мг/кг) и районных (0,74; 0,62; 0,68; 0,63 мг/кг) центров (рис. 3 и 4).

При исследовании средних показателей для г. Минска, областных и районных центров с помощью непараметрического дисперсионного анализа (*Kruskal – Wallis test*) установлены следующие статистически значимые различия (H-критерий Краскела – Уоллиса равен 72,3; $n = 2$, $p < 0,001$): наибольшее среднее содержание As отмечается в почвах областных центров, тогда как наименьшее – в почвах г. Минска (рис. 5).

Ртуть. Статистическая обработка данных (см. табл. 2) показала, что встречаемость Hg во всех зонах, кроме сельскохозяйственной, для республики в целом колеблется в пределах 90–95 %. Минимальное медианное значение (около 0,010 мг/кг), близкое к кларку, установлено для сельскохозяйственных земель Березинского биосферного заповедника, земель рекреационной и селитебной (0,013 мг/кг) зон в целом. Медианные значения содержания Hg в почвах транспортной (0,036 мг/кг) и промышленной (0,021 мг/кг) зон в 3,6 и 2,1 раза выше соответственно.

Концентрации Hg, превышающие 1 мг/кг, установлены в городах Бресте (2,03 мг/кг, КК = 203), Витебске (1,62 мг/кг, КК = 162), Молодечно (1,41 мг/кг, КК = 141). В последнем случае работником бывшего оборонного завода «Спутник» было подтверждено широкое использование соединений Hg в производственном процессе (приборы аэрокосмического назначения).

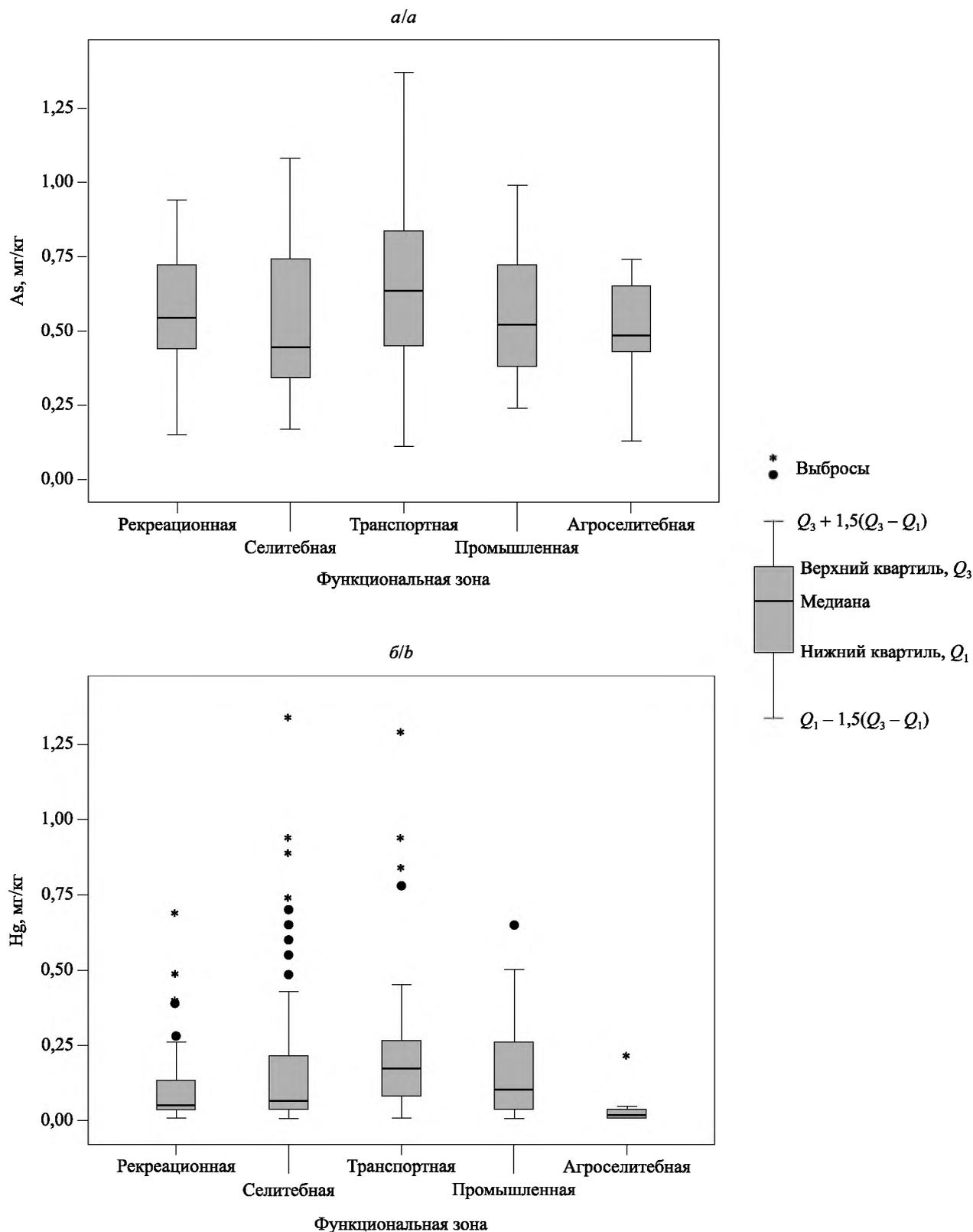


Рис. 2. Параметры варьирования содержания As (a) и Hg (b) в землях (почвах) (0–20 см) различных функциональных зон урбанизированных территорий Беларуси

Fig. 2. Box-plot of As (a) and Hg (b) distributions in lands (soils) (0–20 cm) within different functional zones of Belarus urbanized territories

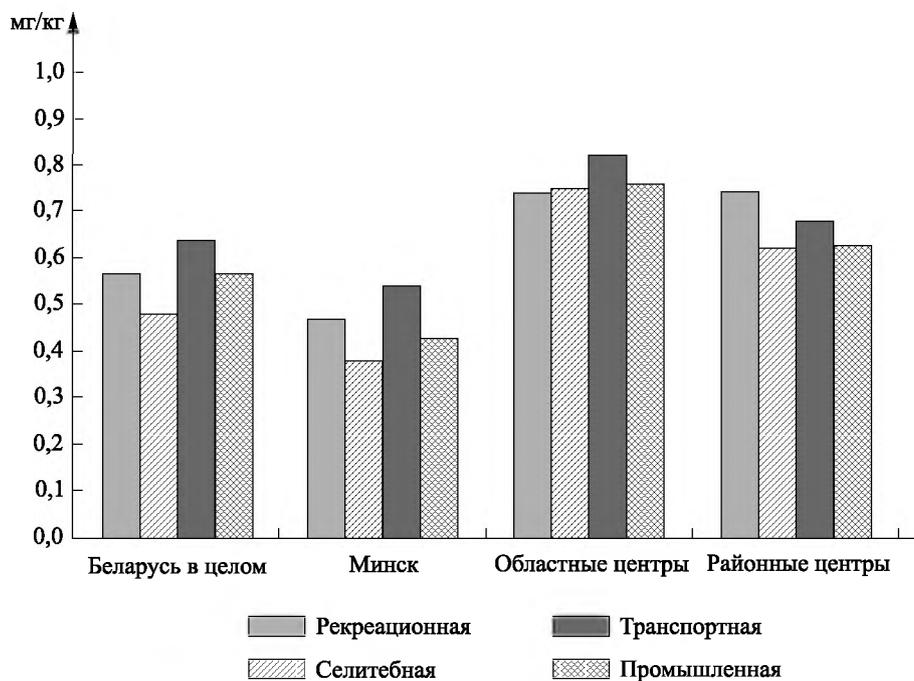


Рис. 3. Валовое содержание As в землях (почвах) (0–20 см) различных функциональных зон урбанизированных территорий Беларуси

Fig. 3. As total content in lands (soils) (0–20 cm) within different functional zones of Belarus urbanized territories

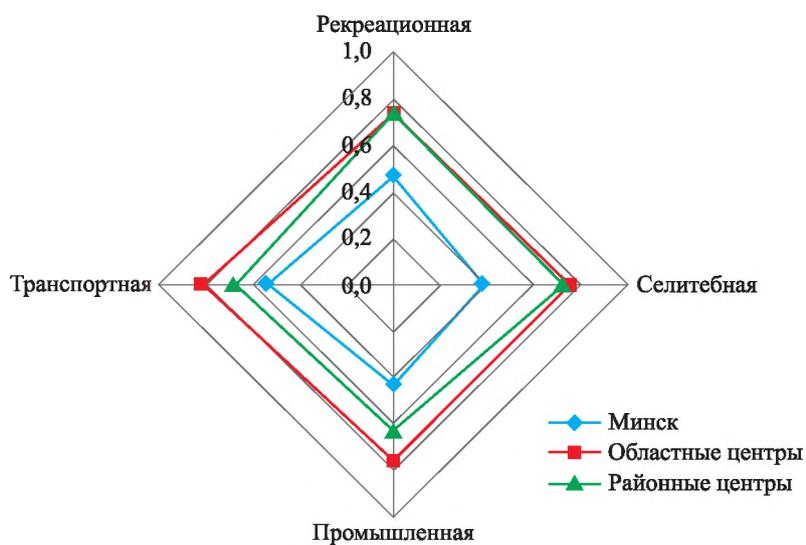


Рис. 4. Диаграмма содержания As (мг/кг) в землях (почвах) (0–20 см) различных функциональных зон урбанизированных территорий Беларуси

Fig. 4. Diagram of As content (mg/kg) in lands (soils) (0–20 cm) within different functional zones of Belarus urbanized areas

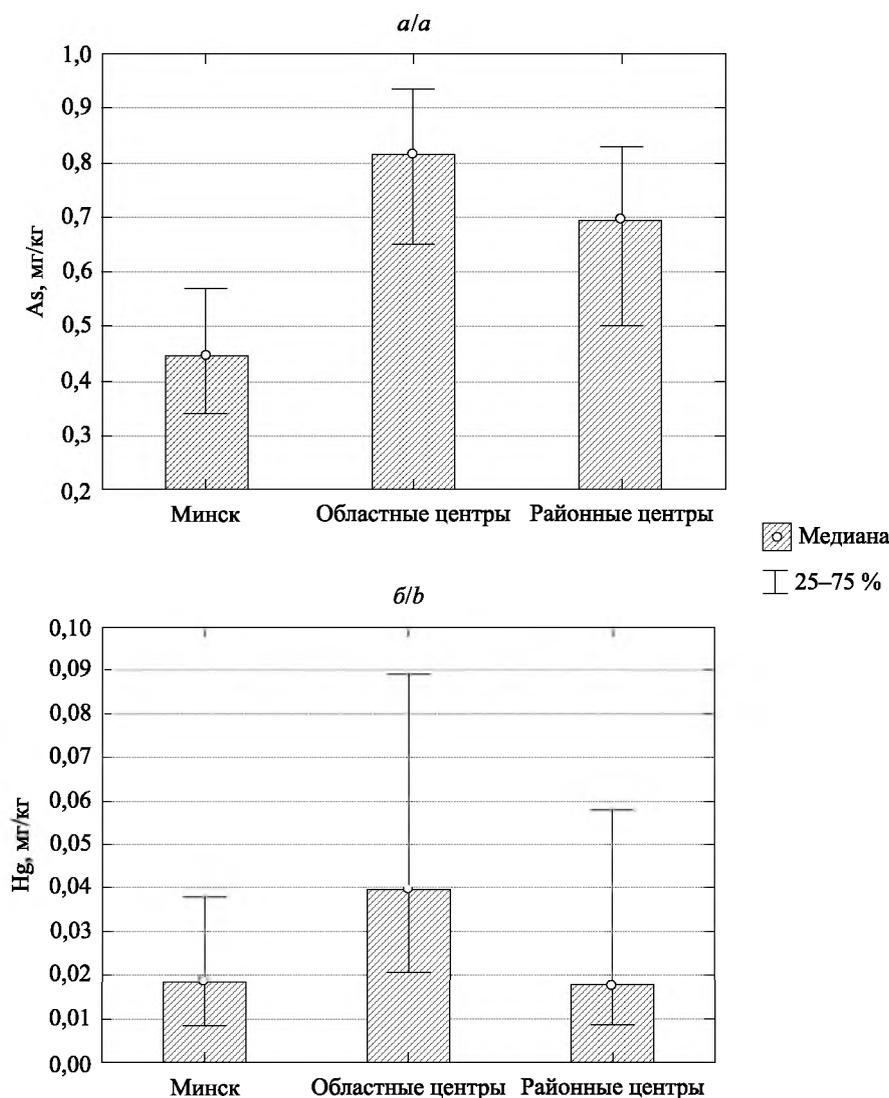


Рис. 5. Диаграмма содержания As (а) и Hg (б) в землях (почвах) (0–20 см) г. Минска, областных и районных центров
 Fig. 5. Diagram of As (a) and Hg (b) content in lands (soils) (0–20 cm) within Minsk, regional and district centres

С помощью непараметрического дисперсионного анализа (*Kruskal – Wallis test*) выявлены статистически значимые различия по содержанию в почвах Hg между отдельными функциональными зонами (H-критерий Краскела – Уоллиса равен 32; $n = 4$, $p < 0,001$) (см. рис. 2). Апостериорные сравнения показали, что наиболее контрастны различия между транспортной и рекреационной, агроселитебной и транспортной, агроселитебной и промышленной зонами.

Сопоставление медианных значений валового содержания Hg в почвах автотранспортной (0,036 (от «не обнаружено» до 0,210 мг/кг); $n = 65$) и железнодорожной подзон (0,024 (от «не обнаружено» до 1,620 мг/кг); $n = 39$) свидетельствует о том, что по данному показателю они статистически достоверно не различаются.

При переходе к функциональным зонам г. Минска, областных и районных центров проявляется иная картина загрязнения почв Hg (рис. 5–7). Если в столице по медианным показателям, как и в случае с As, в целом наблюдаются среднереспубликанские значения (рекреационная зона – 0,0089 мг/кг, селитебная – 0,0096, транспортная – 0,038, промышленная – 0,020 мг/кг), то в областных центрах установлено более высокое медианное значение содержания Hg в почвах рекреационной (0,043 мг/кг), селитебной (0,045 мг/кг) и промышленной зон (0,081 мг/кг), тогда как в районных центрах – в почвах селитебной зоны (0,038 мг/кг). Естественно, что данные для отдельных функциональных зон областных и районных центров следует признать ориентировочными (ввиду малого количества проб и содержания Hg в ряде проб ниже предела обнаружения использованного метода определения).

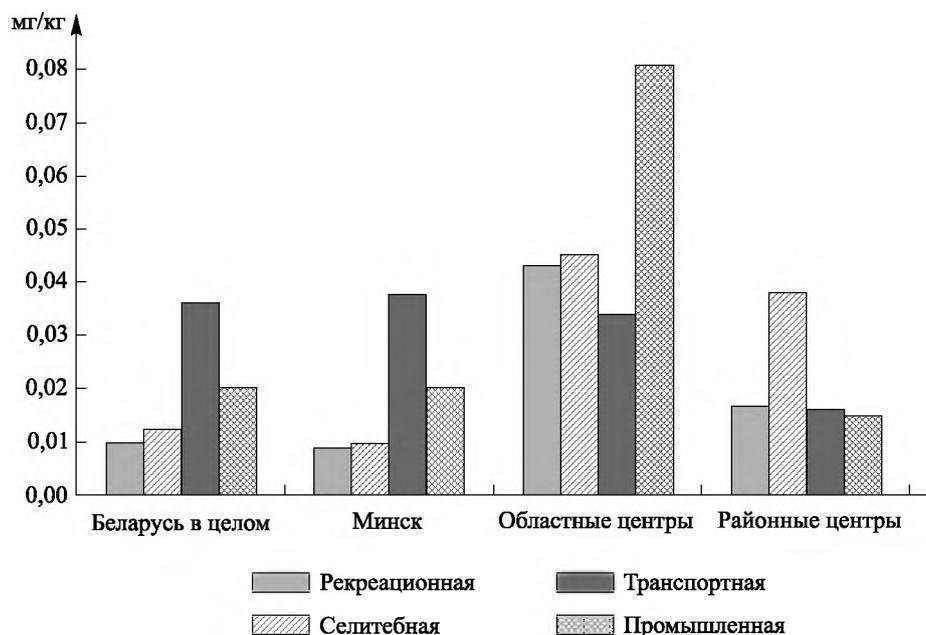


Рис. 6. Валовое содержание Hg в землях (почвах) (0–20 см) различных функциональных зон урбанизированных территорий Беларуси

Fig. 6. Hg total content in soils (soils) (0–20 cm) within different functional zones of Belarus urbanized territories

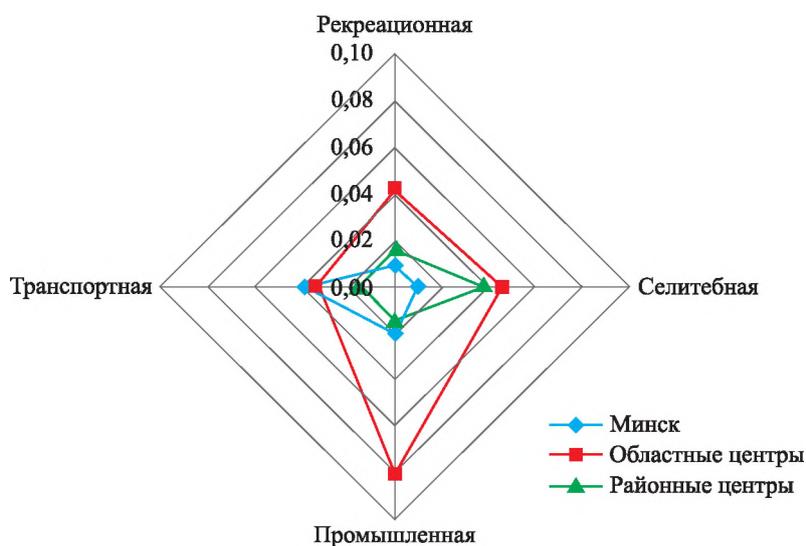


Рис. 7. Диаграмма содержания Hg в землях (почвах) (0–20 см) различных функциональных зон урбанизированных территорий Беларуси, мг/кг

Fig. 7. Diagram of Hg content in lands (soils) (0–20 cm) within different functional zones of Belarus urbanized areas, mg/kg

При рассмотрении средних показателей для г. Минска, областных и районных центров с помощью непараметрического дисперсионного анализа (*Kruskal – Wallis test*) установлены следующие статистически значимые различия (H-критерий Краскела – Уоллиса равен 9,7; $n = 2$, $p = 0,008$): наибольшее среднее (медиана) содержание Hg отмечается в почвах областных центров, тогда как наименьшее – в почвах районных центров (см. рис. 5).

Выводы

В 2009 г. в 12 городах Беларуси (Минск, 5 областных и 6 районных центров) и на территории Березинского биосферного заповедника отобраны 373 смешанные почвенные пробы. Из них выделены 292 эталонные пробы для определения валового содержания As и Hg атомно-абсорбционным методом.

Встречаемость As во всех функциональных зонах Беларуси составляет 100 %, и величины концентрации элемента в большинстве выборок распределены нормально (исключение составляют селитебная зона Беларуси в целом и промышленная зона г. Минска).

За пределами промплощадок, хозяйственных дворов предприятий и свалок наблюдается достаточно стабильный средний уровень валового содержания As в гумусированном горизонте почв, определяемый естественными природными факторами (главным образом минералогическими).

Среднее содержание As в почвах сельскохозяйственных земель Березинского биосферного заповедника, в разное время выведенных из использования, составляет 0,50 мг/кг, в почвах рекреационной зоны для Беларуси в целом – 0,57 мг/кг, селитебной зоны – 0,48, транспортной зоны – 0,64, промышленной зоны – 0,57 мг/кг.

В настоящее время, по-видимому, можно говорить только о весьма слабой тенденции накопления As в почвах транспортной зоны (КК = 1,2). Концентрации этого элемента, превышающие 1 мг/кг, установлены только в 1,4 % случаев – в городах Витебске (1 проба) и Могилёве (3 пробы).

При рассмотрении средних показателей, полученных для г. Минска, областных и районных центров, отмечено заметное проявление природного литологического фактора. Почвы рекреационной (0,47 мг/кг), селитебной (0,38 мг/кг), транспортной (0,54 мг/кг) и промышленной (0,43 мг/кг) зон г. Минска содержат As примерно в 1,3–2,0 раза меньше, чем соответствующие почвы областных (0,74; 0,75; 0,82; 0,76 мг/кг) и районных (0,74; 0,62; 0,68; 0,63 мг/кг) центров.

Встречаемость Hg во всех зонах, кроме сельскохозяйственной зоны Березинского биосферного заповедника, для Беларуси в целом колеблется в пределах 90–95 %. Минимальное медианное значение (около 0,01 мг/кг), близкое к мировому кларку, установлено для сельскохозяйственных земель Березинского биосферного заповедника, земель рекреационной и селитебной (0,013 мг/кг) зон в целом. Медианные значения содержания Hg в почвах транспортной (0,036 мг/кг) и промышленной (0,021 мг/кг) зон в 3,6 и 2,1 раза выше соответственно.

Максимальные концентрации Hg, превышающие 1 мг/кг, установлены в 1 % случаев – в городах Бресте (1 проба), Витебске (1 проба), Молодечно (1 проба).

При переходе от среднереспубликанских показателей к значениям, установленным для функциональных зон г. Минска, областных и районных центров, проявляется иная картина загрязнения почв Hg. Если г. Минск по медианным показателям, как и в случае с As, в целом близок к среднереспубликанскому уровню (рекреационная зона – 0,0089 мг/кг, селитебная – 0,0096, транспортная – 0,038, промышленная – 0,020 мг/кг), то в областных центрах установлено более высокое медианное значение содержания Hg в почвах рекреационной (0,043 мг/кг), селитебной (0,045 мг/кг) и промышленной зон (0,081 мг/кг), тогда как в районных центрах – в почвах селитебной зоны (0,038 мг/кг).

Библиографические ссылки

1. Соколов СМ, Котленец АИ, Ильюкова ИИ, Петрова СЮ, Войтович АМ, Лукашёв ОВ и др. Инструкция по определению дифференцированных гигиенических нормативов загрязнения почв. Утверждена Министерством здравоохранения Республики Беларусь 24 апреля 2007 г. № 021-0407. Минск: РНПЦ гигиены; 2007.
2. Предельно допустимые концентрации подвижных форм цинка, хрома, кадмия в почвах (землях) различных функциональных зон населенных пунктов, промышленности, транспорта, связи, энергетики, обороны и иного назначения. Гигиенические нормативы, утвержденные постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 6 ноября 2008 г. № 187.
3. Нормативы предельно допустимых концентраций подвижных форм никеля, меди и валового содержания свинца в землях (включая почвы), расположенных в границах населенных пунктов, для различных видов территориальных зон по преимущественному функциональному использованию территорий населенных пунктов, утвержденные постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 19 ноября 2009 г. № 125.
4. Нормативы предельно допустимых концентраций валового содержания ртути и мышьяка в землях (включая почвы), расположенных в границах населенных пунктов, для различных видов территориальных зон по преимущественному функциональному использованию территорий населенных пунктов, утвержденные постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 4 августа 2010 г. № 107.
5. Предельно допустимые концентрации нефтепродуктов в землях (включая почвы) для различных категорий земель, утвержденные постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 12 марта 2012 г. № 17/1.
6. Ильюкова ИИ, Лукашёв ОВ. Обоснование предельно допустимой концентрации подвижных форм хрома, цинка и кадмия в почвах различных функциональных зон населенных пунктов. *Здоровье и окружающая среда*. 2008;11:113–119.
7. Рубин ВМ, Ильюкова ИИ, Кремко ЛМ, Присмотров ЮА, Самсонова АС, Володько ИК и др. Гигиеническое обоснование нормативов ПДК нефтепродуктов в почвах Республики Беларусь. *Гигиена и санитария*. 2013;2:99–101.
8. Виноградов АП. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных пород земной коры. *Геохимия*. 1962;7:555–571.
9. Войткевич ГВ, Кокин АВ, Мирошников АЕ, Прохоров ВГ. *Справочник по геохимии*. Москва: Недра; 1990.
10. Сагт ЮЕ, Ревич БА, Янин ЕП, Смирнова РС, Башаркевич ИЛ, Онищенко ТЛ и др. *Геохимия окружающей среды*. Москва: Недра; 1990.
11. Иванов ВВ. *Экологическая геохимия элементов. Книга 3. Редкие р-элементы*. Москва: Недра; 1996.

12. Иванов ВВ. *Экологическая геохимия элементов. Книга 5. Редкие d-элементы*. Москва: Экология; 1997. с. 497–562.
13. Хомич ВС, Какарека ВС, Кухарчик ТИ. *Экогеохимия городских ландшафтов Беларуси*. Минск: Минсктиппроект; 2004.
14. Какарека СВ, Кухарчик ТИ, Лысенко АН, Хомич ВС. Ртуть в почвенном покрове городских ландшафтов. *Доклады НАН Беларуси*. 1997;41(6):93–98.
15. Логинов ВФ, редактор. Состояние природной среды Беларуси. Экологический бюллетень: 2007 г. Минск: Минсктиппроект; 2008.
16. Кузьмин СИ, Бобко АВ, Кульбеда НА, Глазачева ГИ. *Оценка воздействия ртути на окружающую среду в Республике Беларусь*. Минск: БелНИЦ «Экология»; 2012.
17. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. ЦИ-НАО, 1992. Утверждены заместителем министра сельского хозяйства Российской Федерации 10 марта 1992 г. Москва: ЦИНАО; 1992.

References

1. Sokolov SM, Kotlenets AI, Ilyukova II, Petrova SYu, Voitovich AM, Lukashev OV, et al. *Instruktsiya po opredeleniyu differentsirovannykh gigenicheskikh normativov zagryazneniya pochv. Uverzhdena Ministerstvom zdravookhraneniya Respubliki Belarus' 24 aprelya 2007 g. No. 021-0407* [Instructions for determining the differentiated hygienic soil pollution standards. Approved by the Ministry of Health of the Republic of Belarus on 2007 April 24. No. 021-0407]. Minsk: RNPТs gigeny; 2007. Russian.
2. [Hygienic standards «Maximum permissible concentrations of Zinc, Chromium, Cadmium mobile forms in soils (lands) within different functional zones of populated areas, industry, transport, communication, energy, defense and other purposes», approved by the Ministry of Health of the Republic of Belarus on 2008 November 6. No. 187]. Russian.
3. [Standards for the maximum permissible concentrations of Nickel and Copper mobile forms and Lead total content in lands (including soils) located within the boundaries of settlements for different types of territorial zones according to primary functional use of the settlement territories, approved by the Ministry of Health of the Republic Belarus on 2009 November 19. No. 125]. Russian.
4. [The standards for the maximum permissible concentrations of the Mercury and Arsenic total content in lands (including soils) located within the boundaries of settlements for different types of territorial zones according to primary functional use of the settlement territories, approved by the Ministry of Health of the Republic of Belarus on 2010 August 4. No. 107]. Russian.
5. [Maximum permissible concentrations of petroleum products in land (including soils) for different land categories, approved by the Ministry of Health of the Republic of Belarus on 2012 March 12. No. 17/1]. Russian.
6. Ilyukova II, Lukashev OV. [Substantiation of the maximum permissible concentration of Chromium, Zinc and Cadmium mobile forms in soils within different functional zones of settlements]. *Zdorov'e i okruzhayushchaya sreda*. 2008;11:113–119. Russian.
7. Rubin VM, Ilyukova II, Kremko LM, Prismotrov YuA, Samsonova AS, Volod'ko IK, et al. [Hygienic substantiation MPC of petroleum products in the Republic of Belarus soils]. *Gigiena i sanitariya*. 2013;2:99–101. Russian.
8. Vinogradov AP. [The average content of chemical elements in the main types of igneous rocks of the Earth's crust]. *Geokhimiya*. 1962;7:555–571. Russian.
9. Vojtkovich GV, Kokin AV, Miroshnikov AE, Prokhorov VG. *Spravochnik po geokhimii* [Handbook on Geochemistry]. Moscow: Nedra; 1990. Russian.
10. Saet YuE, Revich BA, Yanin EP, Smirnova RS, Basharkevich IL, Onishchenko TL, et al. *Geokhimiya okruzhayushchei sredy* [Environmental Geochemistry]. Moscow: Nedra; 1990. Russian.
11. Ivanov VV. *Ekologicheskaya geokhimiya elementov. Kniga 3. Redkie p-elementy* [Ecological geochemistry of elements. Book 3. Rare p-elements]. Moscow: Nedra; 1996. Russian.
12. Ivanov VV. *Ekologicheskaya geokhimiya elementov. Kniga 5. Redkie d-elementy* [Ecological geochemistry of elements. Book 5. Rare d-elements]. Moscow: Ekologiya; 1997. p. 497–562. Russian.
13. Khomich VS, Kakareka VS, Kukharchik TI. *Ekogeokhimiya gorodskikh landshaftov Belarusi* [Ecogeochimistry of urban landscapes]. Minsk: Minskтиппроект; 2004. Russian.
14. Kakareka SV, Kuxarchik TI, Lysenko AN, Khomich VS. [Mercury in the soil cover of urban landscapes]. *Doklady NAN Belarusi*. 1997;41(6):93–98. Russian.
15. Loginov VF, editor. [The state of the natural environment of Belarus. Ecological Bulletin: 2007]. Minsk: Minskтиппроект; 2008. Russian.
16. Kuz'min SI, Bobko AV, Kul'beda NA, Glazacheva GI. *Otsenka vozdeistviya rtuti na okruzhayushchuyu sredu v Respublike Belarus'* [Assessment of the Mercury impact on the environment in the Republic of Belarus]. Minsk: BelNITs «Ekologiya»; 2012. Russian.
17. [Methodical guidelines for the determination of heavy metals in soils of farmland and crop production. TSINAO, 1992. Approved by the Deputy Minister of Agriculture of the Russian Federation on 1992 March 10]. Moscow: TSINAO; 1992. Russian.

Статья поступила в редколлегию 26.03.2018.
Received by editorial board 26.03.2018.

