



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

---

# 1

# 2017

---

МИНСК  
БГУ

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

**Главный редактор**      **ИВАНОВ Д. Л.** – доктор географических наук, доцент, декан географического факультета Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь.  
E-mail: geoivanov@mail.ru

**Ответственный секретарь**      **АНТИПОВА Е. А.** – доктор географических наук, профессор; заведующий кафедрой экономической географии зарубежных стран географического факультета Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь.  
E-mail: antipova@bsu.by

*Балтрунас В.*      Центр изучения природы, Вильнюс, Литва.  
*Витченко А. Н.*      Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь.  
*Донерт К.*      Европейский центр качества, Европейская ассоциация географов, Зальцбург, Германия.  
*Калицкий Т.*      Институт географии в Кельцком университете им. Я. Кохановского, Кельце, Польша.  
*Карabanов А. К.*      Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь.  
*Катровский А. П.*      Смоленский гуманитарный университет, Смоленск, Россия.  
*Маркс Л.*      Варшавский университет, Варшава, Польша.  
*Пирожник И. И.*      Поморский университет, Слупск, Польша.  
*Родионова И. А.*      Российский университет дружбы народов, Москва, Россия.  
*Руденко Л. Г.*      Институт географии Национальной академии наук Украины, Киев, Украина.  
*Санько А. Ф.*      Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь.

## EDITORIAL BOARD

**Editor-in-chief**      **IVANOV D. L.**, doctor of science (geography), docent; dean of the faculty of geography of the Belarusian State University, Minsk, Belarus.  
E-mail: geoivanov@mail.ru

**Executive secretary**      **ANTIPOVA E. A.**, doctor of science (geography), full professor; head of the department of economic geography of foreign countries of the faculty of geography of the Belarusian State University, Minsk, Belarus.  
E-mail: antipova@bsu.by

*Baltrūnas V.*      Nature Research Centre, Vilnius, Lithuania.  
*Vitchenko A. N.*      Belarusian State University, Minsk, Belarus.  
*Donert K.*      European Centre of Excellence, EUROGEO, Salzburg, Germany.  
*Kalitskii T.*      Institute of Geography of the Jan Kochanowski University in Kielce, Kielce, Poland.  
*Karabanov A. K.*      Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus.  
*Katrovskii A. P.*      Smolensk University of Humanities, Smolensk, Russia.  
*Marks L.*      University of Warsaw, Warsaw, Poland.  
*Pirozhnik I. I.*      Akademia Pomorska, Slupsk, Poland.  
*Rodionova I. A.*      Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia.  
*Rudenko L. G.*      Institute of Geography of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine.  
*Sanko A. F.*      Belarusian State University, Minsk, Belarus.

УДК 911.53:528.88(043.3)

## ПРИРОДНО-АНТРОПОГЕННЫЕ ЛАНДШАФТЫ БЕЛОРУССКОЙ ВОЗВЫШЕННОЙ ПРОВИНЦИИ: КЛАССИФИКАЦИЯ, ПРОСТРАНСТВЕННАЯ СТРУКТУРА, РАЙОНИРОВАНИЕ

А. С. СКАЧКОВА<sup>1)</sup>, Д. М. КУРЛОВИЧ<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Республика Беларусь

Представлен анализ пространственной структуры и динамики природно-антропогенных ландшафтов Белорусской возвышенной провинции с учетом данных дистанционного зондирования Земли. Методика исследования базируется на использовании серий карт видов земель за период с 1975 по 2014 г. – результатов тематического дешифрирования снимков спутников серии Landsat. Такой подход позволил проследить изменения в структуре природно-антропогенных ландшафтов за 40-летний период и выявить закономерности их динамики. Настоящее наблюдение положено в основу выделения нового природно-антропогенного комплекса – подвида ландшафтов – дополнительно к тем, которые описаны ранее другими исследователями (тип и вид ландшафтов). Подвид природно-антропогенных ландшафтов определялся по числу смен их видов за период наблюдений. Установлено, что структура подвидов обусловлена антропогенными факторами, приводящими к изменению режима использования земель. С помощью карт видов земель удалось оценить степень антропогенной преобразованности, что сделало возможным прикладное районирование территории, отражающее внутривидовые различия в структуре природно-антропогенных ландшафтов. Результаты регионального анализа являются базисом для разработки рекомендаций по оптимизации природопользования в пределах объекта исследований.

**Ключевые слова:** природно-антропогенный ландшафт; структура и динамика земель; данные дистанционного зондирования Земли; антропогенная преобразованность ландшафта; районирование.

---

### Образец цитирования:

Скачкова А. С., Курлович Д. М. Природно-антропогенные ландшафты Белорусской возвышенной провинции: классификация, пространственная структура, районирование // Журн. Белорус. гос. ун-та. География. Геология. 2017. № 1. С. 3–13.

### For citation:

Skachkova A. S., Kurlovich D. M. Natural-anthropogenic landscapes of Belarusian elevated province: classification, spatial structure, zoning. *J. Belarus. State Univ. Geogr. Geol.* 2017. No. 1. P. 3–13 (in Russ.).

---

### Авторы:

**Александра Сергеевна Скачкова** – аспирантка кафедры почвоведения и земельных информационных систем географического факультета. Научный руководитель – Д. М. Курлович.

**Дмитрий Мирославович Курлович** – кандидат географических наук, доцент, доцент кафедры почвоведения и земельных информационных систем географического факультета.

### Authors:

**Aliaksandra Skachkova**, postgraduate student at the department of soil science and land information systems, faculty of geography.

*skachkovaas@gmail.com*

**Dzmitry Kurlovich**, PhD (geography), docent, associate professor at the department of soil science and land information systems, faculty of geography.

*kurlovich@bsu.by*

## NATURAL-ANTHROPOGENIC LANDSCAPES OF BELARUSIAN ELEVATED PROVINCE: CLASSIFICATION, SPATIAL STRUCTURE, ZONING

A. S. SKACHKOVA<sup>a</sup>, D. M. KURLOVICH<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Belarusian State University, Nezavisimosti avenue, 4, 220030, Minsk, Republic of Belarus

Corresponding author: skachkovaas@gmail.com

In the paper the structure and dynamics of natural-anthropogenic landscapes (NAL) of Belarusian elevated province are analyzed using remote sensing data. NAL structure analysis was based on the series of land cover maps for the period from 1975 to 2014 – results of Landsat satellite images processing. This approach made it possible to observe the changes in NAL structure throughout 40-year period and distinguish some patterns in its dynamics. Therefore, new NAL classification level of subspecies was suggested, in addition to previously known levels of types and species. The NAL subspecies is determined by the number of NAL species changes through the period of observation. The observed structure of NAL subspecies led to conclusion, that it was mostly related to human activities in land use management. Assessment of anthropogenic transformation levels using land cover maps was a basis for the division of the territory into regions to show differences in NAL structure within the province. The resulting regional characteristics could be used to suggest different land use approaches for every region.

**Key words:** natural-anthropogenic landscape; land cover structure and dynamics; remote sensing data; anthropogenic transformations of natural landscape; zoning.

### Введение

В условиях роста населения, изменения климата и трансформации природной среды ценность земли как ресурса постоянно повышается. Необходимость ее охраны и рационального использования обусловлена тем, что земля – это национальное богатство страны. Важным инструментом организации рационального землепользования является мониторинг состояния и изменений, происходящих в этой сфере. Дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) выступает наиболее эффективным методом мониторинга, обеспечивающим высокую частоту наблюдений, крупномасштабность, обзорность и объективность получаемых материалов. На современном этапе возможность задействования спутниковых наблюдений в управлении земельными ресурсами связана с увеличением количества спутниковых систем, в том числе открытых, развитием методов их автоматической обработки и интерпретации. Большое значение приобретают методы поиска изменений и ретроспективный анализ космоснимков. Они позволяют не только проследить за изменениями в землепользовании, но и выделить закономерности пространственной структуры и динамики земель.

Настоящая работа посвящена анализу структуры и характеру динамики природно-антропогенных ландшафтов (ПАЛ) Белорусской возвышенной провинции холмисто-моренно-эрозионных и вторично-моренных ландшафтов на основе многолетних наблюдений с помощью спутников серии Landsat. Природно-антропогенные ландшафты представляют собой комплексы, появившиеся в результате целенаправленного использования ресурсов природного ландшафта в определенных видах хозяйственной деятельности [1]. Главным диагностическим признаком при классификации ПАЛ выступает соотношение видов земель, сформировавшееся в силу природных предпосылок и характера антропогенного влияния на ландшафт.

### Исходные данные

Материалом для анализа послужили растровые слои видов земель, полученные по результатам обработки данных дистанционного зондирования (ДДЗ) со съемочных систем миссии Landsat. Первый спутник этой серии был запущен в 1972 г., позже еще шесть аппаратов позволили продлить ряд наблюдений до 40 лет. Настоящее исследование охватывает период с 1975 по 2014 г. Для полного покрытия территории снимками он был разбит на семь интервалов, в рамках которых осуществлялись дешифрирование и анализ. Предметом дешифрирования являлись виды земель, объединенные в группы для удобства их автоматизированного распознавания: пахотные, луговые, лесные и под древесно-кустарниковой растительностью (ДКР), а также под болотами, водными объектами, застройкой и земли общего пользования. При работе с ДДЗ был применен подход последовательного дешифрирования целевых классов от наиболее простых для выделения к сложным с маскированием уже распознанных на предыдущем шаге. На последнем этапе обработки отдельные слои, соответствующие видам земель, сводились в единый растровый слой, соответствующий по пространственному разрешению исходным снимкам (60 и 30 м). Оценка точности показала достоверность результатов до 85 %. Дополнительно при анализе использовался слой границ особо охраняемых природных территорий (ООПТ) из реестра ООПТ [2].



## Методика исследования

Каждому исторически установившемуся виду природопользования в регионе соответствует территориальное и функциональное сочетание целей, видов и способов преобразующего воздействия на природный ландшафт. Кроме того, для каждого вида природопользования характерен свой набор антропогенных воздействий. Способы и приемы воздействий, их проявление, глубина и площадь распространения зависят от сочетания двух определяющих факторов: интенсивности вида природопользования и свойств ландшафта. Функциональный тип ПАЛ выступает в качестве основной классификационной единицы современных ландшафтов, подверженных производственным нагрузкам, приводящим к заметным преобразованиям [3]. Результатом хозяйственной деятельности человека внутри ландшафта является изменение структуры земель, что находит свое отражение в функциональном виде ПАЛ.

В рамках подготовительного этапа анализа было важно определить классификационный уровень природных ландшафтов, на котором структура земель может служить признаком для классификации. С этой целью была изучена современная структура видов земель, полученная по результатам дешифрирования ДДЗ (карта видов земель за 2010–2014 гг.), в пределах контуров природных ландшафтов различных классификационных уровней [4]. Сделан вывод о том, что максимальная различимость контуров по признаку соотношения видов земель наблюдается на уровне подродов ландшафтов в пределах родов. Таким образом, фактор, ставший основанием для выделения подродов ландшафтов, – литология поверхностных отложений [1] – описывает и характер хозяйственной деятельности человека в границах ландшафта.

В исследовании использована классификация ПАЛ Беларуси, созданная Г. И. Марцинкевич и И. И. Счастной [1; 3] и адаптированная для работы с результатами дешифрирования данных ДДЗ. Границы различных классификационных единиц ПАЛ проводились по контурам подродов природных ландшафтов.

Типы ПАЛ обособлялись по направлению деятельности в определенной отрасли народного хозяйства [1]. Для территории Белорусской возвышенной провинции холмисто-моренно-эрозионных и вторично-моренных ландшафтов характерны сложное сочетание и мозаичность различных видов использования в границах небольших площадей, что обуславливает абсолютное преобладание смешанных (сельскохозяйственно-лесных) типов ПАЛ. На возвышенностях Центрально-Белорусской гряды значительные пространства заняты возделываемыми землями – это позволяет выделить сельскохозяйственный тип ПАЛ. Крупные лесные и лесоболотные массивы сохранились главным образом в пределах ООПТ, поэтому на территории провинции не выделялись лесные типы ПАЛ, а площади с большой долей средостабилизирующих видов земель, соответствующие ООПТ, были отнесены к охраняемому типу.

Структура видов земель внутри каждого типа ПАЛ существенно различается в зависимости от местоположения того или иного контура и его природно-ландшафтных особенностей. Поэтому количественное соотношение видов земель послужило основой для выделения видов ПАЛ [1]. Внутри каждого контура подрода ландшафтов были выполнены расчеты долей видов земель по растровым слоям, определенным по результатам дешифрирования, для конкретных временных интервалов с 1975 по 2014 г. Всего выделено восемь видов ПАЛ.

Анализ структуры типов и видов ПАЛ в каждом временном разрезе показал наличие динамических процессов: изменение структуры земель между двумя периодами наблюдений, которое приводит к смене вида ПАЛ. Это позволило вычленить дополнительный классификационный уровень – подвид ПАЛ, который определяется по числу и характеру смен видов ПАЛ за весь период наблюдения. Были выделены следующие подвиды ландшафтов:

- стабильный (с одной сменой или без нее);
- относительно стабильный (с двумя – четырьмя сменами между близкими видами);
- динамичный (с четырьмя сменами между сильно различающимися видами или пятью и более сменами между близкими видами).

## Пространственная структура ПАЛ

Всего по направлению хозяйственной деятельности было выделено три типа ПАЛ:

- 1) охраняемый;
- 2) сельскохозяйственно-лесной;
- 3) сельскохозяйственный.

По занимаемой площади в структуре ПАЛ объекта исследований преобладает сельскохозяйственно-лесной тип ландшафтов (73 %) (рис. 1 и 2). Этот тип отличается сложной структурой, в которой лесные земли занимают значительные площади, часто превалируя над сельскохозяйственными. За ним следует

сельскохозяйственный тип ПАЛ (20 %), распространенный на Минской, Новогрудской, Гродненской и Ошмянской возвышенностях, с абсолютным перевесом сельскохозяйственных земель (до 70 %). Охраняемый тип ПАЛ, занимающий всего 7 %, выделен на основании высокой удельной доли охраняемых земель и связанного с этим превалирования средостабилизирующих видов земель: лесных и под ДКР, а также земель под болотами. Каждый тип ПАЛ представлен целым спектром видов и подвидов (см. рис. 2).

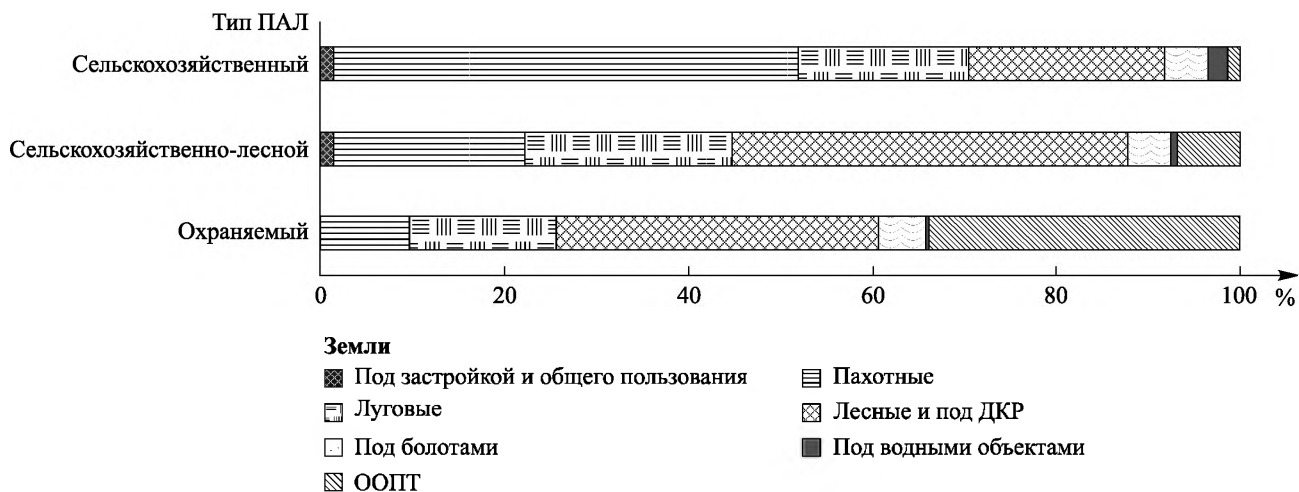


Рис. 1. Структура земель в пределах типов ПАЛ

Fig. 1. Land cover structure of types of natural-anthropogenic landscapes

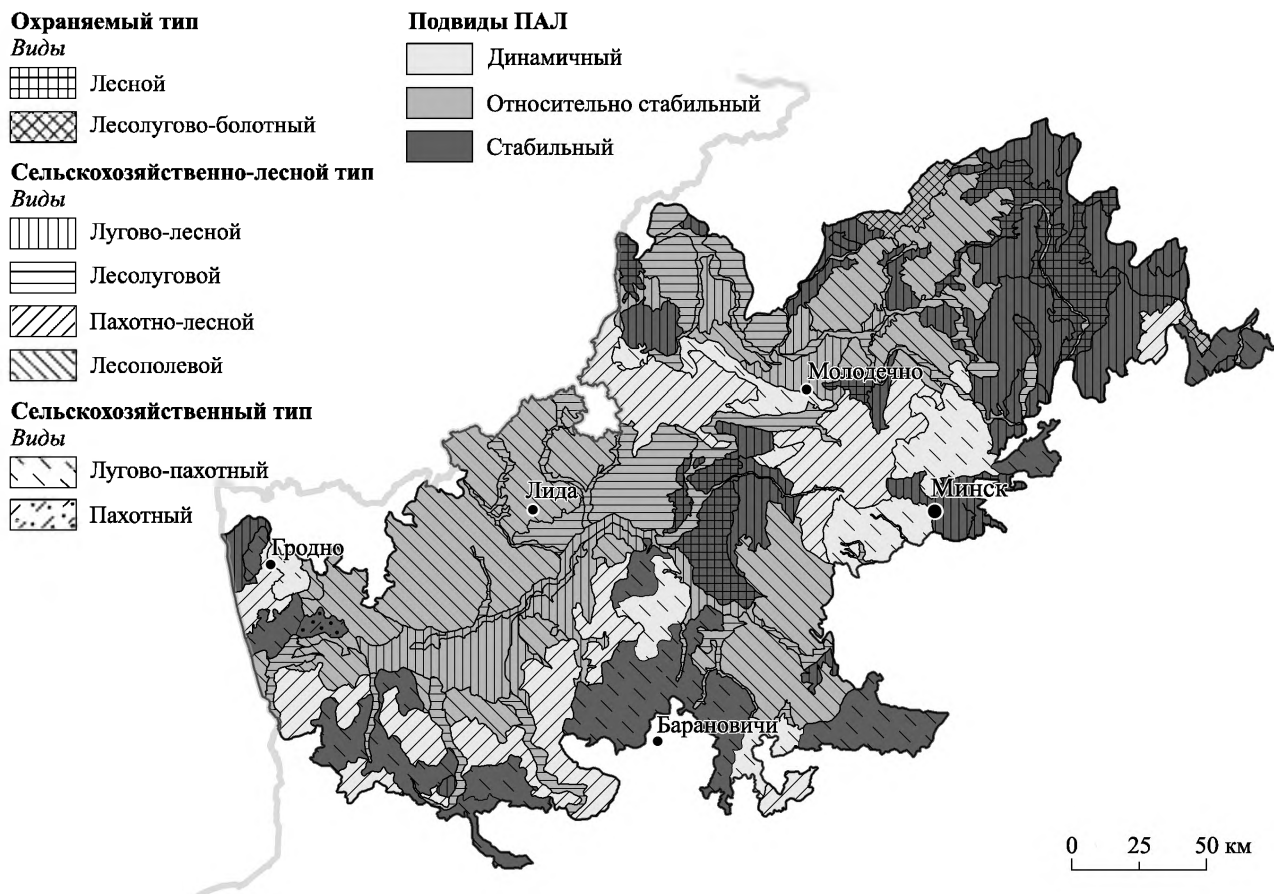


Рис. 2. Пространственная структура ПАЛ

Fig. 2. Spatial structure of natural-anthropogenic landscapes

Распространение контуров, входящих в **охраняемый** тип ПАЛ, обусловлено местоположением заповедных территорий. В пределах данного типа оформились два вида ПАЛ со значительно различающейся структурой земель:

- лесной;
- лесолугово-болотный.