УДК 550.36

СТРУКТУРА ГЕОТЕРМИЧЕСКОГО АТЛАСА БЕЛАРУСИ

М. А. ДУБАНЕВИЧ¹⁾, В. И. ЗУЙ²⁾, О. А. МАРТЫНОВА¹⁾

¹⁾Научно-практический центр по геологии, ул. Купревича, 7, 220141, г. Минск, Беларусь

²⁾Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь

Геотермические исследования в Беларуси начаты в начале 1960-х гг. К настоящему времени накоплен значительный материал по тепловому режиму платформенного чехла страны – термограммы скважин, данные по тепловым свойствам горных пород, плотности теплового потока, извлекаемым ресурсам подземного тепла. Результаты многолетних исследований отражены в обобщенном виде в Геотермическом атласе, который включает серию геотермических карт: 10 сводных карт для всей территории и 16 карт дополнительно для наиболее изученного осадочного бассейна республики – Припятского прогиба. Они отражают значительный контраст геотермического поля страны. В атлас, издаваемый впервые, входит каталог плотности теплового потока Беларуси, составленный в формате, рекомендованном Международной комиссией по тепловому потоку. Он содержит данные по 497 изученным скважинам. Атлас включает карты распределения температуры на глубинах 100; 200; 300; 400 и 500 м для всей территории страны и для наиболее изученного в геотермическом отношении Припятского прогиба; карты распределения температуры на глубинах 1; 2; 3 и 4 км, а также карты для поверхности стратиграфических толщ Припятского прогиба – поверхности верхней соли, межсолевых отложений, поверхности нижней соли, подсолевого карбонатного и подсолевого терригенного комплексов; карты геотермического градиента в интервалах глубины 100–200 и 200–300 м для всей территории Беларуси и карту плотности теплового потока, построенную с использованием каталога теплового потока; карты плотности извлекаемых ресурсов геотермальной энергии для интервалов глубины 100–200 и 200–300 м, а также для надсолевой толщи отложений девонского возраста.

Ключевые слова: геотермия; температура; тепловой поток; геотермический атлас; геотермические карты; геотермальные ресурсы.

STRUCTURE OF THE GEOTHERMAL ATLAS OF BELARUS

M. A. DUBANEVICH^a, V. I. ZUI^b, O. A. MARTYNOVA^a

^aScientific Research Center for Geology, 7 Kuprevič Street, Minsk 220141, Belarus

^bBelarusian State University, 4 Niezaliežnasci Avenue, Minsk 220030, Belarus

Corresponding author: V. I. Zui (zui@bsu.by)

Geothermal investigations in Belarus were started in the beginning of sixties of the past century. A considerable geothermal data were accumulated until present time on the thermal regime of the platform cover within the country – thermograms of boreholes, thermal properties of rocks, heat flow density, data on the recoverable resources of an underground

Образец цитирования:

Дубаневич МА, Зуй ВИ, Мартынова ОА. Структура Геотермического атласа Беларуси. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология.* 2018;2: 74–85.

For citation:

Dubanevich MA, Zui VI, Martynova OA. Structure of the Geothermal Atlas of Belarus. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology.* 2018;2:74–85. Russian.

Авторы:

Маргарита Анатольевна Дубаневич – магистр геолого-минералогических наук; научный сотрудник отдела геофизики филиала «Институт геологии».

Владимир Игнатьевич Зуй – доктор геолого-минералогических наук, доцент; профессор кафедры региональной геологии географического факультета.

Ольга Александровна Мартынова – младший научный сотрудник отдела геофизики филиала «Институт геологии».

Authors:

Marharita A. Dubanevich, master of science (geology and mineralogy); researcher at the department of geophysics of the branch «Institute of Geology».

nenuiall@gmail.com

Vladimir I. Zui, doctor of science (geology and mineralogy), docent; professor at the department of regional geology, faculty of geography.

zui@bsu.by

Olga A. Martynova, junior researcher at the department of geophysics of the branch «Institute of Geology».

o.a.martynova@gmail.com

heat. Results of long-term investigations are reflected in generalized form in the published Geothermal Atlas as a series of geothermal maps described by a brief accompanying text. The Geothermal Atlas was published for the first time; it includes 10 summary maps for the whole territory of the country and 16 maps additionally for the best-studied sedimentary basin of the republic, which is the Pripyat Trough. They reflect a considerable contrast of the geothermal field within the country. The heat flow catalogue for Belarus is included into the atlas. It was prepared according to the format suggested by the International Heat Flow Commission. It includes data on 497 studied boreholes. Maps of the Geothermal Atlas were compiled for following topics: maps of the temperature distribution for depths of 100; 200; 300; 400 and 500 m for the whole territory of the country. They were supplemented for these depths for the territory of the Pripyat Trough, which is best studied in geothermal respect; maps of the temperature distribution for depths of 1; 2; 3 and 4 km, as well as maps for stratigraphic thicknesses of the Pripyat Trough: surfaces of roofs of the Upper Salt, Inter-salt Deposits, the Lower Salt, carboniferous and terrigenous complexes underlying the Lower Salt; maps of geothermal gradients for the depth intervals of 100–200 and 200–300 m for the whole territory of Belarus, the heat flow density map based on the heat flow catalogue, included into the atlas; maps of the recoverable resources of geothermal energy for depth intervals of 100–200 and 200–300 m, as well as for the thickness of the Devonian age overlying the Upper Salt complement this work.

Key words: geothermics; temperature; heat flow; geothermal maps; geothermal atlas; geothermal resources.

Введение

Геотермические исследования в Беларуси ведутся с начала 1960-х гг. Наиболее активная их фаза относится к началу 1970-х гг., когда в Лаборатории геохимических проблем (ЛГП) АН БССР был создан сектор геотермии. В последующие годы как ЛГП, так и ее структурные подразделения претерпели ряд реорганизаций (Институт геохимии и геофизики (ИГиГ), Институт геологии, геохимии и геофизики). В 1990-х гг. ИГиГ был присоединен к Белорусскому научно-исследовательскому геолого-разведочному институту (БелНИГРИ), а впоследствии – к Научно-производственному центру по геологии (НПЦ по геологии). В течение этих лет геотермические исследования проводились регулярно в лаборатории тепломассопереноса в земных недрах, лаборатории геотермии, отделе геотермии. В течение более чем 40 лет накоплен значительный материал по тепловому режиму платформенного чехла Беларуси.

В 2011 г. в БелНИГРИ начаты работы по обобщению накопленного материала, одной из целей которых являлось создание Геотермического атласа Беларуси. При его составлении использованы как данные регистрации распределения температуры по глубине скважин различного назначения, так и данные по определению геотермического градиента на различных интервалах глубины, а также определения плотности теплового потока.

До распада Советского Союза геотермические исследования выполнялись на территории Беларуси, Литвы, Латвии, Эстонии и в западных областях России [1], после – только в пределах республики. В этот период проведены работы по оценке плотности извлекаемых ресурсов геотермальной энергии. Подготовленный атлас отражает в обобщенном виде результаты, полученные большим коллективом геотермиков страны за многие годы. Общее редактирование атласа выполнено профессором В. И. Зуем, формулировавшим тематику геотермических исследований в стране на протяжении более 35 лет. Большой вклад в накопление материала (регистрация термограмм скважин, сбор данных промыслового термокаротажа, измерение тепловых свойств образцов горных пород, определение плотности теплового потока) внесли кандидаты наук Л. А. Цыбуля, П. П. Атрошенко, М. Д. Пархомов, П. Б. Цалко, Я. Г. Грибик, А. П. Пинчук; доктора наук В. И. Зуй, В. Г. Левашкевич; в проведении полевых и лабораторных работ значительная доля принадлежит младшим научным сотрудникам М. С. Жуку, А. В. Веселко, В. М. Макаренко, Г. И. Урбану, О. А. Мартыновой. На заключительных стадиях работы над атласом в ней принимали участие выпускники БГУ – магистры М. А. Дубаневич и Е. А. Василёнок. Основной объем графических работ выполнен М. А. Дубаневич. Отдельные аспекты геотермических исследований в стране изложены в монографиях [2–8] и в десятках научных статей.

Работы по созданию атласа [9], начатые в БелНИГРИ в 2011 г., завершены в НПЦ по геологии (после структурных преобразований) в 2015 г.

Краткие сведения о геологическом строении региона

Территория Беларуси расположена в западной части докембрийской Восточно-Европейской платформы. Кристаллический фундамент страны перекрыт платформенным чехлом различной мощности. Наиболее крупными отрицательными структурами являются Оршанская впадина и восточное окончание Подляско-Брестской впадины, а также Припятский прогиб. Фундамент Белорусской антеклизы

перекрыт платформенным чехлом мощностью до 500 м, в пределах Центрально-Белорусского массива его мощность сокращается до 80–100 м. Подавляющее большинство изученных буровых скважин в регионе завершено в платформенном чехле. Лишь в некоторых скважинах геотермические измерения выполнены во вскрытых бурением интервалах кристаллического фундамента.

Центральное место в регионе занимает Белорусская антеклиз. В ее пределах выделены Центрально-Белорусский массив, Воложинский грабен, Вилейский, Бобовнянский, Бобруйский, Ивацевичский и Мазурский погребенные выступы. К антеклизе примыкают отрицательные структуры – Припятский прогиб, Оршанская и Подляско-Брестская впадины, а также Балтийская синеклиза на севере и северо-западе.

Наиболее глубокое погружение кристаллического фундамента (до 5,0–6,4 км) выявлено в отдельных блоках Припятского прогиба (рис. 1). Прогиб расположен между Белорусской антеклизой и Жлобинской седловиной на севере и Украинским щитом на юге. От Днепровско-Донецкой впадины он отделен Брагинско-Лоевской седловиной. На западе Полеская седловина отделяет Припятский прогиб от Подляско-Брестской впадины. По поверхности фундамента прогиб состоит из Припятского грабена и Северо-Припятского плеча, отделенных друг от друга Северо-Припятским краевым

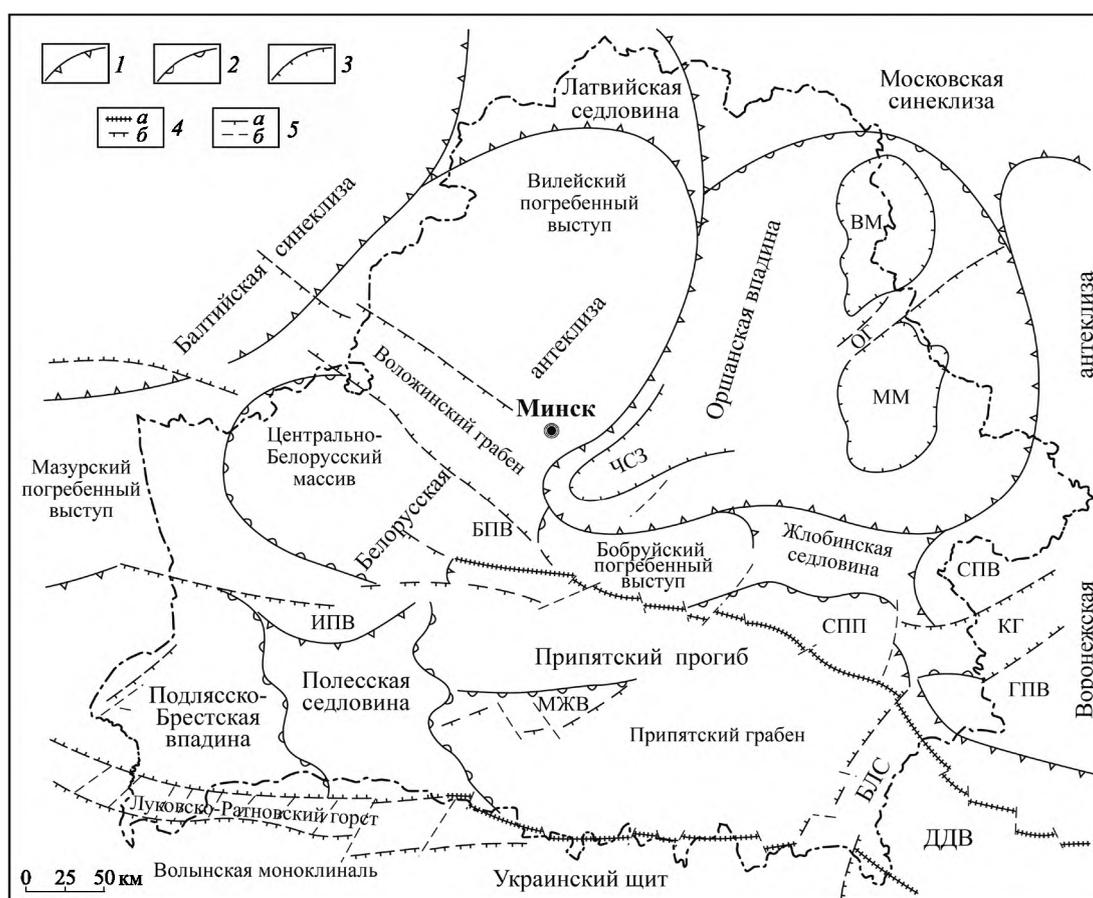


Рис. 1. Тектоническое районирование территории Беларуси (по [10], с упрощениями).

Границы: 1 – структур I порядка; 2 – структур II порядка; 3 – структур III порядка; разломы: 4 – суперрегиональные (а) и региональные (б); 5 – субрегиональные (а) и локальные (б).

БЛС – Брагинско-Лоевская седловина; БПВ – Бобовнянский погребенный выступ;

ВМ – Витебская мульда; ГПВ – Гремячский погребенный выступ;

ДДВ – Днепровско-Донецкая впадина; ИПВ – Ивацевичский погребенный выступ;

КГ – Клинецкий грабен; МЖВ – Микашевичско-Житковичский выступ;

ММ – Могилевская мульда; ОГ – Оршанский горст; СПВ – Суражский погребенный выступ;

СПШ – Северо-Припятское плечо; ЧСЗ – Червенский структурный залив

Fig. 1. Tectonic zoning of the territory of Belarus (according to [10], simplified).

Margins: 1 – structures of the I order; 2 – structures of the II order; 3 – structures of the III order;

faults: 4 – super-regional (a) and local (b); 5 – sub-regional (a) and local (b). БЛС – Bragin-Loev Saddle;

БПВ – Bobovnya Buried Salient; ВМ – Vitebsk Trough; ГПВ – Gremyachi Buried Salient;

ДДВ – Dnieper-Donets Trough; ИПВ – Ivatsevichi Buried Salient; КГ – Klintsy Graben;

МЖВ – Mikashevichi-Zhitkovichi Salient; ММ – Mogilev Trough; ОГ – Orsha Horst;

СПВ – Surazh Buried Salient; СПШ – North Pripyat Shoulder; ЧСЗ – Cherven Structural Bay

разломом. На юге Южно-Припятский краевой разлом отграничивает прогиб от Украинского щита. Наиболее активное накопление отложений платформенного чехла в Припятском прогибе имело место в девонское время.

Особенностью строения платформенного чехла Припятского прогиба является наличие двух толщ каменной соли девонского возраста. Их разделяет толща межсолевых терригенных отложений. Нижне-солевая толща подстилается подсолевыми карбонатным и терригенным комплексами отложений, последний перекрывает кристаллический фундамент. В пределах прогиба широко развита соляная тектоника с многочисленными соляными куполами, протяженными соляными валами и межкупольными депрессиями. Фундамент прогиба разбит системой глубоких разломов и имеет блоковое строение.

Оршанская впадина – крупная отрицательная структура на северо-востоке Беларуси [10], является частью протяженного Волынского-Оршанского палеопргиба рифейского возраста. Ее восточное окончание простирается в Россию. Она отделена Латвийской седловиной от Балтийской синеклизы. В ее осевой части выделены Витебская и Могилёвская мульды с глубиной до фундамента 1400–1600 м и более.

Полесская седловина отделяет Припятский прогиб от Подляско-Брестской впадины. На севере она ограничена широтным Свислочским разломом, отделяющим впадину от Белорусской антеклизы, на юге – Луковско-Рагновским горстом. Наибольшая мощность платформенного чехла впадины на территории Беларуси превышает 1500 м (вблизи белорусско-польской границы) [10].

Поверхность кристаллического фундамента приподнята в пределах Микашевичско-Житковичского выступа, который в виде структурного носа Полесской седловины вдаётся далеко в Припятский прогиб. На крайнем юге на территорию Беларуси заходит Украинский щит, на отдельных его участках породы фундамента обнажены. В верхней части платформенный чехол повсеместно обводнен.

Исходные геотермические данные

Построенные геотермические карты атласа в наиболее полной форме отражают достигнутую к настоящему времени изученность региона. Для их составления использовано более 700 термограмм, зарегистрированных в скважинах различного назначения (разведочные, поисковые, гидрогеологические, наблюдательные и др.), величины плотности теплового потока получены по 497 скважинам, также изучены данные о плотности ресурсов подземного тепла по отдельным геотермальным горизонтам.

Построение карт распределения температуры основано на термограммах скважин, при этом важное значение имеет их качество. Используются как диаграммы, зарегистрированные в скважинах, восстановивших тепловое равновесие с массивом прилегающих горных пород после завершения буровых работ, так и ряд производственных измерений (после их тщательного отбора) с нарушенным при бурении тепловым режимом, главным образом по территории Припятского прогиба. Первый тип термограмм преобладал за пределами прогиба, тогда как вторые относились в основном к территории прогиба (рис. 2). На рис. 2 длины вертикальных полосок в масштабе (правый нижний угол карты) показывают глубину, достигнутую электротермометром в скважинах.

Измерение тепловых свойств горных пород – коэффициентов теплопроводности и объемной теплоемкости, необходимых для последующего нахождения плотности теплового потока и ресурсов геотермальной энергии, – выполнено в лабораторных условиях на образцах керна, слагающих изучаемые интервалы глубины. Определение плотности геотермальных ресурсов базировалось на учете распределения температуры на кровле продуктивного горизонта и объемной теплоемкости слагающих разрез литологических толщ [8; 9].

Состав Геотермического атласа Беларуси

Геотермический атлас Беларуси [9] содержит 10 сводных карт для всей территории страны и 16 карт для наиболее изученного осадочного бассейна республики – Припятского прогиба, а также каталог теплового потока Беларуси по состоянию на конец 2017 г., в который включены все определения его значений, выполненные рядом исследователей за все время наблюдения теплового поля территории республики. Общее количество изученных по тепловому потоку скважин – 497.

Несмотря на многолетнее исследование геотермических условий республики, до настоящего времени практически отсутствуют данные по глубоким горизонтам Оршанской впадины. Слабо изучены территории вдоль границ с Литвой, Латвией, Россией. После аварии на Чернобыльской АЭС также не ведется бурение скважин и наблюдение теплового поля в полосе отселения вдоль украинской границы. Остается слабо изученной западная часть Припятского прогиба. Это отражается на надежности картирования указанных территорий.

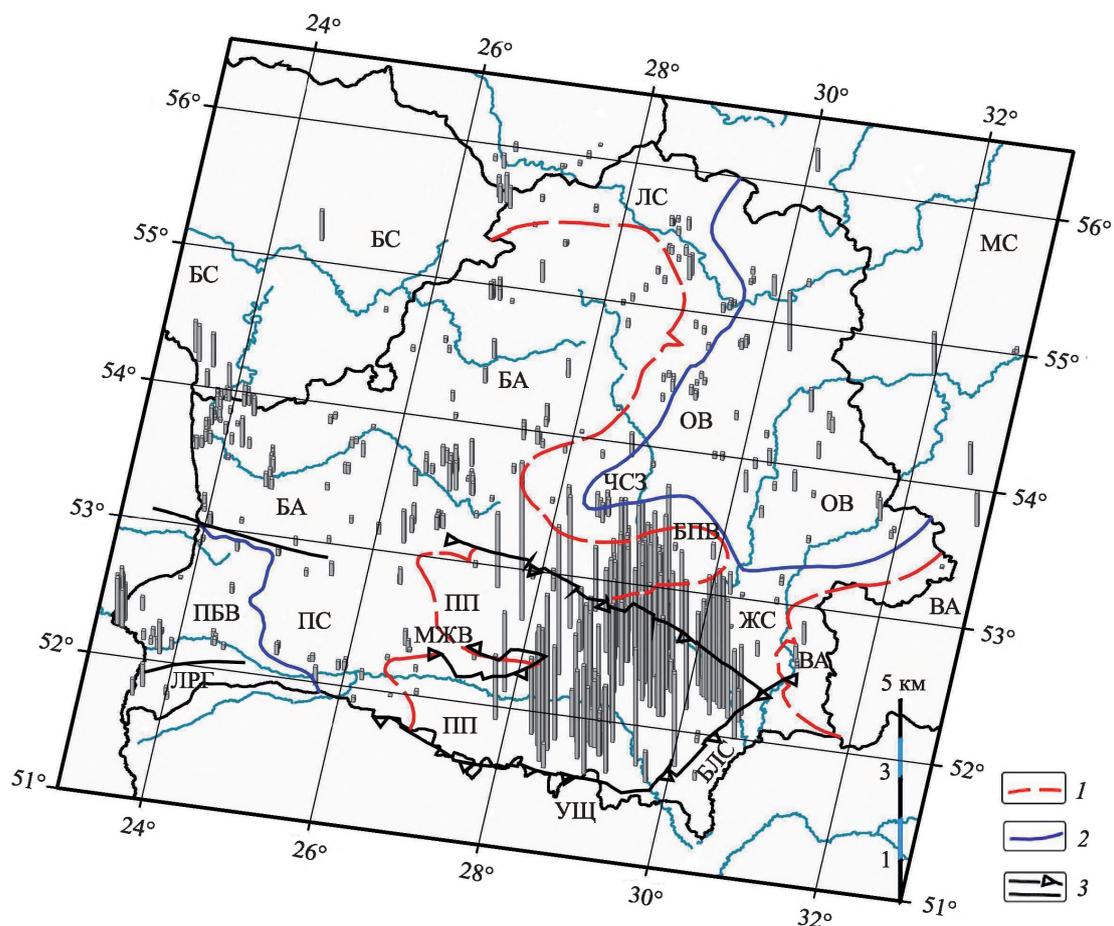


Рис. 2. Расположение и глубины изученных геотермическим методом скважин (по [5]).

Границы: 1 и 2 – положительные и отрицательных структурных элементов чехла соответственно; 3 – Припятского прогиба и пр. БА – Белорусская антеклиз; БЛС – Брагинско-Лоевская седловина; БПВ – Бобруйский погребенный выступ; БС – Балтийская синеклиза; ВА – Воронежская антеклиз; ЖС – Жлобинская седловина; ЛРГ – Луковско-Ратновский горст; ЛС – Латвийская седловина; МЖВ – Микашевичско-Житковичский выступ; МС – Московская синеклиза; ОВ – Оршанская впадина; ПБВ – Подляско-Брестская впадина; ПП – Припятский прогиб; ПС – Полесская седловина; ЧСЗ – Червенский структурный залив; УЩ – Украинский щит

Fig. 2. Schematic map of the position and depths of geothermally studied boreholes (according to [5]).

Margins: 1 – positive; 2 – negative structural elements of the cover; 3 – the Pripyat Trough and others.
 БА – Belarusian Antecline; БЛС – Bragin-Loev Saddle; БПВ – Bobruisk Buried Salient;
 БС – Baltic Syneclise; ВА – Voronezh Antecline; ЖС – Zhlobin Saddle; ЛРГ – Lukow-Ratno Horst;
 ЛС – Latvian Saddle; МЖВ – Mikashевичи-Zhitkovich Salient; МС – Moscow Syneclise;
 ОВ – Orsha Depression; ПБВ – Podlaska-Brest Depression; ПП – Pripyat Trough;
 ПС – Polesian Saddle; ЧСЗ – Cherven Structural Bay; УЩ – Ukrainian Shield

Геотермический атлас Беларуси включает:

- карты распределения температуры на глубинах 100; 200; 300; 400 и 500 м для всей территории страны. Они дополнены картами распределения температуры на этих глубинах для наиболее изученного в геотермическом отношении Припятского прогиба;
- карты распределения температуры на глубинах 1; 2; 3 и 4 км, а также карты для поверхности стратиграфических толщ Припятского прогиба – поверхности верхней соли, межсолевых отложений, поверхности нижней соли, подсолевого карбонатного и подсолевого терригенного комплексов;
- карты геотермического градиента для интервалов глубины 100–200 и 200–300 м всей территории Беларуси;
- карту плотности теплового потока, построенную с использованием каталога теплового потока, приложенного к атласу;
- карты плотности извлекаемых ресурсов геотермальной энергии для интервалов глубины 100–200 и 200–300 м, а также ресурсов из надсолевой толщи отложений девонского возраста.

Для всей территории страны карты построены в масштабе 1 : 2 000 000, они дополнены картами в масштабе 1 : 800 000 для Припятского прогиба. При построении карт атласа Беларуси были также учтены отдельные термограммы по прилегающим территориям Украины, России, Латвии и Литвы.

Текстовая часть атласа приведена на русском и английском языках. Обозначения населенных пунктов (в основном областных и районных центров) на картах представлены в латинской транслитерации с белорусского языка. Формат атласа – А3. Рассмотрим отдельные виды карт (с упрощениями по отношению к опубликованным в оригинале).

Карта распределения температуры на глубине 100 м

Измерения температуры на глубине 100 м выполнены в большинстве случаев в скважинах, находившихся продолжительное время в покое после завершения буровых работ. Для Припятского прогиба имеются немногочисленные надежные термограммы, поэтому использован ряд термограмм производственного каротажа. Их количество убывает с ростом глубины (рис. 3).

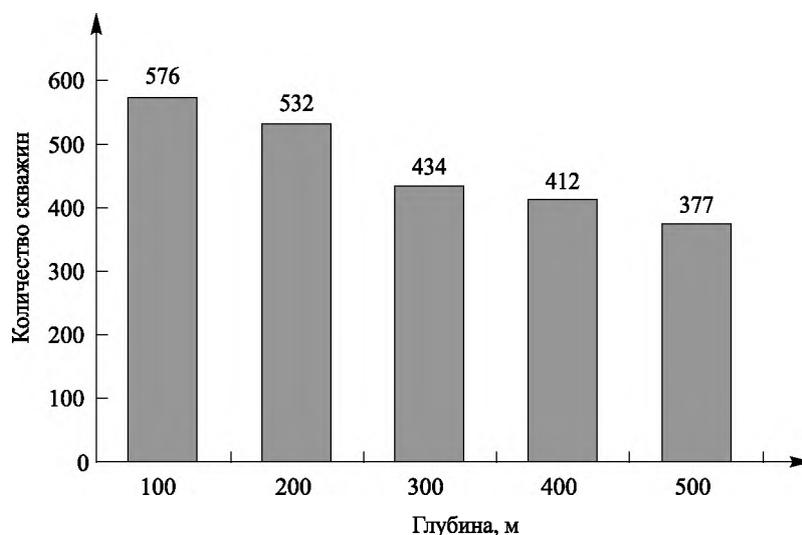


Рис. 3. Гистограмма глубины использованных скважин
Fig. 3. Histogram of depths of used boreholes

Значения температуры для производственных термограмм на глубине 100 м определены путем интерполяции, с опорой на имеющиеся скважины с надежными термограммами, где измерения выполнены скважинными электротермометрами точечным методом с погрешностью 0,03–0,05 °С.

На указанной глубине отчетливо прослеживаются региональные и локальные аномалии, температура в пределах которых изменяется от 7 до 11,5 °С, разница между крайними значениями достигает 4,5 °С (рис. 4). Значения свыше 9 °С характерны для северной зоны Припятского прогиба и Подляско-Брестской впадины, где существуют положительные геотермические аномалии, а также для западного склона Воронежской антеклизы на востоке Беларуси.

В Оршанской впадине изотермой 7,5 °С оконтурена Восточно-Оршанская аномалия низких значений температуры. Западно-Оршанская аномалия ее повышенных величин (от 8 °С в центральной части и до 10 °С в южной части структуры), ориентированная в меридиональном направлении, прослеживается от северной зоны Припятского прогиба через западную часть Оршанской впадины и восточный склон Белорусской антеклизы. Она выделяется по линии Речица – Светлогорск – Березино – Борисов – Лепель – Полоцк. Эта аномалия отделяет восточный склон Белорусской антеклизы и Червенский структурный залив от основной части Оршанской впадины.

Изотерма 9,5 °С окаймляет аномалию повышенных значений температуры Подляско-Брестской впадины и частично – Полесской седловины. Брестская аномалия изолинией 9 °С соединяется через седловину с аномалией повышенной температуры Припятского прогиба, включая Бельничско-Речицкую аномалию и западный склон Воронежской антеклизы.

К юго-востоку от Гродно по линии Волковыск – Мосты изотермой 9 °С оконтурена локальная аномалия повышенных значений температуры. Восточнее по линии Ивацевичи – Дятлово также выделена меридионально ориентированная аномалия с температурой более 9 °С.

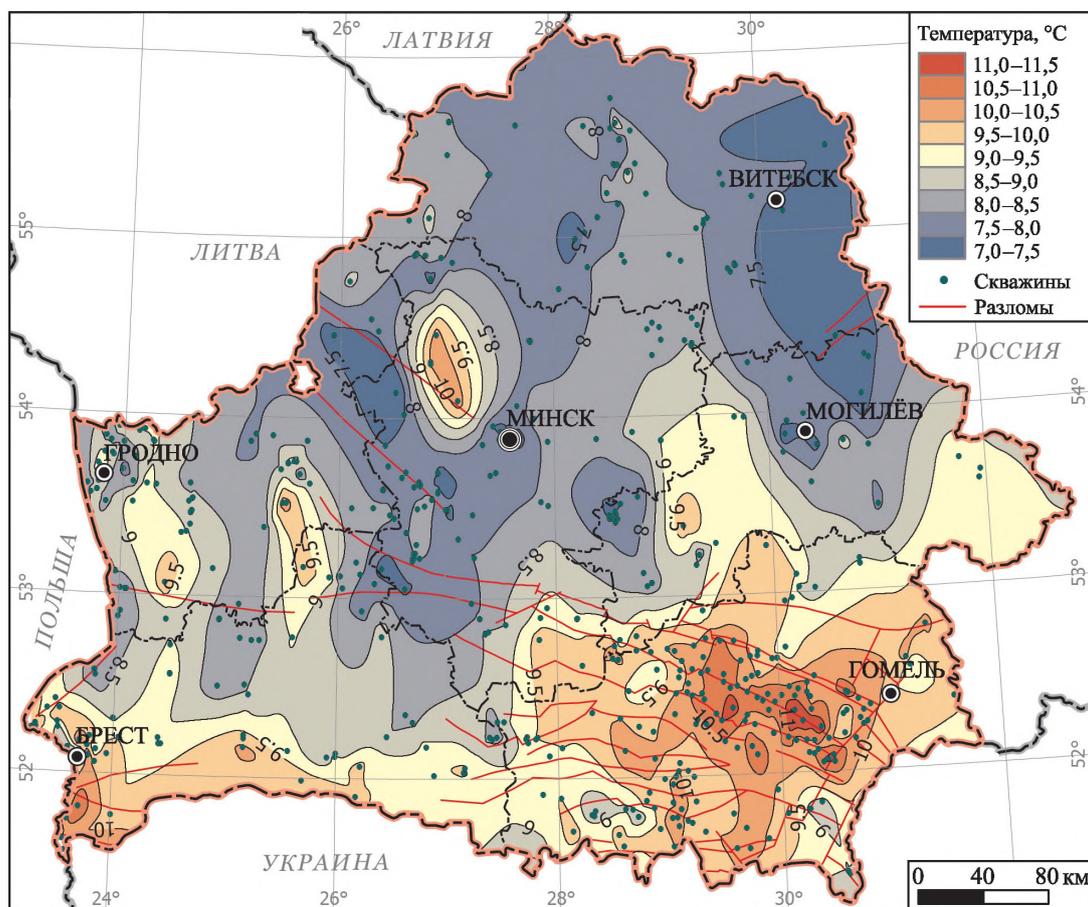


Рис. 4. Карта распределения температуры на глубине 100 м (по [9], с упрощениями)

Fig. 4. Map of the temperature distribution at the depth of 100 m (according to [9], simplified)

Молодечненско-Нарочанская аномалия с величинами температуры свыше 8 °С разделяет аномалию пониженных температур Белорусской антеклизы на две части – аномалию северо-восточных склонов антеклизы и аномалию центральной части антеклизы (Центрально-Белорусскую аномалию).

Карта распределения температуры на глубине 500 м

При построении карты распределения температуры на глубине 500 м (рис. 5) использованы во многом экстраполированные на эту глубину температурные данные. Большинство термограмм, реально измеренных на глубине свыше 500 м, сосредоточено на территории Припятского прогиба и Подляско-Брестской впадины.

Основные температурные аномалии, отмеченные на предыдущей карте, сохраняются. Однако их контуры значительно деформированы, геотемпературное поле в большей степени генерализовано. Конфигурация изотерм претерпевает изменения как вследствие разреженной сети изученных скважин, достигших рассматриваемой глубины, так и неодинакового роста температуры с глубиной. Интервал изменения температуры составляет 9–20 °С.

Западно-Оршанская аномалия на данной глубине выражена слабо. В северной части она представлена локальными аномалиями по линии Крупки – Полоцк. Южная ветвь аномалии в направлении северной зоны Припятского прогиба не выражена, что может быть обусловлено крайне разреженной сеткой точек наблюдения на данном участке.

Оконтурены три относительно холодные зоны с температурой менее 12 °С: Восточно-Оршанская аномалия, аномалия Червенского структурного залива со своим продолжением в пределы Центрально-Белорусского массива и его Бобовнянского погребенного выступа и аномалия Полесской седловины объединяются в единую зону пониженных значений температуры, пересекающую республику в направлении юго-запад – северо-восток. На юге к данной аномалии присоединяется также аномалия

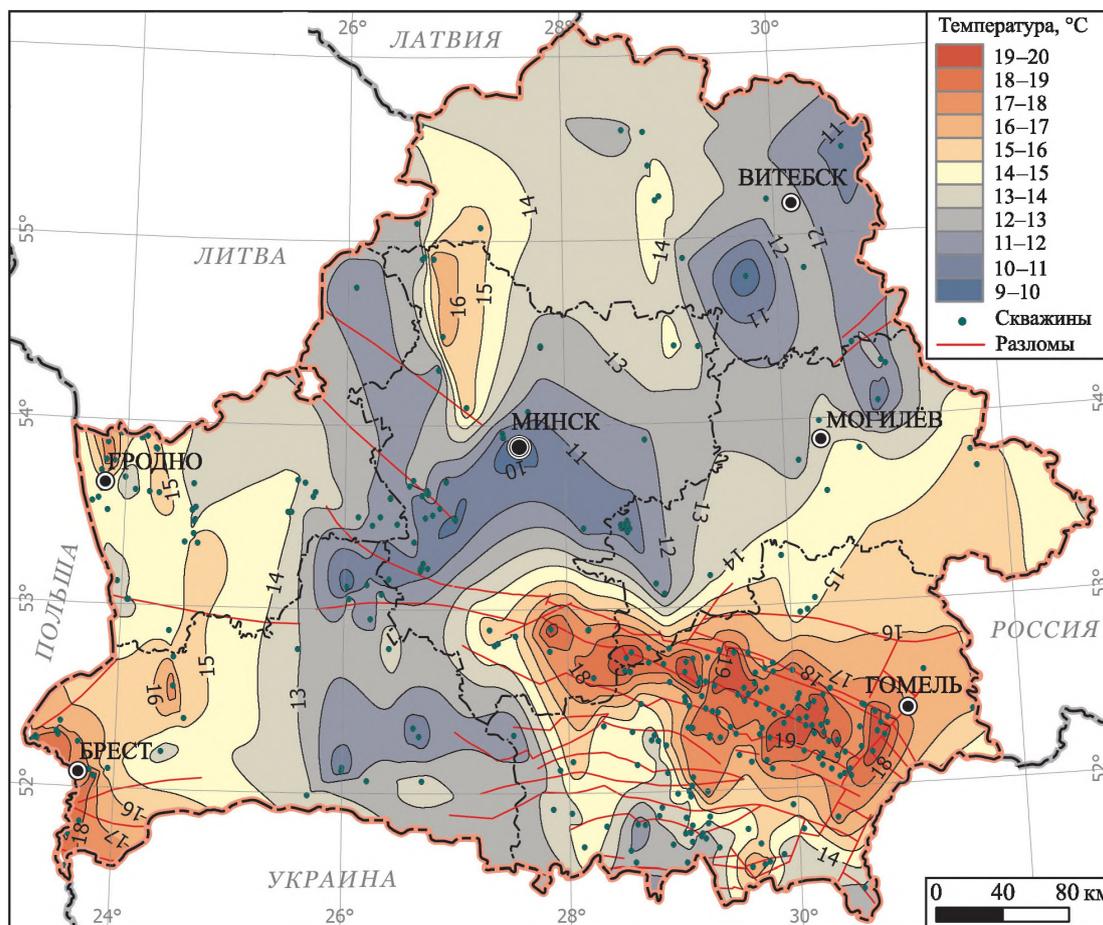


Рис. 5. Карта распределения температуры на глубине 500 м (по [9], с упрощениями)

Fig. 5. Map of the temperature distribution at the depth of 500 m (according to [9], simplified)

южной прибортовой зоны Припятского прогиба, прослеживаемая далее в пределы Украинского щита. Неизменной на изученных глубинах остается Молодечненско-Нарочанская аномалия. Здесь также прослеживается положительная аномалия северной зоны Припятского прогиба.

Карта плотности теплового потока

Карта плотности теплового потока составлена, как отмечалось, на базе каталога его наблюдаемых значений с учетом имеющихся данных по приграничным территориям соседних стран (рис. 6).

Распределение плотности теплового потока в пределах страны имеет контрастный вид. На фоне его низких значений (менее $30\text{--}35\text{ мВт/м}^2$) выделяются две обширные положительные аномалии в восточной части Подляско-Брестской впадины и на западе Белорусской антеклизы ($40\text{--}55\text{ мВт/м}^2$), а также в Припятском прогибе.

В пределах Припятского прогиба поток изменяется от $45\text{--}55\text{ мВт/м}^2$ в западной части до $60\text{--}80\text{ мВт/м}^2$ и более в ядрах соляных куполов [5; 6]. Главная ось аномалии направлена параллельно Северо-Припятскому краевому разлому. Намечается и второе направление аномалии по линии Ельск – Мозырь – Речица, ортогональное основному.

Рядом исследователей выявлен сложный характер распределения теплового потока по разрезу скважин в Припятском прогибе. Его интервальные значения в верхней части геологического разреза изменяются с ростом глубины, свидетельствуя о действии многих факторов: изменении теплопроводности горных пород, слагающих разрез, фильтрации подземных вод и флюидов, тектонических условий в пределах блоков земной коры и др. [5].

Значительное влияние на вариацию геотермических параметров и их изменчивость по разрезу оказывает соляная тектоника. Высокая теплопроводность каменной соли по отношению к терригенным породам вызывает концентрацию теплового потока и его высокие значения в соляных куполах и валах. По мере удаления от куполов тепловой поток снижается, приближаясь к своим фоновым значениям.

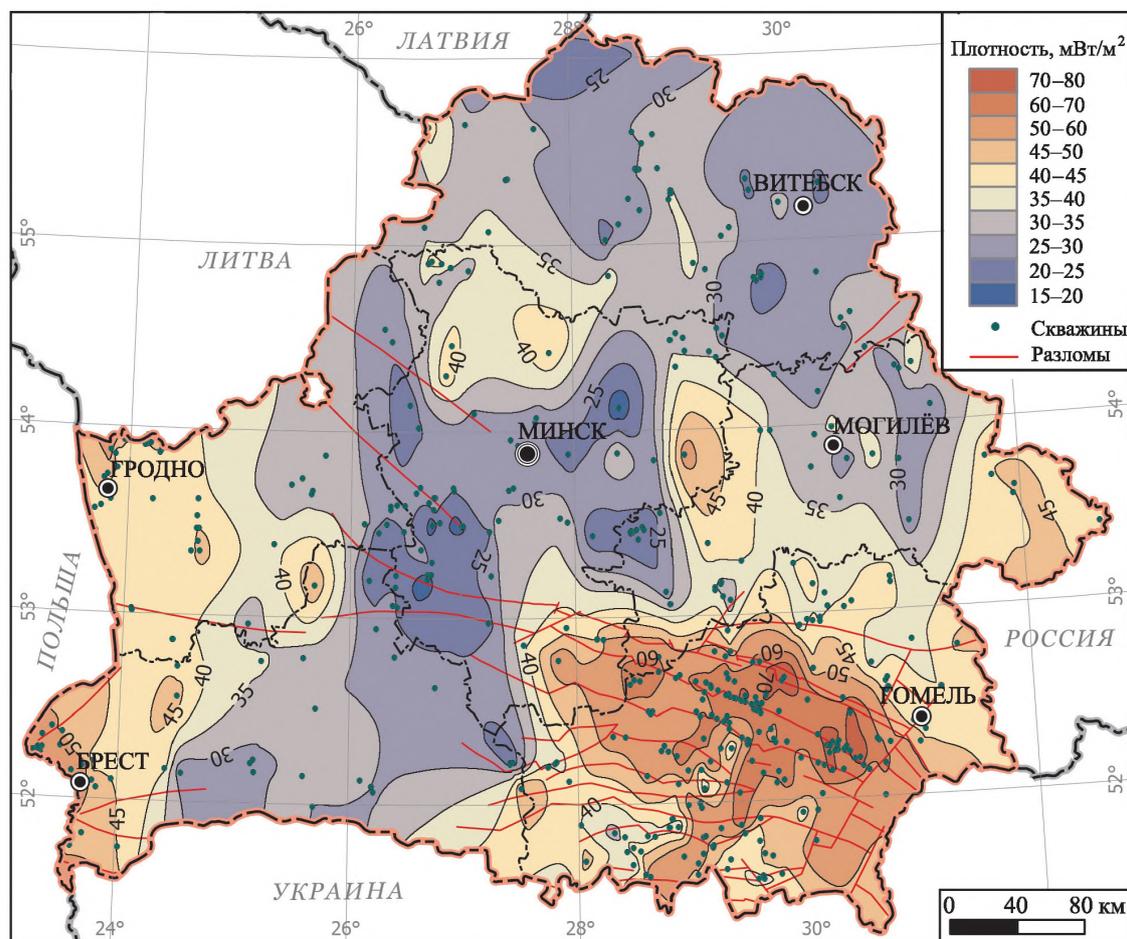


Рис. 6. Карта распределения плотности теплового потока (по [9], с упрощениями)

Fig. 6. Map of the heat flow density distribution (according to [9], simplified)

Установлена значительная изменчивость плотности теплового потока в меридиональном направлении за пределами Северо-Припятского плеча. Повышенные его значения ($40\text{--}50\text{ мВт/м}^2$) представлены также локальными аномалиями над телами гранитоидов Белорусской антеклизы, в Жлобинской седловине, на западном склоне Воронежской антеклизы.

Обширная полоса низких значений теплового потока простирается от Полесской седловины через центральную часть Белорусской антеклизы и достигает белорусско-литовской границы. На востоке к ней примыкает аномалия со значениями потока $20\text{--}30\text{ мВт/м}^2$, охватывающая Червенский структурный залив Оршанской впадины и восточный склон Белорусской антеклизы, а также восточную часть Оршанской впадины, северную часть Белорусской антеклизы и Латвийскую седловину.

Геотермальные ресурсы для интервала глубины 100–200 м

В настоящее время отбор подземного тепла действующими геотермальными установками в Беларуси ведется из горных пород зоны аэрации либо из зоны распространения пресных подземных вод. Геотермальные горизонты минеральных вод и термальных рассолов до сих пор для извлечения геотермальных ресурсов не использовались. В связи с этим имеет смысл рассмотреть плотность геотермальных ресурсов, содержащихся в зоне активного водообмена.

Интервал глубины 100–200 м почти целиком относится к этой зоне, за исключением локальных участков территории в Оршанской впадине и в среднем течении р. Припяти, где на глубине примерно 150 м встречены слабоминерализованные воды. В интервале глубины 100–200 м в платформенном чехле широко развиты гидрогеологические окна, где имеет место перетекание подземных вод и гидродинамическая взаимосвязь водоносных горизонтов, поэтому в первом приближении этот интервал можно рассматривать как единый геотермальный горизонт. Распределение плотности геотермальных ресурсов по изученным скважинам приведено на рис. 7.

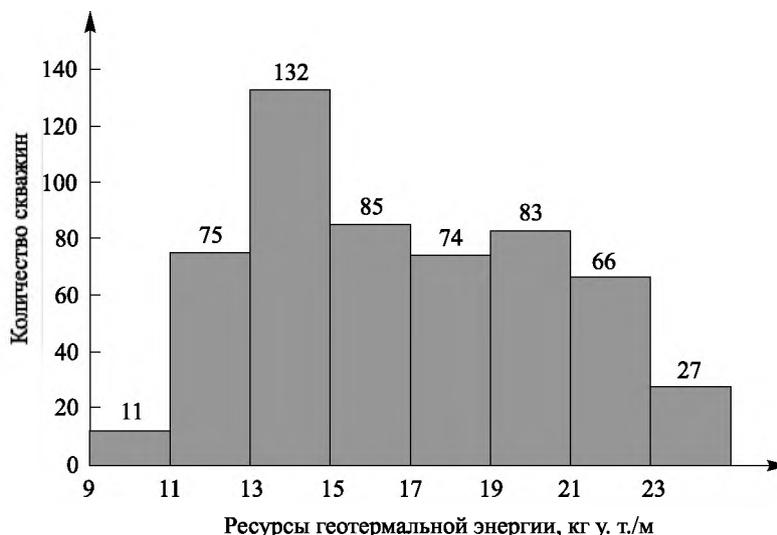


Рис. 7. Количество скважин и плотность ресурсов геотермальной энергии
Fig. 7. Number of boreholes and the density of geothermal energy resources

Повышенные значения плотности извлекаемых геотермальных ресурсов выявлены в Брестской области, в полосе вдоль белорусско-украинской границы, а также в северной зоне Припятского прогиба и на западном склоне Воронежской антеклизы в эквиваленте 17–25 килограммов условного топлива на квадратный метр земной поверхности (кг у. т./м²) (см. рис. 7). За их пределами плотность ресурсов снижается до 13–15 кг у. т./м². Минимальные значения отмечены на отдельных участках Витебской, Могилёвской и Минской областей (рис. 8).

В Витебской и Могилёвской областях величины возобновляемых ресурсов подземного тепла, пригодных для практического использования, находятся в пределах 10–17 кг у. т./м². В Могилёвской области по мере приближения к Припятскому прогибу плотность ресурсов увеличивается до 18–20 кг у. т./м², и ожидаемая эффективность геотермальных установок на базе тепловых насосов здесь возрастает.

Максимальная величина плотности геотермальных ресурсов выявлена в Припятском прогибе, на крайнем юго-западе Беларуси, в полосе, примыкающей к государственной границе с Украиной и отчасти – с Польшей. Локальные области повышенных значений плотности ресурсов геотермальной энергии выявлены к востоку от Гродно, а также по линии Ивацевичи – Новогрудок и Молодечно – Вилейка. Названные территории являются наиболее перспективными для первоочередного создания геотермальных установок по извлечению подземного тепла в Беларуси.

Геотермальные ресурсы в надсолевых верхнедевонско-каменноугольных отложениях Припятского прогиба

Отложения надсолевого девона и перекрывающие их толщи каменноугольных отложений залегают на верхней соли. С увеличением глубины здесь возрастает и минерализация подземных рассолов, однако она значительно ниже, чем в межсолевых и подсолевых отложениях, где откачка термальных рассолов связана с рядом технических проблем, что делает надсолевые отложения наиболее перспективными в плане извлечения ресурсов геотермальной энергии.

Величины плотности извлекаемых ресурсов геотермальной энергии в толще рассматриваемых отложений (рис. 9) изменяются от менее чем 50 кг у. т./м² на западе до 700–800 кг у. т./м² в пределах его восточной и северо-восточной частей. Распределение геотермальных ресурсов в толще надсолевых отложений весьма неравномерное, прежде всего на востоке прогиба. Здесь характерны резкие перепады получаемых значений на небольших расстояниях.

Такой контраст обусловлен несколькими факторами. Существенное влияние на картину распределения ресурсов подземного тепла оказывает степень прогретости надсолевой толщи тепловым потоком, поступающим из залегающей ниже верхнесолевой толщи при общем погружении платформенного чехла в северо-восточном направлении. Вторым фактором появления локальных аномалий является соляная тектоника, в частности соляные валы и купола, развитые в прогибе. Наиболее высокие значения извлекаемых ресурсов подземного тепла выявлены в северной и восточной частях палеорифта. Западная часть прогиба в геотермическом отношении изучена еще достаточно слабо. Картина распределения геотермальных ресурсов здесь подлежит уточнению по мере накопления новых данных.

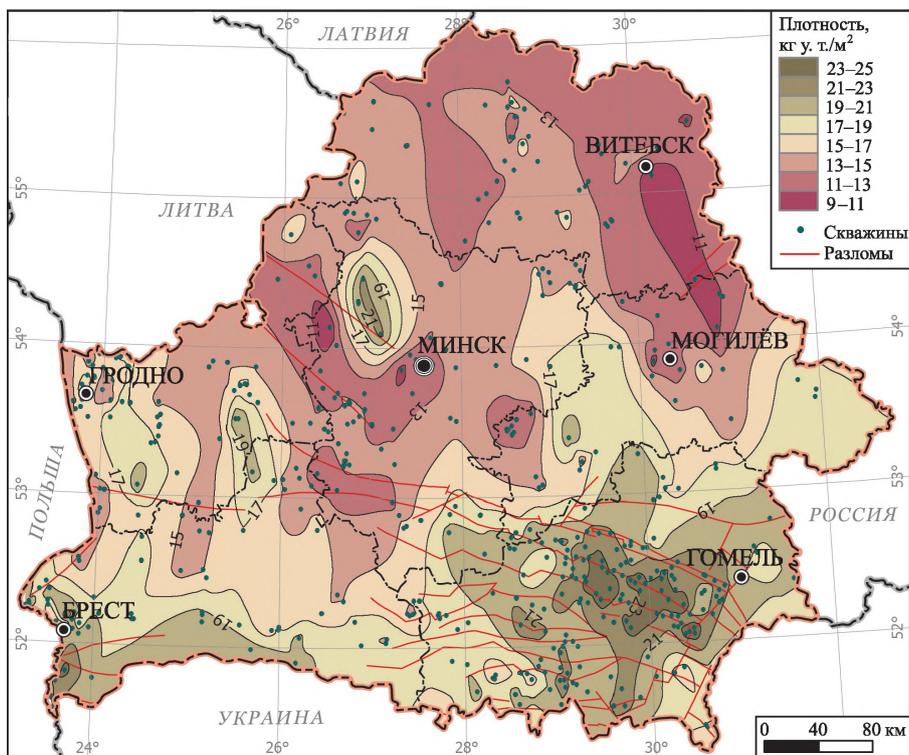


Рис. 8. Распределение плотности геотермальных ресурсов для интервала глубины 100–200 м (по [9], с упрощениями)

Fig. 8. Distribution of the geothermal resources density, depth interval of 100–200 m (according to [9], simplified)

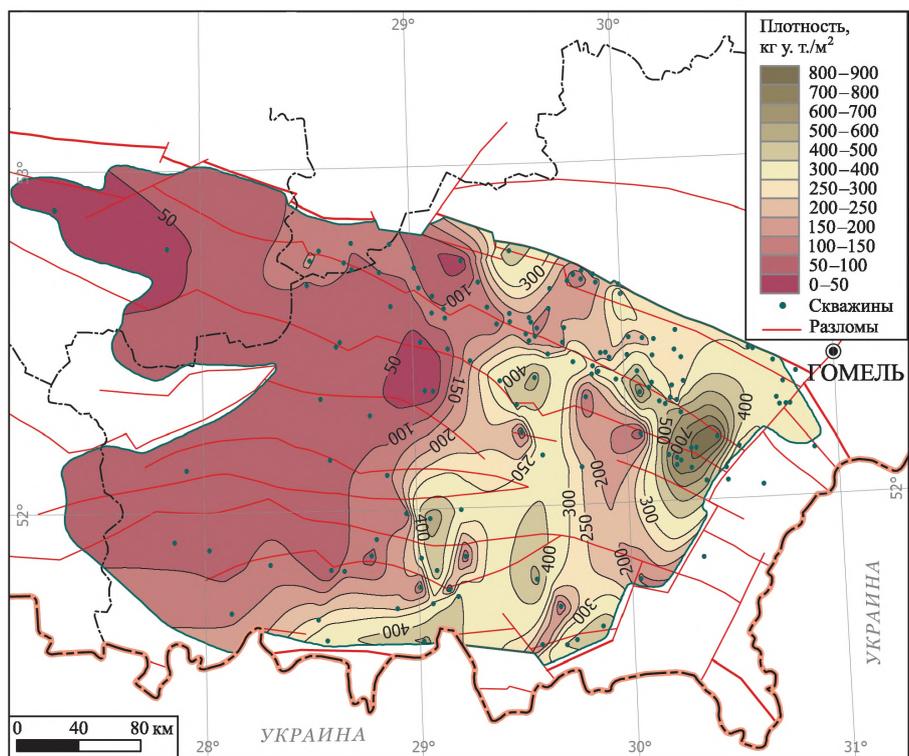


Рис. 9. Распределение плотности геотермальных ресурсов

в толще отложений надсолевого девона Припятского прогиба (по [9], с упрощениями)
 Fig. 9. Distribution of the density of geothermal resources within the thickness of Devonian sediments overlying the Upper Salt within the Pripjat Trough (according to [9], simplified)

Заключение

В течение более чем 50-летних геотермических исследований в Беларуси накоплен значительный материал по тепловому режиму платформенного чехла Беларуси – термограммы скважин, данные по тепловым свойствам горных пород, плотности теплового потока, извлекаемым ресурсам подземного тепла. Они послужили основой создания первого в стране Геотермического атласа в виде серии геотермических карт.

Данный атлас представляет собой первое наиболее полное картографическое обобщение накопленных данных. Он включает 10 сводных карт для всей территории страны и 16 карт отдельно для наиболее изученного осадочного бассейна республики – Припятского прогиба. В атлас входит каталог плотности теплового потока Беларуси, составленный в формате, рекомендованном Международной комиссией по тепловому потоку. Он содержит данные по 497 изученным скважинам.

Работы по созданию атласа проводились в период с 2011 по 2015 г. Подготовка его к печати и редактирование велись на протяжении 2016–2017 гг.

Библиографические ссылки

1. Hurter S, Haenel R, editors. *Atlas of Geothermal Resources in Europe*. Hannover: European Communities, Leibniz Institute for Applied Geosciences (GGA); 2002. 92 p. + 89 plates.
2. Атрощенко ПП. *Геотермические условия северной части Припятской впадины*. Богомолов ГВ, редактор. Минск: Наука и техника; 1975. 104 с.
3. Богомолов ГВ, Цыбуля ЛА, Атрощенко ПП. *Геотермическая зональность территории БССР*. Минск: Наука и техника; 1972. 216 с.
4. Богомолов ГВ, редактор. *Гидродинамика и геотермия нефтяных структур*. Минск: Наука и техника; 1975. 240 с.
5. Зуй ВИ. *Тепловое поле платформенного чехла Беларуси*. Минск: Экономпресс; 2013. 260 с.
6. Левашкевич ВГ. *Геотермия запада Восточно-Европейской платформы*. Минск: Беларуская навука; 2013. 153 с.
7. Зуй ВИ. *Основы геотермии*. Минск: БГУ; 2017. 288 с.
8. Hurlig E, Haenel R, Čermak V, Zui V, editors. *Geothermal Atlas of Europe. Members of the Working Group «Geothermal Atlas of Europe» of the International Heat Flow Commission*. Gotha: Geographisch-Kartographische Anstalt; 1991. Explanatory Note 156 p. + 36 maps.
9. Зуй ВИ, редактор. *Геотермический атлас Беларуси*. Минск: Национальная библиотека Беларуси; 2018. 91 с.
10. Махнач АС, редактор. *Геология Беларуси*. Минск: Институт геологических наук, НАН Беларуси; 2001. 815 с.

References

1. Hurter S, Haenel R, editors. *Atlas of Geothermal Resources in Europe*. Hannover: European Communities, Leibniz Institute for Applied Geosciences (GGA); 2002. 92 p. + 89 plates.
2. Atroshchenko PP. *Geotermicheskie usloviya severnoi chasti Pripyatskoi vpadiny* [Geothermal conditions of the northern part of the Pripyat Depression]. Bogomolov GV, editor. Minsk: Nauka i tekhnika; 1975. 104 p. Russian.
3. Bogomolov GV, Tsybulya LA, Atroshchenko PP. *Geotermicheskaya zonal'nost' territorii BSSR* [Geothermal zonality of the BSSR]. Minsk: Nauka i tekhnika; 1972. 216 p. Russian.
4. Bogomolov GV, editor. *Gidrodinamika i geotermiya neftyanykh struktur* [Hydrodynamics and Geothermics of oil-bearing structures]. Minsk: Nauka i tekhnika; 1975. 240 p. Russian.
5. Zui VI. *Teplovoe pole platformennogo chekhla Belarusi* [Thermal field of the platform cover within Belarus]. Minsk: Econompress; 2013. 260 p. Russian.
6. Levashkevich VG. *Geotermiya zapada Vostochno-Evropeiskoi platformy* [Geothermics of the western part of the East European Platform]. Minsk: Belaruskaya navuka; 2013. 153 p. Russian.
7. Zui VI. *Osnovy geotermii* [Fundamentals of Geothermics]. Minsk: Belarusian State University; 2017. 288 p. Russian.
8. Hurlig E, Haenel R, Čermak V, Zui V, editors. *Geothermal Atlas of Europe. Members of the Working Group «Geothermal Atlas of Europe» of the International Heat Flow Commission*. Gotha: Geographisch-Kartographische Anstalt; 1991. Explanatory Note 156 p. + 36 maps.
9. Zui VI, editor. *Geotermicheskii atlas Belarusi* [Geothermal Atlas of Belarus]. Minsk: National Library of Belarus; 2018. 91 p. Russian.
10. Makhnach AS, editor. *Geologiya Belarusi* [Geology of Belarus]. Minsk: Institut geologicheskikh nauk, NAN Belarusi; 2001. 815 p. Russian.

Статья поступила в редколлегию 31.05.2018.
Received by editorial board 31.05.2018.

УДК 551.248.2.056(47-11)

ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА И СТРАТИГРАФИЯ АРХЕОЛОГИЧЕСКОЙ СТОЯНКИ ЛИПОВО В ДОЛИНЕ БЕБЖИ (ПОЛЬША)

М. ФРОНЧЕК¹⁾, Т. КАЛИЦКИЙ¹⁾, А. ВАВРУСЕВИЧ²⁾, А. Ф. САНЬКО³⁾

¹⁾Университет Яна Кохановского в Кельце, Институт географии,
ул. Стефана Жеромского, 5, 25-369, г. Кельце, Польша

²⁾Подляский музей, Рыночная площадь Костюшко, 10, 15-426, г. Белосток, Польша

³⁾Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь

Район исследований расположен в северо-восточной части Польши в бассейне Бебжи. На стоянке Липово и в ее окрестности проведены геологические, геоморфологические и геоархеологические исследования. Начало накопления торфа на дне долины было датировано радиоуглеродным методом в 8490 ± 80 ВР, или 7658–7347 ВС. Результаты свидетельствуют об определенных климатических изменениях и интенсификации морфогенетических процессов. Колебания климата хорошо коррелируют с фазами, отмеченными ранее в речных долинах Центральной Европы. Стоянку Липово следует отнести к охотничьим поселениям. Такие стоянки имеют странственное расположение, обусловленное рельефом, доступностью к ресурсам. Субнеолитическое население, которое обитало на сухом возвышении дна речной долины, на окружающую среду влияло незначительно. Исследование субнеолитической стоянки на песчаной форме, окруженной заболоченными территориями, запечатлело однородность артефактов неманской культуры. Хорошо сохранившиеся органические остатки в речной долине позволили определить возраст отложений, хозяйственно-продовольственную специфику исследуемого общества и условия окружающей среды поселения.

Ключевые слова: бассейн Бебжи; неманская культура; сообщество охотников-собирателей; поздний неолит.

Образец цитирования:

Фрончек М, Калицкий Т, Ваврусевич А, Санько АФ. Окружающая среда и стратиграфия археологической стоянки Липово в долине Бебжи (Польша). *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология.* 2018; 2:86–96.

For citation:

Frańczek M, Kalicki T, Wawrusiewicz A, Sanko AF. Environment and stratigraphy of the archaeological site Lipowo in the Biebrza valley (Poland). *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology.* 2018;2:86–96. Russian.

Авторы:

Мартин Фрончек – кандидат наук, ассистент профессора отдела геоморфологии, геоархеологии и менеджмента окружающей среды.

Томаш Калицкий – доктор наук, профессор, заведующий отделом геоморфологии, геоархеологии и менеджмента окружающей среды.

Адам Ваврусевич – ассистент отдела археологии.

Александр Федорович Санько – доктор геолого-минералогических наук, доцент; профессор кафедры региональной геологии географического факультета.