На *лесной* вид приходится 86 % охраняемого типа ПАЛ, он практически полностью представлен болотными ландшафтами с поверхностным залеганием торфа и песков. Доля охраняемых земель в пределах указанного подрода природных ландшафтов составляет 51 %; к нему приурочено несколько крупных ООПТ: биосферный заповедник республиканского значения «Березинский», ландшафтный заказник республиканского значения «Налибокская пушча» и биологический заказник местного значения «Пограничный». Охраняемые лесные ПАЛ принадлежат к подвиду *стабильных*. Они не обнаруживают динамики за весь период наблюдений, доля лесных земель по результатам дешифрирования не опускалась ниже 50 % площади этого вида, для отдельных контуров подвидов – ниже 70 %. Это указывает на очевидную природоохранную функцию данного вида, когда при отсутствии антропогенных факторов динамики ландшафт находится в равновесном состоянии.

*Лесолугово-болотный* вид отличается высокой (более 20 %) долей земель под болотами, практически равными долями лесных и луговых земель, малыми площадями пашни. Этот вид ПАЛ приурочен к нерасчлененным комплексам с преобладанием болот с поверхностным залеганием торфа. Гидрологический заказник республиканского значения «Сервечь» занимает 38 % территории вида, который характеризуется более выраженной по сравнению с охраняемым лесным видом динамикой. Так, в начале периода наблюдения (1975–1978) здесь существовала уникальная структура земель с равными долями пахотных земель и земель под болотами (по 25 %). Однако в 1985–1989 гг. ситуация изменилась: площади пашни сократились до 14 %, доли луговых и лесных земель возросли. За период с 1985 по 1995 г. наблюдались смены от лесолугово-болотных земель к лугово-лесным и лугово-болотным. Это может быть обусловлено иным режимом использования земель и уменьшением сельскохозяйственной нагрузки на территорию. Далее, по результатам дешифрирования ситуация стала постепенно стабилизироваться и начиная с 1997 г., когда был образован заказник «Сервечь», структура земель остается неизменной, с высокой долей болот и лугов. Подвид ПАЛ определен как *относительно стабильный*.

**Сельскохозяйственно-лесной** тип ПАЛ, доминирующий на территории провинции, отличается большим разнообразием природных ландшафтов и сочетаний хозяйственной деятельности. Здесь выделены четыре вида ПАЛ:

- лугово-лесной;
- лесолуговой;
- пахотно-лесной;
- лесополевой.

*Лугово-лесной* вид (22 % территории провинции и 31 % всего типа) характеризуется наибольшей в данном типе долей лесных земель и земель под ДКР (в среднем – около 60 %). Однако в отличие от лесного этот вид ландшафта обладает значительными площадями сельскохозяйственных земель (до 40 %). Кроме того, присутствуют земли под застройкой (восточная часть г. Минска и его пригороды). Структура природных ландшафтов в этом виде разнообразна, наибольшие территории приходятся на вторичные водно-ледниковые, камово-моренно-эрозионные, аллювиальные террасированные и пойменные ландшафты. Можно отметить тенденцию к формированию лугово-лесных ПАЛ на легких породах: водно-ледниковых песках и супесях, а также аллювиальных песках.

Большая часть контуров данного вида ПАЛ отнесены к *стабильному* подвиду, для которого характерно отсутствие динамики по результатам дешифрирования. Это распространенные на севере провинции камово-моренно-эрозионные и повсеместно встречающиеся вторичные водно-ледниковые ландшафты. Они образуют естественные буферные зоны вокруг лесных охраняемых ПАЛ. Для некоторых контуров данного вида ландшафтов доля ООПТ достигает 20 %. Поэтому можно предположить те же причины отсутствия выраженной динамики, что и в случае охраняемых видов ПАЛ.

Лугово-лесные *относительно стабильные* ПАЛ получили наибольшее распространение на Неманской низине и ограниченное – на отрогах Минской и Ошмянской возвышенностей. В то время как для аллювиальных ландшафтов Неманской низины характерны смены между лугово-лесными и пахотно-лесными ПАЛ (общая площадь пашни не превышает 30 %), пойменным ландшафтам Немана свойственны смены между лесолуговыми и лугово-лесными ландшафтами. Такие различия в условиях одинаковых поверхностных отложений – аллювиальных песков – иллюстрируют характер использования земель в разных режимах увлажнения и рельефа.



*Лесолуговой* вид занимает 10 % территории провинции, приурочен к долинам средних и крупных рек, встречается на Лидской и Нарочано-Вилейской равнинах. Доминируют нерасчлененные комплексы с преобладанием болот на аллювиальных песках, а также моренно-зандровые ландшафты с покровом водно-ледниковых супесей. Такой характер распространения обусловил структуру земель ПАЛ со значительной долей луговых земель, земель под болотами и водными объектами. Анализ динамики позволяет выделить один подвида ПАЛ – *относительно стабильный*. У всех ландшафтов вида наблюдается схожая тенденция изменения структуры: площадь сельскохозяйственных земель, максимальная в 1975–1978 гг., уменьшается до минимума в 1985–1994 гг.; второй максимум приходится на 1995–2004 гг. Однако аллювиальные ландшафты отличаются меньшими долями пашни по отношению к другим ПАЛ этого вида, что можно объяснить сложными условиями возделывания земель, учитывая рельеф и режим увлажнения.

*Пахотно-лесной* вид распространен на 15 % территории провинции. Приурочен к склонам Гродненской, Минской и Ошмянской возвышенностей и представлен холмисто-моренно-эрозионными ландшафтами с прерывистым покровом водно-ледниковых супесей. Имеет сложную структуру земель, в которой незначительно преобладают лесные земли и земли под ДКР, за ними следует пашня, луга распространены ограниченно. Данный вид ПАЛ отнесен к подвиду *динамичных*. На протяжении рассматриваемого временного интервала вид менялся с лесополевого (1975–1978) на пахотно-лесной (1985–1999), далее последовал переход от лесополевого (2000–2004) к пахотно-лесному (2005–2014). Ландшафты оставались в пределах сельскохозяйственно-лесного типа, однако интенсивность их хозяйственного использования сильно колебалась: доля пашни упала с 45 % (1975) до 30 % (2014), доля лесов выросла с 24 до 38 %.

*Лесополевые* ПАЛ являются одними из самых распространенных в пределах провинции и занимают 26 % ее территории. При этом они представлены всего одним родом и подродом вторично-моренных ландшафтов с покровом водно-ледниковых супесей. Современная структура земель с преобладанием пашни над лесными и луговыми землями, малой долей земель под болотами сохраняется практически весь период наблюдения, кроме двух интервалов: 1995–1999 и 2005–2009 гг., когда ландшафты были отнесены к лугово-пахотному виду. Такая динамика позволяет охарактеризовать лесополевые ПАЛ как *относительно стабильные*.

**Сельскохозяйственный** тип ПАЛ – второй по распространенности в пределах провинции. Представлен двумя видами:

- лугово-пахотный (98 % типа);
- пахотный (ограниченный одним контуром).

*Лугово-пахотный* вид получил значительное распространение в пределах провинции (20 %); им заняты основные сельскохозяйственные регионы Центрально-Белорусской гряды. Для этого вида характерно преобладание пахотных земель над луговыми, а также незначительная доля лесных земель и земель под болотами. К лугово-пахотному виду ПАЛ относятся холмисто-моренно-эрозионные ландшафты с покровом водно-ледниковых и лессовидных суглинков, а также вторично-моренные с покровом водно-ледниковых суглинков. Выделены два подвида: динамичные и стабильные.

Лугово-пахотные *динамичные* ПАЛ соответствуют холмисто-моренно-эрозионным ландшафтам с покровом лессовидных суглинков. В первый временной интервал (1975–1978) наблюдался явный сельскохозяйственный характер использования земель с удельной долей пашни более 50 %, лугов – 20 %, лесов и болот в сумме – менее 20 %. Уже через 10 лет доля пашни снизилась на 15 %, луговых и лесных земель – увеличилась до 27 и 30 % соответственно. На протяжении 1990–1994 гг. ПАЛ классифицировались как сенокосно-пастбищные с абсолютным преобладанием лугов. В дальнейшем можно наблюдать постепенную стабилизацию структуры земель от лесополесных к лугово-пахотным видам ПАЛ. Такая резкая смена указывает на антропогенные причины динамики, связанные со спадами в экономике. Подобные тенденции исследователи отмечают и в смежных странах [5; 6].

Холмисто-моренно-эрозионные и вторично-моренные ландшафты на водно-ледниковых суглинках соответствуют *стабильному* подвиду лугово-пахотных ПАЛ. На протяжении всего рассматриваемого временного интервала соотношение площадей различных видов земель изменилось не более чем на 10 %.

Таким образом, значительные различия в динамике земель в пределах лугово-пахотных ПАЛ указывают на предпочтительное использование для возделывания сельскохозяйственных культур почв, развивающихся на водно-ледниковых суглинках. Почвы, формирующиеся на лессовидных породах, требуют более сложных приемов их обработки, о чем свидетельствует часто встречающаяся смена в характере их использования.

*Пахотный* вид представлен одним контуром – озерно-ледниковыми ландшафтами с поверхностным залеганием озерно-ледниковых суглинков и глин, которые приурочены к долине р. Свислочи,

между Гродненской и Волковысской возвышенностями. За период наблюдения площадь пашни здесь не составляла менее 40 % территории вида, ее максимальное значение – 67,8 %, что обусловило отнесение контура к подвиду *стабильных*. Доля лесных земель экстремально низкая – 10 %, луговых – до 20 %, под болотами – до 5 %.

### Районирование ПАЛ по степени антропогенной преобразованности

Для оценки степени антропогенной преобразованности ПАЛ, которая учитывает сложившиеся направления, интенсивность и масштабность антропогенной трансформации, выполнен расчет коэффициента антропогенной преобразованности  $K_{АП}$  по формуле П. Г. Шищенко [7], адаптированной для Белорусской возвышенной ландшафтной провинции:

$$K_{АП} = \sum_{i=1}^n (r_i \rho_i P_i),$$

где  $r_i$  – ранг антропогенной преобразованности;  $\rho_i$  – индекс глубины антропогенной преобразованности;  $P_i$  – доля площади класса.

Ранги и индексы антропогенной преобразованности в исходной формуле были изменены применительно к перечню видов земель в пределах объекта исследований: ООПТ – 1/1; лесные и под ДКР – 2/1,07; под болотами – 3/1,14; под водными объектами – 4/1,21; луговые – 5/1,28; пахотные – 6/1,35; под застройкой и общего пользования – 7/1,42. Границы ООПТ республиканского и местного значения были взяты из реестра ООПТ [2]. Таким образом, потенциальный разброс итоговых значений может составлять от 1 (для полностью охраняемых ландшафтов) до 10 (для полностью застроенных).

По результатам расчетов значения  $K_{АП}$  в пределах ландшафтной провинции варьируются от 1,2 до 7,3. Анализ показателей позволил выделить пять классов ПАЛ: непреобразованные (менее 3); слабо преобразованные (3,0–4,5); среднепреобразованные (4,5–5,5); сильно преобразованные (5,5–6,5) и полностью преобразованные (более 6,5) (рис. 3). Треть территории провинции (33,6 %) приходится на сильно преобразованные ПАЛ; слабо и среднепреобразованные занимают 23,6 и 28,6 % соответственно; наименее распространены экстремальные классы – полностью преобразованные (7,4 %) и непреобразованные (6,8 %).

Непреобразованными являются ПАЛ, относящиеся к охраняемому типу, и лугово-лесные ландшафты сельскохозяйственно-лесного типа. К этому классу примыкают слабо и среднепреобразованные, представленные лугово-лесными и лесолуговыми видами сельскохозяйственно-лесного типа ПАЛ.

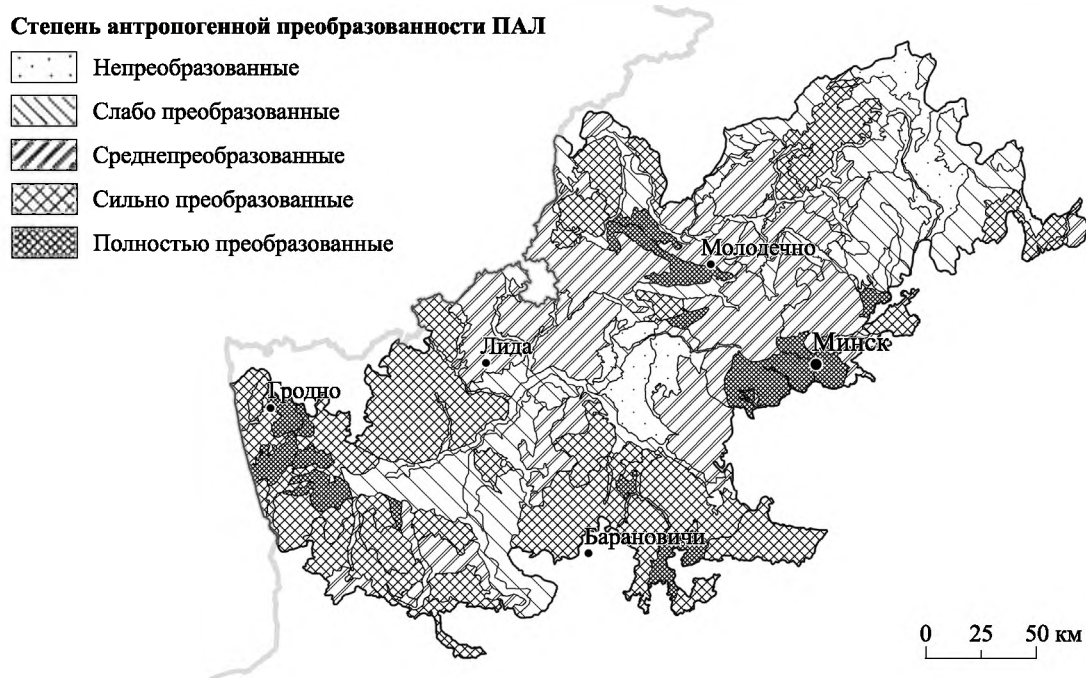


Рис. 3. Классы антропогенной преобразованности ПАЛ  
Fig. 3. Anthropogenic class levels of natural-anthropogenic landscapes

Сильной степенью антропогенной трансформации характеризуются ландшафты со значительной долей пашни – пахотно-лесные и лесопольевые виды сельскохозяйственно-лесного типа, а также лугово-пахотный вид сельскохозяйственного типа ПАЛ. Высокие значения  $K_{АП}$  характерны и для значительно застроенных территорий.

По результатам оценки на территории провинции было выделено семь районов с различной степенью антропогенной преобразованности ПАЛ (рис. 4). При районировании основным критерием служило значение  $K_{АП}$ , допускалось объединение в один район видов, имеющих разную степень преобразованности при условии доминирования одной из них.

- 1 – Новогрудско-Несвижский район сильно преобразованных ландшафтов
- 2 – Гродненско-Волковысский район сильно преобразованных ландшафтов
- 3 – Минско-Молодечненский район полностью и среднепреобразованных ландшафтов
- 4 – Лидский район сильно и среднепреобразованных ландшафтов
- 5 – Вилейский район слабо и среднепреобразованных ландшафтов
- 6 – Березинский район слабо преобразованных ландшафтов
- 7 – Неманский район слабо преобразованных ландшафтов

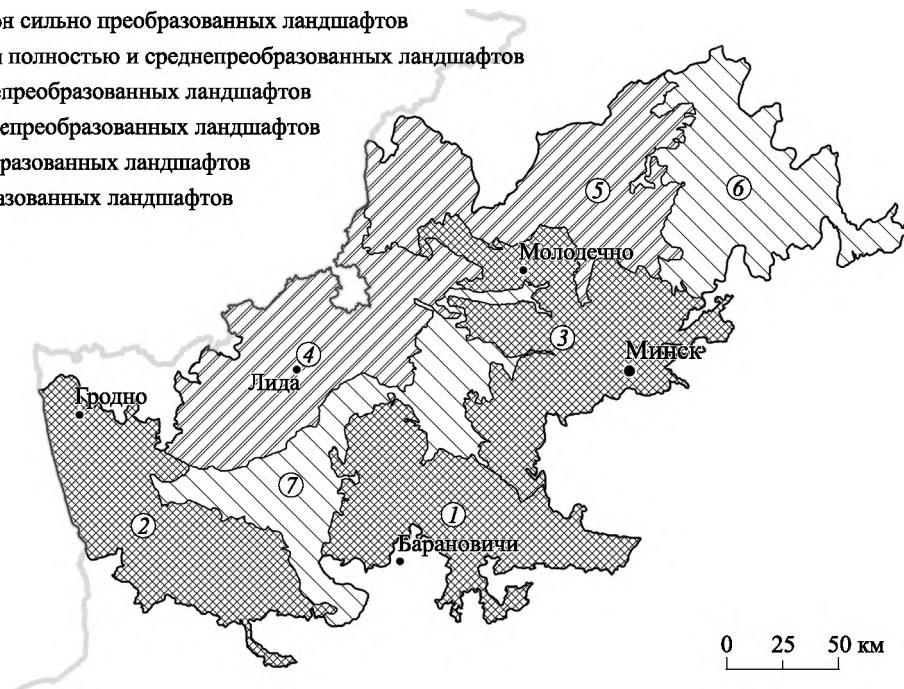


Рис. 4. Районирование ПАЛ по степени антропогенной преобразованности  
Fig. 4. Zoning of the territory based on anthropogenic transformation levels

**Новогрудско-Несвижский район сильно преобразованных ландшафтов** занимает 13 % территории провинции и приурочен к Копыльской гряде, Новогрудской возвышенности и Столбцовой равнине. Показатель  $K_{АП}$  по району достигает максимального для провинции значения – 6, что объясняется высокой хозяйственной освоенностью территории (48 % приходится на пахотные земли, 21 % – на луговые; доля лесных земель – 26 % – ниже среднереспубликанского показателя лесистости) и, как следствие, доминированием сильно преобразованных ПАЛ (80 % района). Свыше 75 % территории приходится на холмисто-моренно-эрозионные ландшафты, среди которых наиболее распространены подроды с покровом водно-ледниковых суглинков, ограниченно – с покровом лессовидных суглинков. Такие природные особенности района определили структуру ПАЛ: 65 % территории приходится на сельскохозяйственные типы. Из них существенно распространены лугово-пахотные стабильные – 51 % (на водно-ледниковых суглинках) и лугово-пахотные динамичные – 14 % (на лессовидных суглинках). Лесопольевые относительно стабильные и пахотно-лесные динамичные подвиды сельскохозяйственно-лесного типа ПАЛ занимают подчиненное положение, охватывая около 30 % территории.