Authors:

Martin Frańczek, PhD; assistant professor at the department of geomorphology, geoarchaeology and environmental management.

marcinfraczek1987@gmail.com

Tomasz Kalicki, doctor of science, full professor; head of the department of geomorphology, geoarchaeology and environmental management.

tomaszkalicki@ymail.com

Adam Wawrusiewicz, assistant at the department of archaeology.

adamwawrusiewicz@op.pl

Aleksander F. Sanko, doctor of science (geology and mineralogy), docent; professor at the department of regional geology, faculty of geography.

sankoaf@tut.by

ENVIRONMENT AND STRATIGRAPHY
OF THE ARCHAEOLOGICAL SITE LIPOVO
IN THE BIEBRZA VALLEY (POLAND)M. FRĄCZEK^a, T. KALICKI^a, A. WAWRUSIEWICZ^b, A. F. SANKO^c^aJan Kochanowski University in Kielce, Institute of Geography,
5 Stefana Żeromskiego Street, Kielce 25-369, Poland^bPodlaskie Museum, 10 Market Square Kosciuszko, Białystok 15-426, Poland^cBelarusian State University, 4 Niezależności Avenue, Minsk 220030, Belarus

Corresponding author: A. F. Sanko (sankoaf@tut.by)

Study area is located in NE part of Poland in middle Biebrza Basin. Geological, geomorphological and geoarchaeological studies were conducted at the Lipowo site. A beginning of peat accumulation in the valley floor was radiocarbon dated at 8490 ± 80 BP (MKL-3275) 7658-7347 cal. BC. Results of studies at Lipowo indicates some periods of climatic changes and an increase of morphogenetic processes. Climate fluctuations correlate very well with phases distinguished in Centraleuropean river valleys. Sub-Neolithic population inhabited the dry elevation at the bottom of river valleys. The Lipowo site should be attributed to hunting settlements. Such sites have a certain spatial arrangement. The impact of the population on the environment was insignificant. The research of the sub-Neolithic site on a sandy form surrounded by wetlands captured the homogeneity of the artifacts of the Neman culture. Organogenic layers with well-preserved remains of plants and animals allowed to determine the economic and food specifics of the studied society. The well-preserved organic remains have made to determine the environmental conditions of the settlements and to obtain definitions of the radiocarbon age.

Key words: Biebrza Basin; Neman culture; hunter-gatherers community; Late Neolithic.

Введение

Согласно физико-географическому районированию Польши, место исследований расположено в провинции Восточнобалтийско-Белорусская низина, в подпровинции Подляско-Белорусские возвышенности (доисторическая Бебжанская котловина). Долина Бебжи – это область с самыми большими по площади болотами Центральной и Западной Европы, и поэтому она является территорией многочисленных междисциплинарных исследований. В четвертичном периоде эта территория была несколько раз перекрыта скандинавскими ледниками, в результате чего на дочетвертичных породах залегают разнообразие по возрасту и происхождению отложения мощностью 100–150 м. Современные системы рек в областях плейстоценовых оледенений развивались в унаследованных от ледниковых эпох долинах, в которых в ходе деградации ледников изменяющийся климат обусловил процессы стока ледниковых вод, эрозии, транспортировки и аккумуляции влекомого материала.

В рельефе северо-восточной Польши долина Бебжи представляет собой выразительную макроформу сложного происхождения, моделирование которой включает в себя несколько этапов рельефообразования [1]. В состав макроформы входят долины Бебжи Верхней, Бебжи Центральной, Бебжи Нижней, Вижны и Тукоцинская долина. Эти участки отличаются значительным физико-географическим разнообразием, а их рельеф является результатом сложной зависимости между процессами аккумуляции и эрозии, которые имели место в течение последних двух ледниковых периодов плейстоцена и разделяющих их интергляциалов [2–4].

Взгляды на происхождение и развитие рельефа долины Бебжи являются дискуссионными. Некоторые авторы считают происхождение формы эрозионным, другие принимают термокарстовое происхождение понижения, что отмечено в работах Г. Банашука [2; 5; 6] и А. Мусяла [1], хотя оба автора указывают различный возраст формы: первый связывает ее с деградацией вистулианского ледника, второй – со среднепольским оледенением. Последняя точка зрения согласуется с мнением большинства авторов, которые проводят границу максимального распространения вистулианского ледника севернее долины Бебжи, начиная от восточных рубежей страны до г. Граево.

Данные Г. Банашука [5–8] подтверждаются многочисленными термолюминесцентными датировками позднеледниковых образований (особенно в долине Нарева), в свете которых гляциальный рельеф долины Бебжи, а также послеледниковый врез долины Нарева ниже г. Суража сформировал вислинский ледник, вероятно, во время стадиала свеца. Этот ледник достиг нижерасположенной территории

Северо-Подляской низины и остановился. На месте нынешней долины Бебжи и южного отрезка долины Нарева находились крупные глыбы мертвого льда [6], и в результате их таяния возникли формы, характерные для ареальной дегляциации. В понижении Нарева к ним относятся, прежде всего, абляционные уровни (на переходе склонов возвышений и долинного понижения, заполненного ранее довольно мощной глыбой мертвого льда) и эрозионно-аккумулятивный речно-талоледниковый уровень, который образовали воды на поверхности тающего ледника. Доказательствами наличия мертвого льда в понижении являются также следующие факты:

- долина состоит из суженных и сильно расширенных бассейновых отрезков;
- бассейновые отрезки имеют много заток, внедряющихся в окружающие долину возвышения, но в них нет следов деятельности рек. Дно этих заток плавно опускается к центру, а выше залегают гиттия и торф;
- сужения не являются изгибами рек, так как их склоны имеют такие же формы, как и расширения, а на поверхностях встречаются ледниковые формы [9].

Выпуклые и возвышенные формы наблюдаются в прадолинах Бебжи и Нарева только на отдельных участках. Самую большую площадь занимают зандры, созданные в главном стадиале вислинского ледника, и болота. Поверхность ниже торфяника, образованная талыми водами вистулианского ледника, плавная, ровная. На ней на рубеже плейстоцена и голоцена начала развиваться речная деятельность [9].

Цель и методы исследования

Главная цель исследований – реконструкция отдельных компонентов географической среды на месте стоянки Липово в долине Бебжи Центральной для горизонта, во время которого происходило формирование субнеолитических культур. Выполнялась реконструкция рельефа, климата, водного режима, растительного покрова на региональном и локальном уровнях в местах обитания субнеолитического населения каменного века и начала бронзового века в лесной зоне Центральной Европы. Изучение проводилось на археологических стоянках, созданных в течение неманской культуры, которая является одной из субнеолитических культур, развитых ранее на рассматриваемой территории.

В исследовании используется ряд междисциплинарных методов, которые разделены на три группы: полевые, лабораторные и камеральные работы. В рамках полевых работ составлена геоморфологическая схема, геологическая карта четвертичных отложений в районе стоянки и ее ближайшего окружения. Геологическим работам предшествовали геофизические исследования, во время которых использовался георадар ProEx (*MALA Geoscience*, Швеция) вместе с комплектом антенн, работающих на относительно низких частотах. Георадарный метод с успехом применяется для диагностики мощности органогенных отложений и поверхности минерального основания, на котором они залегают. При полевых работах на исследуемой стоянке были сделаны зондажные археологические раскопки. Геологические образцы из скважин и раскопов подвергнуты лабораторной аналитике (седиментологической, геохимической), малакофаунистическому анализу, датированию методами TL (термолюминесцентный), OSL (оптически стимулированной люминесценции) и ^{14}C (радиоуглеродный), а также археологическим (остеологическим, трасологическим), археозоологическим и археоботаническим экспертизам.

Во время камеральных работ, кроме картографических материалов и документации стоянок, выполнены 3D-модели стоянки и ее ближайшего окружения на основе программ *GameGuru* и *AxisGame Factory Professional* (версия 3.0). Указанные программы – это комплекс инструментов, предназначенных для быстрого создания уровней в компьютерных играх (в частности, восстановление ортографических поверхностей, растительности, объектов, созданных человеком, системы циркуляции атмосферы), импортируемых из игровой приставки Unity 5.0. Программа была использована при реконструкции и представлении эволюции локальной географической среды для выбранного временного горизонта.

Также были проведены палеоэкологические исследования, которые на основе остатков различных организмов, химического состава и геологии отложений, а также ископаемой древесины позволили детально воссоздать условия до появления стоянок и после их исчезновения. Упор был сделан в основном на реконструкцию сложной сети взаимодействия между региональными (климат), локальными абиотическими (гидрология), биотическими и культурными элементами экосистемы.

Результаты геоархеологических исследований

Стоянка Липово расположена в гмине Штабин в Августовском повете, в восточной части бассейна Бебжи Центральной, на ее правобережной пойме (рис. 1). Выделенные формы на дне долины находятся на расстоянии около 400 м от современного русла реки и около 2 км от г. Липово [10] (см. рис. 1). Часть этой формы покрыта лесом (преимущественно береза и сосна) и окружена торфяниками (рис. 2 и 3).

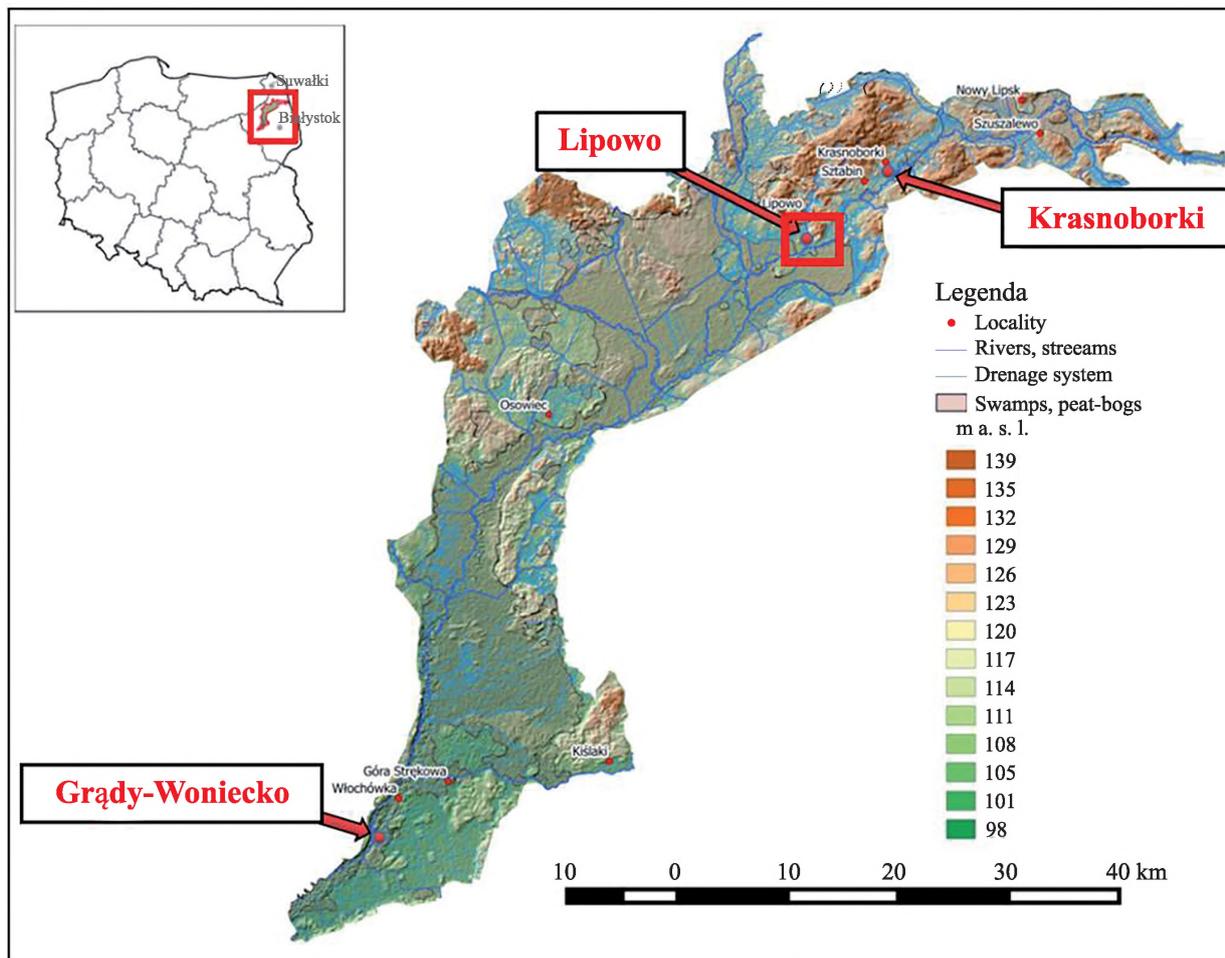


Рис. 1. Местонахождение изучаемого отрезка в бассейне Бебжи (по [11])
Fig. 1. Location of study area in context of other sites in Biebrza Basin (after [11])



Рис. 2. Аэросъемка стоянки Липово с показом линии геологического профиля, археологических раскопов (wykop) и месторасположения скважин
Fig. 2. Aerial photo of Lipowo site with cross-section, archaeological trenches (wykop) and geological borings

На основе компьютерного моделирования и данных по 17 буровым скважинам построен геологический разрез через фрагмент дна долины, а также через выступающую на ее дне положительную форму рельефа (см. рис. 3). Скважины L1–L11 проходят по дну долины с юга в направлении выделяющейся формы, а скважины LP1–LP6 пробурены от вершины этой формы в северном направлении. Линия геологического разреза совпадает с западной стенкой раскопа 1 (см. рис. 2). Отложения из 5 скважин подверглись седиментологическому анализу, результаты которого представлены на схематическом геологическом разрезе (см. рис. 3). Из анализа фракций осадочных отложений скважин LP1, LP2 и CN3 следует, что в нижней части возвышенная форма состоит из мелкозернистых песков, а в верхней части имеется небольшая примесь мелкозернистых илистых и глинистых песков (см. рис. 3, LP2). В скважинах LP5 и LP6 слаборазложившийся торф залегает на мелкозернистых песках (см. рис. 3).

На южном склоне песчаного возвышения песчаные и органогенные отложения соединяются (рис. 4, а). Здесь заложены археологические раскопы 1 и 2. В их разрезе на глубине 70–80 см были обнаружены разбросанные отдельные кремневые артефакты и кости животных. Слой с артефактами перекрыт песчаным делювием, на котором в некоторых местах залегает слой торфа (рис. 4, б).

Согласно данным, полученным по скважинам L1–L11, и геофизическим исследованиям, проведена оценка мощности торфа, которая, как выяснилось, не превышает 200 см (см. рис. 3). Из отложений скважины L11 взяты две пробы для датирования методом ^{14}C : первая проба глубиной 75–80 см дала дату $7020 \pm 70 \text{ BP}$ (MKL-3419), или калиброванную дату 6016–5746 BC, в то время как по второй пробе, отобранной с подошвы торфа на глубине 165–170 см, получена датировка $8490 \pm 80 \text{ BP}$ (MKL-3275), или калиброванная дата 7658–7347 BC (см. рис. 3, L5). Пробы из скважины L5 были подвергнуты анализу седиментологическим, геохимическим и малакофаунистическим методами (см. рис. 3, L5).

По геологическим данным, результатам седиментологических и геохимических анализов, в составе отложений скважины L5 можно выделить три звена (фации): русловый аллювий (I), заполнение старицы (II) и болотные отложения (III) (см. рис. 3, L5). На заключительном этапе функционирования реки были накоплены мелкозернистые пески (I). Отшнурование русла (возникновение старицы) может быть датировано $8330 \pm 120 \text{ BP}$ (MKL-3277), или 7577–7083 калибровочных BC (датировка фрагмента дерева из подошвы заполнения). При возникновении старицы началась озерная фаза (II), которую можно разделить на два этапа. На первом (IIa), когда староречье еще имело контакт с руслом Бебжи, были накоплены мелкозернистые пески, переслаивающиеся с мелкозернистыми заиленными песками. На втором этапе (IIb), автогенетическом, накапливались органоминеральные отложения – карбонатная гиттия (10–20 % органики и до 20 % содержания CaCO_3), постепенно переходящая кверху в карбонатную заиленную гиттию (40–50 % органики и до 15 % содержания CaCO_3). В карбонатных отложениях в значительном количестве присутствуют раковины моллюсков (см. рис. 3, L5).

В целях получения дополнительного материала для малакофаунистического и палинологического анализов, а также для оценки параметров палеорусла проведено добавочное бурение скважины (см. рис. 3). По карбонатным отложениям (II) выполнен малакофаунистический анализ (см. рис. 3, L5). Для указанного анализа отобрано 17 проб из интервала глубин 200–470 см. Раковины моллюсков присутствовали во всем интервале голоценовых озерных отложений, представленных темно-серой и темно-коричневой гиттией. В ее нижней части отмечалась примесь песка, а в верхней части – торфа. В составе фауны моллюсков выявлены 33 таксона, относящиеся к наземным открытым местам обитания (1 таксон), мезофилам (2 таксона), гидрофилам (7 таксонов), озерным видам (20 таксонов) и речным моллюскам (3 таксона). Озерные виды доминируют по разнообразию и в количественном отношении. По числу экземпляров их доля колеблется от 77 до 100 %. Основные представители озерных видов: *Valvata piscinalis* (Müller), *Bithynia tentaculata* (Linnaeus), *Gyraulus albus* (Müller), *Pisidium henslowanum* (Sheppard). Данный танатоценоз обычно представляет тепловодную голоценовую фауну. Доминирование ассоциации в течение всего периода развития озера, а также отсутствие видов прохладных вод, в том числе *Gyraulus laevis* (Müller), свидетельствуют о накоплении карбонатной гиттии в атлантическом периоде голоцена. Озеро имело слабую связь с речными водами, о чем свидетельствует примесь в танатоценозе видов рек, в основном представителей семейства Unionidae и *Pisidium amnicum* (Müller), а также значительное участие эвриэкологических водных видов (см. рис. 3, L5).

Вместе с раковинами водных моллюсков в озерных осадках встречаются створки остракод (Ostracoda), отдельные чешуйки рыбы, плоды и семена водных и болотных растений, а также древесные угольки.

В течение третьей фазы, болотной, которая начинается приблизительно с даты $6170 \pm 80 \text{ BP}$ (MKL-3276), 5313–4911 калибровочных BC, накапливался торф (III). Вверху он сильно разложился, а в нижней части – слабо. Содержание органического вещества по всему интервалу составляет около 90 % (см. рис. 3, L5).

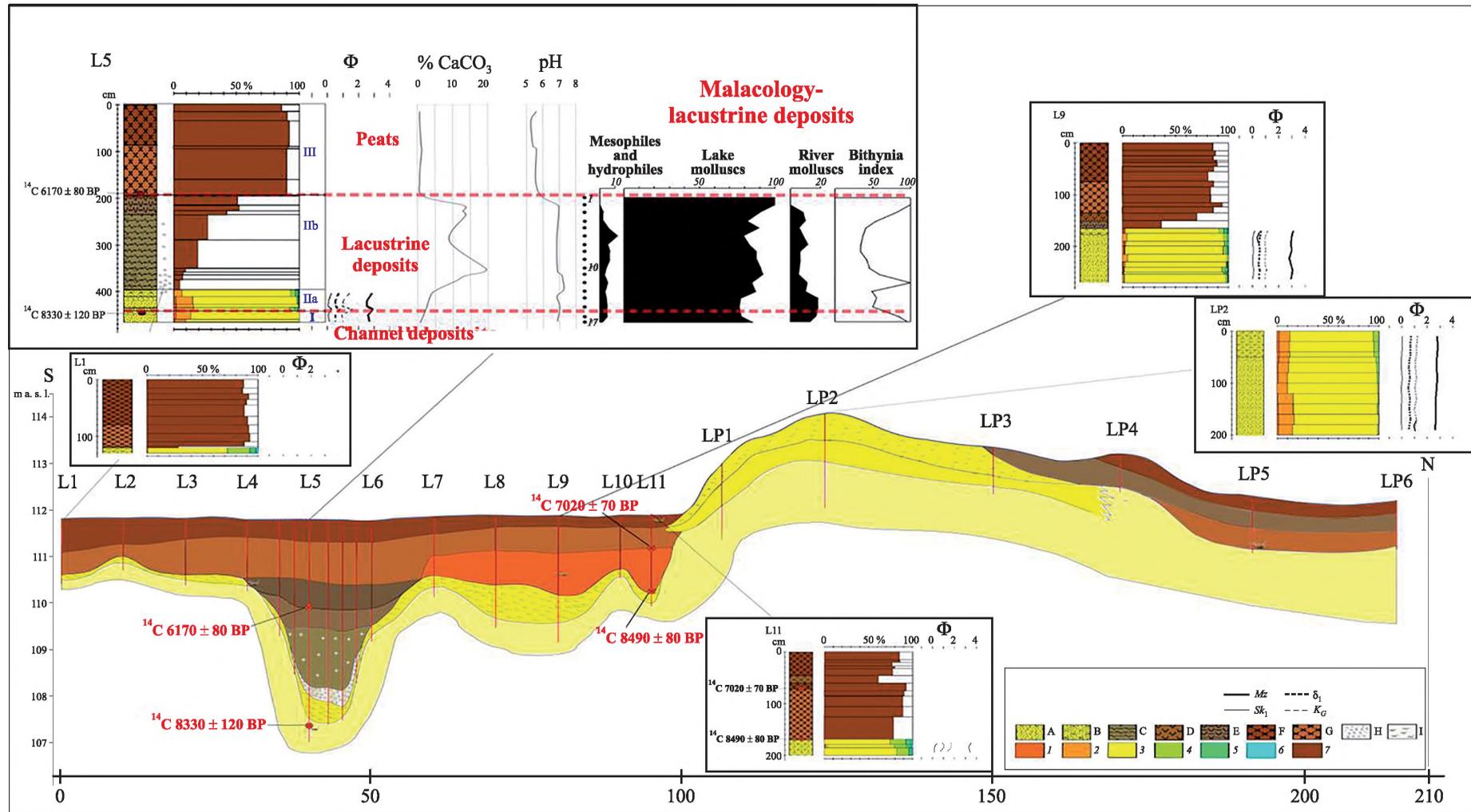


Рис. 3. Геологический разрез участка Липово (по [11], с изменениями), литология, размер зерен и их распределение по Фолку – Варду [12].
 Литология: А – мелкозернистые пески; В – пылеватый песок; С – гиття оглеенная; D – торфянистый ил; E – илистый торф; F – торф;
 G – торф (неразложившийся); H – раковины моллюсков; I – древесина; фракции: 1 – крупнозернистый песок (Φ равен от -1 до +1);
 2 – среднезернистый песок (1-2); 3 – мелкозернистый песок (2-4); 4 – грубый и средний ил (4-6); 5 – мелкий ил (6-8);
 6 – глины (Φ выше 8); 7 – органический материал; параметры распределения: Mz – средний диаметр;
 δ_1 – стандартное отклонение (сортинг); Sk_1 – коэффициент асимметрии; K_G – эксцесс

Fig. 3. Geological cross-section of Lipowo site (after [11], changed), lithology, grain size and Folk – Ward's [12] distribution parameters of selected profiles.
 Lithology: A – fine-grained sands; B – silty sands; C – gyttja silts; D – peaty silts; E – silty peats; F – peats; G – peats (undecomposed); H – molluscs;
 I – subfossil wood; fractions: 1 – coarse sand (Φ is from -1 to +1); 2 – medium sand (1-2); 3 – fine sand (2-4); 4 – coarse and medium silt (4-6);
 5 – fine silt (6-8); 6 – clay (Φ above 8); 7 – organic material; distribution parameters:
 Mz – mean diameter; δ_1 – standard deviation (sorting); Sk_1 – skewness; K_G – kurtosis

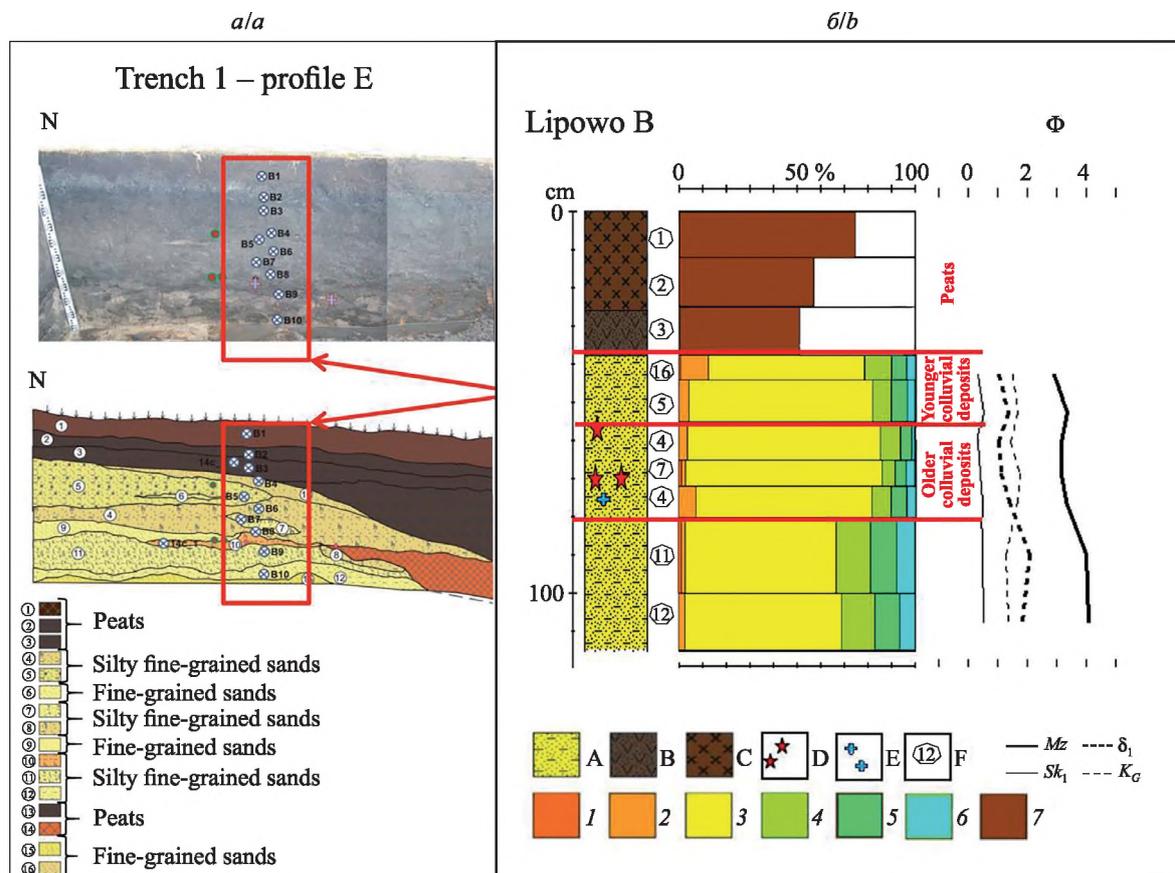


Рис. 4. Вид восточной стенки раскопа 1 (а), литология, размер зерна и распределение по Фолку – Варду [12] параметров Липово В на седиментологическом профиле (б) (по [11], с изменениями).

Литология: А – илистый песок; В – илистый торф; С – торф; D – единичные кремневые артефакты; E – отдельные артефакты из кости; F – номера археологических слоев; фракции: 1 – крупнозернистый песок (Φ равен от -1 до +1); 2 – среднезернистый песок (1–2); 3 – мелкозернистый песок (2–4); 4 – крупный и средний ил (4–6); 5 – тонкий ил (6–8); 6 – глина (Φ выше 8); 7 – органический материал; параметры распределения Фолк – Уорда: Mz – средний диаметр; δ_1 – стандартное отклонение (сортинг); Sk_1 – коэффициент асимметрии; K_G – эксцесс

Fig. 4. Layout of the eastern wall – trench 1 (a); lithology, grain size and Folk – Ward's [12] distribution parameters of Lipowo B sedimentological profile (b) (after [11], changed).

Lithology: A – silty sands; B – silty peats; C – peats; D – single flint artefacts; E – single bones artefacts; F – number of archaeological layer; fractions: 1 – coarse sand (Φ is from -1 to +1); 2 – medium sand (1–2); 3 – fine sand (2–4); 4 – coarse and medium silt (4–6); 5 – fine silt (6–8); 6 – clay (Φ above 8); 7 – organic matter; Folk – Ward's distribution parameters: Mz – mean diameter; δ_1 – standard deviation (sorting); Sk_1 – skewness; K_G – kurtosis

Результаты археологических исследований

Трасологические исследования кремневых артефактов со стоянки Липово показывают, что только на части из них имеются следы макро- и микроскопического использования (рис. 5). Эти следы связаны со слабоинтенсивной и кратковременной обработкой (оскабливанием) шкур животных (артефакты 1 и 4), с разрезанием и тесом растений (артефакты 4, 10 и 11). Артефакт 11 носит следы оправы, а на артефакте 5 заметно макроскопическое воздействие, которое может быть истолковано как лезвие метательного оружия (наконечник стрелы).

Во время исследований на поверхности, проведенных в верхней части стоянки (на вершине возвышенной формы), были найдены недалеко друг от друга на площади около 4 м² три обломка керамики. Они принадлежали, скорее всего, одному сосуду, а их технологические особенности, такие как примесь различного размера гравия, истирание поверхности, а также характер рельефа стенок указывают на связь с общинами охотников-собирателей неманской культуры [13]. На них, однако, отсутствуют какие-либо стилистические или микроморфологические элементы, которые могли бы уточнить возраст стоянки.

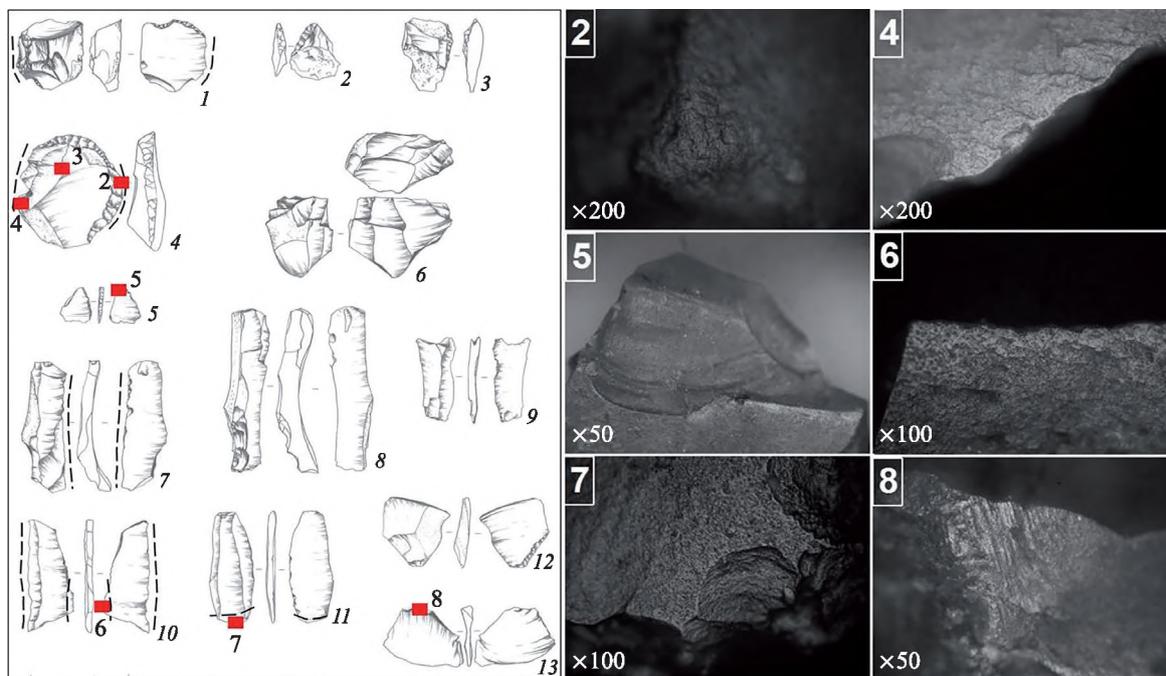


Рис. 5. Отдельные артефакты со следами обработки и их вид под микроскопом (по К. Пужевич)

Fig. 5. Selected of artifacts utility traces and microscope on them (comp. K. Pyżewicz)

Обсуждение

На стоянке Липово в пределах заторфованного дна долины можно выделить три сегмента, различающиеся по времени образования. Первый – это песчаный эрозионный останец, который имеет сложное строение. Под эоловыми песками, образующими его верхнюю часть, залегают плейстоценовые пески и водно-ледниковый гравий. Склоны возвышения были срезаны в голоцене, о чем свидетельствует делювий у подножия. Второй, более древний песчаный фрагмент дна долины, вероятно образованного в позднеледниковье или позднем плейстоцене, сохранился у подножия останца. Этот реликт аллювиальной равнины раннего голоцена был подвергнут эрозии системой р. Бебжи, скорее всего, в результате латеральной миграции и меандрирования, на что указывает глубина и ширина палеоруслу. Участки заполнения последнего представляют собой третий, самый молодой сегмент поймы.