**Гродненско-Волковысский район сильно преобразованных ландшафтов** имеет схожие с предыдущим районом черты: занимает 14 % территории, приурочен к крайним ледниковым возвышенностям сожского возраста (Гродненская, Волковысская, Слонимская), характеризуется близким значением  $K_{АП}$  (5,9) и аналогичной структурой земель. Однако особенности природных и природно-антропогенных ландшафтов значительно различаются. Район имеет специфическую для провинции структуру ландшафтов: доминируют холмисто-моренно-эрозионные и вторично-моренные комплексы с покровом водно-ледниковых супесей и суглинков (более 77 % территории района), на сельскохозяйственно-лесные ПАЛ приходится 64 % территории, на сельскохозяйственные – 36 %. Преобладают лугово-пахотные стабильные (33 %),



пахотно-лесные динамичные (31 %) и лесополевые относительно стабильные (22,5 %) ландшафты. Сельскохозяйственные лугово-пахотные и сельскохозяйственно-лесные пахотно-лесные ПАЛ образуют закономерные пространственные сочетания: на участках с сильными перепадами высот и уклонами получили распространение пахотно-лесные ПАЛ, в то время как более равнинные участки заняты сельскохозяйственными лугово-пахотными ландшафтами.

**Минско-Молодечненский район полностью и среднепреобразованных ландшафтов** – самый крупный по площади, на него приходится 16 % территории. Он охватывает большую часть Минской и Ошмянской возвышенностей. В силу значительной распаханности земель, а также присутствия здесь крупного города – Минска – район характеризуется соседством полностью (26 %), сильно (7 %) и среднепреобразованных (67 %) ландшафтов. Особенностью данного района является существенная доля холмисто-моренно-эрозионных ландшафтов на лессовидных породах (30 %), которые уступают только ландшафтам с покровом водно-ледниковых суглинков. В структуре ПАЛ преобладают смешанные сельскохозяйственно-лесные (65 %), на сельскохозяйственные приходится 34 %, охраняемые – 1 %. Среди сельскохозяйственно-лесных ПАЛ наиболее распространены пахотно-лесные динамичные, лесополевые относительно стабильные, лугово-лесные относительно стабильные (23; 20 и 13 % общей площади соответственно), относящиеся к ландшафтам с покровом водно-ледниковых суглинков. Сельскохозяйственные лугово-пахотные динамичные ПАЛ имеют четкую приуроченность к холмисто-моренно-эрозионным ландшафтам с покровом лессовидных суглинков.

**Лидский район сильно и среднепреобразованных ландшафтов** занимает 15 % территории провинции. Он полностью охватывает Лидскую и Вороновскую равнины, на севере – частично склон Ошмянской гряды. Ландшафтами-доминантами здесь являются вторично-моренные с покровом водно-ледниковых супесей (57 %), подчиненным положением характеризуются холмисто-моренно-эрозионные (19 %) и моренно-зандровые земли на водно-ледниковых супесях (17 %), а также нерасчлененные комплексы с преобладанием болот на аллювиальных песках (7 %). Природно-антропогенные ландшафты образуют три группы: к доминантам тяготеют лесополевые относительно стабильные; пахотно-лесные динамичные соответствуют холмисто-моренно-эрозионным; другие комплексы заняты лесолуговыми относительно стабильными ландшафтами. Значение  $K_{АП}$  составляет 5,2; при этом 55 % района принадлежит среднепреобразованным, 39 % – сильно преобразованным, слабо преобразованные встречаются эпизодически.

**Вилейский район слабо и среднепреобразованных ландшафтов** занимает 15 % территории и отличается высоким разнообразием природных и природно-антропогенных ландшафтов. Более трети территории охватывают вторично-моренные ландшафты на водно-ледниковых супесях, 17 % – болотные, на другие ландшафты приходится по 5–10 %. На 90 % территории района распространены сельскохозяйственно-лесные, 7,5 % – охраняемые, 2,5 % – сельскохозяйственные лугово-пахотные динамичные ПАЛ. В структуре сельскохозяйственно-лесных ПАЛ доминируют лесополевые (на водно-ледниковых супесях) и лугово-лесные относительно стабильные (на водно-ледниковых песках). Среди охраняемых встречаются как лесные (соответствуют расположению биологического заказника местного значения «Пограничный»), так и лесолугово-болотные ПАЛ (республиканский гидрологический заказник «Сервечь»). Значение  $K_{АП}$  для района составляет 4,7, что объясняется господством ПАЛ со средней и слабой степенью преобразованности (более 65 % в сумме).

**Березинский район слабо преобразованных ландшафтов** занимает 13 % территории и характеризуется максимальной лесистостью среди районов – 51 %, высокой долей ООПТ – 16 %, а также одним из самых низких показателей  $K_{АП}$  – 3,5. Территориально район соответствует ядру европейского значения вокруг республиканского биосферного заповедника «Березинский». Уникальность функционального назначения района обусловлена структурой природных ландшафтов, где широко представлены болотные ландшафты. Наиболее распространены сельскохозяйственно-лесные ПАЛ (67 %), среди которых выделяются лугово-лесные стабильные, оформившиеся в пределах камово-моренно-эрозионных и вторичных водно-ледниковых ландшафтов на водно-ледниковых супесях. Охраняемые ПАЛ (26,4 %) представлены двумя видами, из них преобладают лесные стабильные, соответствующие ландшафтам, которые характеризуются преобладанием болот с поверхностным залеганием торфа и песков.

**Неманский район слабо преобразованных ландшафтов** приурочен к Неманской низине, долине р. Щары и занимает 13 % территории провинции. Наиболее распространены низменные и нерасчлененные комплексы, на которые в сумме приходится 60 % территории района. Структура ПАЛ однородна: доминируют лугово-лесные относительно стабильные (48,5 %), за ними следуют охраняемые лесные стабильные (16,6 %) и пахотно-лесные динамичные (15,7 %). Существенную роль в низкой антропогенной преобразованности района ( $K_{АП} = 3,4$ ) играют не только высокие доли земель под лесами и болотами, но и крупные ООПТ (ландшафтные заказники республиканского значения «Налибокская пушча», «Липичанская пушча», «Стронга», биологический заказник «Слонимский», занимающие в сумме 23 % территории района).

## Заключение

Различные виды природопользования и связанные с ними способы воздействия на ландшафт в пределах региона складываются на протяжении длительного времени в определенные системы, получившие название природно-антропогенных ландшафтов. Идея о существовании ПАЛ как модификаций природных ландшафтов, связанных с деятельностью человека, появилась еще в начале XX в. в работах Л. Г. Раменского, А. Д. Гожева, а позже Ф. Н. Милькова, А. Г. Исаченко и других исследователей. Дальнейшее развитие учения о ПАЛ потребовало выработки классификации, наибольшее признание получил функциональный подход, предложенный Ф. Н. Мильковым [8]. Так, на его основе разработана классификация ПАЛ Беларуси [1; 3]. И хотя общепринятой классификационной схемы нет до сих пор, большинство предложенных из них опираются на общее основание – учет природных факторов образования ПАЛ наравне с хозяйственной деятельностью, присутствующей в их пределах [8; 9]. Исследование ПАЛ справедливо считается базисом геоэкологической оценки и инструментом ландшафтного планирования [10–12]. Источниками информации о ландшафте при этом становятся разнородные статистические, литературные и картографические материалы, а также данные стационарных наблюдений и экспедиций. Довольно ограниченно используются данные ДЗЗ, несмотря на широкое применение в смежных областях [5; 6; 13].

В настоящей работе сделана попытка совместить дистанционный метод с традиционными способами исследования природно-антропогенных ландшафтов. Это позволило адаптировать методику картографирования классификационных единиц ПАЛ на основе материалов космических съемок, а также проследить изменение их структуры на территории исследования за 40-летний период и классифицировать ландшафты по характеру динамики. Анализ структуры земель провинции показал ее сильную взаимосвязь со структурой природных ландшафтов на уровне подрода. Сделан вывод о том, что фактор, служащий критерием для выделения подрода ландшафта, – литология поверхностных отложений – значительно влияет на характер хозяйственной деятельности человека и определяет структуру видов земель.

Антропогенно обусловленные изменения характера использования земель определяют структуру подвидов ПАЛ. Предположение об антропогенных причинах наблюдаемых смен подтверждается тем, что охраняемые ландшафты классифицируются как стабильные. При этом наиболее подвержены сменам не сельскохозяйственные, а сельскохозяйственно-лесные ландшафты со сложным сочетанием видов земель, часто наблюдаются смены между соседними видами ПАЛ с разной степенью антропогенной преобразованности. Для многих ПАЛ отмечена общая тенденция к колебанию площадей распахиваемых земель.

Анализ антропогенной преобразованности территории показал контрастную структуру ландшафтов, выделены семь районов со степенью преобразованности от слабой до сильной. Наиболее преобразованными являются районы интенсивного сельского хозяйства, расположенные на Центрально-Белорусской гряде. Эти территории требуют оптимизации структуры землепользования в сторону средостабилизирующих видов. Наименее преобразованы районы с высокими долями ООПТ – Березинский и Неманский, их целесообразно использовать для развития экологической сети. С юга на север пространственная структура ландшафтов усложняется, что находит свое отражение в соседстве комплексов с разной степенью антропогенной преобразованности внутри одного района. Так, Лидский район сильно и среднепреобразованных ландшафтов имеет однородную структуру природных и природно-антропогенных ландшафтов, в то время как Вилейский район – исключительно разнообразную. Поэтому, несмотря на близкую степень антропогенной преобразованности, регулирование использования и охраны земель в этих районах должно носить различный характер.

## Библиографические ссылки

1. Антропогенная трансформация ландшафтов проблемных регионов Беларуси / Г. И. Марцинкевич [и др.] // Природопользование. 2010. Вып. 18. С. 55–63.
2. Реестр ООПТ. РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». Минск, 2011. 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
3. Марцинкевич Г. И., Счастливая И. И., Усова И. П. Функциональная типология и структура трансформированных ландшафтов Белорусского Полесья // Земля Беларуси. 2010. № 3. С. 24–27; № 4. С. 43–48.
4. Ландшафтная карта БССР [Карта] / Н. К. Кликунова [и др.]; под ред. А. Г. Исаченко. М., 1984.
5. Determinants of agricultural land abandonment in post-Soviet European Russia / A. V. Prishchepov [et al.] // Land Use Policy. 2013. Vol. 30. P. 873–884.
6. Agricultural land change in the Carpathian ecoregion after the breakdown of socialism and expansion of the European Union / P. Griffiths [et al.] // Environ. res. lett. 2013. Vol. 8, № 4. P. 24–36.

7. Шищенко П. Г. Прикладная физическая география. Киев, 1988.
8. Мильков Ф. Н. Рукотворные ландшафты. Рассказ об антропогенных комплексах. М., 1978.
9. Казаков Л. К. Классификации систем природопользования и природно-антропогенных ландшафтов // Вестн. экол. образования в России. 2015. № 3. С. 26–29.
10. Марцинкевич Г. И., Счастная И. И. Ландшафтно-экологические исследования Полесья как основа ландшафтного планирования // Почвенно-земельные ресурсы: оценка, устойчивое использование, геоинформ. обеспечение : материалы Междунар. науч.-практ. конф. (Минск, 6–8 июня 2012 г.). Минск, 2012. С. 294–296.
11. Changing Landscapes: An Ecological Perspective / ed. by I. S. Zonneveld, T. T. Richard. N. Y., 1990.
12. Андрушко С. В. Пространственно-временные закономерности антропогенной трансформации ландшафтов Гомельского Полесья и их геоэкологическая оценка : автореф. дис. ... канд. геогр. наук : 25.03.13. Минск, 2015.
13. Кренке А. Н., Пузаченко Ю. Г. Построение карты ландшафтного покрова на основе дистанционной информации // Экол. планирование и управление. 2008. Т. 2, № 7. С. 10–25.

## References

1. Martsinkevich G. I., Schastnaya I. I., Gagina N. V., et al. Belarusian problem regions landscapes anthropogenic transformation. *Privodopolzovanye*. 2010. Issue 18. P. 55–63 (in Russ.).
2. Reestr OOPT. RUP «NPTs NAN Belarusi po mekhanizatsii sel'skogo khozyaistva». Minsk, 2011. 1 electron. opt. disk (CD-ROM) (in Russ.).
3. Martsinkevich G. I., Schastnaya I. I., Usova I. P. Eransformed landscapes of Belarusian Polesie functional typology and structure. *Zemlya Belarusi*. 2010. No. 3. P. 24–27 ; No. 4. P. 43–48 (in Russ.).
4. Klitsunova N. K., Loginova L. V., Martsinkevich G. I., et al. Landshaftnaya karta BSSR [Karta]. Ed. by A. G. Isachenko. Mosc., 1984.
5. Prishchepov A. V., Müller D., Dubinin M., et al. Determinants of agricultural land abandonment in post-Soviet European Russia. *Land Use Policy*. 2013. Vol. 30. P. 873–884.
6. Griffiths P., Müller D., Kuemmerle T., et al. Agricultural land change in the Carpathian ecoregion after the breakdown of socialism and expansion of the European Union. *Environ. res. lett.* 2013. Vol. 8, No. 4. P. 24–36.
7. Shishchenko P. G. Prikladnaya fizicheskaya geografiya. Kiev, 1988 (in Russ.).
8. Mil'kov F. N. Rukotvornye landshafty. Rasskaz ob antropogennykh kompleksakh. Mosc., 1978 (in Russ.).
9. Kazakov L. K. Classification of nature management systems and natural-anthropogenic landscapes. *Vestnik ecol. obraz. v Rossii*. 2015. No. 3. P. 26–29 (in Russ.).
10. Martsinkevich G. I., Schastnaya I. I. Geoecological researches as a basis for landscape planning. *Pochvenno-zem. resursy: otsenka, ustoichivoe ispol'zovanie, geoinformats. obespechenie* : materialy Mezhdunar. nauchn.-prakt. konf. (Minsk, 6–8 June, 2012). Minsk, 2012. P. 294–296 (in Russ.).
11. Changing Landscapes: An Ecological Perspective. Ed. by I. S. Zonneveld, T. T. Richard. N. Y., 1990.
12. Andrushko S. V. Prostranstvenno-vremennyye zakonomernosti antropogennoi transformatsii landshaftov Gomel'skogo Poles'ya i ikh geoekologicheskaya otsenka : avtoref. diss. ... kand. geogr. nauk : 25.03.13. Minsk, 2015 (in Russ.).
13. Krenke A. N., Puzachenko U. G. Creation of landscape cover maps using remote sensing data. *Ecol. plan. upr.* 2008. Vol. 2, No. 7. P. 10–25 (in Russ.).

Статья поступила в редколлегию 25.10.2016.  
Received by editorial board 25.10.2016.

## АНТРОПОГЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЭКОСИСТЕМЫ ОЗЕРА БОЛОЙСО И ПУТИ ЕЕ ВОССТАНОВЛЕНИЯ

Б. П. ВЛАСОВ<sup>1)</sup>, В. М. САМОЙЛЕНКО<sup>1)</sup>, Н. Д. ГРИЩЕНКОВА<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Белорусский государственный университет,  
пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Республика Беларусь

Исследованы изменения в экосистеме оз. Болойсо под влиянием антропогенной нагрузки за период с 1948 по 2015 г., разработаны методы ее восстановления. Доказано, что оз. Болойсо, расположенное в Браславском районе Витебской области Республики Беларусь в центре системы озер Национального парка «Браславские озера», является ярким примером быстрой деградации экосистемы под влиянием мощного точечного источника биогенных элементов. Рассматривается динамика ряда гидрохимических и гидробиологических показателей, свидетельствующих о снижении темпов эвтрофирования водоема. Обоснована необходимость проведения специальных мероприятий ввиду высокой степени загрязнения водной массы и поверхностного горизонта донных отложений. По итогам исследования разработана принципиальная схема технологии восстановления озера, включающая в себя ряд внешних (экологическое обустройство водосбора, контроль источников биогенных элементов на водосборе) и внутренних (аэрация, удаление донных отложений, биоманипуляции и др.) мер.

**Ключевые слова:** оз. Болойсо; антропогенная нагрузка; эвтрофирование; технологии восстановления.

## ANTHROPOGENIC CHANGES OF THE BOLOYSO LAKE ECOSYSTEM AND WAYS OF ITS RESTORATION

B. P. VLASOV<sup>a</sup>, V. M. SAMOILENKA<sup>a</sup>, N. D. HRYSHCHANKAVA<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Belarusian State University, Nezavisimosti avenue, 4, 220030, Minsk, Republic of Belarus

Corresponding author: vlasov@bsu.by

Article is devoted to the analysis of changes in the Boloys Lake ecosystem under the influence of anthropogenic load from 1948 to 2015, and development of methods for its restoration. The Boloys Lake is located in Braslavsky district of the Vitebsk region of Republic of Belarus in the center of lakes' system of National park «Braslavskye ozero» is a good example of rapid degradation of an ecosystem under the influence of a powerful point source of biogenic elements.

---

### Образец цитирования:

Власов Б. П., Самойленко В. М., Грищенко Н. Д. Антропогенные изменения экосистемы озера Болойсо и пути ее восстановления // Журн. Белорус. гос. ун-та. География. Геология. 2017. № 1. С. 14–25.

### For citation:

Vlasov B. P., Samoilenska V. M., Hryshchankava N. D. Anthropogenic changes of the Boloys Lake ecosystem and ways of its restoration. *J. Belarus. State Univ. Geogr. Geol.* 2017. No. 1. P. 14–25 (in Russ.).

---

### Авторы:

**Борис Павлович Власов** – доктор географических наук, профессор, заведующий научно-исследовательской лабораторией озераведения географического факультета.  
**Вера Михайловна Самойленко** – старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории озераведения географического факультета.  
**Наталья Дмитриевна Грищенко** – кандидат географических наук; доцент кафедры геоэкологии географического факультета.

### Authors:

**Boris Vlasov**, doctor of science (geography), full professor, head of the scientific research laboratory of lakes, faculty of geography.  
vlasov@bsu.by  
**Vera Samoilenska**, senior researcher at the scientific research laboratory of lakes, faculty of geography.  
versam@tut.by  
**Natallia Hryshchankava**, PhD (geography); associate professor at the department of geographical ecology, faculty of geography.  
nhrysh@gmail.com



Dynamics of hydrochemical and hydrobiological indicators demonstrating decrease in rates of lake eutrophication is considered in the article. Need of holding special events, in view of high pollution of water and superficial horizon of sediments of the lake is proved. The technologies of restoration of the lake including external (ecological arrangement of watershed, control of sources of biogenic elements at watershed) and internal measures (aeration, removal of sediments, biomanipulations, etc.) are presented. The schematic diagram of restoration technology for the lake is provided.

**Key words:** the Boloys Lake; anthropogenic load; eutrophication; restoration technologies.

Из всех видов антропогенного воздействия озера чаще всего испытывают влияние, связанное с поступлением избыточного количества биогенных веществ, в результате чего начинается эвтрофирование – процесс, за короткий срок приводящий к увеличению уровня биопродуктивности и нарушению сбалансированности экосистемы. Его негативные последствия обычно проявляются в чрезмерном развитии в водоемах фитопланктона (прежде всего – цианопрокариот), называемом «цветение», что отрицательно сказывается на качестве воды и снижает рекреационную ценность озер. Главная опасность эвтрофирования состоит в том, что оно труднообратимо, поскольку приводит к внутренним, коренным изменениям в экосистеме озера.

Несмотря на значительные успехи в исследовании механизма и описании этого процесса, проблема эвтрофирования далека от окончательного решения. Ухудшение качества воды обусловило активный поиск технологий и практических мероприятий, призванных ослабить этот процесс или даже способствовать деэвтрофированию водоема.

Антропогенное эвтрофирование затронуло большинство озер Беларуси. Примером быстрой деградации экосистемы под влиянием мощного точечного источника биогенных элементов является оз. Болойсо, расположенное в Браславском районе Витебской области в центре системы Национального парка «Браславские озера». Максимальная глубина озера – 15,6 м, площадь зеркала – 1,37 км<sup>2</sup>, объем водной массы – 7,29 млн м<sup>3</sup> [1]. На северо-западе водоем соединяется протокой с оз. Струсто.

Целью настоящего исследования является оценка изменений в экосистеме оз. Болойсо за период с 1948 по 2015 г., а также определение степени антропогенной трансформации экосистемы озера и разработка методов ее восстановления. В основу работы положены фондовые материалы научно-исследовательской лаборатории озероведения Белорусского государственного университета, собственные исследования авторов и литературные данные.

Значительные изменения уровня антропогенной нагрузки за период наблюдений позволили выделить несколько этапов в развитии экосистемы озера. Первый этап (до 1978 г.) – стабильное развитие экосистемы; второй (с 1978 по 1996 г.) – интенсивная аккумуляция эвтрофирующих и загрязняющих соединений сточных вод; третий (с 1997 по 2003 г.) – деградация и достижение гипертрофной стадии; четвертый этап начался после завершения реконструкции очистных сооружений г. Браслава (2004) и в настоящее время характеризуется заметным оздоровлением всех звеньев экосистемы водоема.

До начала сброса коммунальных сточных вод г. Браслава (1978) озеро относилось к мезотрофному типу. Его экосистема функционировала в условиях минимального антропогенного воздействия, локальные источники эвтрофирования и загрязнения отсутствовали. Летняя стагнация характеризовалась благоприятным газовым режимом. Мощность слоя эпилимниона составляла около 7 м, насыщение кислородом изменялось в пределах 90–100 % (рис. 1). Средний гипolimнионный дефицит кислорода в летнюю стагнацию колебался в диапазоне 50–90 %, его величина в многолетнем аспекте, несмотря на значительную динамику, не опускалась до нулевой отметки и соответствовала водоемам мезотрофного типа [2–4].

Прозрачность воды достигала 3,0–4,2 м. Для всех гидрохимических показателей были характерны небольшие колебания: общая минерализация изменялась в диапазоне 198,7–208,1 мг/дм<sup>3</sup>; содержание кальция составляло 28,5–31,0 мг/дм<sup>3</sup>; концентрация сульфатов была на уровне 7,0–9,9 мг/дм<sup>3</sup>. Величины водородного показателя были стабильными и слабо колебались в течение года. Содержание органического вещества по перманганатной окисляемости не превышало 4,3–6,1 мгО/дм<sup>3</sup>.

Невысокие значения азота и фосфора в воде обеспечивали продукционные процессы на уровне мезотрофных водоемов. В летний период с 1948 по 1972 г. содержание минерального фосфора в озере изменялось в пределах природного фона (0,008–0,052 мгР/л).

Ретроспективный анализ динамики поступления фосфора в экосистему водоема свидетельствует о том, что в 1948 г. в озеро попало 97 кг фосфора; основными источниками являлись атмосферные осадки (68,6 %) и сельхозугодья (30,9 %). К началу 1970-х гг. количество фосфора, поступающего в озеро в составе атмосферных осадков, возросло в 1,8 раза, что составило 80 % всего потока фосфора в экосистему. Очевидно, это было связано с развитием химической промышленности в Латвии.

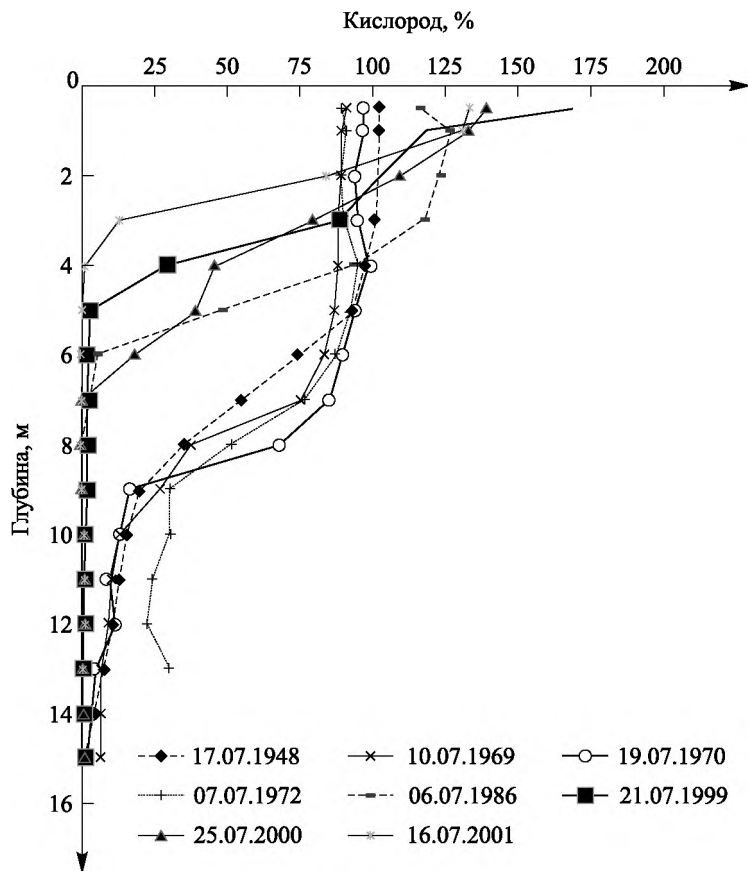


Рис. 1. Послойное распределение кислорода  
в оз. Болойсо в периоды летней стагнации

Fig. 1. Layered distribution of oxygen in the Boloysso Lake  
during summer stagnation

В первоначальный период реальная нагрузка по фосфору ( $0,07 \text{ гР/м}^2$  в год) фиксировалась на уровне допустимой ( $0,06 \text{ гР/м}^2$  в год), что позволяло экосистеме функционировать в пределах мезотрофной стадии. К началу 1970-х гг. ее величина практически удвоилась.

Биомасса фитопланктона летом 1972 г. составляла  $4,5 \text{ г/м}^3$ , преобладали цианопрокариоты, криптофитовые и золотистые водоросли. В качестве доминантов выступали *Microcystis aeruginosa* (Kütz.) Elenk. f. *aeruginosa* и *Gomphosphaeria lacustris* Chod. f. *lacustris*, на долю которых приходилось 15 % численности всего сообщества. Суммарные численность и биомасса зоопланктона также были низкими – 24,7 тыс. экз./ $\text{м}^3$  и  $0,31 \text{ г/м}^3$  соответственно. Главный вклад в общую численность (56,2 %) и биомассу (67 %) вносили веслоногие рачки. Роль коловраток в общей биомассе была незначительной. Среди кладоцер по биомассе доминировала *Daphnia cucullata*. Основу биомассы зообентоса формировали моллюски и личинки хирономид, а биомасса всего сообщества ( $5,5 \text{ г/м}^2$ ) соответствовала среднекормным водоемам. В центральной части озера фауна хирономид была представлена в основном *Chironomus f.l. bathophilus* Kieff., *Procladius* Skuse. Встречались также мокрецы, хаборины. На песчаной литорали в массовом количестве обитали *Tanitarsini*, *Polypedilum*, *Cryptochironomus gr. defectus* Kieff. Среди моллюсков преобладали щупальцевая битиния, горошинки и шаровки. Наиболее высокую численность имели личинки хирономид, по биомассе превалировали хирономиды и моллюски.

В 1978 г. были введены в эксплуатацию очистные сооружения г. Браслава. В озеро стали сбрасывать до 2 тыс.  $\text{м}^3$  в сутки практически неочищенных сточных вод с общей минерализацией  $1000 \text{ мг/дм}^3$ . Согласно расчетам за год в озеро поступали свыше 700 т растворенных веществ, в том числе 1,5 т фосфора, 4,5 т аммонийного азота, 20 т хлоридов, 13,5 т сульфатов [4–6]. Столь интенсивное загрязнение обусловило высокую скорость эвтрофирования и за короткий промежуток способствовало переходу экосистемы из мезотрофной стадии в гипертрофную. Спустя 8–10 лет изменения проявились во всех элементах экосистемы.

Существенные преобразования в послойном распределении кислорода отмечаются с 1986 г. Снижение мощности эфотического слоя сопровождалось ростом насыщения его кислородом до 170 %.

На глубине 2,5–6,0 м фиксировалась зона резкого понижения концентрации газа, а с глубины 6–8 м наблюдался стопроцентный дефицит. Ситуация продолжала ухудшаться. В 2001 г. зона полного отсутствия кислорода расширилась и достигла горизонта 4 м (см. рис. 1).

В этот период отмечен рост общей минерализации. Так, в 1970-х гг. сумма ионов в среднем составляла 203 мг/дм<sup>3</sup>, в 1980–1999 гг. достигала 257, в 2000–2001 гг. выросла до 280 мг/дм<sup>3</sup> (рис. 2). Увеличение суммы ионов происходило в основном за счет повышения концентрации бикарбонатов (с 140 до 225 мг/дм<sup>3</sup>), а также ионов, имеющих преимущественно антропогенное происхождение: сульфатов (с 5,8 до 35,3 мг/дм<sup>3</sup>), хлоридов (с 1,1 до 35,5 мг/дм<sup>3</sup>) и натрия (с 6,8 до 26,0 мг/дм<sup>3</sup>).

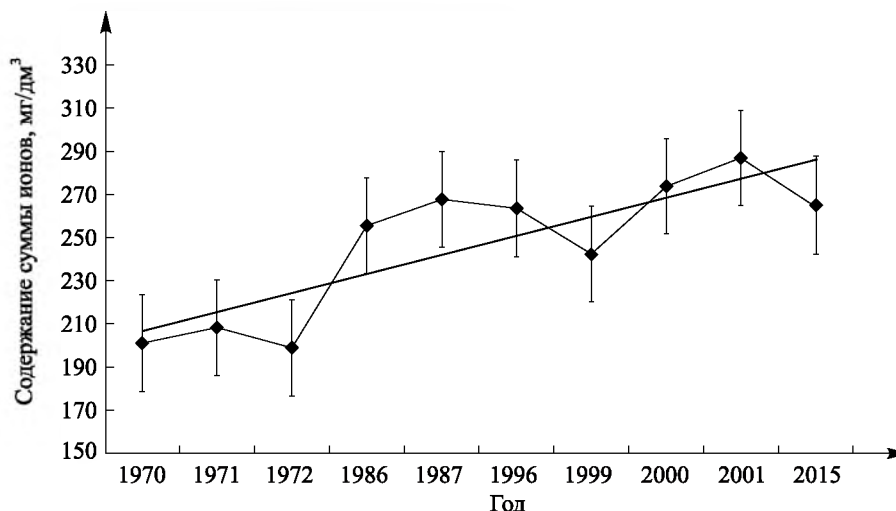


Рис. 2. Многолетняя динамика суммы ионов в оз. Болойсо

Fig. 2. Long-term dynamics of ions sum in the Bolyso Lake

Соотношение главных ионов изменялось в зависимости от антропогенной нагрузки (рис. 3). На этапе стабильного развития экосистемы бикарбонаты и кальций составляли до 75 % общей суммы ионов. К началу 2000-х гг. их относительное содержание снизилось до 65 %. Летом резко возрастала концентрация магния и натрия, достигая значений кальция и временно преобразовывая группы вод – от кальциевой к магниевой и/или натриевой. Изменение относительных величин ионов свидетельствует о высокой скорости эволюции вод и формировании в оз. Болойсо их антропогенного типа, не свойственного озерам Беларуси. Важнейшей особенностью этого процесса (при сохранении бикарбонатного класса вод) является уменьшение относительных значений бикарбонатов и кальция. Потери кальция – результат седиментации его соединений вследствие нарушения карбонатного равновесия в условиях высокой щелочности озерных вод, что наиболее ярко обнаруживается в период летней стагнации [6; 7].

Среди анионов постоянный рост абсолютных и относительных значений характерен для хлоридов. Концентрация сульфатов к 2001 г. несколько снизилась вследствие интенсификации процессов их восстановления до сероводорода в анаэробных условиях. Как отмечалось выше, зона, насыщенная сероводородом (1,06–1,7 мг/дм<sup>3</sup>), к 2001 г. расширилась и достигла горизонта 4 м, заняв более половины объема водной массы озера.

Таким образом, в составе ионов происходят существенные изменения. Снижение относительного содержания бикарбонатов и кальция достигается за счет вытеснения их хлоридами, натрием и калием, сумма которых (около 20 %) более чем в 5 раз превышает таковую в 1948 г. Абсолютные величины (средние для 1999–2001 гг.) этих ионов максимально высоки: 26,2 (±10,2); 14,0 (±1,2); 3,6 (±0,37) мг/дм<sup>3</sup> соответственно.

С 1986 г. отмечается устойчивое увеличение водородного показателя в поверхностных горизонтах с 8,49 до 9,61, а также постепенное снижение прозрачности с 2,8–4,0 м в 1948–1972 гг. до 0,3 м в 1999–2001 гг.

Заметные изменения произошли и в содержании основных биогенных элементов. Повышению состава минеральных соединений азота способствовало их поступление со сточными водами, а также фиксация из воздуха цианопрокариотами, достигавшими высокой плотности, и процессы разложения аллохтонной органики. К 1999 г. средняя концентрация минерального азота доходила до 1,21 мгN/дм<sup>3</sup>, 50 % составляли ионы аммония. Максимальное содержание ионов аммония зафиксировано в летнюю стагнацию 2001 г. – 1,348 мгN/дм<sup>3</sup>.

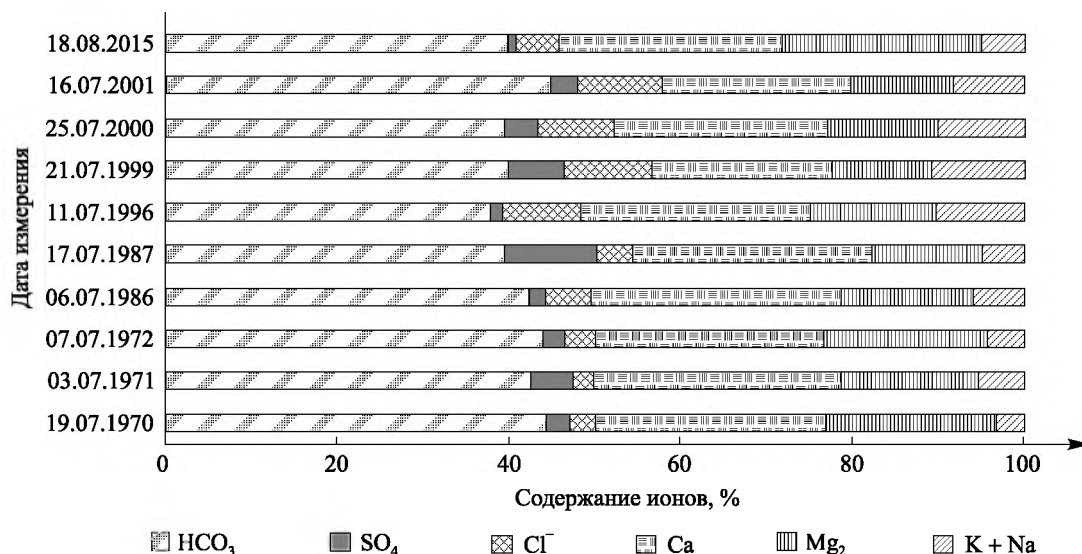


Рис. 3. Многолетняя динамика ионов в оз. Болойсо, %-экв

Fig. 3. Long-term dynamics of ions in the Boloysa Lake, %-eqv

С началом сброса сточных вод концентрация минерального фосфора постоянно возрастала, достигнув максимального значения (0,86 мгР/дм<sup>3</sup>) в 2001 г. (рис. 4). Неорганические соединения фосфора составляли 90 %. Он более не лимитировал продукционные процессы.

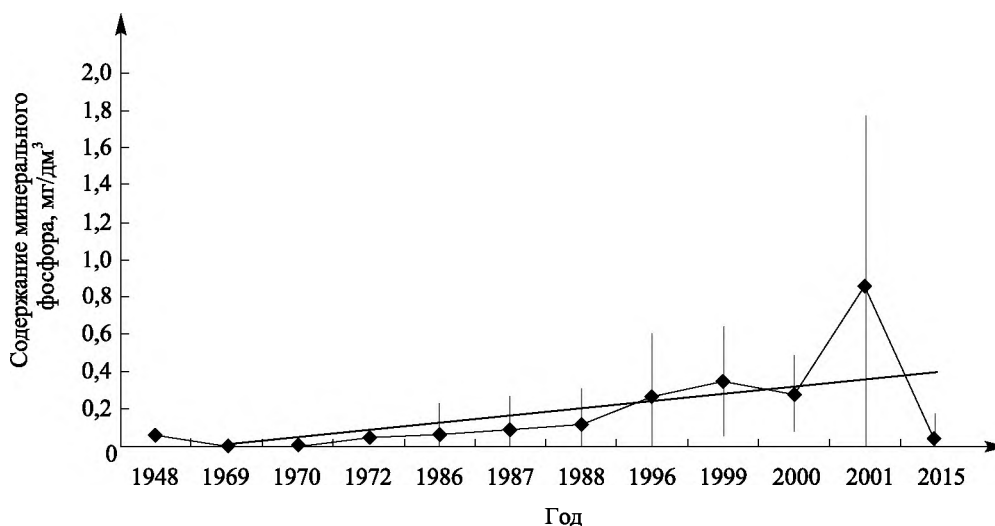


Рис. 4. Многолетние изменения минерального фосфора в оз. Болойсо

Fig. 4. Long-term changes of inorganic phosphorus in the Boloysa Lake

Основным источником соединений фосфора (91 %) стали коммунальные сточные воды. В период с 1986 по 1999 г. с ними поступало до 1500 кг фосфора в год. В связи с этим реальная фосфорная нагрузка возросла по сравнению с предыдущим этапом на порядок и в 25 раз превысила допустимую. С этого времени формирование химических и биологических процессов полностью контролируется антропогенными условиями.

Значительные колебания абиотических параметров экосистемы привели к коренному изменению гидробиологического режима, что проявилось на всех уровнях организации и функционирования сообществ гидробионтов. В начале 1970-х гг. состояние планктонных сообществ и макрозообентоса соответствовало мезотрофным водоемам. Летняя биомасса фитопланктона не превышала 1 г/м<sup>3</sup>. Преобладали хроококковые *Microcystis aeruginosa* Kütz. emend. Elenk. и *Gomphosphaeria lacustris* Chod., их



средняя численность достигала 1,72 и 1,56 млн кл./дм<sup>3</sup> соответственно. Зоопланктон также развивался слабо: суммарная численность составляла 24,7 тыс. экз./м<sup>3</sup>, биомасса – 0,31 г/м<sup>3</sup>, при этом 52 и 68 % соответственно приходились на долю копепод. По составу бентофауны водоем характеризовался как тендипедидный и отличался довольно бедным таксономическим разнообразием. Донные беспозвоночные заселяли все биотопы вплоть до максимальных глубин. На илах центральной части обитали тендипедида, в том числе оксифильная личинка *Chironomus f.l. bathophilus* Kieff. и олигохеты. Встречались также мокрецы и хаоборины. В литорали и сублиторали широкое распространение получили моллюски. Суммарная биомасса сообщества составила 5,5 г/м<sup>2</sup> при доминировании хирономид (40 %) и моллюсков (38 %).