На рубеже бореала и атлантики, во время относительного похолодания и увеличения влажности – результата глобального изменения климата, известного как событие 8,2 тыс. лет [14], произошло повышение уровня грунтовых вод, которое привело к началу накопления торфа около 8490 ± 80 BP, или 7658–7347 BC, в древних руслах (рис. 6), наблюдаемых на поверхности верхней поймы (см. рис. 3). Этот эпизод был описан в центральной части Польши, у подножия дюны Ромбень, что подтверждает увеличение влажности грунта на контакте дюны с торфяником и экспансию торфяника в направлении склона дюны [15].

Затем произошло отшнурование русла Бебжи около 8330 ± 120 BP, или 7577–7083 BC. Изменение русел в этот период было распространенным явлением в долинах средневропейских рек [16]. Отделившийся фрагмент русла заполнился в течение двух фаз. Изначально, когда староречье имело еще контакт с руслом, в нем были накоплены песчано-илистые отложения. Позже, в фазу стабилизации, в озере-старице формируются карбонатные отложения (гиттии и илистые гиттии) с раковинами моллюсков (см. рис. 6). В это время к северу в сторону останца в заторфованной части поймы быстро увеличивалась мощность слабодеградировавшего торфа (см. рис. 6), что, вероятно, было связано с очень высоким расположением уровня грунтовых вод между возвышением и озером-старицей (Bithynia-index – около 50 %). Одновременно очень высокое содержание в торфе органического вещества (80–90 %), а также незначительная (менее 10 %) доля реофилов в фауне моллюсков старицы указывают на отсутствие паводков, доходящих до палеоруслу и заболоченного дна долины. Зарастающий (рост Bithynia-index) водный сборник исчез около 6170 ± 80 BP, калибровочный возраст – 5313–4911 BC (см. рис. 6). На дне долины как в старице, так и на пойме начал нарастать общий болотный покров, но с заметно большей примесью минеральной составляющей (только около 50–60 % органического вещества). Возможно, это было связано с увеличением частоты паводков, заливающих все дно долины во время следующего этапа увлажнения, датированного 6,5–6,0 тыс. BP, отмеченного ранее как повышение флювиальной активности в ряде средневропейских долин, в том числе в соседней долине Немана [16].

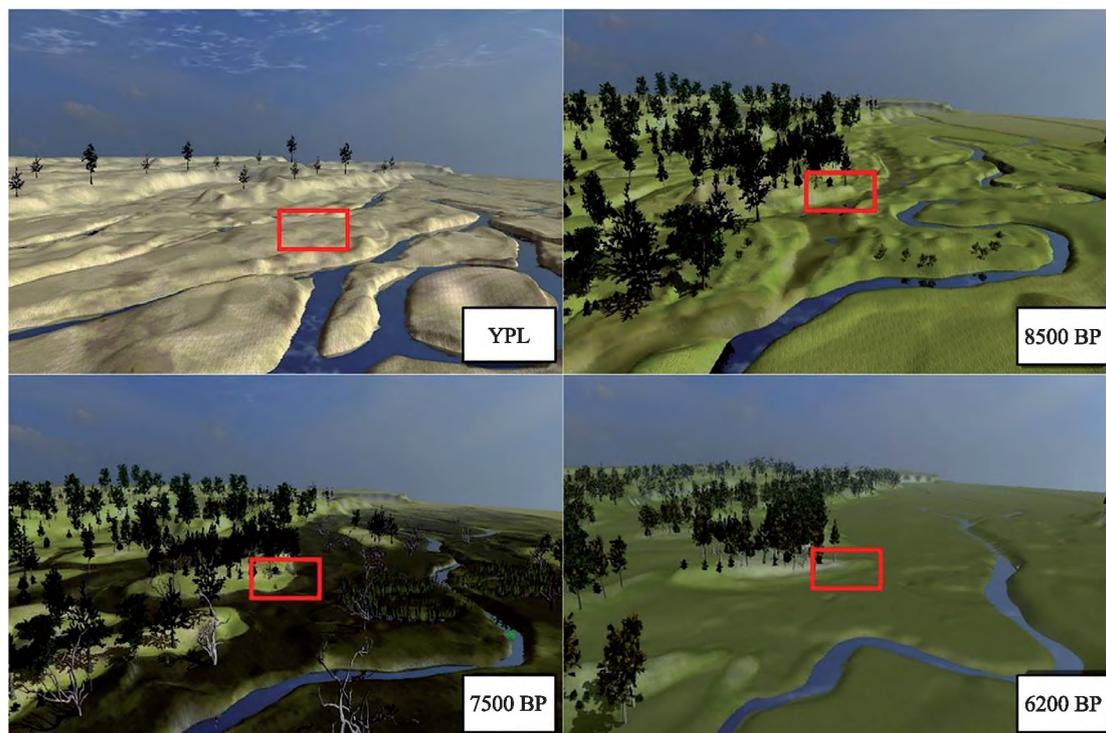


Рис. 6. Схематическая 3D-модель развития долины вблизи стоянки Липово (по [11], с изменениями)
Fig. 6. Schematic 3D model of valley evolution near Lipowo site (after [11], changed)

Горизонт торфа нарастал позже, в мезо- и неоглоцено, возможно, с разной скоростью и фазами перерывов, которые, однако, до сих пор не были распознаны по осадкам из стоянки Липово. В раскопах этот слой торфа переслаивается с делювиальными отложениями, которые были образованы после 7020 ± 70 BP (калибровочный возраст – 6016–5746 BC). В составе торфа, перекрывающего делювиальные отложения, имеется примесь песчаного материала, поставляемого, вероятно, эоловым путем из возвышенной формы. На это указывают результаты гранулометрического анализа песка, отобранного из прослоев в торфе, который проявляет сходство характеристик с песком из центральной части дюны [11]. Подобные явления в конце неолита около 3980 ± 70 BP (2460–2245 BC) в зоне контакта торфяника с дюной были зарегистрированы на стоянке Черный лес, расположенной в окрестностях Лодзи. Они были связаны с деятельностью человека [15]. В то же время начало эоловой активности дюн могло быть связано с увеличенной сухостью климата в раннем суббореале. Это показано на примере дюны Ромбень, отложения которой имеют абсолютный возраст 4920 ± 60 BP [15]. Однако же отмирание деревьев на пойме Бебжи, датированное концом атлантики как в Липово, так и в Красноборках, указывает на увлажнение, а не на осушение на этом этапе. Делювий на стоянке Красноборки возник в интервале 3230–3110 BP и был перекрыт торфом. Поэтому на данном этапе исследований не доказано, является ли оживление эоловых процессов на склоне возвышенной формы стоянки Липово с конца атлантики до раннего суббореала результатом деятельности человека или климатических факторов.

Археологические находки в Липово соответствуют основным критериям гомогенности сборов, так как залегают на одном стратиграфическом уровне, т. е. в основании древних делювиальных отложений (субнеолитический горизонт?). В раскопе 1 (см. рис. 4) мог быть зафиксирован первоначальный этап заселения стоянки. Делювиальные отложения на стоянке Липово были накоплены до 7020 ± 70 BP (6016–5746 BC), после чего они были перекрыты торфом. Отдельные артефакты, залегающие выше культурного слоя, скорее всего, переотложены с более высокой части стоянки вместе со склоновыми отложениями. Залегающие сверху самые молодые отложения неоднократно нивелировались и выравнивались в результате хозяйственной деятельности.

Предположение о гомогенности, похоже, подтверждает анализ данных по кремневым орудиям. Документированный кремневый материал не позволяет однозначно интерпретировать культурно-хронологические рамки стоянки. Технологические и морфологические особенности соответствуют общей идее кремневых орудий позднемезолитического типа для сообществ охотников-собирателей, заселяющих территории северо-восточной Польши в первой половине атлантического периода. Несмотря на небольшую численность и отсутствие типовых форм, они демонстрируют единую технологическую концепцию. Обработка сырья была направлена на получение кремневых заготовок путем скалывания с нуклеусов. Относительно высокая доля простых орудий (отщепы, скребки) отражает функциональную специфику

низко расположенных прибрежных частей стоянки. Кремневые артефакты использовались в основном для обработки шкур, резки травянистых растений, а также в качестве элементов метательного оружия.

Результаты остеологических исследований представляют собой достаточно последовательный набор информации, позволяющий характеризовать среду обитания животных на рубеже атлантики и суббореала. Присутствие оленей можно считать индексом лесной фауны, равно как и лосей, которые тем не менее предпочитают заболоченные комплексы, болотные боры или ольсы, расположенные в излучинах рек, с участием торфяников и болот. Наличие остатков лошади не исключает, что кости принадлежат существовавшему в этой части Европы лесному тарпану – *Equus ferus ferus* (Д. Маковицкий в [11]). Учитывая коэффициент, равный 15,57, обеспечивающий отсчет высоты в холке, установлено, что она составляла около 132 см. Это означает, что особь была лишь незначительно меньше тарпана (для которого диапазон размеров составляет примерно 135–145 см) и похожа на лошадь Пржевальского (120–140 см), – почти такого же размера пальцевый элемент принадлежал лошади Пржевальского, чьи кости были обнаружены в Кампене (Северный Рейн – Вестфалия), в контексте мезолитического кремневого материала. Следует также отметить, что, согласно классификации по величине общей длины, разработанной для субфоссильных лошадей на территории Польши, экземпляр относился (по набору костей) к средnekрупным (т. е. в пределах 85–87 мм). Тем не менее это единственный измеренный экземпляр из польских земель до 1500 ВС, который позволил определить категории размера. Это была особь, безусловно, выше, чем лошади, присутствующие на территории Литвы в конце эпохи неолита и ранней бронзы, достигающие высоты в холке около 120 см. В контексте тезиса о присваивающем хозяйстве можно попытаться исключить использование домашней лошади населением стоянки, несмотря на наличие такой формы у народов вне зоны евро-азиатских степей (Д. Маковицкий в [11]).

В средней части поселения (раскоп площадью около 4 м²) обнаружены три фрагмента керамики, являющиеся, скорее всего, элементами одного сосуда, особенности технологии которого указывают на принадлежность к неманской культуре. Население, заселяющее стоянку, занималось охотой на крупных млекопитающих (олень, лось), а также ловлей рыбы. Если охота была доступна круглый год, то сбор рыбы в стаи для нереста в прибрежных зонах создавал лучшие условия для получения пищи весной (Д. Маковицкий в [11]).

Выводы

Геоархеологические исследования котловины Бебжи подтвердили распространенность мест оседлости сообщества охотников-собираателей эпохи среднего и позднего каменного века. Субнеолитическое население заселяло сухие возвышения на дне речной долины или вблизи старицы. Стоянки закладывались в местах с наибольшим биологическим и географическим разнообразием на границе между заливными и надзаливными геосистемами, лесистыми и незалесенными.

Стоянку в Липово следует отнести к охотничьим поселениям. Такие стоянки имеют определенное пространственное расположение. Объект для жилья, которому сопутствовала керамика, располагался в верхней части возвышения, в то время как на его склонах была сосредоточена значительная часть хозяйственной активности (кремневые артефакты).

Природные изменения существенно не влияли на субнеолитические поселения. Влияние населения на окружающую среду также было незначительным, что связано с биодоступным типом хозяйствования, основанным на охоте и собирательстве. Деятельность субнеолитического населения могла ускорить эоловые процессы на песчаных возвышениях. Исследования субнеолитических стоянок на песчаных формах, окруженных заболоченными территориями, запечатлели однородность артефактов неманской культуры. Органические слои с сохранившимися остатками растений и животных позволяют определить хозяйственно-продовольственную специфику исследуемых обществ, что в случае классических песчаных объектов недостижимо. Органические остатки позволяют также определить условия окружающей среды поселений и, прежде всего, дают возможность найти абсолютный возраст благодаря датированию по ¹⁴C.

Библиографические ссылки

1. Musiał A. *Studium rzeźby glacialnej północnego Podlasia*. Warszawa: Wydawnictwa Uniwersytetu Warszawskiego; 1992.
2. Banaszuk H. Geomorfologia południowej części Kotliny Biebrzańskiej. W: *Prace i studia geograficzne. Tom 2*. Warszawa: Wydział Geografii i Studiów Regionalnych UW; 1980. s. 7–66.
3. Żurek S. Relief, geologic structure and hydrography of the Biebrza ice-marginal valley. *Polish ecological studies*. 1984;10:239–251.
4. Grabińska B, Kubel S. Geneza doliny Narwi i terenów bezpośrednio przyległych w badaniach geologiczno-geomorfologicznych Polski NE. W: *Zeszyty Naukowe XXI. Ostrołęka: Ostrołęckie Towarzystwo Naukowe im. A. Chętnika*; 2011.
5. Banaszuk H. Ogólna charakterystyka Kotliny Biebrzańskiej i Biebrzańskiego Parku Narodowego. W: Banaszuk H, redaktor. *Kotlina Biebrzańska i Biebrzański Park Narodowy. Aktualny stan, walory, zagrożenia i potrzeby czynnej ochrony środowiska*. Białystok: Ekonomia i Środowisko; 2004.
6. Banaszuk H. Geomorfologia Kotliny Biebrzańskiej. W: Banaszuk H, redaktor. *Kotlina Biebrzańska i Biebrzański Park Narodowy. Aktualny stan, walory, zagrożenia i potrzeby czynnej ochrony środowiska*. Białystok: Ekonomia i Środowisko; 2004.

7. Banaszuk H, Banaszuk P. Budowa geologiczna Kotliny Biebrzańskiej. W: Banaszuk H, redaktor. *Kotlina Biebrzańska i Biebrzański Park Narodowy. Aktualny stan, walory, zagrożenia i potrzeby czynnej ochrony środowiska*. Białystok: Ekonomia i Środowisko; 2004.
8. Banaszuk H. Kotlina Biebrzańska. Aktualny stan, walory i główne zagrożenia środowiska przyrodniczego. W: Sadowska-Snarska C, redaktor. *Studia Regionalne. Wydanie 4. Społeczno-gospodarcze aspekty funkcjonowania Biebrzańskiego Parku Narodowego. Central and Eastern Europe Regional Studies*. Białystok: WSE; 2001. s. 9–53.
9. Banaszuk H, Micun K. Kształtowanie i ewolucja dolin rzecznych w dużych obniżeniach wytopiskowych na obszarze Niziny Północnopodlaskiej. *Prace i Studia Geograficzne*. 2009;41:25–36.
10. Frączek M, Kalicki T, Wawrusiewicz A, Sanko AF, Zieliński A, Ziętek J, et al. Paleogeographical interpretation of paleochannel fill in the Biebrza river valley at Lipowo site (NE Poland). В: *Современные проблемы геохимии, геологии и поисков месторождений полезных ископаемых. Международная научная конференция, посвященная 110-летию со дня рождения академика К. И. Лукашева; 23–25 мая 2017 г.; Минск, Беларусь. Часть I*. Минск: Право и экономика; 2017. с. 128–130.
11. Frączek M. *Warunki przyrodnicze funkcjonowania społeczeństw subneolitycznych w Kotlinie Biebrzy* [rozprawa doktorska]. Kielce: Instytutu geografii Uniwersytetu Jana Kochanowskiego w Kielcach; 2017.
12. Folk RL, Ward WC. Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*. 1957;27(1):3–26.
13. Józwiak B. *Spoleczności subneolitu wschodnioeuropejskiego na Niziu Polskim w międzyrzeczu Odry i Wisły*. Poznań: Instytut Prahistorii; 2003.
14. Starkel L. 8500–8000 yrs BP humid phase – global or regional? *Science Reports of Tohoku University, 7th Series, Geography*. 2000;49(2):105–133.
15. Twardy J, Forsytek J. Zapis holocenijskich procesów eolicznych w osadach wybranych jezior kopalnych i torfowisk Centralnej Polski. *Acta Geographica Lodziensia*. 2016;105:125–140.
16. Kalicki T. *Zapis zmian klimatu oraz działalności człowieka i ich rola w holocenijskiej ewolucji dolin środkowoeuropejskich*. Warszawa: Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN im. Stanisława Leszczyckiego; 2006. 349 s.

References

1. Musiał A. *Studium rzeźby glacialnej północnego Podlasia* [Study of the northern Podlasie glacial sculpture]. Warszawa: Wydawnictwa Uniwersytetu Warszawskiego; 1992. Polish.
2. Banaszuk H. Geomorphology of the southern part of the Biebrza Basin. In: *Prace i studia geograficzne. Tom 2*. Warszawa: Wydział Geografii i Studiów Regionalnych UW; 1980. s. 7–66.
3. Żurek S. Relief, geologic structure and hydrography of the Biebrza ice-marginal valley. *Polish ecological studies*. 1984;10: 239–251.
4. Grabińska B, Kubel S. Genesis of the Narew valley and adjacent areas in geological and geomorphological research of Poland NE. In: *Zeszyty Naukowe XXV*. Ostrołęka: Ostrołęckie Towarzystwo Naukowe im. A. Chętnika; 2011.
5. Banaszuk H. General characteristics of the Biebrza Basin and the Biebrza National Park. In: Banaszuk H, editor. *Kotlina Biebrzańska i Biebrzański Park Narodowy. Aktualny stan, walory, zagrożenia i potrzeby czynnej ochrony środowiska* [Biebrza Basin and Biebrza National Park. Current status, values, threats and needs of active environmental protection]. Białystok: Ekonomia i Środowisko; 2004.
6. Banaszuk H. Geomorphology of the Biebrza Basin. In: Banaszuk H, editor. *Kotlina Biebrzańska i Biebrzański Park Narodowy. Aktualny stan, walory, zagrożenia i potrzeby czynnej ochrony środowiska* [Biebrza Basin and Biebrza National Park. Current status, values, threats and needs of active environmental protection]. Białystok: Ekonomia i Środowisko; 2004.
7. Banaszuk H, Banaszuk P. Budowa geologiczna Kotliny Biebrzańskiej [Geological structure of the Biebrza Valley]. In: Banaszuk H, editor. *Kotlina Biebrzańska i Biebrzański Park Narodowy. Aktualny stan, walory, zagrożenia i potrzeby czynnej ochrony środowiska*. Białystok: Ekonomia i Środowisko; 2004. Polish.
8. Banaszuk H. Biebrza Basin. Current status, values and main threats to the natural environment. In: Sadowska-Snarska C, editor. *Studia Regionalne. Wydanie 4. Społeczno-gospodarcze aspekty funkcjonowania Biebrzańskiego Parku Narodowego. Central and Eastern Europe Regional Studies*. Białystok: WSE; 2001. s. 9–53.
9. Banaszuk H, Micun K. Shaping and evolution of river valleys in large melting depressions in the North Podlasie Lowland area. *Prace i Studia Geograficzne* [Prace i Studia Geograficzne]. 2009;41:25–36.
10. Frączek M, Kalicki T, Wawrusiewicz A, Sanko AF, Zieliński A, Ziętek J, et al. Paleogeographical interpretation of paleochannel fill in the Biebrza river valley at Lipowo site (NE Poland). In: *Sovremennyye problemy geokhimii, geologii i poiskov mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh. Mezhdunarodnaya nauchnaya konferentsiya, posvyashchennaya 110-letiyu so dnya rozhdeniya akademika K. I. Lukashaeva; 23–25 maya 2017 g.; Minsk, Belarus'. Chast' I* [Current problems of geochemistry, geology and exploration of mineral resources. International scientific conference, dedicated to the 110th anniversary of birth K. I. Lukashaeva; 2017 May 23–25; Minsk, Belarus. Part I]. Minsk: Pravo i ekonomika; 2017. p. 128–130.
11. Frączek M. *Warunki przyrodnicze funkcjonowania społeczeństw subneolitycznych w Kotlinie Biebrzy* [The natural conditions of functioning of subneolithic societies in the Biebrza Basin] [doctoral dissertation]. Kielce: Instytutu geografii Uniwersytetu Jana Kochanowskiego w Kielcach; 2017. Polish.
12. Folk RL, Ward WC. Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*. 1957;27(1):3–26.
13. Józwiak B. *Spoleczności subneolitu wschodnioeuropejskiego na Niziu Polskim w międzyrzeczu Odry i Wisły* [Communities of the Eastern European subneolite on the Polish Lowland in the intersection of Odra and Vistula]. Poznań: Instytut Prahistorii; 2003. Polish.
14. Starkel L. 8500–8000 yrs BP humid phase – global or regional? *Science Reports of Tohoku University, 7th Series, Geography*. 2000;49(2):105–133.
15. Twardy J, Forsytek J. A record of Holocene aeolian processes in sediments of selected fossil lakes and peat bogs of Central Poland. *Acta Geographica Lodziensia*. 2016;105:125–140.
16. Kalicki T. *Zapis zmian klimatu oraz działalności człowieka i ich rola w holocenijskiej ewolucji dolin środkowoeuropejskich* [Record of climate change and human activity and their role in the Holocene evolution of the Central European valleys]. Warszawa: Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN im. Stanisława Leszczyckiego; 2006. 349 s. Polish.

Статья поступила в редколлегию 07.06.2018.
Received by editorial board 07.06.2018.

УДК 553.63:[549+552](476)

ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ И СТРУКТУРНО-ВЕЩЕСТВЕННАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОРОД IV КАЛИЙНОГО ГОРИЗОНТА СТАРОБИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Н. С. ПЕТРОВА¹⁾, Н. Ю. ДЕНИСОВА²⁾, А. В. КИРИКОВИЧ¹⁾

¹⁾Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь

²⁾Институт геологии Научно-практического центра по геологии,
ул. Купревича, 7, 220141, г. Минск, Беларусь

Анализируется IV калийный горизонт – один из наиболее развитых в разрезе средневерхнефаменской соленосной формации в пределах Припятского калиеносного бассейна. Рассмотрены характер распространения залежи, основные черты строения ее разреза с оценкой изменчивости в пределах шахтных полей ОАО «Беларуськалий». Отражена связь структурного плана и блокового строения подсолевого ложа. Приведены данные по структурно-вещественной характеристике калийных руд, каменной соли и галопелитов продуктивного пласта. Основой послужили авторские материалы, полученные в результате проведения геолого-разведочных работ и научных исследований.

Ключевые слова: Припятский прогиб; калийный горизонт; Старобинское месторождение; соленосная формация; калийная руда; каменная соль; галопелит.

MAIN GEOLOGICAL FEATURES AND LITHOTECTONIC DESCRIPTION OF ROCKS OF THE POTASSIUM HORIZON IV WITHIN THE STAROBIN DEPOSIT

N. S. PETROVA^a, N. Yu. DENISOVA^b, A. V. KIRYKOVICH^a

^aBelarusian State University, 4 Niezaliežnasci Avenue, Minsk 220030, Belarus

^bInstitute of Geology, Scientific Research Center for Geology,
7 Kuprevič Street, Minsk 220141, Belarus

Corresponding author: N. S. Petrova (petrovans@bsu.by)

The article is devoted to potash horizon IV. It's one of the most developed horizons in the cross-section of the Mid-Upper-Famennian saliferous formation within the Pripyat potash-bearing basin. Horizon distributional pattern, main features of the cross-section are considered with geological variability assessment within the mine fields of the JSC «Belaruskali».

Образец цитирования:

Петрова НС, Денисова НЮ, Кирикович АВ. Основные особенности строения и структурно-вещественная характеристика пород IV калийного горизонта Старобинского месторождения. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология.* 2018;2:97–105.

For citation:

Petrova NS, Denisova NYu, Kirykovich AV. Main geological features and lithotectonic description of rocks of the potassium horizon IV within the Starobin deposit. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology.* 2018;2:97–105. Russian.

Авторы:

Наталья Семеновна Петрова – кандидат геолого-минералогических наук, доцент; доцент кафедры региональной геологии географического факультета.

Наталья Юрьевна Денисова – кандидат географических наук, доцент; начальник отдела геологии и минералогии платформенного чехла.

Алексей Викторович Кирикович – аспирант кафедры региональной геологии географического факультета. Научный руководитель – Н. С. Петрова.

Authors:

Natalia S. Petrova, PhD (geology and mineralogy), docent; associate professor at the department of regional geology, faculty of geography.

petrovans@bsu.by

Natalia Yu. Denisova, PhD (geography), docent; head of the department of geology and mineralogy of the platform cover.

denisova@geology.org.by

Aliaksei V. Kirykovich, postgraduate student at the department of regional geology, faculty of geography.

lexkirik@mail.ru

The connection between the structural plan and the block structure of the subsalt bed is reflected. The authors provide data on the structural and substantial characteristics of the potash ore, rock salt and halopelites of the preferred mining layer. The basis for preparation and writing of the text was author's materials obtained as a result of geological exploration works and scientific investigations.

Key words: Pripyat Trough; potash horizon; Starobin deposit; saliferous formation; potash ore; rock salt; halopelites.

Введение

По той причине, что ОАО «Беларуськалий» необходимо наращивать производственную мощность действующих шахтных полей и подготавливать фронт очистных работ, руководством организации было принято решение вовлечь в отработку запасы IV калийного горизонта. Это во многом определяет актуальность рассмотрения особенностей строения разреза и структурно-вещественной характеристики пород горизонта. Еще в 1980-х гг. руды этого горизонта были определены нами как резервная база ОАО «Беларуськалий».

Методы и результаты исследований

Одним из наиболее развитых в северной и северо-западной частях Припятского прогиба является IV калийный горизонт, он широко распространен в пределах Старобинского месторождения. Горизонт расположен в нижней части разреза калиеносной субформации и входит в состав I калиеносного этажа. Приурочен IV калийный горизонт к 7-й соляной пачке, которая перекрывается довольно мощной 8-й несоляной, и фактически выполняет роль «палеонадсолевой». Горизонт развит почти повсеместно на площадях шахтных полей 2-го и 3-го рудоуправлений (далее – РУ), а также на значительной части 1-го и 4-го РУ. На западе он находится в пределах Краснослободского участка, а на востоке и северо-востоке распространяется вплоть до Оземлинской, Моисеевской и Чернинской площадей и прислонен к Северо-Припятскому краевому разлому [1]. Структура залежи по данным бурения и геофизических работ отражает блоковое строение подсолевого ложа и кристаллического фундамента, при этом существенную роль играют разрывы северо-восточного и субширотного простирания. Граница горизонта на севере контролируется контуром распространения 7-й соляной пачки и проходит вблизи линии скважин 171–349а–164, а на юге – в районе скважин 157–156–159–191. На севере граница является вторичной, так как залежь, достигнув максимальной мощности и наибольшей полноты разреза, резко обрывается в разломной зоне, что, по всей видимости, обусловлено также и развитием процессов древнего подземного выщелачивания. На юге месторождения граница горизонта первично-седиментационная и характеризуется последовательным выклиниванием сильвинитовых слоев в разрезе соляной пачки.

Как известно, тип строения средневерхнефаменской соленосной формации в пределах основных действующих шахтных полей ОАО «Беларуськалий» относится к так называемому Старобинскому типу (тип III [1]), в котором отложения галитовой субформации в разрезе отсутствуют, замещены сульфатно-карбонатными породами либо маломощны, а структурный план отложений калиеносной субформации во многом унаследован от межсолевой толщи. На рис. 1 показано соотношение распространения горизонта и структурного плана поверхности межсолевого комплекса в пределах Северного структурного ареала Припятского прогиба [2]. Горизонт в пределах шахтных полей приурочен к депрессии, развитой на широкой структурной террасе (см. рис. 1).

Мощность калийной залежи в пределах месторождения колеблется от 1,6 м (скважины 156, 159, 208) до 40 м (скв. 182), закономерно возрастающая с юго-запада на северо-восток (градиент изменения мощности составляет 1,3–1,7 м/км). Полоса с малыми мощностями прослеживается вдоль южной границы горизонта. Залежь находится на глубине от 543,83 м (скв. 153) до 1360,31 м (скв. 163). Кровля горизонта на шахтном поле 1-го РУ вскрыта в интервале 749,83–881,30 м в глубину; на 2-м РУ – 681,85–887,78 м; на 3-м РУ – 815,90–1018,30 м (площадь южнее Северного разлома) и на 4-м РУ – 757,03–1335,20 м.

В пределах центрального блока (шахтные поля 1, 2 и 3-го РУ) IV калийный горизонт залегает на отметках от –597 до –889 м. Залежь относительно спокойно погружается в северо-восточном направлении (угол наклона 1°45'–2°). Вблизи Северного разлома выделяется приразломная синклиналь, ось которой прослеживается параллельно разлому. На западе блока вдоль северо-западной зоны разломов структурный план IV горизонта также осложняется. По линии скважин 145–147–19а формируется пологий поперечный прогиб, который в западном направлении переходит в гемиантиклиналь.

В восточном блоке на площади шахтного поля 4-го РУ IV калийный горизонт залегает в виде моноклинали, погружающейся в северо-восточном направлении (от –610,8 до –1194,3 м) под углом 2–3°. Вблизи Центрального разлома моноклиналь осложнена весьма пологой поперечной антиклинальной структурой, ось которой проходит параллельно разлому по линии скважин 203–154.