Усиление антропогенной нагрузки на водоем привело к постепенной интенсификации развития фитопланктона за счет цианопрокариот [6–8]. За период с 1972 по 1987 г. летняя численность водорослей возросла в 3,6 раза, биомасса – в 5 раз (рис. 5 и 6). В последующем за аналогичный промежуток отмечено 17-кратное увеличение фитопланктона. Биомасса возросла лишь в 6,5 раза, поскольку преимущественное развитие получили мелкоклеточные формы: *Limnothrix redekei* (Van Goor) Meffert, *Planktothrix agarhii* (Gom.) Anagn. et Kom., *Plankolyngbia limnetica* (Lemm.) Kom.-Legn. et Cronb. Перечисленные виды характерны для высоко- и гипертрофных озер. Относительная численность первых двух представителей колебалась в пределах 70–95 %. В 2001 г. суммарная численность фитопланктона достигла 443,75 млн кл./дм<sup>3</sup>, биомасса – 32,25 г/м<sup>3</sup> (см. рис. 5 и 6). На долю цианей приходилось 99 % всей численности и 98 % биомассы фитопланктона.

Обеднение таксономического разнообразия водорослей характерно для гипертрофных озер. В оз. Болойсо к началу 2000-х гг. по сравнению с предыдущим периодом число таксонов снизилось в 1,5 раза (до 47–50 таксонов водорослей). Заметно беднее стали зеленые и диатомовые водоросли, количество таксонов которых сократилось примерно вдвое. Выпали целые роды зеленых водорослей, центрические диатомеи.

В составе зоопланктона возросла роль копепод и коловраток при увеличении общей биомассы в 5 раз. Отмечалось обеднение видового состава донной фауны за счет оксифильных форм. Наиболее заметен этот процесс в профундали, где встречались 1–3 вида, приспособленных к условиям дефицита кислорода. В массовом количестве обнаруживался только мотыль, на долю которого приходится 65 % всей биомассы зообентоса. Существенно снизилось распространение моллюсков. Сокращение общей биомассы бентоса привело к ухудшению кормовой базы рыб-бентофагов.

Таким образом, изменение структуры и уровня развития биоты свидетельствовало об интенсивном антропогенном эвтрофировании водоема. К началу 2000-х гг. озеро потеряло свой естественный статус. Более того, оно превратилось в источник загрязнения гидрологически связанного с ним оз. Струсто. Требовалось принять неотложные меры, чтобы предотвратить дальнейшую деградацию двух озер.

В середине 2000-х гг. сброс сточных вод прекратился, что положительно отразилось на экосистеме. В летний период 2015 г. газовый режим улучшился, прозрачность повысилась с 0,3 до 2,1 м, показатель рН в поверхностном слое снизился с 9,21 до 8,27. Наблюдается стабилизация макрокомпонентного состава вод: рост концентрации ионов Ca<sup>2+</sup> и HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, а также существенное снижение хлора, натрия и калия. Суммарное относительное содержание последних трех ионов уменьшилось с 20,0 до 8,2 %. Вместе с тем концентрация Mg<sup>2+</sup> продолжает расти, достигнув 18,24 мг/дм<sup>3</sup>, что в 1,7 раза выше значений начала 2000-х гг. Вдвое сократилось содержание минерального фосфора, хотя абсолютные значения еще высоки и составляют в среднем 0,4 мгР/дм<sup>3</sup>. Минеральные формы азота представлены исключительно аммонием, концентрация которого возросла до 0,847 мгN/дм<sup>3</sup>.

Улучшение среды обитания, в связи с прекращением сброса сточных вод, способствовало изменению структуры и направленности процессов развития фитопланктона. В настоящее время растет таксономическое разнообразие всех отделов водорослей. Комплекс доминантов по-прежнему формируют цианеи *L. redekei* и *P. agarhii*, однако плотность их популяций сократилась более чем на порядок. Максимально высокая численность (15,54 млн кл./дм<sup>3</sup>) характерна для впервые обнаруженного в составе альгофлоры *Aphanizomenon gracile* Lemm. Ведущую роль в продукционных процессах продолжают играть цианопрокариоты, хотя интенсивность их вегетации существенно снизилась, благодаря чему суммарные значения численности и биомассы сообщества уменьшились. В настоящее время общая численность водорослей составляет 54,76 млн кл./дм<sup>3</sup> (сократилась в 8 раз) и на 92 % складывается из цианопрокариот. Общая биомасса снизилась только вдвое, достигнув 16,46 г/м<sup>3</sup>, что является следствием повышения роли более крупных представителей дино- и криптофитовых, а также золотистых водорослей.

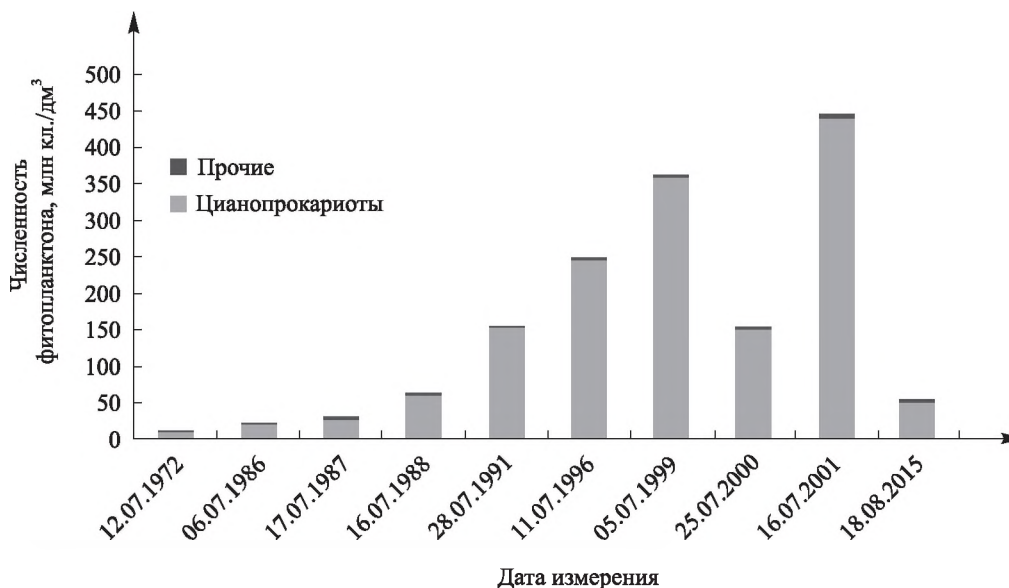


Рис. 5. Многолетние изменения летней численности фитопланктона в оз. Болойсо

Fig. 5. Long-term changes of summer quantity of phytoplankton in the Boloysa Lake

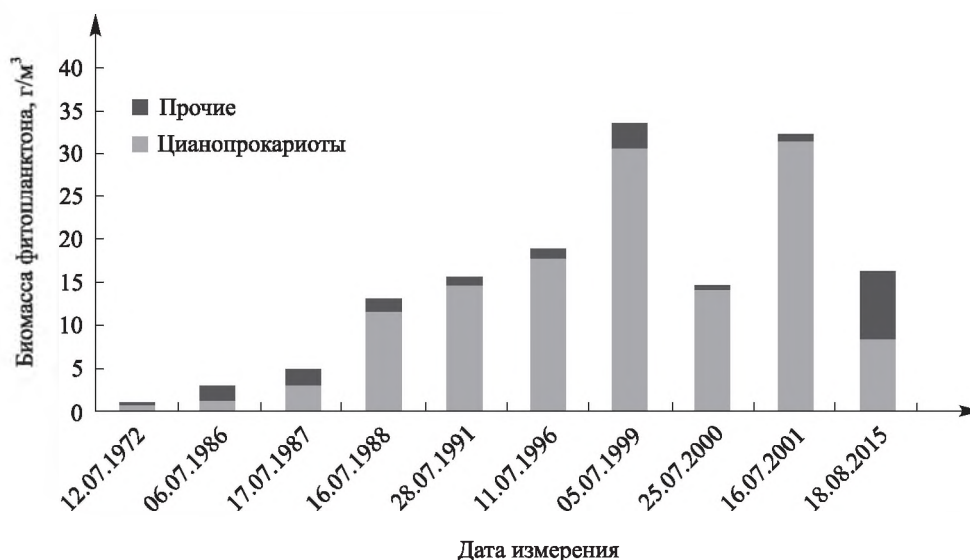


Рис. 6. Многолетние изменения летней биомассы фитопланктона в оз. Болойсо

Fig. 6. Long-term changes of summer biomass of phytoplankton in the Boloysa Lake

Наблюдаемые тенденции в изменении гидрохимического режима и фитопланктона свидетельствуют о снижении темпов эвтрофирования водоема. Вместе с тем ввиду высокой степени загрязнения водной массы и особенно поверхностного горизонта донных отложений оз. Болойсо самостоятельно, без проведения специальных мероприятий, восстановиться не сможет.

По современным представлениям главным стратегическим направлением и конечной целью восстановления нарушенной водной экосистемы должно стать создание в ней существовавших до нарушения условий жизнедеятельности биологических сообществ, обеспечивающих самоочищение водоема и качество воды в нем.

Понятие «восстановление экосистемы» подразумевает наличие сведений о ее естественном, ненарушенном состоянии, которое количественно оценивается биогенной нагрузкой на озеро, трофическим статусом и соотношением продукционно-деструкционных процессов. Сегодня, когда водосборы озер и собственно водоемы подверглись значительному антропогенному воздействию, восстановление следует понимать не как возврат экосистемы к ее начальному состоянию в геологическом прошлом,

а прежде всего как уменьшение внешней и внутренней биогенной нагрузки на озеро, прекращение поступления загрязняющих веществ в целях снижения его трофического статуса.

Большинство известных в настоящее время методов восстановления озер, как правило, представляют собой перечень мер, направленных на рекультивацию водоема. Чаще всего эти методы лишены научной концепции, базирующейся на главных теоретических положениях лимнологии: о трофическом статусе водоема и устойчивости экосистемы. Разработка такой концепции должна стать частью научно обоснованного подхода к восстановлению озерной экосистемы.

Первая группа этих методов была многократно апробирована и дала положительные результаты, вторая применяется значительно реже, и, наконец, третья группа методов разработана лишь теоретически. Применение того или иного метода зависит от особенностей водоема, вида и степени антропогенного воздействия на него, а также целей восстановления. Поэтому выбор метода или группы методов восстановления в каждом случае индивидуален.

Для борьбы с эвтрофированием разработаны две группы методов: внешние (профилактические), применяемые на водосборе, и внутренние (восстановительные), реализуемые на самом озере [9–11], что отражено в табл. 1.

Таблица 1

Мероприятия по восстановлению озер при антропогенном эвтрофировании [9]

Table 1

Measures for lakes restoration during an anthropogenic eutrophication [9]

| Внешние методы                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Внутренние методы                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Экологическое обустройство водосборов притоков</li> <li>• Регулирование стока и эрозии почв на водосборе методами агролугосомелиорации и с помощью гидротехники</li> <li>• Контроль источников биогенных элементов на водосборе</li> <li>• Контроль поступления биогенных элементов непосредственно в озеро</li> <li>• Запретительные меры</li> <li>• Рекомендательные меры</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Аэрация, дестратификация, оксигенация</li> <li>• Отвод воды из гипolimниона</li> <li>• Разбавление озерной воды</li> <li>• Осаждение фосфора из озерной воды</li> <li>• Удаление донных отложений, славин</li> <li>• Контроль поступления фосфора из донных отложений</li> <li>• Контроль фосфороудерживающей способности озера</li> <li>• Контроль «цветения» воды и площади зарастания макрофитами</li> <li>• Биоманипуляции</li> </ul> |

Внешние мероприятия экологически более приемлемы, поскольку при этом основное внимание уделяется источнику поступления веществ, а результаты имеют долговременный характер. Данные методы призваны снизить поступление в воду биогенных веществ, тем не менее они малоэффективны в двух случаях: там, где доминируют рассредоточенные источники биогенных веществ, и там, где существенным источником биогенов являются донные отложения. Снижение биогенной нагрузки просто увеличит диффузный градиент между водой и донными отложениями, ускорив таким образом поступление автохтонного вещества из отложений в водную среду. Эта буферная способность не даст ощутимого эффекта до тех пор, пока не исчерпается запас биогенных веществ в донных отложениях. В подобных обстоятельствах профилактические меры могут быть заменены или дополнены восстановительными методами, которые основаны на удалении биогенных веществ из воды и незамедлительно позволяют получить результаты. Однако, поскольку они не устраняют первопричину проблемы, их эффективность часто бывает ограниченной и действия приходится повторять неоднократно. Многие схемы восстановления водоемов используют оба метода. К восстановительным методам прибегают реже, если удастся достичь желаемого трофического уровня и если профилактические меры способны его сохранить. Ограничивают их применение значительные материальные затраты.

На основании ранее проведенных исследований [4–8] и многолетнего мониторинга оз. Болойсо нами предложена принципиальная схема технологии восстановления водоема, включающая в себя ряд внутренних и внешних мероприятий (табл. 2; рис. 7).

Время полного восстановления озера достигает 3–4 лет с момента начала проведения работ.

## Технология восстановления оз. Болойсо

Table 2

## Restoration technology for Boloysko lake

| № п/п | Мероприятия                                                  | Характеристика                                                                                                                                                                                                    | Используемые устройства                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Ожидаемый эффект                                                                                                                                                                                                                 |
|-------|--------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1     | Аэрация гипolimниона с дестратификацией водной массы         | Производится на площади 0,19 км <sup>2</sup> методом эрлифтной циркуляции с возвращением обогащенной кислородом воды на глубину, с которой она была взята; объем аэрируемой водной массы – 0,6 млн м <sup>3</sup> | Аэрация воды методами инъекции (подача воздуха в воду) и эжекции (подсос воздуха в воду); оптимальным представляется применение устройства, использующего энергию ветра. Производительность системы составит 80 т растворенного кислорода в сезон                                                                                                                                                           | Ликвидация анаэробной зоны в гипolimнионе, а также вероятности возникновения заморных явлений. Создание условий для миграции растворенных форм фосфора в эфотическую зону и последующего его вовлечения в продукционные процессы |
| 2     | Выкашивание и удаление высшей водной растительности          | Осуществляется в период цветения растений по всему периметру озера на площади 0,47 км <sup>2</sup>                                                                                                                | В безледный период – лодка для скашивания и сбора растений BERKY (тип 6520), баржа с плавающим резакom и коллектором, электромеханические устройства ( <i>JensonLakeMower</i> , <i>WeedRoller</i> , <i>LakeMaid</i> , <i>BeachGroomer</i> ), специализированные плавающие комбайны и комбайны-амфибии ( <i>AquariusSystems</i> , TRUXOR, MOBITRAC); в зимний период – ручной метод или механические косилки | Изъятие биогенных веществ, накопленных в биомассе; снижение содержания в воде разлагающегося органического вещества, улучшение кислородного режима, уменьшение биогенной нагрузки на озеро                                       |
| 3     | Извлечение автохтонной органики из поверхностных слоев озера | Очистка на берегу в районе протоки, соединяющей озера Болойсо и Струсто и предварительно перекрытой резиновой дамбой, что полностью защитит оз. Струсто от поступления в него загрязняющих веществ                | ПАВ-озонная технология очистки (патент РФ № 2057722 от 10.04.1996 г.). При производительности установки 70 м <sup>3</sup> /ч за вегетационный период (120 дней) будет извлекаться 35 т органического вещества при биомассе фитопланктона 35 г/м <sup>3</sup> , что позволит изъять свыше 350 кг фосфора                                                                                                     | Очищение водоема от биогенных и органических веществ; фитопланктон после подсушки рекомендуется использовать в качестве органических удобрений                                                                                   |
| 4     | Изъятие донных отложений                                     | Осуществляется в южной части озера на площади 0,3 км <sup>2</sup> гидромеханизованным способом с последующим их отведением в биопруды; объем изымаемых донных отложений – 0,15 млн м <sup>3</sup>                 | Установки для гидромеханизированной добычи с механической фрезой и грязевым насосом                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Снижение внутренней нагрузки, увеличение объема воды, улучшение газового режима и повышение скорости окислительных процессов                                                                                                     |



|   |                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                    |
|---|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 5 | Вселение пестрого толстолобика, хищных видов рыб | Норма посадки двухгодовиков пестрого толстолобика – около 200–220 шт./га (за вегетационный сезон можно получить товарной продукции до 150 кг/га); после улучшения кислородного режима озера и вылова основной массы пестрого толстолобика возможно зарыбление водоема хищными рыбами, в частности судаком | –                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Удаление питательных веществ с выловленной ихтиомассой, улучшение кислородного режима, уменьшение ресуспендирования донных осадков после вселения хищных видов рыб |
| 6 | Строительство биотехнических сооружений          | Возведение в юго-западной части озера системы, состоящей из двух последовательных биологических прудов и окислительного канала; ежегодное скашивание макрофитов, уборка пруда и очищение дна от отложений через каждые 3–5 лет                                                                            | Каждый пруд площадью 0,1 га и глубиной до 0,5 м, площадь покрытия макрофитами – 60...80 %; стоки из прудов выпускаются в тальвеги ложбины стока, где устраивается искусственный окислительный канал с незначительным уклоном: слой воды в канале – 0,025...0,15 м, ширина – 0,65...1,5 м, длина – 0,7 км | Снижение внешней биогенной нагрузки, улучшение качества воды                                                                                                       |
|   |                                                  | Строительство заградительной резиновой дамбы на протоке в оз. Струсто                                                                                                                                                                                                                                     | Длина дамбы – 70 м, диаметр – 1,5 м                                                                                                                                                                                                                                                                      | Удаление питательных веществ с выловленной ихтиомассой, улучшение кислородного режима, уменьшение ресуспендирования донных осадков после вселения хищных видов рыб |
| 7 | Водоохранные мероприятия на водосборе            | Ликвидация точечных источников, устройство лесополос вдоль южного залива; контроль качества сточных вод из очистных сооружений                                                                                                                                                                            | –                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Снижение внешней биогенной нагрузки                                                                                                                                |