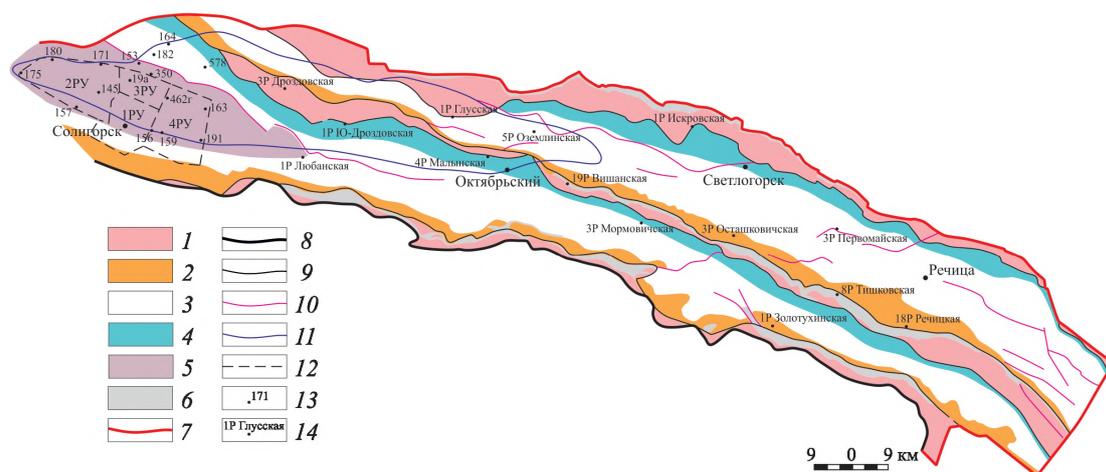


Рис. 1. Распространение IV калийного горизонта в пределах Северного структурного ареала Припятского прогиба. Структурные элементы поверхности межсольевых отложений: 1 – приразломный сбросово-блоковый уступ, 2 – структурный гребень, 3 – структурная терраса, 4 – структурное подножие, 5 – депрессия, 6 – зоны отсутствия межсольевых отложений; разломы: 7 – суперрегиональные, ограничивающие Припятский прогиб, 8 – региональные, ограничивающие структурные ареалы, 9 – региональные, ограничивающие тектонические ступени, зоны локальных поднятий, Припятский грабен, 10 – локальные; 11 – граница распространения IV горизонта; 12 – границы шахтных полей ОАО «Беларуськалий»; 13 – поисково-разведочные скважины на калийные соли; 14 – роторные скважины на нефть

Fig. 1. Distribution of the potash horizon IV within the Northern structural area of the Pripyat Trough. Structural elements of the intersalt deposits surface: 1 – fault-block ledge near fault, 2 – structural ridge, 3 – structural terrace, 4 – structural foot, 5 – depression, 6 – zones free of intersalt deposits; faults: 7 – superregional trough-forming; regional: 8 – bounding the structural areas, 9 – bounding the tectonic steps, regional zones of local uplifts, the Pripyat graben, 10 – local; 11 – limits of the horizon IV; 12 – boundaries of the mine fields of the JSC «Belaruskali»; 13 – exploratory wells for potassium salts; 14 – rotary oil wells

В пределах северо-восточного блока (севернее шахтных полей 3-го и 4-го РУ) горизонт залегает на отметках от –414,9 до –902,3 м. Происходит погружение его в восточно-северо-восточном направлении под углом 2° 30'–4°. В районе между скважинами 153, 124, 350, с одной стороны, и скважинами 396 и 744, с другой стороны, намечается промежуточный блок.

Разрез IV горизонта представлен чередованием прослоев сильвинита, каменной соли и галопелитов. В полном разрезе горизонта вычленяется до 18 ритмов (мощностью от 0,4 до 3,5 м) [3], которые в последующем явились основой выделения сильвинитовых слоев, последние представляют собой сближенные группы сильвинитовых прослоев (рис. 2). В основании слоя залегает либо один относительно мощный базальный галопелитовый прослой, либо несколько менее мощных, над ним – прослой или слоев каменной соли, выше – сильвинитовый слой, перекрытый промежуточным слоем каменной соли.

Мощность сильвинитовых слоев IV горизонта, как правило, небольшая – от 5 до 88 см. Калийные слои разделены достаточно мощными слоями каменной соли (до 3 м), т. е. распределены по всему разрезу и относительно компактно расположены лишь в средней части залежи. Наиболее выдержанными по латерали оказались нижние сильвинитовые слои 2–6, а слой 1 имеет локальное распространение и развит преимущественно на юге площади. С юга на север последовательно растет полнота разреза: сильвинитовые слои верхней части горизонта (11–18) распространены на севере шахтных полей 2, 3 и 4-го РУ и севернее.

С учетом кондиций, принятых для Старобинского месторождения, в разрезе IV калийного горизонта выделены части разреза, представляющие промышленный интерес (рис. 3), – это группа слоев из средней части разреза, наиболее устойчивых и выдержанных как по мощности, так и по строению и развитых на значительной части площади. Основу составляют слои 7, 8 и 9, которые располагаются в разрезе компактно, с небольшими интервалами (0,20–0,70 м). Пласт имеет значительную мощность (обычно более 3 м), но характеризуется относительно невысоким содержанием хлористого калия и повышенным количеством нерастворимых в воде примесей. В слоях выделяется от 1 до 4 пакетов. Слои 7 и 8 имеют сложное строение: слой 7 может быть расчленен на два-три маломощных подслоя, а слой 8 – на два. Мощность сильвинитовых прослоев, формирующих слои, варьируется от 0,5 до 10,0 см (чаще 1–5 см). Сильвинитовый слой 11 также привлекает промышленный интерес, особенно в северо-восточной части площади распространения.

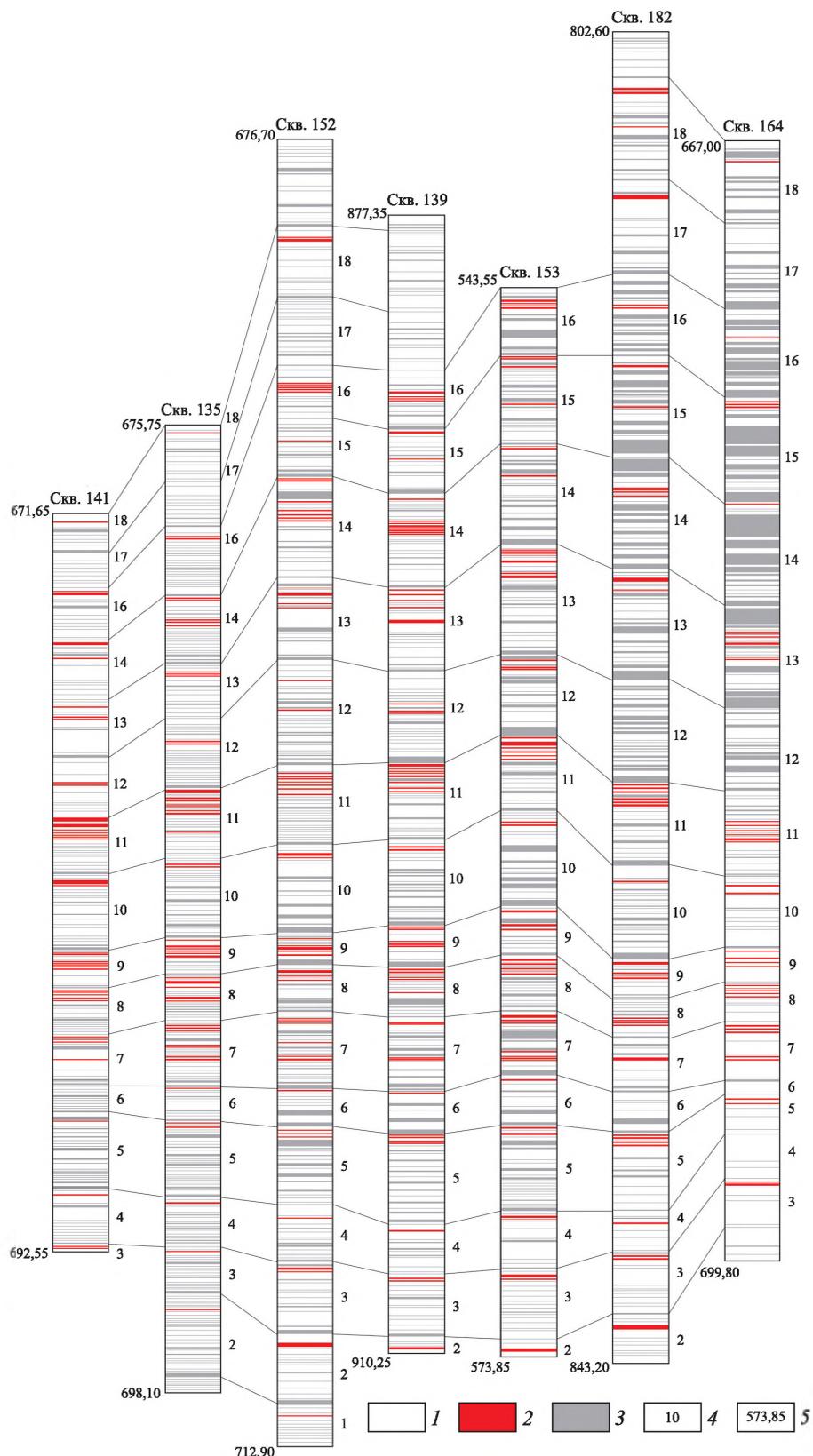


Рис. 2. Сопоставление разрезов IV калийного горизонта:
 1 – каменная соль; 2 – сильвиниты; 3 – несоляные породы;
 4 – номер ритма; 5 – отметка кровли и (или) подошвы, м
 Fig. 2. Correlation of the sections of the potassium horizon IV:
 1 – rock salt; 2 – sylvinites; 3 – non-saliferous rocks;
 4 – label of rhythm; 5 – mark of horizon top and (or) bottom, m

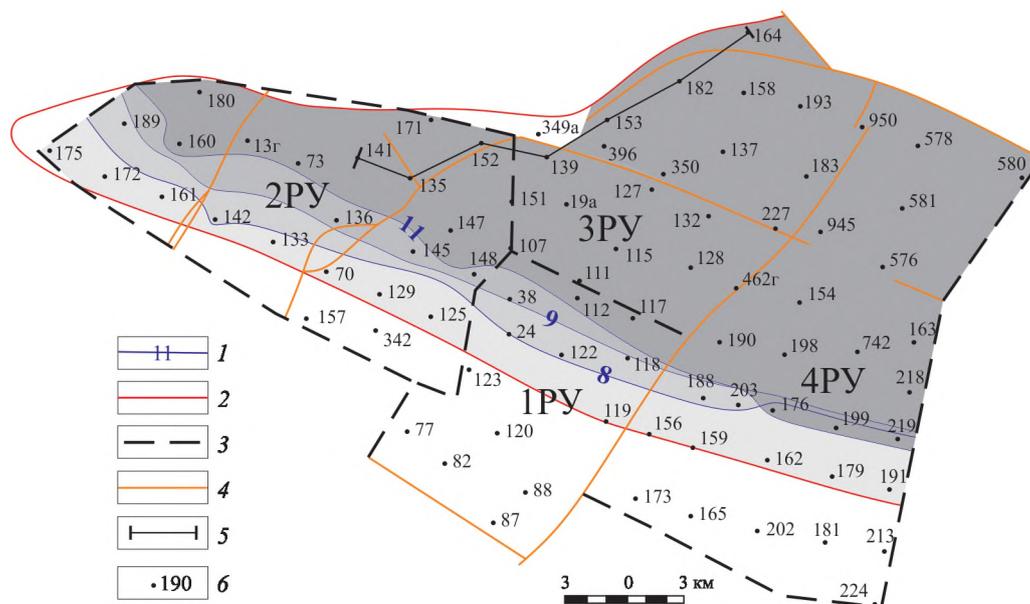


Рис. 3. Распространение продуктивных слоев IV горизонта в пределах Старобинского месторождения:

- 1 – граница распространения слоев; 2 – граница 4-го горизонта;
3 – границы рудоуправлений Старобинского месторождения; 4 – разломы;
5 – линия геологического профиля; 6 – поисково-разведочные скважины на калийные соли

Fig. 3. Distribution of productive layers of the horizon IV within the Starobin deposit:

- 1 – limits of the layers; 2 – limits of the horizon IV; 3 – boundaries of the mine fields of the Starobin deposit;
4 – faults; 5 – line of the geological cross-section; 6 – exploratory wells for potassium salts

Описание детального строения и структурно-текстурных особенностей сильвинитовых слоев выполнено по керновому материалу скважин 112 (шахтное поле 1-го РУ), 115 (шахтное поле 3-го РУ), 151 (шахтное поле 2-3), 193 (севернее месторождения), 301 (шахтное поле 4-го РУ), 396 (севернее шахтного поля 4-го РУ), 714, 742 (Краснослободский рудник), расположенных в различных частях разведанной площади Старобинского месторождения.

По окраске наиболее распространены среди сильвинитов красноцветные разности: темно-красные, сургучно-красные, кирпично-красные, оранжево-красные, реже – оранжевые и розовые. Наблюдаются следующие виды прослоев:

- 1) с относительно простым строением, т. е. однородные по структуре и окраске (рис. 4, *к*);
- 2) характеризующиеся заметными различиями в структуре и окраске различных частей (полосчатой микротекстуры, двух- и трехполосчатого строения) (рис. 4, *д*, *и*).

Отмечается ряд разновидностей среди прослоев сильвинита, однородных по структуре и окраске. Среди сильвина в виде тонких полос или отдельных кристаллов встречаются молочно-белые разновидности (рис. 4, *а*).

Внутри отдельных прослоев среди основной мелко- и микрзернистой массы сильвиновых зерен, интенсивно окрашенных в вишнево-бурый цвет, развиваются полосы осветленного сильвинита с частично или полностью обесцвеченными зернами, имеющими округлую («оплавленную») форму и увеличивающимися в размерах (рис. 4, *в* и *ж*). Процессы осветления внутренних частей сильвинитовых прослоев отчетливее проявляются в северных разрезах. В верхних прослоях среди основной мелко- и микрзернистой массы сильвина иногда присутствуют зерна средних и крупных размеров (3–10 мм), что придает породе порфиривидный облик. В целом среди сильвинитов преобладают мелко- и микрзернистые разности (табл. 1).

Верхние части прослоев с полосчатой микротекстурой сложены мелко- и микрзернистой массой зерен сильвина, интенсивно окрашенных в вишнево-бурый цвет и имеющих уплощенную форму (рис. 4, *е*). В нижних частях присутствуют отдельные более крупные зерна сильвина (2–3 мм) неправильной, изометричной формы с зональным строением. Средние части прослоев в той или иной степени осветлены и перекристаллизованы (рис. 4, *з*).

Этот процесс протекает с различной интенсивностью от частичного осветления краев со смещением красящего вещества в центральные части зерен до почти полного их обесцвечивания. При этом зерна приобретают отчетливо вытянутый и «оплавленный» вид и увеличиваются в размерах до 7 мм. Нередко

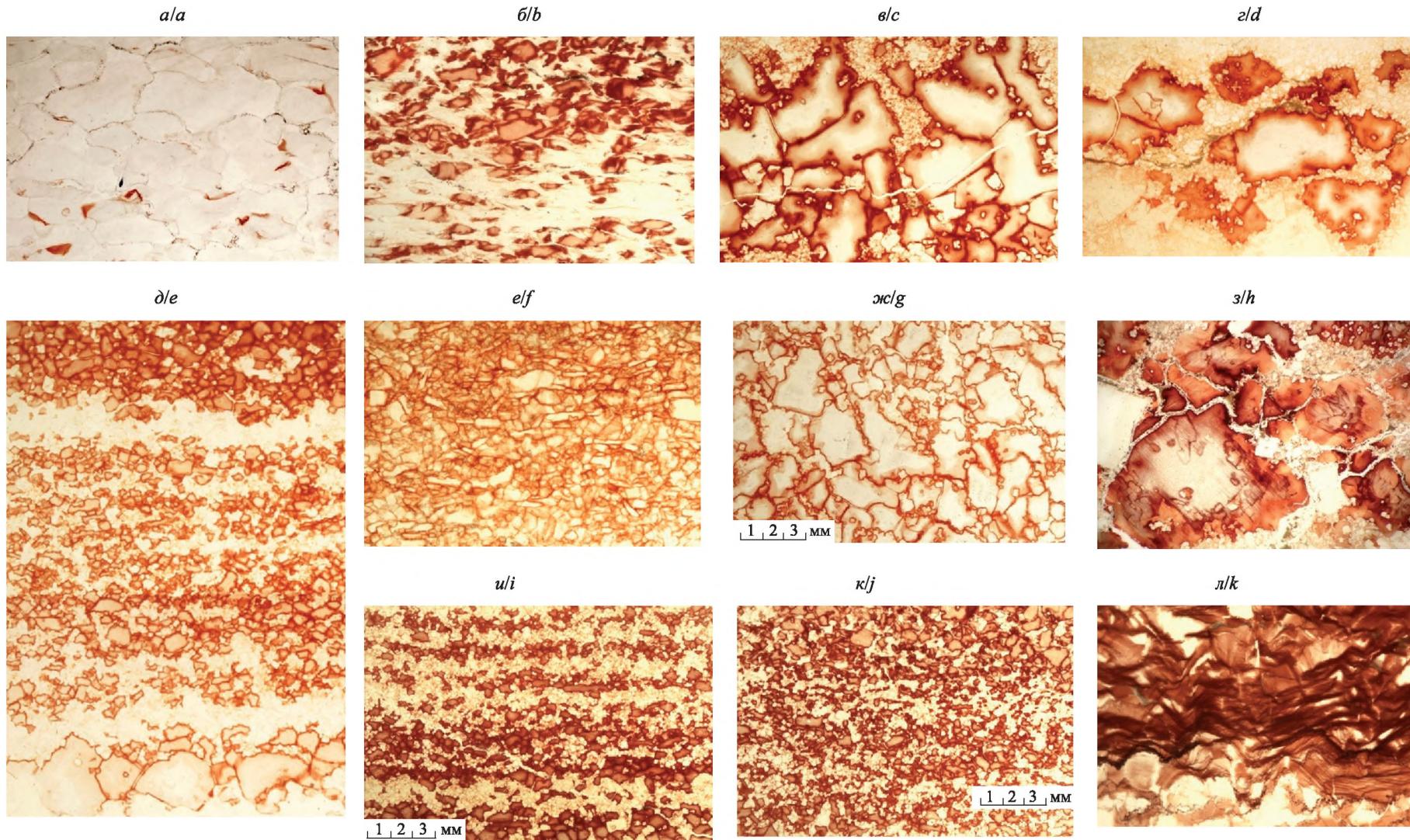


Рис. 4. Структурно-текстуальные особенности сивлинитов IV калийного горизонта: *a* – молочно-белый крупнозернистый сивлинит; *б* – сивлинит с ориентированной структурой, обесцветенный; *в* – крупнозернистый сивлинит венцовой структуры; *г* – среднезернистый сивлинит с песчаниковидной каменной солью в межзерновом пространстве; *д* – сивлинит трехполосчатый; *е* – мелкозернистый сивлинит ориентированной структуры; *ж* – сивлинит ксеноморфнозернистый с элементами петельчатой структуры; *з* – псевдосивлинит с петельчатой структурой; *и* – сивлинит микро- и мелкозернистый с микрополосчатой текстурой; *к* – мелкозернистый сивлинит идиоморфнозернистый; *л* – псевдосивлинит с гофрированной структурой

Fig. 4. Structural and texture features of sylvinite of the potassium horizon IV: *a* – milky-white coarse-grained sylvinite; *b* – bleached sylvinite of directive texture; *c* – coarse-grained sylvinite of crowned texture; *d* – middle-coarsed with sandstone-like rock in the intergranular space; *e* – three-stripe sylvinite; *f* – micro-grained sylvinite of directive texture; *g* – xenomorphic grained sylvinite with elements of knitted texture; *h* – pseudosylvinite of knitted texture; *i* – micro- and fine-grained of micro-striped structure; *j* – isometric micro-grained sylvinite; *k* – pseudosylvinite of corrugated texture

полосы осветленного и обесцвеченного сильвинита перемежаются с узкими (1–3 мм) полосами бесцветного галита с такой же «оплавленной» формой зерен. В наиболее южных разрезах (скважины 112, 742) наблюдается слабое, едва заметное осветление внутренних частей прослоев без заметного изменения зернистости. В целом по слою в этих разрезах резко преобладают мелко- и микрозернистые разности, составляющие до 85 %. Интенсивность процессов обесцвечивания и перекристаллизации сильвинитовых прослоев возрастает в северных разрезах (скважины 396, 158, 193), где полосы обесцвеченного молочно-белого сильвинита (рис. 4, б) нередко распространяются почти на всю мощность прослоев, а структура их становится мелко-, средне- и крупнозернистой (1–10 мм). Соотношение структур в сторону увеличения мелко-, средне- и крупнозернистых разностей, которые часто становятся преобладающими (до 70 %), отмечается и в разрезах 11-го сильвинитового слоя. Эти прослои сильвинита сложены зернами неправильной изометрической заливообразной формы, иногда с зональным строением. В промежутках между прослоями присутствуют петлеобразные скопления микрозернистого буроватого галита, а также проходят узкие (2–5 мм) горизонтальные полосы, расчленяющие прослои и придающие им полосчатый внешний вид. Мощность прослоев каменной соли – от 1 до 10 см, текстура – микро- и тонкополосчатая или массивная.

Таблица 1

Гранулометрический спектр калийных руд
в продуктивном пласте IV калийного горизонта

Table 1

The granulometric spectrum of the sylvinite interlayers
in the productive stratum of the potassium horizon IV

Слой	Содержание фракций, %		
	<1 мм	1–3 мм	>3 мм
11	16,0	44,4	39,5
9	40,0	32,5	27,5
8а, 8б, 9	32,8	35,9	31,2
7, 7б, 7в	46,4	37,2	16,4

Вид каменной соли значительно отличается от соответствующих образований в других калийных горизонтах. В основной части IV горизонт сложен каменной солью различных переходов и оттенков красного, оранжевого и желтого цветов, соль имеет микрозернистую или микро- и мелкозернистую структуру, структуры соли, сменяющие друг друга в разрезе, что часто придает породе отчетливо слоистую или полосчатую текстуру даже при отсутствии четко выраженных прослоев галопелитов. В разрезе залежи встречается разновидность песчаниковидной соли, имеющей также микрозернистую структуру (см. рис. 4, з), но в сильной степени загрязненной рассеянным глинистым материалом и карбонатами. Каменной солью, окрашенной в различные оттенки серого цвета, с разномзернистой, преимущественно среднезернистой, структурой сложены в основном подстилающий и покрывающий горизонт пласты.

Характерной особенностью горизонта является развитие тонких (0,5–2,5 см) прослоев псевдосильвинита – своеобразной каменной соли, по облику, конфигурации зерен галита и даже характеру окраски обладающей внешним сходством с сильвинитами (рис. 4, з). При отсутствии отчетливо выраженной слоистости в массе псевдосильвинита часто наблюдается ориентированность, которая создается вытянутостью по пласту. При этом неравномерное распределение окраски имеет фестончатый, резко волнообразный или ступенчатый характер (рис. 4, л). Прослои псевдосильвинита в основном встречаются в краевых частях площади распространения горизонта: на северо-западе (скв. 175), на севере (скважины 151, 152) и особенно часто на юго-востоке (скважины 176, 206, 209, 210, 214, 215, 217). Располагаются они, как правило, в самой кровле калийного горизонта, завершая его разрез.

Для горизонта характерно присутствие большого количества мощных (2–20 см, изредка до 90 см) галопелитовых прослоев. Галопелиты располагаются как внутри слоев промежуточной каменной соли, так и на границе с сильвинитовыми слоями, отмечаются и внутри собственно калийных слоев, отделяя друг от друга пакеты слоистых сильвинитов. Практически по всему разрезу развиты тонкие миллиметровые прослои.

Проявления конседиментационных тектонических движений по разломам вызывают локальные изменения в пределах блоков. В центральном блоке глинистость разреза значительно возрастает на северо-западе (север шахтного поля 2-го РУ и запад шахтного поля 3-го РУ), но резко уменьшается в пределах восточной части северо-восточного блока (скважины 193, 183, 227).

Макроскопически можно выделить ряд разновидностей, различающихся характером сложения: листоватые, неяснолистоватые и массивные галопелиты. В слоях значительной мощности галопелиты часто сильно трещиноваты. Вертикальные или слабонаклоненные трещины заполнены оранжево-красным галитом поперечно-волоконистой структуры. Общее содержание легкорастворимых солей в составе галопелитов горизонта (в среднем около 20 %) несколько ниже, чем в других калийных горизонтах, что, возможно, является признаком значительного снижения солености бассейна. Содержание сульфата кальция и карбонатов, наоборот, выше, чем во 2-м и 3-м калийных горизонтах. Алюмосиликатная часть фракции <0,001 мм галопелитов сложена гидрослюдой политипной модификации 1 Md с примесью хлорита. Средний состав галопелитов в продуктивном пласте представлен в табл. 2.

Таблица 2

Средний состав галопелитов
 в продуктивном пласте IV калийного горизонта, %

Table 2

Average composition of halopelites in the section
 of the productive stratum of the potassium horizon IV, %

Слой	Содержание хлоридов					Br	Содержание карбонатов			CaSO ₄	Алюмосиликатный материал	Содержание H ₂ O	
	KCl	NaCl	MgCl ₂	CaCl ₂	Сумма		Кальцит	Доломит	Сумма			Гигроскопическая	Кристаллизационная
Продуктивный пласт 7–9	14,45	3,90	0,41	1,11	19,86	0,093	9,4	5,3	14,7	11,17	52,29	1,47	0,47

Проведенная оценка литологической неоднородности калийных слоев и анализ развития зон замещения показали сокращение мощности сильвинитовых прослоев в ряде разрезов к северу от шахтных полей до полного замещения оранжево-бурой песчаниковидной каменной солью (скв. 396). Замещению сильвина галитом, как правило, подвергались сильвиниты в нижних слоях. Процессы замещения наиболее активно проявились вблизи зон разломов. Так, вдоль Северного разлома в скв. 8г было обнаружено замещение нижних сильвинитовых слоев (вплоть до 9-го слоя), в скважинах 349а и 396 – со слоя 2 по 7а включительно; в пределах северо-западной зоны разломов в скв. 740 все сильвинитовые слои замещены каменной солью.

Заключение

Таким образом, IV калийный горизонт является многопластовым образованием, состоящим из ритмически чередующихся четко построенных частей. Каждый ритм залежи, так же как и каждая соляная пачка в разрезе калиеносной субформации, может включать в себя все элементы строения полноразвитого ритма, в том числе и сильвинитовые прослои. Ярко выраженная ритмичность подчеркивается относительно мощными прослоями галопелитов, которые прерывали садку сильвинитов. Возрастание глинистости разреза происходит в северо-восточном направлении. Значительно обогащена слоями соляных глин верхняя часть разреза горизонта в крайней северо-восточной части площади распространения. Образование калийных солей происходило достаточно длительное время на фоне частого поступления и накопления в бассейне большого количества карбонатно-глинистого материала.

Сильвинитовый слой 1 начал образовываться на локальных площадях на крайнем западе Старобинского месторождения. Следующий слой формировался на значительно большей территории, а максимальное по площади калиенакопление пришлось на слой 7, после которого наблюдается некоторое сокращение площади калийной седиментации и постепенное смещение области активного калиенакопления к северо-востоку, в зону, прилегающую к Северо-Припятскому краевому разлому. Продуктивные слои соответствуют средней части разреза горизонта. О широком развитии процессов смешения растворов и высаливания галита при формировании горизонта свидетельствует появление песчаниковидной каменной соли. Выявленные закономерности развития калийных слоев и зон замещения в IV калийном горизонте указывают прежде всего на то, что при прогнозировании литологической неоднородности можно с той или иной степенью вероятности использовать стратиграфический (связь зон замещения с определенными частями разреза) и тектонический критерии.

Библиографические ссылки

1. Кудельский АВ, редактор. *Девонские соленосные формации Припятского прогиба*. Минск: Наука и техника; 1982.
2. Бескопильный ВН, Айзберг РЕ. Оценка перспектив поисков традиционных и нетрадиционных залежей углеводородов в Припятском палеорифтовом бассейне. *Недропользование. XXI век*. 2017;1:60–75.
3. Кудельский АВ, редактор. *Калийные соли Припятского прогиба*. Минск: Наука и техника; 1984.

References

1. Kudelsky AV, editor. *Devonskie solenosnye formatsii Pripyatskogo progiba* [Devonian saliferous formations of the Pripyat Trough]. Minsk: Nauka i tekhnika; 1982. Russian.
2. Beskopylny VN, Aizberg RE. Evaluation of perspectives of searching for conventional and unconventional hydrocarbon deposits in oil and gas accumulation zones of the Pripyat paleorift basin. *Nedropol'zovanie. XXI vek* [Subsoil Use of the 21st Century]. 2017;1:60–75. Russian.
3. Kudelsky AV, editor. *Kaliinnye soli Pripyatskogo progiba* [Potassium salts of the Pripyat Trough]. Minsk: Nauka i tekhnika; 1984. Russian.

*Статья поступила в редколлегию 04.06.2018.
Received by editorial board 04.06.2018.*

УДК 551.435.42(476)

СООТНОШЕНИЕ МЕЖДУ ЛЕДНИКОВЫМИ ЛОЖБИНАМИ И АКТИВНЫМИ РАЗЛОМАМИ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

М. Е. КОМАРОВСКИЙ¹⁾, Е. В. ХИЛЬКЕВИЧ¹⁾

¹⁾Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь

Отмечается тесная связь расположения ледниковых ложбин и разновозрастных систем разломов, активных в плейстоцене, и в голоценовое время. Среди активных доплатформенных дизъюнктивов ложбины преимущественно наследуют разломы северо-восточного, северо-северо-восточного и субширотного направлений. Активным платформенным разломам, образовавшимся на ранне- и позднебайкальском, каледонском, герцинском и новейшем этапах, свойственны определенные системы ложбин, чаще они регистрируются в герцинской, ранне- и позднебайкальской системах разломов. В большинстве случаев ложбины располагаются вдоль разломов субширотной и северо-восточной ориентировки. Установлены главные формы пространственного соотношения между ложбинами и разломами. Сделан вывод о том, что разломы являются одним из основных факторов локализации ложбин и обусловленности важнейших особенностей внешнего облика и характера геологического строения.

Ключевые слова: ледниковые ложбины; активные разломы; плейстоцен; Беларусь.

CORRELATION BETWEEN GLACIAL VALLEYS AND ACTIVE FAULTS IN BELARUS

M. E. KOMAROVSKIY^a, E. V. KHILKEVICH^a

^aBelarusian State University, 4 Niezaliežnasci Avenue, Minsk 220030, Belarus

Corresponding author: M. E. Komarovskiy (mkomarovskiy@mail.ru)

One of the most important regularities of the glacial valleys localization is their close connection with different-aged fault systems of the consolidated earth crust and platform cover which were active in Pleistocene and recent period. Valleys prefer faults of north-east, north-north-east and sublatitudinal directions amount consolidated earth crust disjunctives. Active platform faults, which were formed during the Early and Late Baikalian, Caledonian, Hercynian and Neotectonic periods, are characterized by specific valley systems and special particularities of correlation, but more often they are localized within the Hercynian and the Early and Late Baikalian fault systems. In general, valleys are associated with the faults of north-east and sublatitudinal directions. Active faults are the significant factor in localization of glacial valleys in Belarus. They also predetermined the main particularities of valleys morphology and geological structure.