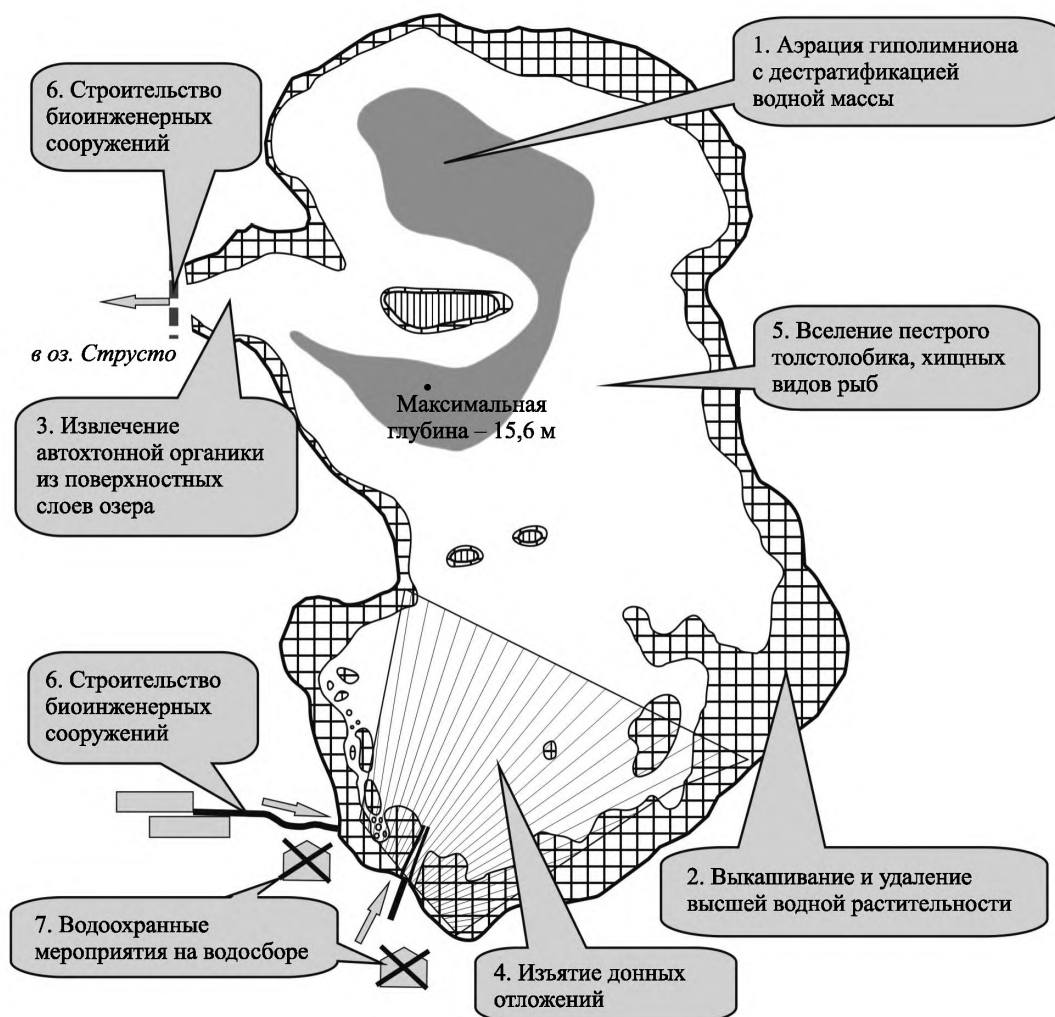


Рис. 7. Принципиальная схема технологии восстановления оз. Болойсо

Fig. 7. Schematic diagram of restoration technology for Boloys lake

Результаты исследования, а также представленная принципиальная схема технологии восстановления озера могут применяться при определении путей охраны и очищения экосистемы водоемов, рационализации использования и воспроизводства их ресурсов, а также при целенаправленном формировании оптимальной структуры и экологическом обустройстве водосбора.

### Библиографические ссылки

1. Боровик Е. А. Озера Белорусской ССР. Минск, 1964.
2. Цыганков И. В. Гидрохимический режим Браславских озер // Учен. зап. БГУ. Сер.: Биология. 1954. Вып. 17. С. 140.
3. Якушко О. Ф. Белорусское Поозерье. Минск, 1971.
4. Мысливец И. А., Мелешико М. А., Лешкович Л. Е. Антропогенные изменения гидрохимического режима Браславских озер // Вестн. БГУ. Сер. 2, Химия. Биология. География. 1991. № 2. С. 63–67.
5. Карташевич З. К., Кирильчик Л. М. Изменение гидрохимического режима оз. Болойсо под влиянием коммунальных сточных вод // Озерные экосистемы: биологические процессы, антропогенная трансформация, качество воды: материалы Междунар. науч. конф. (Минск – Нарочь, 20–25 сент. 1999 г.). Минск, 2000. С. 68–74.
6. Современное состояние озера Болойсо / З. К. Карташевич [и др.] // Природ. ресурсы. 2000. № 2. С. 104–112.
7. Самойленко В. М., Карташевич З. К. Многолетние изменения гидрохимических показателей и фитопланктона водосмов Национального парка «Браславские озера» // Природ. ресурсы. 2007. № 3. С. 16–25.
8. Самойленко В. М., Карташевич З. К. Многолетние изменения фитопланктона как показатель эвтрофирования озер Браславской группы // Биоиндикация в мониторинге пресноводных экосистем: сб. материалов Междунар. науч. конф. (Санкт-Петербург, 23–27 окт. 2006 г.). СПб., 2007. С. 107–112.
9. Пряткова М. Я. Научные основы и методы восстановления озерных экосистем при разных видах антропогенного воздействия. СПб., 2002.
10. Сиренко Л. А., Гавриленко М. Я. «Цветение» воды и эвтрофирование. Киев, 1978.
11. Björk S. Limnological methods for environmental rehabilitation. Stuttgart, 2014.

## References

1. Borovik E. A. *Ozera Belorusskoi SSR*. Minsk, 1964 (in Russ.).
2. Tsygankov I. V. *Gidrokhimicheskii rezhim Braslavskikh ozer* [Hydrochemical mode of the Braslavskye lakes]. *Uch. zap. BGU. Ser.: Biol.* 1954. Issue 17. P. 140 (in Russ.).
3. Yakushko O. F. *Belorusskoe Poozer'e*. Minsk, 1971 (in Russ.).
4. Myslivets I. A., Meleshko M. A., Leshkovich L. E. *Antropogennye izmeneniya gidrokhimicheskogo rezhima Braslavskikh ozer* [Anthropogenic changes of the hydrochemical mode of the Braslavskye lakes]. *Vestnik BGU. Ser. 2, Khim. Biol. Geogr.* 1991. No. 2. P. 63–67 (in Russ.).
5. Kartashevich Z. K., Kiril'chik L. M. *Izmenenie gidrokhimicheskogo rezhima oz. Boloiso pod vliyaniem kommunal'nykh stochnykh vod* [Change of the hydrochemical mode of the lake Boloiso under the influence of municipal sewage]. *Ozernye ekosistemy: biologicheskie protsessy, antropogennaya transformatsiya, kachestvo vody* : materialy Mezhdunar. nauchn. konf. (Minsk – Naroch', 20–25 Sept., 1999). Minsk, 2000. P. 68–74 (in Russ.).
6. Kartashevich Z. K., Samoylenko V. M., Romanov V. P., et al. *Sovremennoe sostoyanie ozera Boloiso* [The Critical Conditions of the Lake Boloiso Ecosystem at «Braslaw Lakes» National Park]. *Prir. resursy*. 2000. No. 2. P. 104–112 (in Russ.).
7. Samoylenko V. M., Kartashevich Z. K. *Mnogoletnie izmeneniya gidrokhimicheskikh pokazatelei i fitoplanktona vodoemov Natsional'nogo parka «Braslavskie ozero»*. *Prir. resursy*. 2007. No. 3. P. 16–25 (in Russ.).
8. Samoylenko V. M., Kartashevich Z. K. *Mnogoletnie izmeneniya fitoplanktona kak pokazatel' evtrofirovaniya ozer Braslavskoi gruppy* [Long-term changes of phytoplankton as an indicator of eutrofication of the Braslavskye lakes]. *Bioindikatsiya v monitoringe presnovodnykh ekosistem* : sb. materialov Mezhdunar. nauchn. konf. (Saint Petersburg, 23–27 Okt., 2006). Saint Petersburg, 2007. P. 107–112 (in Russ.).
9. Prytkova M. Y. *Nauchnye osnovy i metody vosstanovleniya ozernykh ekosistem pri raznykh vidakh antropogennogo vozdeistviya*. Saint Petersburg, 2002 (in Russ.).
10. Sirenko L. A., Gavrilenko M. Y. *«Tsvetenie» vody i evtrofirovanie*. Kiev, 1978 (in Russ.).
11. Björk S. *Limnological methods for environmental rehabilitation*. Stuttgart, 2014.

Статья поступила в редколлегию 26.10.2016.  
Received by editorial board 26.10.2016.

УДК 551.79.561(476)

## ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ КОРРЕЛЯЦИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ОЗЕРНЫХ УРОВНЕЙ РЕГИОНА БАЛТИЙСКИХ ПООЗЕРИЙ В ПОЗДНЕЛЕДНИКОВЬЕ И ГОЛОЦЕНЕ

А. А. НОВИК<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Республика Беларусь

Проведена межрегиональная корреляция, сопоставлены палеогеографические события на основе единого методического подхода, используемого при интерпретации геологических, геохимических и палеоботанических данных, на примере региона Балтийских Поозерий. Сведения, полученные в процессе изучения озерных отложений, имеют важное значение при реконструкциях палеогеографических событий прошлого. Их анализ позволил восстановить целостную и непротиворечивую картину динамики озерных уровней как индикатора эволюции природной среды региона в течение последних 14 000 лет. Общие закономерности озерного осадконакопления и колебания уровней в первую очередь связаны с глобальной тенденцией потепления климата в начале послеледниковой эпохи и исчезновением многолетней мерзлоты. Дальнейшие преобразования в характере осадконакопления определялись климатическими циклами голоцена и степенью изменения континентальности.

**Ключевые слова:** колебание озерного уровня; озерное осадконакопление; литология; позднеледниковье; голоцен; Эстония; Латвия; Беларусь.

**Благодарность.** Исследования проведены в рамках международного белорусско-эстонского проекта БРФФИ № X10MC-001 (2010–2012) «Межрегиональная пространственно-временная корреляция развития окружающей среды Беларуси, Латвии и Эстонии в течение основных климатических событий последних 14 000 лет» и постдокторского гранта Эстонского научного фонда PD55 (2007–2009) «The lake-level fluctuations during the postglacial period: causes and impact on the lake ecosystem».

Автор выражает благодарность коллегам из Института экологии Таллинского университета Я.-М. Пуннингу, Т. Кофф, М. Кангуру, Т. Васмаа, Я. Терасмаа, Г. Капонен, А. Марзещовой и ведущему сотруднику Института природопользования НАН Беларуси В. П. Зерницкой за оказанную помощь и содействие в сборе, обработке и анализе материалов в ходе выполнения работы.

## SPACE-TIME CORRELATION DEVELOPMENT OF THE LAKE LEVELS CHANGE DURING THE LATE GLACIAL AND HOLOCENE OF THE BALTIC LAKE DISTRICTS

A. A. NOVIK<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Belarusian State University, Nezavistmosti avenue, 4, 220030, Minsk, Republic of Belarus

Inter-regional correlation and comparison of paleogeographic events on the basis of a common methodological approach in the interpretation of geological, geochemical and palaeobotanical data on the example of the Baltic Lake District was carried out. The data obtained from the study of lake sediments are important in paleogeographic reconstructions of

---

### Образец цитирования:

Новик А. А. Пространственно-временная корреляция изменения озерных уровней региона Балтийских Поозерий в позднеледниковье и голоцене // Журн. Белорус. гос. ун-та. География. Геология. 2017. № 1. С. 26–35.

### For citation:

Novik A. A. Space-time correlation development of the lake levels change during the late glacial and holocene of the Baltic Lake Districts. *J. Belarus. State Univ. Geogr. Geol.* 2017. No. 1. P. 26–35 (in Russ.).

---

### Автор:

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

### Author:

Aliaksei Novik, PhD (geography), docent, associate professor at the department of earth science and hydrometeorology, faculty of geography.  
novika@bsu.by



past events. Their analysis allowed us to restore the integrity and consistent picture of the dynamics of lake levels as an indicator of the evolutionary history of the natural environment of the region in the last 14 000 years. General patterns of sedimentation and lake level fluctuations are primarily concerned with the global trend of warming in the early post-glacial period, the disappearance of permafrost. Further changes in the character of sedimentation is determined by climatic cycles of the Holocene and the stage of change continental.

**Key words:** lake level fluctuation; lake sedimentation; lithology; late glacial; holocene; Estonia; Latvia; Belarus.

**Acknowledgements.** The study was supported by the framework of international Belarusian-Estonian project BRFFR No. X10MC-001 (2010–2012) «Inter-regional space-time correlation development of the environmental during the short-lasting climatic events throughout the last 14 000 years: on the example of Estonia, Latvia and Belarus» and the postdoctoral grant PD55 of the Estonian Science Foundation (2007–2009) «The lake-level fluctuations during the postglacial period: causes and impact on the lake ecosystem».

The author is grateful to colleagues from the Institute of Ecology at Tallinn University (J.-M. Punning, T. Koff, M. Kangur, T. Vasmaa, J. Terasmaa, G. Kaponen, A. Marzecova) and to the senior researcher at the Institute of Environmental Sciences of the National Academy of Sciences of Belarus V. P. Zernickoj for their assistance and cooperation in the collection, processing and analysis of materials during the program work.

## Введение

К настоящему времени доказано, что климатические изменения разного уровня неоднократно проявлялись в характере и динамике озерного осадконакопления на протяжении позднеледникового и голоцена. Наиболее значительным климатическим сдвигом стал переход от позднеледниковья к голоцену. Это событие континентального и даже глобального масштаба произошло синхронно или с незначительным временным расхождением (квазисинхронно) в Северной Америке и Европе. Работы последних лет показали, что этот переход осуществился очень быстро и был связан с резкой перестройкой циркуляции водной массы в Северной Атлантике. Широко известен ряд климатических изменений более мелкого ранга: переходы ранний дриас (DR-1) – бёллинг (BO); BO – средний дриас (DR-2); DR-2 – аллерёд (AL); AL – поздний дриас (DR-3), а также серия климатических флуктуаций в пределах голоцена [1; 2].

Палеоклиматические выводы, полученные в результате исследований многочисленных локальных европейских осадочных (озерных, болотных, аллювиальных) архивов палеогеографическими методами, показывают, что на одних и тех же временных срезах голоцена в разных частях континента или даже отдельных регионов нередко реконструируются разнонаправленные изменения (пики, тренды) температур и режима увлажнения [3–8]. По этой причине при реконструкции изменений природных условий важно использовать единый методический подход, а также стратиграфические схемы расчленения отложений в комплексном исследовании аккумуляций литологическими, палеофлористическими, радиоуглеродными и изотопно-геохимическими методами диагностики.

В пределах проходящего через Беларусь, Латвию и Эстонию меридионального трансекта с ярко выраженным градиентом степени континентальности современного климата изменения природных условий позднеледникового и голоцена особенно четко регистрируются в осадочных разрезах. В связи с этим в результате исследования белорусско-латвийско-эстонских телеконнекций, основанных на мультиметодическом подходе, сделана попытка проследить и объяснить синхронность/асинхронность изменения озерных уровней как индикатора преобразования климата, растительности, ландшафтов в довольно крупном регионе Европы – Балтийских Поозерьях. Трансграничные корреляции (телеконнекции) являются приоритетным направлением исследований ряда международных организаций и фондов (IGCP, INQUA, PAGES), а также важным шагом на пути к глобальной корреляции палеогеографических событий в истории Земли.

Чтобы снизить влияние локальных факторов на характер осадконакопления и, как следствие, изменение хода уровней, озерные системы необходимо сравнивать в схожих ландшафтно-геоморфологических условиях. В этом случае пространственно удаленные геологические разрезы с учетом метахронности палеогеографических событий не будут сопоставляться условно.

Результаты исследования целесообразно использовать при теоретических разработках палино-хроностратиграфических схем позднеледниковых и голоценовых отложений, восстановлении этапов формирования современного растительного покрова и преобразования озерных уровней, создании алгоритмов индикации палеоклиматических изменений по особенностям флористического и изотопно-геохимического состава, а также выявлении палеоклиматических трендов. Это послужит важным вкладом в развитие белорусской и европейской четвертичной палеогеографии и хроностратиграфии и найдет применение в международных исследованиях, посвященных проблемам глобального изменения климата.

### Объекты и методы исследований

Тенденции в изменении озерных уровней были определены согласно общепринятой методологии сравнительного анализа. В качестве опорных объектов исследования выбраны оз. Юуса в пределах Отепяской возвышенности южной Эстонии, оз. Кюжи в пределах Видземской возвышенности центральной Латвии и оз. Долгое в пределах Свенцянской краевой гряды Белорусского Поозерья (рис. 1). Выбор указанных объектов обусловлен единым ледниковым генезисом и схожими особенностями местоположения озер в пределах различных краевых стадий отступления вюрмского (поозерского) ледника, а также комплексом палеогеографической изученности истории развития самих водных объектов и прилегающих к ним водосборов на основе литолого-стратиграфических, палеофлористических, радиоуглеродных и изотопно-геохимических методов диагностики [8–14]. Важно отметить, что водосборные территории исследуемых озер образованы преимущественно водоупорными моренными суглинками, которые наименее чувствительны к ослаблению процессов инфильтрации. Этот фактор наряду с их положением в четко выраженных глубоковрезанных ледниковых котловинах, а также возвышенные водосборы создавали наиболее чувствительный к климатическим изменениям (снижение испарения, увеличение количества осадков) режим колебания уровней, что отражалось и в преобразовании характера озерного осадконакопления [1].

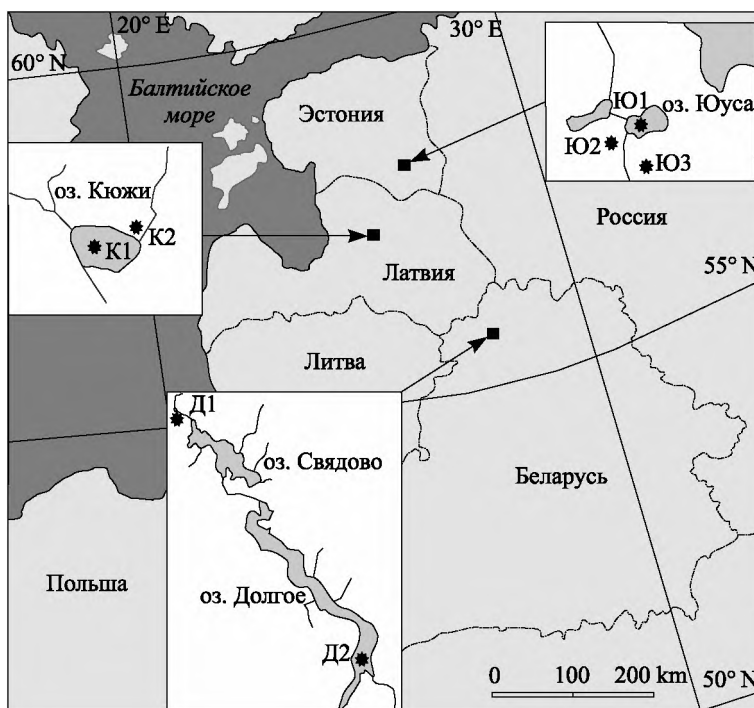


Рис. 1. Местоположение озер в регионе Балтийских Поозерий и выполненных разрезов

Fig. 1. Location of the lakes in the Baltic Lake Districts and study cores

В настоящее время комплексный подход (в том числе изотопно-кислородный, радиоуглеродный, литолого-фациальный, палеоботанический, геохимический методы) к изучению озерных отложений стал традиционным и используется в палеоклиматологических и палеогидрологических исследованиях. При анализе вскрытых отложений и в процессе уточнения возраста литологических горизонтов применялись следующие методы:

- литолого-фациальный (Я.-М. Пуннинг, Б. П. Власов, Я. Тerasмаа, А. А. Новик);
- спорово-пыльцевой (В. П. Зерницкая, Т. Кофф, М. Кангур и др.);
- радиоуглеродный (Т. Госляр, Н. Д. Михайлов);
- геохимический и изотопный (А. Н. Махнач, А. Л. Жуховицкая, Т. Мартмаа).