Key words: glacial valleys; active faults; Pleistocene; Belarus.

Образец цитирования:

Комаровский М.Е., Хилькевич Е.В. Соотношение между ледниковыми ложбинами и активными разломами на территории Беларуси. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология.* 2018;2:106–117.

For citation:

Komarovskiy ME, Khilkevich EV. Correlation between glacial valleys and active faults in Belarus. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology.* 2018;2:106–117. Russian.

Авторы:

Михаил Евгеньевич Комаровский – кандидат геолого-минералогических наук, доцент, доцент кафедры динамической геологии географического факультета.

Екатерина Викторовна Хилькевич – ассистент кафедры динамической геологии географического факультета.

Authors:

Michail E. Komarovskiy, PhD (geology and mineralogy), doцент, associate professor at the department of dynamics geology, faculty of geography.

mkomarovskiy@mail.ru

Katherina V. Khilkevich, assistant at the department of dynamics geology, faculty of geography.

katya.xilk@list.ru

Введение

При изучении факторов локализации ледниковых ложбин обнаруживается необходимость решить проблему их взаимосвязи с активными разломами. Интерес к данной проблеме, помимо прочего, обуславливается тем, что расположение ледниковых форм над разрывными нарушениями многими исследователями рассматривается как косвенный признак неотектонической активности последних. Такие соотношения можно использовать при выявлении активных в плейстоцене разломов.

В Беларуси решение ряда важных аспектов этой проблемы было предложено в нескольких исследованиях [1–3]. А. В. Матвеевым отмечено совпадение почти всех наиболее значимых цепочек экзарационных ложбин с положением крупных региональных разломов, подчеркнута роль приразломных зон в развитии ледниковой эрозии. Э. А. Левков рассматривал разломные зоны как одну из причин образования ложбин ледниковой экзарации, выдавливания и гляциодислокаций. Схожих взглядов на проблему взаимоотношения особенностей распространения ледниковых ложбин и разломных зон придерживаются многие геологи [4; 5]. Большинство исследователей сходятся во мнении о том, что в ледниковые эпохи развивались смещения по разломам, создавались барьеры движению льда и изменялись физико-механические свойства пород субстрата в приразломных зонах. Эти явления обуславливали размах процессов ледниковой экзарации и выдавливания.

Цель настоящей статьи – выявить связь между расположением ледниковых ложбин и разрывных нарушений, активных в новейшее время. Ставились следующие задачи: рассмотреть методические приемы выделения активных разломов, оценить характер соотношения между ложбинами и активными разломами различных этапов заложения, установить основные формы пространственного соотношения между ложбинами и активными разломами, показать на конкретных примерах проявление активных разломов в морфологии и строении ложбин.

Методика исследований

Для того чтобы достичь цель и решить задачи, поставленные в работе, требовалось сопоставить ледниковые ложбины в поверхности дочетвертичных пород с разломами, активными в новейшем этапе. Картирование ледниковых ложбин проводилось в масштабе 1 : 200 000 по общепринятой методике с использованием всех имеющихся на 2015 г. разрезов буровых скважин. В качестве основы для построения карты активных разломов был использован среднемасштабный вариант карты разломов литосферы, где все разломы обоснованы геофизическими данными, свидетельствующими о реальном существовании разрывных структур в литосфере [6].

Активные разрывные нарушения диагностировались по прямым и косвенным признакам. В качестве прямых геологических признаков при выделении активных разломов использовались заметные вертикальные и горизонтальные смещения новейших отложений в форме уступов, флексур, разрывов слоев. Наличие мелкоблоковых поднятий и опусканий в структуре коренных отложений, отраженные складки и разрывы в новейших отложениях установлены над активизированными фрагментами Чашникского, Бешенковичского, Богушевичского, Витебского и Шестовичского разломов. Активные сдвиги зафиксированы вдоль Северо-Ратновского и Бельничского разломов, а появление сбросов – у Старобинского разлома [7]. Прямым геофизическим критерием современной активности разломов служат резкие градиенты пространственно-временных современных изменений гравитационного и магнитного полей. Пространственно-временные вариации свидетельствуют об интенсивных глубинных тектонофизических процессах в зонах Краснослободского, Кореличского, Неманско-Полоцкого, Чашникского, Бешенковичского, Борисовского, Южно-Припятского разломов [8].

Для выявления разломов, проявивших активность в четвертичный период, привлекались также косвенные геофизические, геохимические, геологические, геоморфологические, сейсмические, дешифровочные, гидродинамические эффекты и другие критерии. Были использованы полосовые аномалии повышенной электропроводности во всех горизонтах осадочного чехла и кристаллическом фундаменте; положительные геотермические аномалии; очаги и зоны разгрузки глубинных минерализованных вод в неглубоко залегающих водоносных комплексах чехла; узкие локальные аномалии аргона, гелия и линейно вытянутые участки аномальных концентраций радона; участки резкого изменения мощности и состава четвертичных отложений; линейно расположенные гляциодислокации; краевые ледниковые, озовые, золотые гряды; речные долины; озерные котловины; деформации земной поверхности и продольных профилей русел рек, смещения их направления; приуроченность ко многим из разломов эпицентров землетрясений и протяженных космолинеаментов. Кроме того, анализировались опубликованные картографические материалы по активным разломам [9]. Обобщение полученных данных позволило построить карту разрывных нарушений, активных в четвертичное время.

Сопоставление сети древних разломов с новейшими и современными активными разломами позволяет выделить среди последних в основном унаследованные дизъюнктивы. Для сопоставления использовались опубликованная схема разломов кристаллического фундамента [6], структурные карты поверхности фундамента и рифейских отложений Оршанской впадины, Полоцко-Курземского пояса, схема расположения разломов восточной части Подляско-Брестской впадины [10], геодинамическая карта внутриплитной разломной тектоники Беларуси и смежных областей (герцинский этап) [7] и др. Активные разломы на карте в основном наследуют фрагменты древних систем, которые сформировались на архейско-раннепротерозойском, ранне- и позднебайкальском, каледонском и герцинском этапах разломообразования. Полученные данные были использованы для оценки характера соотношения между ложбинами и разновозрастными доплатформенными и платформенными разрывными нарушениями.

Для установления особенностей сочетания ледниковых ложбин с активными разломами в плане использовалось сопоставление ложбин с пространственным положением и ориентировкой соответствующих разломов. В случае определения основных черт соотношения между ними в вертикальном разрезе положение и морфология разломов и надразломных складок в дочетвертичных отложениях сопоставлялись с ложбиной. Работа проводилась по картам поверхности и мощности всех ледниковых горизонтов и по геологическим разрезам, вскрывающим строение ложбин и разломов в поперечном и продольном сечениях.

Результаты и их обсуждение

На территории Беларуси в поверхности дочетвертичных отложений выделяется около 572 ледниковых ложбин. Пространственное совпадение с активными разломами имеют 306 ложбин, или 53,4 % от их общего числа (рис. 1).

При этом с разломами консолидированной коры, проявившими активность в плейстоцене и голоцене, совпадают 268 ледниковых ложбин, или 87,5 % (рис. 2, а). Над активными разломами северо-восточного, северо-северо-восточного и субширотного направлений располагается около 67,5 % ложбин от их общего числа, а меньшее число – над разломами северо-северо-западного, северо-западного (22 %) и восточно-северо-восточного (10,5 %) простирания. В пределах различных систем ложбины наследуют в основном разломы коровые внутриблоковые (34,3 %), локальные (32,1 %) и мантийного заложения, отделяющие блоки земной коры с различным геофизическим типом (23,5 %).

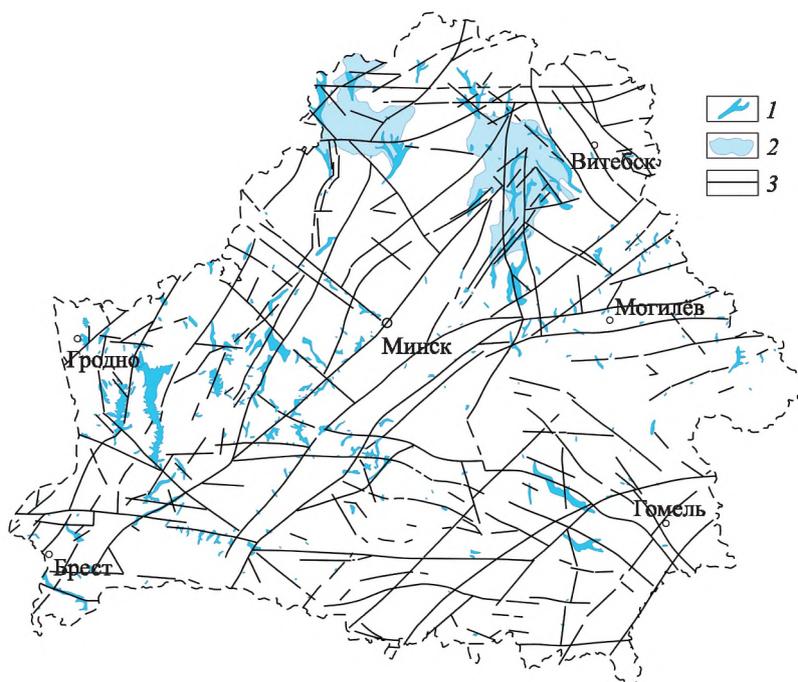


Рис. 1. Соотношение между ледниковыми ложбинами и разрывными нарушениями, проявившими активность в четвертичный этап:

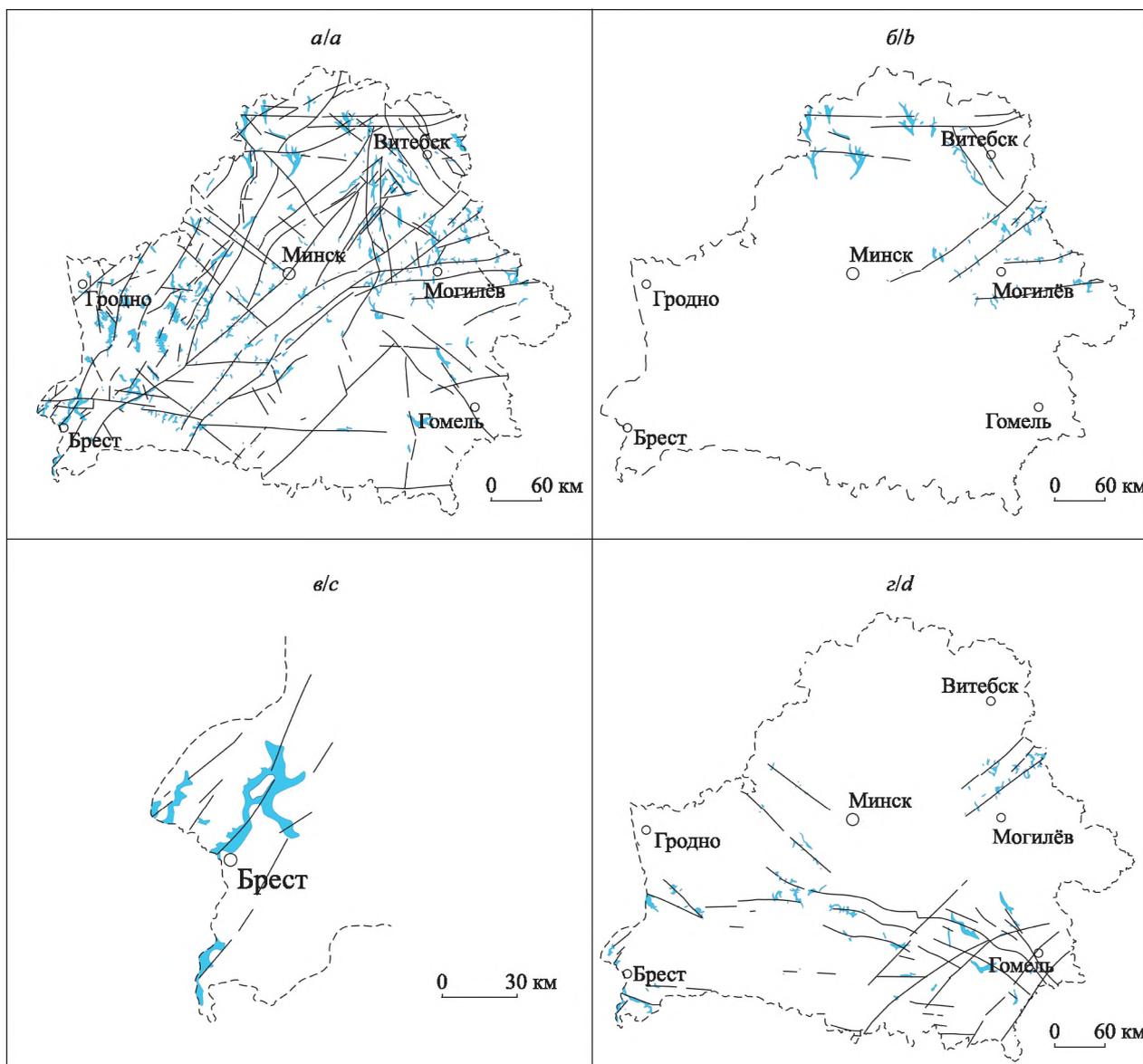
1 – ледниковые ложбины; 2 – гляциодепрессии; 3 – активные разломы

Fig. 1. Correlation between glacial valleys and active faults:

1 – glacial valleys; 2 – glacial depressions; 3 – active faults

В зонах активных разломов, сформировавшихся на ранне- и позднебайкальском этапах, установлено наличие 53 ложбин. Большинство из них расположены в системах северо-восточного простирания (58,5 %) и широтного направления (35,8 %) (рис. 2, б). Единичные ложбины (5,7 %) присутствуют у разрывных нарушений, которые ориентированы субмеридионально. Все ложбины локализируются в зонах унаследованных активных разломов, совпадающих с сетью доплатформенных разломов или близких ей по положению и ориентировке.

Соотношения между ложбинами и активными разломами, возникшими в каледонский этап, отмечаются на юго-западе территории Беларуси (в Подляско-Брестской впадине). Все ложбины находятся на активных разломах северо-восточного простирания. В большинстве случаев они также совпадают с активными разломами, наследующими разломную сеть фундамента (рис. 2, в).



1 2 3

Рис. 2. Пространственное соотношение между ледниковыми ложбинами и разновозрастными системами активных разломов Беларуси:

1 – ледниковые ложбины; 2 – гляциодепрессии; 3 – активные разломы.

Виды разломов: а – унаследующие разломы кристаллического фундамента; б – разломы ранне- и позднебайкальского этапов заложения; в – разломы каледонского этапа восточной части Подляско-Брестской впадины; г – разломы герцинского этапа

Fig. 2. Correlation between glacial valleys and different-age systems of active faults of Belarus:

1 – glacial valleys; 2 – glacial depressions; 3 – active faults.

Variations faults: а – valleys related with faults of consolidated earth crust;

б – valleys localized within the Early and Late Baikalian fault systems; в – valleys situated within the Caledonian faults in the Podlasya-Brest depression; г – valleys elongated near to the Hercynian faults

Активные разломы, которые сформировались в герцинский этап, определяют особенности локализации 68 ложбин на территории Припятского прогиба и к западу от него (рис. 2, *з*). Чуть более половины ложбин (около 51,5 %) проявляется над разломами того времени, меньшая часть – над разломами, которые заложены на более ранних этапах. В новообразованных герцинских системах 74,3 % ложбин сосредоточены над активными разломами субширотного западно-северо-западного простирания, 25,7 % ложбин имеют связь с активными разломами северо-западной направленности. Изучение расположения ложбин в пределах унаследованных герцинских разломов, проявлявших активность в четвертичное время, показывает, что ложбин больше, как правило, у разломов северо-восточного направления, чем над разломами северо-западного и западно-северо-западного направлений (63,6 и 36,4 % соответственно).

Сопоставление ложбин с разновозрастными системами активных разломов позволяет заключить, что первые наследуют в основном древние (доолигоценые) разломы, активные в новейшее время. Для основной части ложбин устанавливается размещение над разломами фундамента. В зонах платформенных разломов ранне- и позднебайкальского, каледонского этапов ложбины имеют плановое соответствие с активными разрывными нарушениями, которые наследуют разломы фундамента. При сопоставлении ложбин с активными герцинскими разломами выявляется особенность соотношения между ними: около 11,4 % ложбин расположены над новообразованными разломами.

Типы соотношения между ложбинами и разломами. Анализ пространственного соотношения между ложбинами и активными разломами показывает, что все их разнообразие можно свести к нескольким разновидностям. Одна из них представлена линейными системами одиночных форм, в которых ложбины расположены поперек разлома (рис. 3, *а*). Такие линейные системы приурочены к Каменецкому, Неманско-Полоцкому, Диснянскому, Бельничскому, Южно-Могилёвскому, Северо-Припятскому, Южно-Припятскому и другим разломам субширотного и широтного простирания. У этих же структур нередко встречается другая разновидность: ложбины образуют линейные цепи и вытянуты вдоль разлома (рис. 3, *б*). Наиболее отчетливо данная разновидность видна на примере расположения Малоритской ложбины и Малоритского разлома.

В Чашникской разломной зоне, ограниченной по краям глубинными разломами субмеридионального направления, весьма распространены одиночные ложбины и линейные цепочки ложбин, вытянутые вдоль центральной части (рис. 3, *в*) и диагонально (рис. 3, *г*) либо вдоль противоположных краевых разломов и соединенные ложбиной по диагонали (рис. 3, *д*). Диагональное направление связано с расположением ложбин вдоль локальных разломов северо-восточного простирания, которые опережают магистральные разломы, и наблюдается у Селявской и Крупской ложбин. Самая распространенная разновидность соотношения – система продольных ложбин, вытянутых параллельно разлому на небольшом от него расстоянии (рис. 3, *е*). Также нередки случаи, когда ложбины совпадают с разломами (рис. 3, *ж*). Особенно ярко такие соотношения проявляются между Сигневичской, Сервечской, Вилейской ложбинами и Кореличским разломом, а также между Росинской ложбиной и Щучинским разломом, Сенненской ложбиной и одноименным разломом. Еще одна разновидность наблюдается у извилистых ложбин и их цепочек, вытянутых вдоль разлома на разных его крыльях (рис. 3, *з*), что отмечается, например, у Светлогорской ложбины и Северо-Припятского разлома.

Встречаются и более сложные соотношения между ложбинами и разломами. Нередко ложбины и их системы локализируются в зоне сочленения основного и опережающих разломов, в зонах *T*-образного сочленения и крестообразного пересечения магистральных разломов (рис. 3, *и, к и л*). Ложбины зачастую тяготеют к узлам пересечения двух и более разломов (рис. 3, *м*). Такие сложные соотношения наблюдались между ложбинами, приуроченными к узлам пересечения субширотных разломов Полоцко-Курземского пояса, Припятско-Брестской системы, с разломами субмеридионального направления. Одна из разновидностей соотношения между ложбинами и разломами характеризуется сетчатым рисунком (рис. 3, *н*). Он возникает в случаях, когда совокупность ложбин расположена над множеством скрещенных пересекающихся разломов диагональной и ортогональной направленности. Ложбины, образующие сетчатый рисунок над разломами, широко распространены на северо-востоке Подляско-Брестской впадины у городов Березы и Ивацевичи, в Полоцкой депрессии и других районах.

Соотношения между ледниковыми ложбинами и активными разломами, установленные в геологических разрезах четвертичных и коренных отложений, можно представить в виде восьми основных форм:

- 1) в грабенообразной структуре;
- 2) над приподнятым крылом разлома;
- 3) над разломом без смещения слоистости;
- 4) в замковой части отраженной антиклинальной складки;
- 5) на перегибе флексуры;
- 6) над горстообразной структурой;
- 7) над разломом-сбросом (разломом-взбросом);
- 8) у разлома над опущенным крылом (рис. 4).

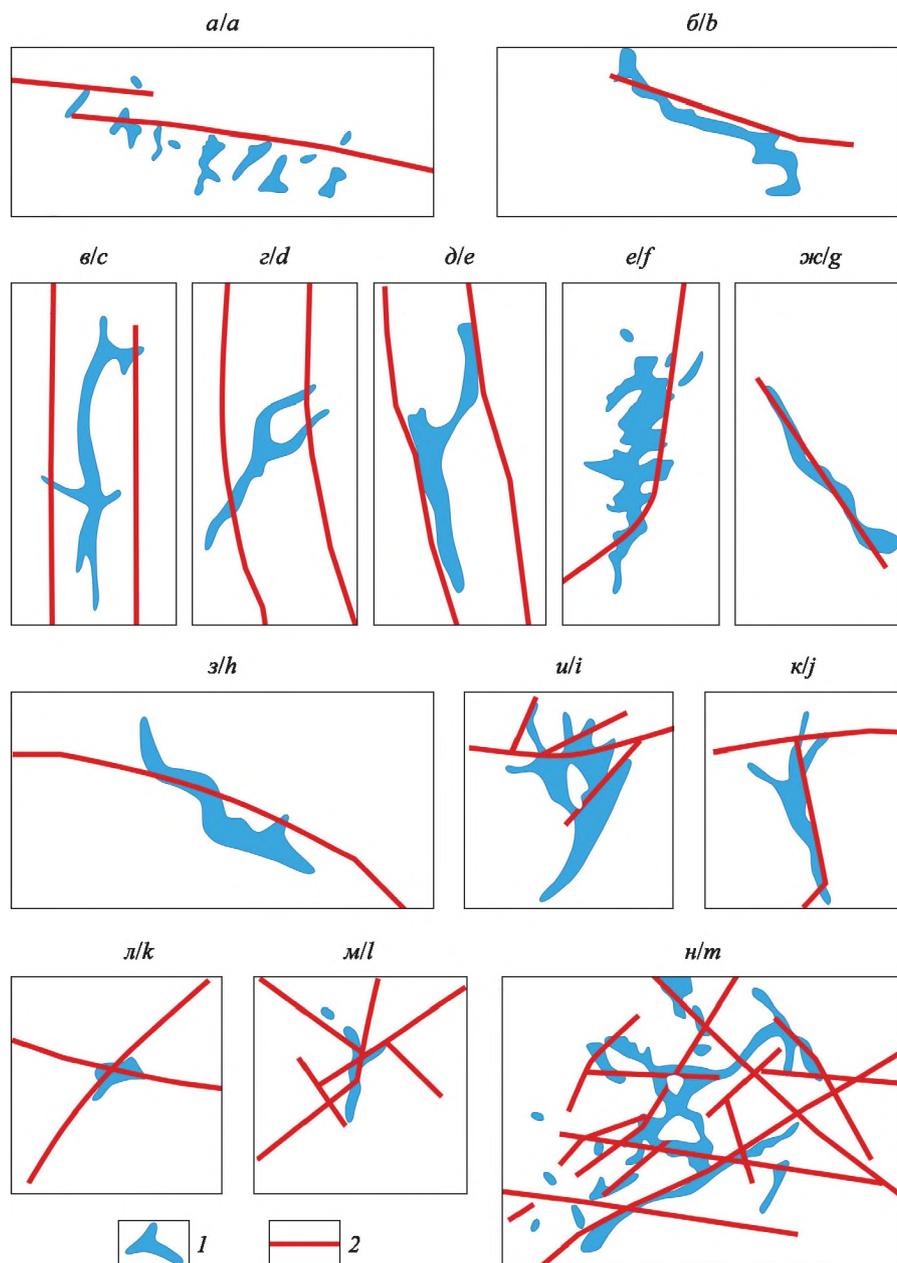


Рис. 3. Основные разновидности соотношения между ледниковыми ложбинами (1) и активными разломами (2):
a – в виде линейной системы обособленных форм, вытянутых поперек разлома;
б – в виде линейной системы обособленных форм, вытянутых вдоль разлома;
в – одиночные ложбины или цепочка ложбин, расположенных вдоль центра разломной зоны;
г – одиночные ложбины или цепочка ложбин, простирающихся диагонально направлению разломной зоны;
д – одиночные ложбины или цепочка ложбин, прослеживающихся вдоль разломной зоны у противоположных разломов и соединенных ложбиной по диагонали; *e* – линейная система продольных ложбин и одиночные ложбины, вытянутые параллельно разлому на небольшом от него расстоянии; *жс* – линейная система продольных ложбин и одиночные ложбины, расположенные непосредственно над разломом; *з* – извилистые ложбины и системы ложбин, вытянутые продольно разлому на разных крыльях; *и* – ложбины в зоне сочленения основного и оперяющих разломов; *к* – ложбины в зоне T-образного сочленения разломов; *л* – ложбины на крестообразном пересечении; *м* – ложбины в зоне пересечения двух и более разломов; *н* – разломы в виде решетки (сетки)

Fig. 3. The main variations of correlation between glacial valleys (1) and active faults in plan (2):
a – the lineal system of isolated valleys related with fault and elongated across it; *b* – valleys situated along the fault;
c – individual valleys and lineal valley chains located along the central part of fault zone;
d – valleys orientated diagonally to the fault direction; *e* – valleys traced along fault zone at its opposite margins and connected with local valley; *f* – valleys elongated parallel and near to fault; *g* – valleys coincided with fault and ice movement directions; *h* – valleys placed longitudinal to fault on its different wings;
i – valleys related with suture zone of main and feathering faults; *j* – valleys preferred the T-shaped fault suture zone;
k – valleys situated in crossing of magistral faults; *l* – valleys located in intersection nodes of two or more than two faults;
m – group of valleys localized within reticulated pattern

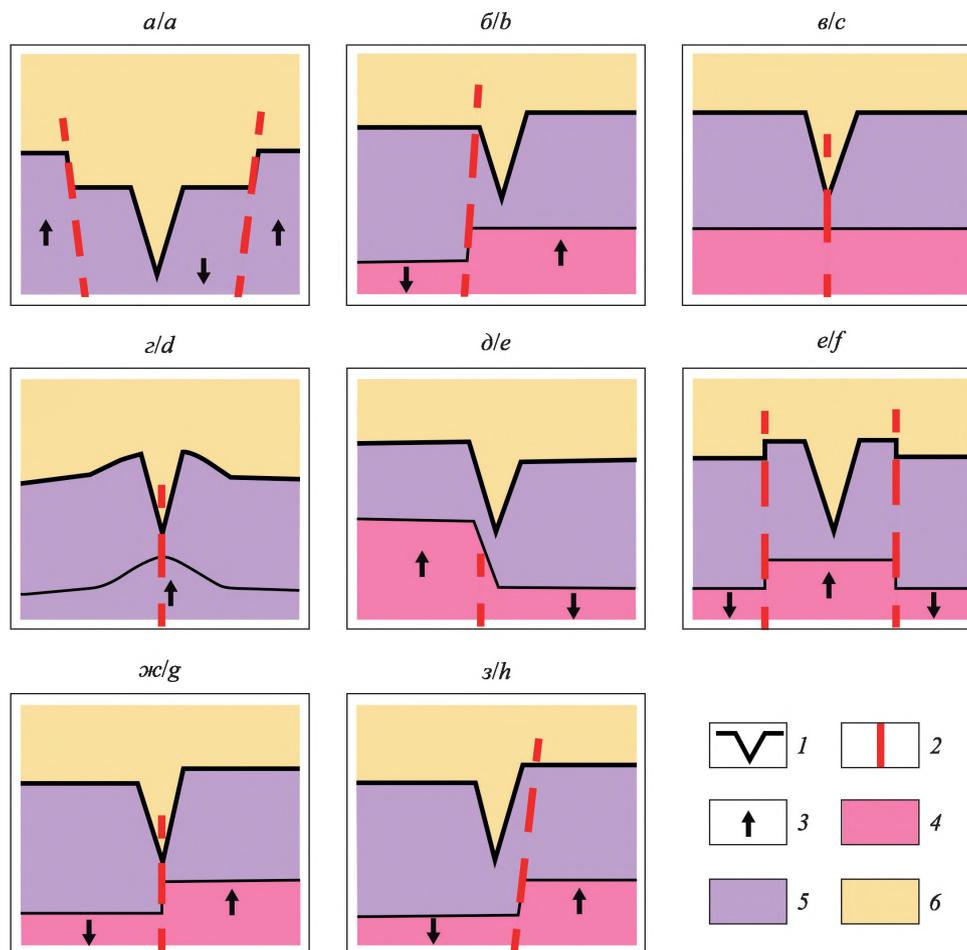


Рис. 4. Типы соотношения между ложбинами и активными разломами в геологическом разрезе:
 1 – поверхность дочетвертичных отложений; 2 – разлом; 3 – направление перемещения блоков;
 4 – кристаллический фундамент; 5 – дочетвертичные осадочные отложения; 6 – четвертичные отложения.

Формы связи ложбин с разломами:

- a* – ложбины в грабенообразной структуре; *б* – ложбины у разлома над приподнятым крылом; *в* – ложбины над разломом без смещения слоистости;
- г* – ложбины в замковой части надразломной антиклинальной складки;
- д* – ложбины на перегибе флексуры, соединяющем поднятое и опущенное крылья;
- е* – ложбины над горстообразной структурой; *ж* – ложбины над сбросом или взбросом;
- з* – ложбины у разлома над опущенным крылом

Fig. 4. The types of correlation between glacial valleys and active faults in geological section:
 1 – bed-rock surface; 2 – fault; 3 – direction of block movement; 4 – consolidated earth crust;
 5 – prequaternary sedimentary deposits; 6 – quaternary deposits.

Forms of connection valleys with faults:

- a* – valleys in graben; *b* – valleys over the uplifted wall of fault;
- c* – valleys over fault without displacement of lamination; *d* – valleys on curve of anticline;
- e* – valleys on the flexure bend; *f* – valleys over the horst; *g* – valleys within fault (reversed fault);
- h* – valleys over the downthrown wing of fault

Грабенообразные структуры располагаются в основании Чашникской, Новолукомльской и Крупской ложбин, а также около северо-западного участка Березовской ложбины. В основании первых трех ложбин грабенообразная структура образована Чашникской и Бешенковичской системами активных в новейшее время разломов, имеет центральный опущенный блок (рис. 5, *a*). По протяженности эта структура достигает 130 км. В поверхности дочетвертичных отложений ее ширина составляет от 8 до 14 км, вертикальная амплитуда достигает 30 м. Грабенообразная структура разбита большим количеством нарушений на более мелкие блоки, нередко они носят характер микрогорстов. Поэтому она выражена морфологически неотчетливо в поверхности коренных пород. Грабенообразная структура прослеживается в ранее сформированных отложениях среднего девона и верхнего венда. Мощности девонских и вендских пород в центральном и периферическом блоке одинаковы, при этом нет различий в их составе и фациях.

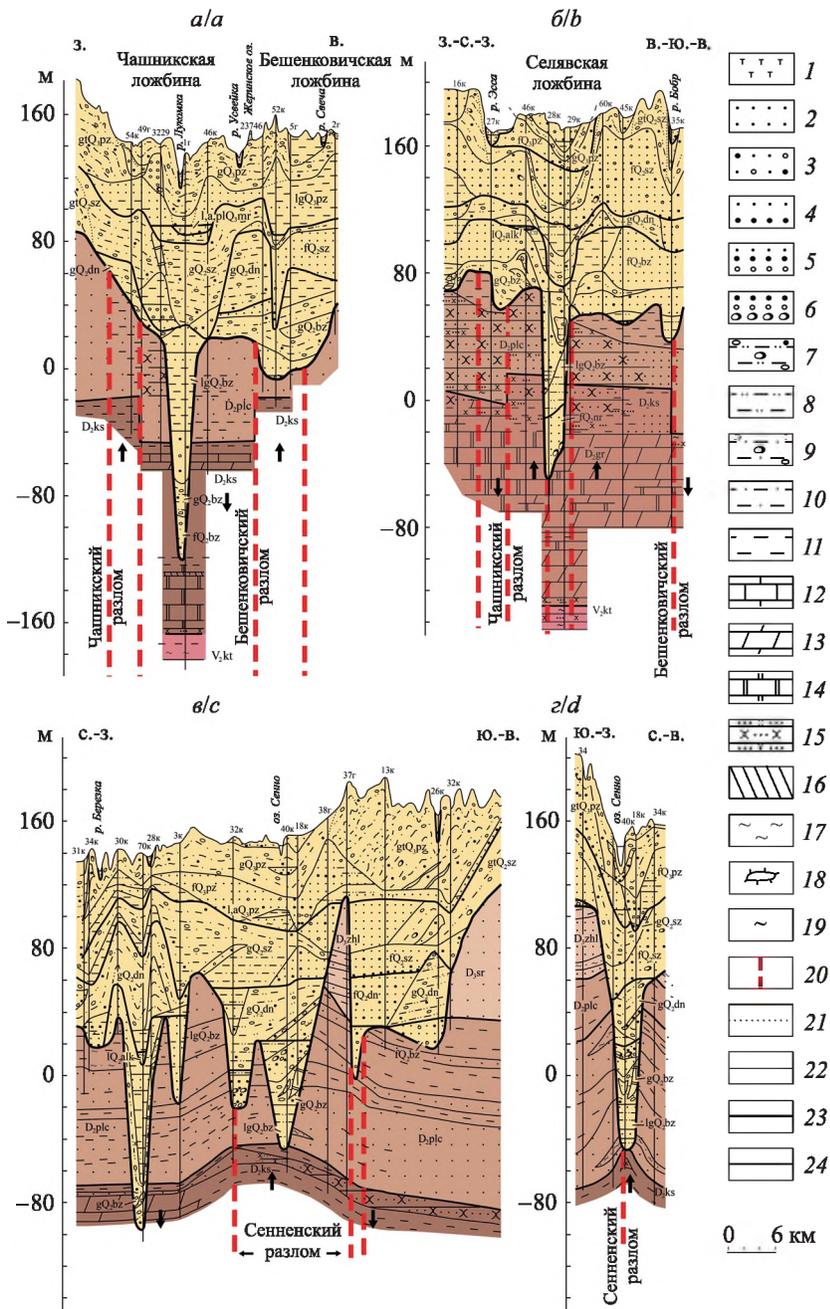


Рис. 5. Геологические разрезы, отражающие морфологию и строение ложбин над активными разломами:

- 1 – торф; 2 – песок мелкозернистый; 3 – песок разнородный с гравием и галькой; 4 – песчано-гравийная смесь; 5 – песчано-гравийно-галечная смесь; 6 – гравийно-галечно-валунная смесь; 7 – супесь грубая; 8 – супесь тонкая; 9 – суглинок грубый; 10 – суглинок; 11 – глины и аргиллиты; 12 – известняк; 13 – мергели; 14 – доломиты; 15 – песчаники; 16 – гипсы; 17 – алевроиты и аргиллиты; 18 – отторженцы; 19 – гумусированность; 20 – разломы; 21 – границы между фашиально различными образованиями одного возраста; 22 – границы между генетически разными разновозрастными отложениями; 23 – границы между горизонтами; 24 – границы между отложениями четвертичной и более древних систем.

Геологические разрезы:

- a* – поперек Чапнической ложбины в районе городского поселка Чапники;
b – поперек Селявской ложбины по линии городского поселка Холепеничи – д. Красная Слобода Крупского района;
c – вдоль Сенненской ложбины по линии д. Верхнее Кривино Бешенковичского района – д. Алехново;
d – вкост Сенненской ложбины по линии деревень Тухинка – Савичи Сенненского района

Fig. 5. Geological sections showing valley's morphology and structure over active faults:

- 1 – peat; 2 – fine-grained sand; 3 – coarse sand with gravels and pebbles; 4 – sand and gravel mix; 5 – gravels with pebbles; 6 – gravels with pebbles and boulders; 7 – sand clay; 8 – fine sandy loam; 9 – stony loam; 10 – loam; 11 – clays and mudstones; 12 – limestone; 13 – marlstones; 14 – dolomites; 15 – sandstones; 16 – gypsum; 17 – silts and siltstones; 18 – erratic masses; 19 – high humus content; 20 – faults; boundaries between; 21 – different facies of the same age; 22 – genetically different deposits of the same age; 23 – horizons; 24 – bedrock and Quaternary deposits.

Geological sections:

- a* – across the Chashniki valley near Chashniki;
b – across the Selyava valley along a line Kholopenichi – Krasnaya Sloboda in the Krupky area; *c* – along the Senno valley between Verhnee Krivino in Beshenkovichi area – Alehnovo; *d* – across the Senno valley along a line Tuhinka – Savichi in Senno area

Разрывные нарушения грабеноподобного характера распознаются также внутри отложений заполняющего комплекса среднего и верхнего плейстоцена и в морфологии ложбин. Над относительно поднятыми периферическими блоками и опущенным центральным блоком этой структуры в поверхности березинского, припятского и поозерского ледниковых горизонтов выявляются локальные поднятия, соответствующие ее плечам, и опускание над центральным блоком. Чашникская ложбина относится к центральной части опущенного блока, а Новолукомльская и Крупская ложбины – к ограничивающим системам разломов. Все ложбины имеют субмеридиональное простирание и спрямленную форму в плане согласно разломам, которые они наследуют. В плейстоценовой толще ложбин вдоль активных разломов происходит резкое увеличение мощности ледниковых горизонтов и изменение их строения на разных крыльях. Структура разломов определяет локализацию чешуйчатых основных морен, морен выдавливания, скибовых гляциодислокаций и отторженцев коренных пород, размещающихся в бортах ложбин в березинском и вышележащих горизонтах плейстоцена. С Чашникским разломом пространственно совпадает субгляциальная водно-эрозионная рытвина возраста березинского горизонта на дне одноименной ложбины. Схожие соотношения были отмечены в районе городского поселка Бешенковичи, где представлена Чашникская флексурно-разломная зона [4]. Разрывные нарушения в коренных породах и деформации слоев четвертичных отложений имеют средне- и позднеплейстоценовый возраст.

Вторая форма соотношения между ложбинами и активными разломами характеризуется размещением их над приподнятым крылом (блоком) сброса. Такие соотношения наблюдались в локализации Сульской ложбины и Налибокского разлома, Бешенковичской ложбины и одноименного разлома, Погостской ложбины и Старобинского разлома. Особенно отчетливо они проявляются между Мозырской ложбиной и Пержанской системой разломов. В подошве четвертичных отложений в пределах разломов приподнятые блоки отделены от висячих уступами и флексурами с амплитудой смещения до 10 м. Блоки наследуют такого же типа структуры, но с еще большей вертикальной амплитудой более глубоких горизонтов платформенного чехла и по поверхности кристаллического фундамента.

Ложбины присутствуют на площадках поднятых блоков параллельно простиранию разломов на расстоянии 2–3 км. Обычно это ложбины ледникового выдавливания или экзарации. Проявление активных движений по разломам нашло отражение в резком увеличении мощности ледниковых горизонтов на приподнятых крыльях разломов в пределах ложбин, расположении чешуйчатых и основных морен, межледниковых озерных и аллювиальных аккумуляций на дне ложбин, а также в местонахождении напорных конечных морен и ледниковых отторженцев на бортах непосредственно над разломами. Основное время формирования сбросов и заложения ложбин – средний плейстоцен.

Размещение многих ложбин обусловлено положением активных разломов, которые не имеют заметных вертикальных смещений. Например, такое соотношение присуще Селявской, Заслоновской, Бельничской и другим ложбинам, совпадающим с Западно-Селявским, Смоленским и Оршанским разломами. Большинство специалистов по неотектонике отмечают, что подобные разрывы часто проявляются в рассеянном виде в широкой зоне [2; 4]. Несмотря на малую амплитуду смещений, целый комплекс признаков указывает на то, что названные разломы являются «живыми» (рис. 5, б).

Над такими разломами отмечаются спрямленные достаточно глубокие и узкие участки ложбин с V-образной морфологией, развитием субгляциальных водно-эрозионных рытвин на дне. У Александрийской и Копыско-Шкловской ложбин, наследующих долину верхнего Пра-Днепра, над рядом таких разломов отмечаются деформации продольного профиля постели всех аллювиальных свит, а на бортах – напорные ледниковые формы или морены с чешуйчатыми текстурами. Развитие разломов и ложбин шло во время среднеплейстоценовых оледенений и продолжается сегодня.

Реже отмечаются случаи приуроченности ложбин к надразломным антиклинальным складкам. Последние по большей части концентрические, прямые, брахиморфные либо линейные. Они присутствуют на кровле протерозойских, девонских горизонтов, а иногда и в рельефе дочетвертичной поверхности в форме поднятий. Протяженность таких брахиантиклиналей достигает более 20 км, ширина – 8 км, относительная высота – 25 м. Типичный пример – Сенненский разлом (рис. 5, в и г), в котором замковая часть надразломной антиклинали прорезана Сенненской ложбиной. Сходные соотношения отмечаются между Ошмянской и Заславльской ложбинами в зоне Ошмянского разлома.

Ряд геологических фактов, указывающих на то, что эти складки могли быть порождены активизацией движений по разломам после их формирования в неогене и во время надвигания ледников, приведены З. А. Гореликом, Э. А. Левковым, А. К. Карабановым с соавторами, М. Е. Комаровским [11; 2; 4; 5; 12]. Свидетельствами в пользу того, что причиной заложения Сенненской ложбины стала растущая складка, являются строгое плановое соответствие ложбины гребню складки, система глубоких узких впадин на дне (отражают, по-видимому, траекторию трещин растяжения), выпадение из разреза четвертичной толщи древнейшей морены и залегание на дне ложбины березинской чешуйчатой

основной морены с отторженцами пород девона. Судя по тому, что складка не прослеживается в более молодых ледниковых горизонтах, основное время формирования поднятия (отраженной складки) и появления ложбины – березинское оледенение.

Многие ледниковые ложбины появляются на перегибе (смыкающем крыле) флексур. Такие структуры, прослеживаемые по коленообразным изгибам отложений осадочного чехла, в Беларуси обнаружены под ложбинами над многими разломами (Ошмянским, Щучинским, Кореличским, Кустинским, Краснослободским, Поставским и др.). Обычно флексуры отражаются в погребенном рельефе дочетвертичной поверхности, а иногда и в современном рельефе в форме ступенчатых склонов. Типичный подобный пример – флексурная складка в зоне пересечения Ошмянского и Минского разломов в районе водохранилища Дрозды: северо-восточное смыкающее крыло флексуры прорезано Заславльской ложбиной. Поднятое и опущенное крылья флексуры затрагивают все среднеплейстоценовые морены, у основания смыкающего крыла располагаются свиты погребенного и современного аллювия р. Свислочи. Сходные соотношения наблюдаются между Видзовской, Верхнедвинской, Гродненско-Лососненской, Воронской, Брестской, Сигневичской, Ивацевичской и Чепельской ложбинами.

Случаи расположения ложбин над горстообразными структурами представлены на площади Белорусской антеклизы. Наиболее отчетливое соотношение наблюдается между Сервечской ложбиной со структурой типа горста, которая образована сбросами по Кореличской системе, и южным фрагментом Ивенецкой системы разрывных нарушений. Протяженность ложбины горстообразной структуры превышает 22 км при ширине 4–10 км и относительной высоте 20–25 м. Центральный приподнятый блок структуры прослеживается в поверхности фундамента с заметным возвышением кверху и в осадочных образованиях венда, верхнего мела до отложений палеогена и неогена. Сервечская ложбина значительным отрезком совпадает с центральным блоком, врезана в коренные породы осадочного чехла вплоть до фундамента. Отмечаются также наиболее глубокие впадины на днище ложбины. Четвертичная толща в ложбине вдоль центрального блока горстообразной структуры сложена более дислоцированными пачками ледниковых отложений среднего плейстоцена по сравнению с ее плечами, на которых аналогичные породы слабее затронуты гляциодислокациями. В пределах разломов, ограничивающих центральный блок, проявляются дислокации складчато-чешуйчатого типа и отторженцы с участием меловых, палеоген-неогеновых и корчевских межледниковых отложений. Данный факт свидетельствует о возможной активизации разломов в среднем плейстоцене.

Чаще представлены ложбины, которые наследуют активные разломы. Такие ложбины присутствуют вдоль разломов субмеридионального простирания, например Щучинская и Воронская ложбины над Щучинским разломом. Более многочисленны подобные ложбины над активными субширотными сбросами в Припятском прогибе, а также у г. Червеня. На территории Припятского прогиба Северо-Припятский, Речицко-Вишанский, Шестовичский разломы унаследованы Глусской, Андреевской, Петриковской, Бобринской ложбинами.

Характерный случай совпадения ложбины с разломом под ее днищем отмечается у г. Светлогорска. В этом месте простирается Северо-Припятский разлом. В кинематическом отношении он представляет собой сброс, у которого плоскость сместителя наклонена в сторону опущенного южного крыла [10]. По поверхности дочетвертичных пород разлом выражается малоамплитудным уступом высотой около 10 м. Уступ разделяет ступени. На поднятой ступени присутствуют неогеновые аллювиальные аккумуляции Палео-Березины, а на опущенной ступени – палеогеновые пески. Такие же ступени с уступами прослеживаются на поверхности более древних горизонтов верхнего мела, средней и верхней юры высотой 37 м, верхнего девона высотой 115 м. Светлогорская ложбина при прослеживании по простиранию пересекает еще несколько локальных разломов, которые также морфологически выражаются в форме уступов, иногда увенчаны отраженными антиклинальными складками.

Северо-Припятский разлом и оперяющие его локальные разломы определяют как спрямленно-вытянутую форму Светлогорской ложбины в плане, так и *V*-образный вид ее поперечного профиля с узким неровным дном и спрямленными склонами. Впадины на ее дне приходятся на участки ответвления локальных разломов, а также приурочены к северо-западному крылу отраженной складки. На продольном разрезе Светлогорской ложбины над такими структурами выделяются облекающие складки в вышележащих среднеплейстоценовых ледниковых горизонтах и погребенных аллювиальных свитах Березины. Приведенные данные говорят о том, что развитие Светлогорской и других ложбин, нанизанных на разломы, инициировалось активизацией движений по разломам в среднем плейстоцене (наревское оледенение) – голоцене.

Сравнительно широко распространены ледниковые ложбины и над опущенными крыльями разломов. Такие соотношения установлены между Поставской, Мостовской, Савичской, Мышанской, Краснослободской ложбинами и разломами субмеридиональной, северо-восточной ориентировки. Однако наиболее отчетливо данные соотношения выступают в субширотных зонах разломов Припятского прогиба

и к западу от него. Показательными примерами могут служить связи между локализацией Ведричской ложбины и Речицко-Вишанского разлома, а также Малоритской ложбины и Северо-Ратновского разлома.

Все ложбины локализуются вдоль разломов на расстоянии до 5 км в пределах опущенных ступеней. В некоторых местах уступы таких ступеней и склоны вышерасположенных локальных поднятий образуют борта ледниковых ложбин. Например, северо-восточный борт Ведричской ложбины представляет собой уступ неотектонической ступени, переходящий в склон локального поднятия. В поверхности коренных пород амплитуда уступа неотектонической ступени достигает 8 м, а амплитуда локального поднятия равна 2–5 м. Эти структуры неотектонического происхождения наследуют Речицко-Вишанскую ступень в кровле фундамента и горизонтах дочетвертичной осадочной толщи.

Сами ложбины представлены преимущественно формами ледникового выпаживания, выдавливания и смешанного типа, реже встречаются ложбины подледной водно-эрозионной разновидности. В какой-то мере свидетельством влияния разломов на ледниковое выпаживание и эрозию подледниковых вод служат также крупные размеры ложбин и спрямленная слабоизвилистая форма в плане, вытянутость по направлению разлома, значительная глубина вреза, невыдержанный продольный профиль и *U*-образный либо *V*-образный поперечный профиль. В двух первых типах ложбин, расположенных у разломов, устанавливается увеличение мощности среднеплейстоценовых ледниковых горизонтов почти в два и более раза по сравнению с бортами, доминирование текстур чешуйчатых морен, гляциодинамических структур и гляциодислокаций.

Выводы

Одна из наиболее примечательных особенностей пространственного распределения ледниковых ложбин – их тесная связь с разновозрастными системами разломов, активными в плейстоцене и голоцене. Ими являются разломы как консолидированной земной коры, так и платформенного чехла Беларуси. Среди активных доплатформенных дизъюнктивов ледниковые ложбины наследуют разломы северо-восточного, северо-северо-восточного и субширотного направлений.

По роли в локализации ложбин разломы большинства глубинных уровней консолидированной коры располагаются в следующей последовательности: коровые внутриблоковые, локальные и мантийные.

Активным платформенным разломам, образовавшимся на ранне- и позднебайкальском, каледонском, герцинском и новейшем этапах, свойственны определенные системы ложбин и особенности соотношения, но чаще ложбины регистрируются в герцинской, ранне- и позднебайкальской системах разломов. В большинстве случаев ложбины выявлены над активными разломами субширотной и северо-восточной ориентировки.

По характеру соотношения между ложбинами и активными разломами в плане выделяются 13 групп:

- 1) линейные системы одиночных форм, в которых ложбины расположены поперек разлома;
- 2) ложбины, которые образуют линейные цепи и вытянуты вдоль разлома;
- 3) одиночные ложбины и линейные цепочки ложбин, вытянутые вдоль центральной части разломной зоны;
- 4) ложбины, вытянутые диагонально к направлению разлома;
- 5) ложбины, которые прослеживаются вдоль разломной зоны у противоположных краевых разломов;
- 6) линейная система ложбин и одиночные ложбины, вытянутые параллельно разлому на небольшом от него расстоянии;
- 7) ложбины, совпадающие с разломами и направлением движения ледника;
- 8) извилистые ложбины и системы ложбин, расположенные продольно разлому на разных крыльях;
- 9) ложбины и их системы в зоне сочленения основного и оперяющих разломов;
- 10) ложбины в зонах *T*-образного сочленения магистральных разломов;
- 11) ложбины в зонах крестообразного пересечения магистральных разломов;
- 12) ложбины, тяготеющие к узлам пересечения двух и более разломов;
- 13) соотношение между ложбинами и разломами, характеризующимися сетчатым рисунком.

В Беларуси доминируют пространственные соотношения между ложбинами и разломами первой, шестой, седьмой и двенадцатой из названных групп.

Главные типы соотношения между ледниковыми ложбинами и активными разломами, установленные в геологических разрезах четвертичных и коренных отложений, могут быть сведены к восьми формам. Это ложбины:

- 1) в грабенообразной структуре;
- 2) над приподнятым крылом разлома;
- 3) над разломом без смещения слоистости;
- 4) в замковой части отраженной антиклинальной складки;

- 5) на перегибе флексуры;
- 6) над горстообразной структурой;
- 7) в пределах разлома-сброса (разлома-взброса);
- 8) у разлома над опущенным крылом.

Приведенные примеры соотношения между ледниковыми ложбинами и активными разломами свидетельствуют о том, что разломы являются одним из основных факторов локализации ложбин и обусловленности важнейших особенностей их внешнего облика и характера геологического строения.

Библиографические ссылки

1. Матвеев АВ. *История формирования рельефа Белоруссии*. Минск: Наука и техника; 1990.
2. Левков ЭА. *Гляциотектоника*. Минск: Наука и техника; 1980.
3. Нечипоренко ЛА. *Условия залегания и тектоническая предопределенность антропогенного покрова Белоруссии*. Минск: Наука и техника; 1989.
4. Карабанов АК, Гаретский РГ, Айзберг РЕ. *Неотектоника и неогеодинамика запада Восточно-Европейской платформы*. Минск: Беларуская навука; 2009.
5. Комаровский МЕ. *Палеоложбины Белорусского Поозерья*. Минск: БГУ; 2009.
6. Гаретский РГ, Каратаев ГИ, Данкевич ИВ. Разломы консолидированной литосферы Беларуси по геофизическим данным. *Литасфера*. 2005;2(23):102–113.
7. Айзберг РЕ, Левков ЭА. Герцинские системы разломов Белоруссии. *Доклады Академии наук Белорусской Советской Социалистической Республики*. 1987;31(4):343–346.
8. Гаретский РГ, Каратаев ГИ. *Эколого-тектонифизическая среда Беларуси*. Минск: Беларуская навука; 2015.
9. Матвеев АВ. Активизация разрывных нарушений на территории Беларуси в четвертичное время. *Литасфера*. 2014;1(40):43–49.
10. Айзберг РЕ, Гаретский РГ, Карабанов АК. *Разломы земной коры Беларуси*. Минск: Красико-Принт; 2007.
11. Горелик ЗА. О происхождении долины р. Днепр и причинах ее резкого изгиба в районе г. Орши. *Вопросы географии Белоруссии*. 1960;1:26–30.
12. Комаровский МЕ. *Минская и Ошмянская возвышенности*. Минск: Институт геологических наук Академии наук Беларуси; 1995.

References

1. Matveev AV. *Istoriya formirovaniya rel'efa Belorussii* [History of Belarusian relief formation]. Minsk: Nauka i tekhnika; 1990. Russian.
2. Levkov EA. *Glaciotektonika* [Glaciotectonics]. Minsk: Nauka i tekhnika; 1980. Russian.
3. Netchiporenko LA. *Usloviya zaleganiya i tektonicheskaya predopredelennost' antropogenovogo pokrova Belorussii* [Position and tectonic predetermination of Anthropogene cover of Belarus]. Minsk: Nauka i tekhnika; 1989. Russian.
4. Karabanov AK, Garetskiy RG, Aizberg RE. *Neotektonika i neogeodinamika zapada Vostochno-Evropeiskoi platformy* [Neotectonics i neogeodynamics of west of the East European platform]. Minsk: Belaruskaya navuka; 2009. Russian.
5. Komarovskiy ME. *Paleolozhbiny Belorusskogo Poozer'ya* [Paleo-valleys in the Belarusian Poozerje area]. Minsk: Belarusian State University; 2009. Russian.
6. Garetskiy RG, Karataev GI, Dankevich IV. [Consolidated lithosphere faults of Belarus from geophysical data]. *Litasfera*. 2005;2(23):102–113. Russian.
7. Aizberg RE, Levkov EA. [The Hercynian faults systems of Belarus]. *Doklady of the National Academy of Sciences of Byelorussian Soviet Socialist Republic*. 1987;31(4):343–346. Russian.
8. Garetskiy RG, Karataev GI. *Ekologo-tektonofizicheskaya sreda Belarusi* [Ecological-tectonophysics environment of Belarus]. Minsk: Belaruskaya navuka; 2015. Russian.
9. Matveev AV. [Activation of fracture disturbances in territory of Belarus in Quaternary period]. *Litasfera*. 2014;1(40):43–49. Russian.
10. Aizberg RE, Garetskiy RG, Karabanov AK. *Razlomy zemnoi kory Belarusi* [Earthcrust faults of Belarus]. Minsk: Krasiko-Print; 2007. Russian.
11. Gorelik ZA. [About genesis of the Dnieper river valley and causes of its strong meander near Orsha town]. *Voprosy geografii Belorussii* [Questions of geography of Belarus]. 1960;1:26–30. Russian.
12. Komarovskiy ME. *Minskaya i Oshmyanskaya vozvyshemosti* [The Minsk and Oshmyany highlands]. Minsk: Institute of Geological Sciences of Academy of Sciences of Belarus; 1995. Russian.

Статья поступила в редколлегию 14.06.2018.
Received by editorial board 14.06.2018.

СОДЕРЖАНИЕ

ГЕОГРАФИЯ

<i>Галай Е. И., Коротыш Д. П.</i> Оценка агроресурсного потенциала и эффективности его использования (на примере сельскохозяйственных организаций Лунинецкого района).....	3
<i>Суховило Н. Ю., Власов Б. П., Новик А. А.</i> Динамические критерии оценки устойчивости озерных экосистем Белорусского Поозерья к внешнему воздействию.....	13
<i>Шлендер Т. В., Жучкевич В. В., Красовский А. Н.</i> Региональное влияние стратосферных процессов в формировании погоды и климата Республики Беларусь по данным мониторинга.....	25
<i>Яценюк Ю. В.</i> Парадинамическая антропогенная ландшафтная система экосети Могилев-Подольского района Винницкой области Украины.....	39
<i>Ольшевский А. В., Самсоненко И. П., Яцухно В. М.</i> Технология выявления, дешифрирования и картографирования деградированных земель на основе данных дистанционного зондирования Земли.....	50

ГЕОЛОГИЯ

<i>Лукашёв О. В., Жуковская Н. В., Лукашёва Н. Г., Ильюкова И. И., Савченко В. В.</i> Эколого-геохимическое изучение земель (почв) урбанизированных территорий Беларуси в целях дифференцированного нормирования содержания в них загрязняющих веществ. I. Мышьяк и ртуть.....	59
<i>Дубаневич М. А., Зуй В. И., Мартынова О. А.</i> Структура Геотермического атласа Беларуси.....	74
<i>Фрончек М., Калицкий Т., Ваврусевич А., Санько А. Ф.</i> Окружающая среда и стратиграфия археологической стоянки Липово в долине Бебжи (Польша).....	86
<i>Петрова Н. С., Денисова Н. Ю., Кирикович А. В.</i> Основные особенности строения и структурно-вещественная характеристика пород IV калийного горизонта Старобинского месторождения.....	97
<i>Комаровский М. Е., Хилькевич Е. В.</i> Соотношение между ледниковыми ложбинами и активными разломами на территории Беларуси.....	106

CONTENTS

GEOGRAPHY

<i>Halai E. I., Korotish D. P.</i> Evaluation of agresource potential and its effective use (in terms of agricultural organisations of Lunenetsk district)	3
<i>Sukhovilo N. Y., Vlasov B. P., Novik A. A.</i> Dynamic criteria for evaluation of the resistance of lake ecosystems of Belarusian Poozerie to external impact	13
<i>Shlender T. V., Zhuchkevich V. V., Krasouski A. N.</i> Regional influence of stratospheric processes in the formation of weather and climate of the Republic of Belarus employing monitoring data	25
<i>Yatsentyuk Yu. V.</i> The paradynamyc anthropogenic landscape system of the ecological network of Mohyliv-Podilskyi district of Vinnytsia region of Ukraine	39
<i>Alsheuski A. V., Samsonenka I. P., Yatsukhna V. M.</i> The technology of identification, interpretation and mapping of degraded lands based on remote sensing data	50

GEOLOGY

<i>Lukashev O. V., Zhukovskaya N. V., Lukasheva N. G., Ilyukova I. I., Savchenko V. V.</i> Ecological and geochemical study of land (soils) within urbanized areas of Belarus for the differentiated norming of pollutant content. I. Arsenic and mercury	59
<i>Dubanevich M. A., Zui V. I., Martynova O. A.</i> Structure of the Geothermal Atlas of Belarus	74
<i>Frączek M., Kalicki T., Wawrusiewicz A., Sanko A. F.</i> Environment and stratigraphy of the archaeological site Lipovo in the Biebrza valley (Poland)	86
<i>Petrova N. S., Denisova N. Yu., Kirykovich A. V.</i> Main geological features and lithotectonic description of rocks of the potassium horizon IV within the Starobin deposit	97
<i>Komarovskiy M. E., Khilkevich E. V.</i> Correlation between glacial valleys and active faults in Belarus	106

Журнал включен Высшей аттестационной комиссией Республики Беларусь в Перечень научных изданий для опубликования результатов диссертационных исследований по географическим и геолого-минералогическим наукам.

Журнал включен в библиографическую базу данных научных публикаций «Российский индекс научного цитирования» (РИИЦ).

**Журнал Белорусского
государственного университета. География. Геология.
№ 2. 2018**

Учредитель:
Белорусский государственный университет

Юридический адрес: пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск.

Почтовый адрес: пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск.

Тел. 259-70-74, 259-70-75.

E-mail: jgeo@bsu.by

«Журнал Белорусского государственного
университета. География. Геология»
издается с января 1969 г.
До 2017 г. выходил под названием «Вестник БГУ.
Серия 2, Химия. Биология. География»
(ISSN 2308-9164).

Редактор *Т. Р. Джум*
Технический редактор *В. В. Кильдишева*
Корректор *Л. А. Меркуль*

Подписано в печать 30.11.2018.

Тираж 100 экз. Заказ 387.

Республиканское унитарное предприятие
«Информационно-вычислительный центр
Министерства финансов Республики Беларусь».
ЛП № 02330/89 от 03.03.2014.
Ул. Кальварийская, 17, 220004, г. Минск.

© БГУ, 2018

**Journal
of the Belarusian State University. Geography and Geology.
No. 2. 2018**

Founder:
Belarusian State University

Registered address: 4 Niezaliežnasci Ave.,
Minsk 220030.

Correspondence address: 4 Niezaliežnasci Ave.,
Minsk 220030.

Tel. 259-70-74, 259-70-75.

E-mail: jgeo@bsu.by

«Journal of the Belarusian State University.
Geography and Geology»
published since January, 1969.
Until 2017 named «Vestnik BGU.
Seriya 2, Khimiya. Biologiya. Geografiya»
(ISSN 2308-9164).

Editor *T. R. Dzhum*
Technical editor *V. V. Kil'disheva*
Proofreader *L. A. Merkul'*

Signed print 30.11.2018.

Edition 100 copies. Order number 387.

Republican Unitary Enterprise
«Informatsionno-vychislitel'nyi tsentr
Ministerstva finansov Respubliki Belarus'».
License for publishing No. 02330/89, 3 March, 2014.
17 Kal'varyjskaja Str., Minsk 220004.

© BSU, 2018