При стратификации отложений была использована европейская континентальная стратиграфическая схема позднеледниковья и голоцена [15]. В качестве показателей фаз развития водоемов задействовались данные о распределении основных осадкообразующих пород, а также органического вещества (ОВ), микро- и макроэлементов. Информативность геохимических индикаторов зависит от характера осадочного комплекса водосбора, генезиса озерных котловин и места заложения скважин.

При индикации генезиса осадков использовались главные литолого-геохимические параметры: песок, глина, опесчаненный ил, глинистый ил, кремнеземистый сапропель, тонкодетритовый сапропель, карбонатный сапропель, озерный мергель, торфосапропель, торф. Тонкодетритовый сапропель характеризуется повышенным содержанием ОВ (50–75 %), состав которого, за исключением остатков макрофитов, имеет планктонное происхождение. Основным минеральным компонентом кремнеземистого сапропеля является  $\text{SiO}_2$  (40–75 %) при снижении общей доли ОВ. Поступление кремния в озеро связано с поверхностным стоком и абразионными процессами. К главному минеральному компоненту карбонатного сапропеля и озерного мергеля относится  $\text{CaCO}_3$  (25–75 %) при снижении общей доли ОВ (с 50 до 0 %). Опесчаненный ил характеризуется низким содержанием ОВ (менее 15 %) с преобладанием  $\text{SiO}_2$  (более 80 %). В глинистом иле отмечается высокое содержание глинистых, или пелитовых, частиц с повышенным составом  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (до 10–12 %) в минеральной части при одновременном снижении  $\text{SiO}_2$ . Содержание ОВ в нем также не превышает 15 %. Торфосапропель и торф характеризуются повышенным содержанием ОВ (от 75 до 100 %) [16].

### Морфометрическая и литолого-стратиграфическая характеристика озер

Озеро Юуса (58°03' с. ш., 26°30' в. д.; 122,1 м н. у. м.) расположено на юге Эстонии в пределах Отепяской возвышенности (см. рис. 1). Площадь водосбора составляет около 55 га, бассейн залесен и частично заболочен. Котловина озера и разделенные холмами заболоченные понижения водосбора имеют гляциокарстовый генезис. В пределах озерной котловины для анализа динамики уровня озера использовался разрез Ю1 мощностью 9 м, имеющий датировку с максимальным возрастом по  $^{14}\text{C}$  [8]. С юго-западной стороны к озерной котловине примыкает крупная заторфованная ложбина, в пределах которой были проанализированы два разреза – Ю2 и Ю3. Скважина Ю2 (123,5 м н. у. м.) мощностью 6,4 м расположена на расстоянии 250 м от озера. Скважина Ю3 (123,5 м н. у. м.) находится в 300 м от оз. Юуса в одной из лощин глубоко вдающейся в склоны моренной возвышенности. Общая мощность отложений составила 2,5 м [9].

Базальный слой разреза Ю1 представлен глинистым илом, переходящим в кремнеземистый сапропель, начало формирования которого датируется 10 023  $^{14}\text{C}$  л. н. (рис. 2). С глубины 800 см от поверхности дна его сменяет карбонатный сапропель, формировавшийся с перерывами в интервалах от 9343 до 360  $^{14}\text{C}$  л. н. На различных временных этапах характер озерного седиментогенеза сменялся с карбонатного на кремнеземистый (около 6000, 4000 л. н., современное время) и тонкодетритовый (около 2000 л. н.) [8].

В разрезе Ю2 верхняя часть торфяной залежи мощностью 410 см подстилается озерными отложениями (410–650 см), за исключением слоя древесного торфа на глубине 580–600 см (см. рис. 2). Кровля озерных осадков (119,4 м н. у. м.) находится на 270 см ниже современного уреза воды в оз. Юуса. На глубине 635–600 см отложения представлены высокоминеральным карбонатным ( $\text{SiO}_2$  – до 80 %,  $\text{CaCO}_3$  – 20 %) сапропелем, возраст которого датирован 9240  $^{14}\text{C}$  л. н. Выше по разрезу, на глубине 600–580 см, залегает древесный торф, сформированный в интервале от 9220 до 9170  $^{14}\text{C}$  л. н. Озерные отложения (410–580 см), перекрывающие торфяной горизонт, состоят из органического карбонатного сапропеля (содержание ОВ достигает 20–30 %,  $\text{CaCO}_3$  – до 80 %). Время накопления этих отложений определено датами, полученными исходя из анализа подстилающего (9170  $^{14}\text{C}$  л. н.) и перекрывающего (2165  $^{14}\text{C}$  л. н.) торфа [9; 17].

Верхняя часть разреза Ю3 представлена торфом, мощность которого составляет около 180 см (см. рис. 2). Под торфом были вскрыты озерные отложения (озерный мергель, карбонатный и органический сапропель) мощностью около 70 см. Верхняя граница озерных осадков лежит на отметке 121,7 м н. у. м., что на 40–50 см ниже уреза воды в оз. Юуса. В базальном горизонте озерного мергеля концентрация карбонатов ( $\text{CaCO}_3$ ) увеличивается до 78 % при незначительном содержании органики – не более 8 %. Возраст осадков на верхней границе (глубина – 232 см) этого горизонта датируется 10 000  $^{14}\text{C}$  л. н. (см. рис. 2). Выше, на глубине 230 см, фиксируется маломощный слой слаборазложившегося торфа (около 5 см), на котором вновь залегает карбонатный сапропель (глубина – 225 см;  $\text{SiO}_2$  – до 70 %,  $\text{CaCO}_3$  – 55 %, ОВ – от 3 до 8 %), датированный возрастом 9850  $^{14}\text{C}$  л. н. На глубине 210 см в осадках отмечается снижение концентрации минерального вещества и карбонатов, в то время как содержание ОВ в торфяном горизонте (глубина – 205 см) возрастает до 44 %. Возобновление аккумуляции высокоминерального карбонатного сапропеля было датировано возрастом 9600  $^{14}\text{C}$  л. н. Резкое изменение литологии регистрируется на глубине 185 см, где накапливается торф, в котором содержание органики возрастает до 80–90 % (см. рис. 2) [9; 17].

Озеро Кюжи (57° 2' с. ш., 25° 20' в. д.; 191,5 м н. у. м.) расположено в центральной Латвии, в западной части конечно-моренной Видземской возвышенности, относящейся к видземской краевой стадии вюрмского оледенения (см. рис. 1). Водосбор озера характеризуется ярко выраженным сильно расчлененным холмисто-моренным рельефом [18]. Площадь озера составляет 6,3 га, максимальная длина – 380 м, ширина – 210 м, глубина – до 8 м. Площадь бассейна достигает 1,2 км<sup>2</sup>. Водосбор залесен на востоке и западе.



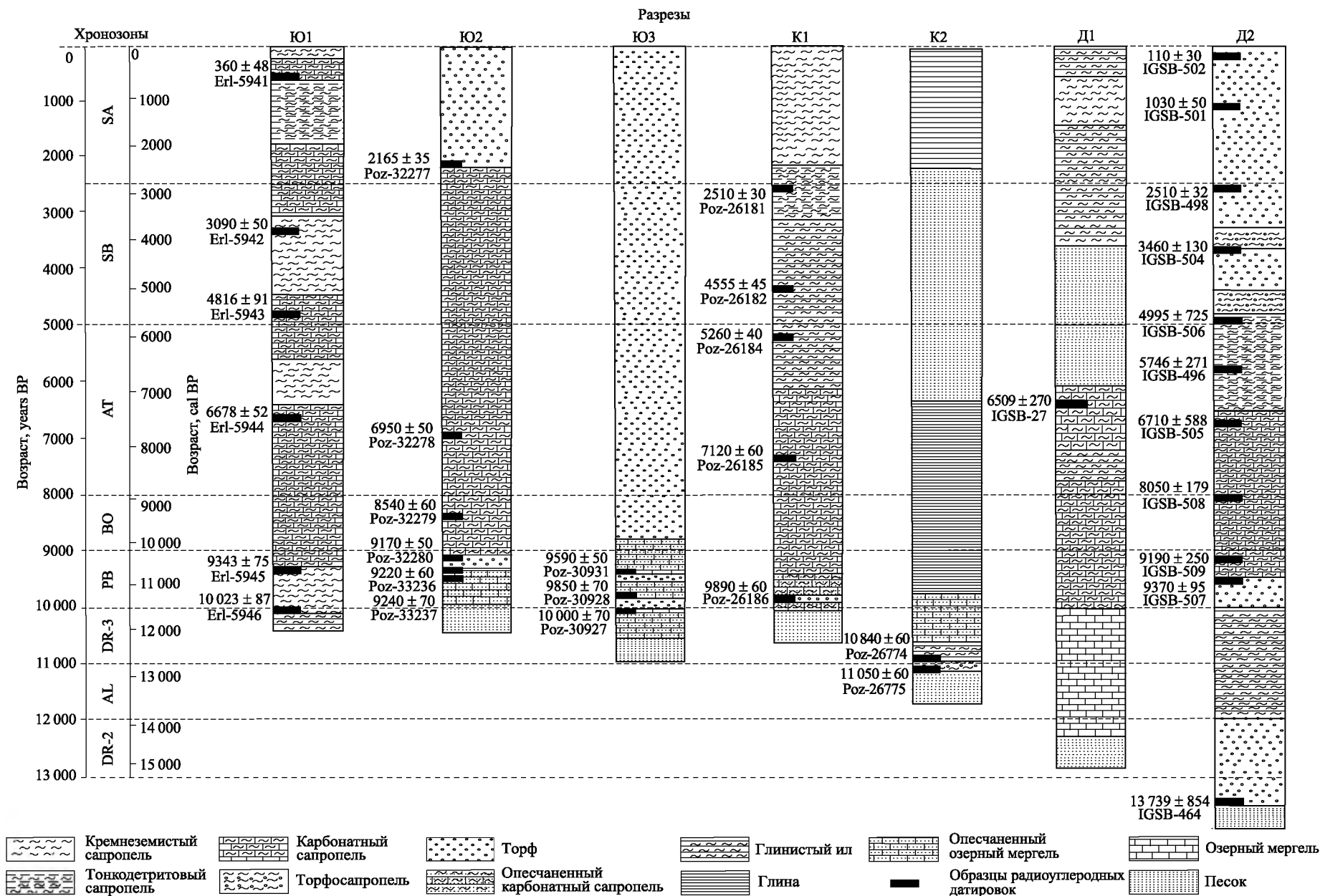


Рис. 2. Сравнительная литостратиграфия озерных осадков в регионе Балтийских Поозерий  
 Fig. 2. Comparative lithostratigraphy of the investigated sediments in the Baltic Lake Districts



На северо-западе, северо-востоке и юге от озерной котловины залегают торфяные болотные массивы. К ним примыкают моренные холмы, подходящие к урезу воды с западной и восточной сторон [12; 18]. Разрез К1 выполнен в центральной части озерной котловины. Его мощность составила 9 м [12]. Разрез К2 мощностью около 1,5 м описан в геологическом обнажении на северо-восточном берегу озера [14].

Стратиграфический анализ осадков разреза К1 позволил выделить шесть литологических единиц (см. рис. 2) [12]. В нижней части базальный горизонт, представленный гравием и песком с илом и фракциями глины (920–870 см), перекрывается неструктурированным опесчаненным карбонатным сапропелем с илистой глиной и тонким слоем торфа (865–859 см; приблизительно 9890  $^{14}\text{C}$  л. н.). Содержание ОВ в основании разреза на глубине 865 см – не более 8 %. Выше наличие органики в карбонатном сапропеле резко увеличивается, достигая более чем 60 % на глубине 700 см. Состав ОВ начинает уменьшаться с глубины 650 см (около 7120  $^{14}\text{C}$  л. н.). Здесь среднее содержание ОВ (33 %) отмечается между 650 и 260 см (7120–2510  $^{14}\text{C}$  л. н.). В центральной части разреза осадки состоят из глинистого темно-цветного коричневого сапропеля с небольшими прослоями карбонатов (560–260 см). Более выраженная горизонтальная слоистость фиксируется на глубинах между 370 и 260 см (5000–2000  $^{14}\text{C}$  л. н.). Начиная с глубины 260 см содержание ОВ увеличивается, достигая максимума на глубине 80 см (до 45 %). В верхней части (200–0 см) представлен однородный сапропель без резких переходов. С глубины 80 см содержание ОВ устойчиво уменьшается до 30 %. Содержание карбонатного вещества относительно низкое по всему разрезу (в среднем – около 7 %); только в самой нижней части концентрация карбонатов составляет более чем 10 % [12].

В верхней части обнажения К2 залегает делювиальный суглинок красно-бурого оттенка мощностью 35 см (см. рис. 2) [14]. Ниже он сменяется высокожелезистым делювиальным песком палево-желтого оттенка с прослоями суглинков. С глубины 85 см за песком фиксируется плотный древний делювиальный суглинок темно-бурого цвета, перекрывающий на глубине 1 м опесчаненные озерные карбонатные илы сиреневого оттенка с прослоями органического сапропеля и торфа (возраст – 10 840 и 11 050  $^{14}\text{C}$  л. н. соответственно) [12; 14]. Мощность озерных осадков достигает 35 см. Ниже они сменяются позднеледниковыми флювиогляциальными песками с включением гравия и гальки [18].

Озеро Долгое (55° 14' с. ш., 28° 11' в. д.; 172,6 м н. у. м.) расположено на севере Беларуси в пределах краевой зоны витебской фазы поозерского оледенения. Оно занимает центральный, наиболее переглубленный участок обширной макроложбины, которая пересекает с северо-запада на юго-восток конечно-моренные гряды восточной части Свенцянской возвышенности (см. рис. 1) [10; 19]. Котловина оз. Долгое прорезает холмистую поверхность с абсолютными отметками 190–215 м. Ее тальвег находится на уровне 115–175 м. Продольный профиль имеет сложное строение в виде чередования переглубленных водобойных участков и поднятий с относительной амплитудой высот 35–50 м. Часть понижений – котловины ложбинного типа – заполнены водой (озера Гиньково, Лозовики, Сядово, Долгое) [10; 19]. Разрез Д1 в оз. Долгое мощностью 3,5 м выполнен в южной части котловины в литоральной зоне на глубине 5 м [10]. Разрез Д2 мощностью 11,6 м произведен в северной части ложбины оз. Долгое в пределах торфяного болотного массива, примыкающего к остаточному дистрофному оз. Лозовики (173,7 м н. у. м.) [10; 11].

Базальный горизонт разреза Д1 представлен песком на глубине 320–330 см (см. рис. 2). Выше он сменяется озерным мергелем с прослоями опесчаненной глины до глубины 235 см от поверхности дна. В слое на глубине 45–235 см лежит карбонатный сапропель, характеризующийся высоким содержанием ОВ в верхней части. На глубине 90–105 см в карбонатном сапропеле выделяется слой глинистого ила. Такой же характер отложений фиксируется на глубине 25–40 см. Далее, на глубине 45 см карбонаты перекрываются песком мощностью около 5 см. В слое 10–25 см отмечен кремнеземистый сапропель, который к поверхности вновь переходит в глинистый ил [10].

В основании разреза Д2 был вскрыт водно-ледниковый песок желтого цвета с гравием (см. рис. 2). На песке залегает сфагновый торф мощностью 60 см, возраст которого определен периодом 13 739  $^{14}\text{C}$  л. н. Выше залегает слой неструктурированного глинистого ила, сменяемого далее древесным торфом (возраст – 9370  $^{14}\text{C}$  л. н.). На глубине от 103 до 760 см фиксируется опесчаненный карбонатный сапропель. Выше он сменяется тонкодетритовым сапропелем с высоким содержанием ОВ. Начиная с глубины 600 см озерные осадки сменяет сфагновый торф со слоями торфосапропеля и остатками древесного торфа [10; 20].

### Результаты исследования и их обсуждение

Анализ представленных данных свидетельствует о том, что начало озерного седиментогенеза в DR-3 на водосборе оз. Юуса было связано с активизацией гляциокарстовых процессов (см. рис. 2) [9]. Наиболее интенсивно расконсервация озерных котловин протекала на возвышенных участках водосбора. Холодные климатические условия того времени способствовали аккумуляции карбонатного сапропеля

с высокой долей терригенного материала. Карбонаты в озеро поступали с талой водой в результате интенсивного выщелачивания морены. О нестабильности уровня водоема в начале пребореального периода (РВ) свидетельствуют слои торфа в карбонатном сапропеле. Конец РВ характеризовался повышением уровня озера [9]. В осадках разреза Ю2 это событие фиксируется накоплением поверх торфа карбонатного сапропеля с включением большого количества песка, поступавшего со склонов в озеро в результате оттаивания мерзлотных грунтов. Данный процесс совпал с началом карбонатного осадконакопления в наиболее глубоких частях гляциокарстового понижения (разрез Ю1), что свидетельствует об активном поступлении карбонатного материала с водосборных территорий [8]. Следующее понижение уровня водоема отмечено в середине бореального периода (ВО) очередным накоплением торфа, повышением концентрации содержания ОВ в карбонатном сапропеле и ростом спор сухолюбивых представителей флоры в осадках того времени [9; 13]. Новый подъем уровня последовал в конце ВО – начале атлантического этапа (АТ), что подтверждается увеличением минеральной составляющей в осадках. Наметившийся подъем воды в то время уже не доходил до высоты разреза Ю3, где процесс торфообразования, который начался в ВО, продолжается и по настоящее время [9]. В суббореале (SB) преобладали высокие уровни, однако начиная со второй половины периода появилась тенденция к понижению, отразившаяся в уменьшении минерального и увеличении органического и карбонатного веществ в осадках озера. Очередное непродолжительное повышение сменилось падением уровня водоема в начале субатлантического периода (СА). В то время этап озерного седиментогенеза в стоковой ложбине прекратился в результате постепенного понижения уровня и заболачивания, в озере стали накапливаться высокоорганические сапропели [9].

Озерное осадконакопление на водосборе оз. Кюжи началось в АЛ в результате активизации процессов гляциокарста (см. рис. 2) [14; 18]. В начале РВ наблюдались низкие уровни вследствие интенсивной инфильтрации талых вод. С середины РВ увеличилось общее обводнение территории, что привело к росту песчаного материала в озерных осадках. По мере оттаивания незакрепленных грунтов на склонах моренных гряд в начале голоцена активно протекали солифлюкционные и делювиальные процессы, способствовавшие общему выполаживанию рельефа и перекрытию сносимым вниз материалом озерных осадков у основания склонов [18]. По всей видимости, это привело к перекрытию озерных отложений разреза К2 делювиальными суглинками [14]. К середине ВО уровень в озере стабилизировался с тенденцией к понижению, однако к концу периода наметился очередной подъем, закончившийся к началу АТ. Первая половина этого периода характеризуется низкими уровнями, что отражается в высокой концентрации доли содержания ОВ в карбонатном сапропеле [12]. Со второй половины АТ вплоть до середины SB уровень в озере повышался, о чем свидетельствует накопление в нем высокоминеральных сапропелей. Последние сменились выше тонкодетритовыми сапропелями, которые аккумулировались с середины SB до СА, чему способствовала динамика низких уровней. В СА начался новый подъем уровней, характеризующийся накоплением кремнеземистых сапропелей, однако на современном этапе отмечается незначительное увеличение органики в осадках как тенденция к снижению уровня [12].

Согласно пылецевым и радиоуглеродным данным формирование базального горизонта торфа в водосборных понижениях оз. Долгое происходило в начале позднеледниковья (ВО – DR-2) (см. рис. 2) [10]. В АЛ и DR-3 проявилась тенденция к понижению уровня, что усилило интенсивность карбонатонакопления. Повышение уровня озера и начало формирования карбонатных осадков с высоким содержанием терригенного материала обнаружены в конце РВ. В течение ВО в этих отложениях уменьшилась роль терригенных компонентов, что свидетельствует о слабой проточности озерного бассейна и стабилизации либо понижении уровня. Изотопные и палинологические данные в карбонатных осадках также фиксируют повышение уровня во второй половине ВО и постепенное понижение с начала АТ, что отражается в составе карбонатного сапропеля, где возрастает содержание ОВ [11]. С середины АТ карбонатное осаднение в озере резко прекратилось. В результате понижения уровня литоральные зоны превратились в прибрежные части озерной котловины, где аккумулировался песчаный материал [10]. В озере стал накапливаться тонкодетритовый сапропель с высоким содержанием органики. Начало SB ознаменовалось новым кратковременным этапом подъема уровня, что отражается в разрезе Д2, где фиксируется горизонт тонкодетритового торфосапропеля на глубине 4,55–4,75 м. Затем последовал очередной спад, о чем свидетельствует накопление торфа в разрезе Д2. Чередование торфа с прослоями тонкодетритового сапропеля говорит о неустойчивости водного режима [20]. Со второй половины SB в разрезе Д1 поверх песка стали накапливаться глинистые илы, сменяющиеся кремнеземистыми сапропелями, что отражают результаты трансгрессии. В течение ранней и средней СА в разрезе Д1 продолжилось формирование древесного торфа, а в конце этого этапа начал аккумулироваться сфагновый торф [20].

### Выводы

На основании анализа проведенных палеогеографических исследований выполнена реконструкция изменения уровней озер Беларуси, Латвии и Эстонии в позднеледниковье и голоцене (рис. 3), в ходе

которой выявлен ряд общих закономерностей. В первую очередь фиксируется четко выраженный минимум уровней, характерный для ранних этапов позднеледниковья, в оз. Долгое. Низкие отметки уровней, по всей видимости, были обусловлены резким похолоданием и незавершенностью процесса расконсервации гляциокарста [1]. Незначительное увеличение обводненности территории, происходившее в AL – начале DR-3, наблюдается в озерах Кюжи и Долгое, что связано с потеплением климата того времени и активизацией процессов гляциокарста [19]. Наиболее глубокие понижения озерных котловин южной Эстонии в тот период оставались законсервированными льдом [9]. Усилившееся похолодание в DR-3, вероятно, сопровождалось повышением влажности климата и подъемом уровней озер. Интенсивное грунтовое питание в водоемах Юуса и Кюжи обусловило поступление карбонатного и терригенного материала и начало формирования озерных отложений [8; 12]. Однако уже в первой половине РВ наметилась тенденция к понижению уровней для всех трех озер, что было связано с уменьшением влажности климата и спадом флювиальной активности [10]. К этому периоду относятся находки мало-мощных слоев древнего торфа во всех изученных озерах. Формированию торфа способствовали начало потепления климата и активизация процессов разгрузки талых вод многолетней мерзлоты за счет усиления процессов инфильтрации [1; 9].

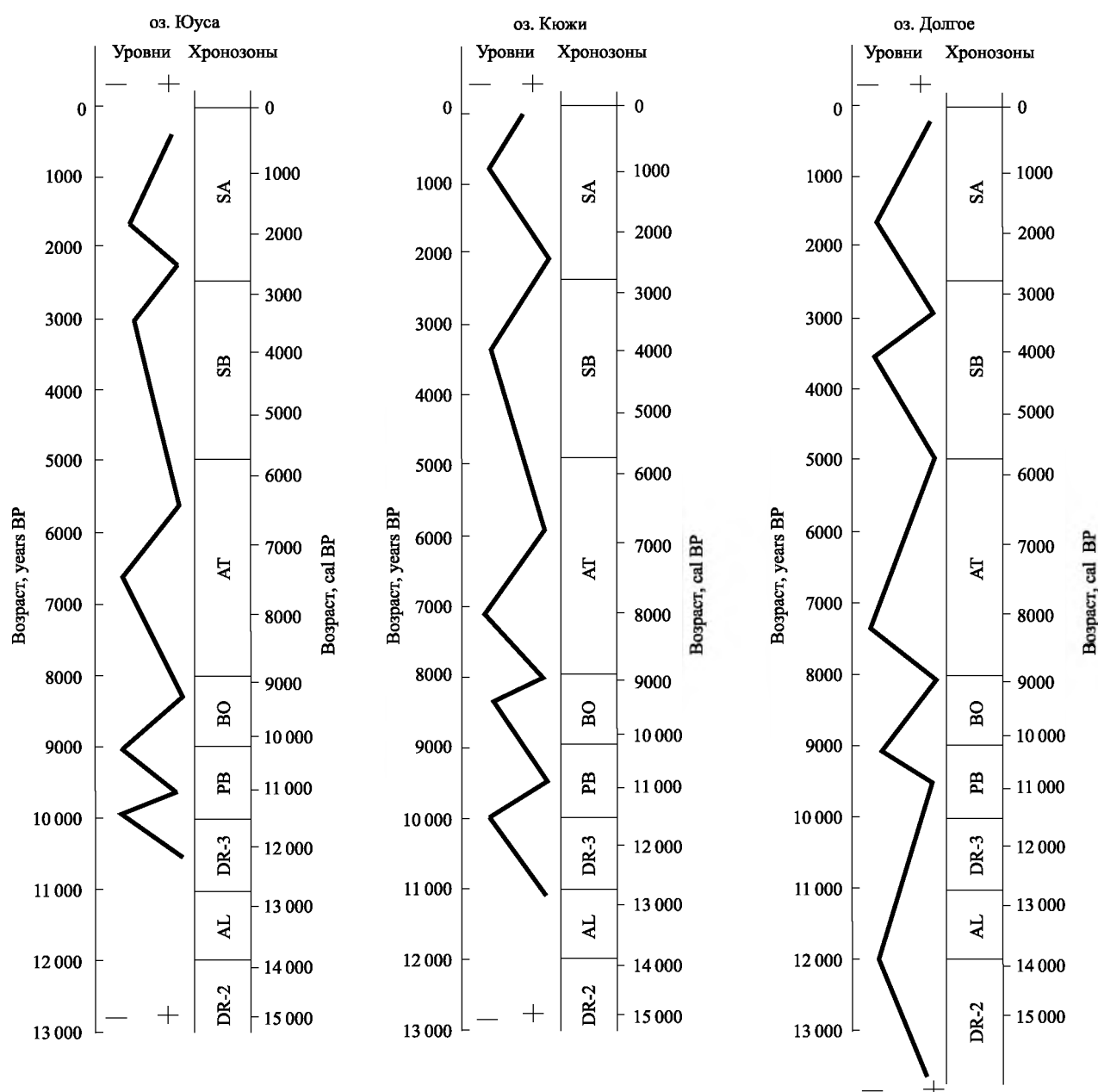


Рис. 3. Динамика изменения уровней озер Балтийских Поозерий в позднеледниковье и голоцене

Fig. 3. Late Glacial and Holocene lake-level fluctuations in the Baltic Lake Districts



Со второй половины РВ в исследованных озерных разрезах наблюдается общерегиональная динамика повышения уровней озер, обусловленная глобальной тенденцией потепления и увлажнения климата в начале голоцена. Преобладавшие до того времени минеральные и органоминеральные отложения позднеледниковья начинают перекрываться породами карбонатного состава за счет выщелачивания карбонатной морены в результате усиления флювиальной активности. В эпоху седиментации карбонатных осадков озера обладали характером олигомезотрофных водоемов с низким содержанием ОВ в донных отложениях [10]. Важное значение при этом имели морфологические особенности озерных котловин и литология пород водосбора. Процесс повышения уровней продолжался вплоть до начала – середины ВО. Очередное похолодание, наступившее в тот временной отрезок, привело к уменьшению увлажненности и понижению уровней.

В конце ВО – начале АТ прослеживается процесс стабилизации уровней с общей тенденцией к повышению, но уже около 7000 л. н. наступил этап очередного спада уровней, что отражает прерывание озерного осадконакопления в разрезе на литоральной зоне оз. Долгое [10]. Этому периоду соответствует смена характера осадконакопления во всех изученных озерах. Преобладающий карбонатный компонент озерных осадков к середине АТ либо снижается за счет доли содержания  $\text{CaCO}_3$ , либо полностью сменяется органоминеральным. Причины смены карбонатных отложений органическими были комплексными: выщелачивание водосборных территорий, повлекшее за собой сокращение притока жестких вод; похолодание в начале SB, определившее прекращение или замедление формирования озерных карбонатов; повышение трофического статуса вследствие развития в них растительной и животной жизни [11].

Холодные и влажные условия SB способствовали наступлению очередной тенденции к повышению уровней, что сопровождалось увеличением минеральных компонентов в осадках всех озер. Кроме того, в бывших литоральных частях оз. Долгое возобновился процесс озерного осадконакопления. Во второй половине SB колебания отличались разноплановым характером, что было обусловлено локальными факторами, но уже к началу SA процесс потепления и увлажнения климата вызвал очередную общую фазу подъема во всех исследованных озерах региона [1; 8; 10]. В настоящее время анализ озерного осадконакопления подтверждает стадии регрессии в динамике изменения уровней изученных озер, начавшейся приблизительно тысячу лет назад.

Как видно из приведенного палеогеографического анализа, большинство выявленных закономерностей в озерной седиментации имеют общие тенденции для региона Балтийских Поозерий, что связано с глобальными палеоклиматическими преобразованиями в позднеледниковье и голоцене. Однако в климатических циклах, связанных с периодами похолодания и увеличения увлажненности при продвижении с северо-запада на юго-восток, обнаруживаются некоторое запаздывание этапов изменения характера осадконакопления и, как следствие, колебания озерных уровней. И наоборот, для палеоциклов с потеплением и снижением увлажненности наблюдается обратный сценарий, что, помимо влияния локальных факторов на водосборных территориях, может объясняться повышением градиента степени континентальности климата по меридиональному трансекту оз. Юуса – оз. Кюжи – оз. Долгое. Это подтверждается и палинологическими данными, согласно которым установлено, что на территории Беларуси наиболее значимые климатические события голоцена (позднебореальное, среднеатлантическое и раннесуббореальное похолодания) выглядели ярче, чем на территории стран Балтии [21]. Эта закономерность стала ярко проявлять себя с начала ВО.

### Библиографические ссылки

1. Novik A., Punning J.-M., Zernitskaya V. The development of Belarusian lakes during the Late Glacial and Holocene // *Estonian J. Earth Sci.* 2010. Vol. 59, issue 1. P. 63–79.
2. Lasberg K., Kalm V. Chronology of Late Weichselian glaciation in the western part of the East European Plain // *Boreas*. 2013. Vol. 42, issue 4. P. 995–1007.
3. Sediment record from the Kamyshevskoe Lake: history of vegetation during late Pleistocene and early Holocene (Kaliningrad District, Russia) / O. Druzhinina [et al.] // *Baltica*. 2015. Vol. 28, № 2. P. 121–134.
4. Postglacial history of vegetation, human activity and lake-level changes at Jezioro Linówek in northeast Poland, based on multi-proxy data / M. Galka [et al.] // *Veg. Hist. Archaeobot.* 2014. Vol. 23, issue 2. P. 123–152.
5. Lateglacial and early Holocene environmental dynamics in northern Lithuania: A multi-proxy record from Ginkūnai Lake / M. Stančikaitė [et al.] // *Quat. Int.* 2015. Vol. 357. P. 44–57.
6. Local and regional Holocene vegetation dynamics at two sites in Eastern Latvia / N. Stivrins [et al.] // *Boreal Environ. Res.* 2014. Vol. 19. P. 310–322.
7. Vegetation pattern and sedimentation changes in the context of the Lateglacial climatic events: Case study of Staroje Lake (Eastern Belarus) / V. Zernitskaya [et al.] // *Quat. Int.* 2015. Vol. 386. P. 70–82.
8. Holocene lake level fluctuations recorded in the sediment composition of the small dimictic Lake Juusa (SE Estonia) / J.-M. Punning [et al.] // *J. Paleolimnol.* 2005. № 34. P. 377–390.
9. Новик А. А. История развития водосбора озера Юуса в позднеледниковье и голоцене // *Вестн. БГУ. Сер. 2, Химия. Биология. География*. 2013. № 1. С. 88–93.
10. Озеро Долгое (седиментогенез, стратиграфия донных отложений и этапы развития) / В. П. Зерницкая [и др.]. Минск, 2001.
11. Stable oxygen and carbon isotopes in Late Glacial-Holocene freshwater carbonates from Belarus and their palaeoclimatic implications / N. Makhnach [et al.] // *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.* 2004. Vol. 209. P. 73–101.



12. Puusepp L., Kangur M. Linking diatom community dynamics to changes in terrestrial vegetation: a palaeolimnological case study of Lake Kūji, Vidzeme Heights (Central Latvia) // *Estonian J. Ecol.* 2010. Vol. 59, № 4. P. 259–280.
13. Ecosystem response to Early and Late Holocene lake-level changes in lake Juusa, southern Estonia / T. Koff [et al.] // *Pol. J. Ecol.* 2005. Vol. 53, № 4. P. 553–570.
14. Koff T., Terasmaa J. The sedimentary sequence from the Lake Kūji outcrop, Central Latvia: implications for late glacial stratigraphy // *Estonian J. Earth Sci.* 2011. Vol. 60, № 2. P. 113–122.
15. Quaternary stratigraphy of Norden: a proposal for terminology and classification / J. Mangerud [et al.] // *Boreas.* 1974. № 3 (1–2). P. 78–85.
16. Жуковская А. Л., Генералова В. А. Геохимия озер Белоруссии. Минск, 1991.
17. Novik A. The development of lake sedimentation since Older Dryas in Belarus // *The environmental and socio-economic response in the southern Baltic region : materials 2<sup>nd</sup> Int. Conf. on Clim. Change (Szczecin, Poland, 12–15 May, 2014).* Szczecin, 2014. P. 15–16.
18. Новик А. А. Геолого-геоморфологическая характеристика и история формирования рельефа водосбора озера Кюжи // Теоретические и прикладные аспекты современной географии и географического образования : материалы VIII съезда Белорус. геогр. о-ва (Минск, 10–14 нояб. 2010 г.). Минск, 2011. С. 85–87.
19. Новик А. А. О генезисе гляциогенных рытвин в ледниковом комплексе // *Вестн. БГУ. Сер. 2, Химия. Биология. География.* 2002. № 2. С. 76–80.
20. Новик А. А. Общие закономерности осадконакопления и колебания уровней озер Беларуси в послеледниковый период // *Вестн. БГУ. Сер. 2, Химия. Биология. География.* 2010. № 2. С. 95–99.
21. Zernitskaya V., Makhnach N., Kolkovski V. Stratigraphy of Late Glacial and Holocene deposits in Belarusian Poozerie // *The Quaternary of Western Lithuania: from the Pleistocene Glaciations to the evolution of the Baltic sea : proc. of the INQUA Peribalt. Group Field Symp. (Plateliai, Lithuania, 27 May – 02 June, 2007) / eds.: R. Guobyte, M. Stancikaite.* Vilnius, 2007. P. 107–108.

## References

1. Novik A., Punning J.-M., Zernitskaya V. The development of Belarusian lakes during the Late Glacial and Holocene. *Estonian J. Earth Sci.* 2010. Vol. 59, issue 1. P. 63–79.
2. Lasberg K., Kalm V. Chronology of Late Weichselian glaciation in the western part of the East European Plain. *Boreas.* 2013. Vol. 42, issue 4. P. 995–1007.
3. Druzhinina O., Subetto D., Stančikaitė M., et al. Sediment record from the Kamyshevskoe Lake: history of vegetation during late Pleistocene and early Holocene (Kaliningrad District, Russia). *Baltica.* 2015. Vol. 28, No. 2. P. 21–134.
4. Galka M., Tobolski K., Zawisza E., et al. Postglacial history of vegetation, human activity and lake-level changes at Jezioro Linówek in northeast Poland, based on multi-proxy data. *Vég. Hist. Archaeobot.* 2014. Vol. 23, issue 2. P. 123–152.
5. Stančikaitė M., Šeiriienė V., Kisieliene D., et al. Lateglacial and early Holocene environmental dynamics in northern Lithuania: A multi-proxy record from Ginkūnai Lake. *Quat. Int.* 2015. Vol. 357. P. 44–57.
6. Stivrins N., Kalina L., Veski S., et al. Local and regional Holocene vegetation dynamics at two sites in Eastern Latvia. *Boreal Environ. Res.* 2014. Vol. 19. P. 310–322.
7. Zernitskaya V., Stančikaite M., Vlasov B., et al. Vegetation pattern and sedimentation changes in the context of the Lateglacial climatic events: Case study of Staroje Lake (Eastern Belarus). *Quat. Int.* 2015. Vol. 386. P. 70–82.
8. Punning J.-M., Koff T., Kadastik E., et al. Holocene lake level fluctuations recorded in the sediment composition of the small dimictic Lake Juusa (SE Estonia). *J. Paleolimnol.* 2005. No. 34. P. 377–390.
9. Novik A. A. Istoriya razvitiya vodosbora ozera Jusa v pozdnelednikovye i Holocene [The development of catchment of lake Juusa during the Late Glacial and Holocene]. *Vestnik BSU. Ser. 2, Khim. Biol. Geogr.* 2013. No. 1. P. 88–93 (in Russ.).
10. Zernitskaya V. P., Zhukhovitskaya A. L., Vlasov B. P., et al. Ozero Dolgoe (sedimentogenez, stratigrafiya donnykh otlozhenij i etapy razvitiya) [Lake Dolgoe (sedimentogenesis, stratigraphy of bottom deposits and stages of development)]. Minsk, 2001 (in Russ.).
11. Makhnach N., Zernitskaya V., Kolosov I., et al. Stable oxygen and carbon isotopes in Late Glacial-Holocene freshwater carbonates from Belarus and their palaeoclimatic implications. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.* 2004. Vol. 209. P. 73–101.
12. Puusepp L., Kangur M. Linking diatom community dynamics to changes in terrestrial vegetation: a palaeolimnological case study of Lake Kūji, Vidzeme Heights (Central Latvia). *Estonian J. Ecol.* 2010. Vol. 59, No. 4. P. 259–280.
13. Koff T., Punning J.-M., Sarmaja-Korjonen K., et al. Ecosystem response to Early and Late Holocene lake-level changes in lake Juusa, southern Estonia. *Pol. J. Ecol.* 2005. Vol. 53, No. 4. P. 553–570.
14. Koff T., Terasmaa J. The sedimentary sequence from the Lake Kūji outcrop, Central Latvia: implications for late glacial stratigraphy. *Estonian J. Earth Sci.* 2011. Vol. 60, No. 2. P. 113–122.
15. Mangerud J., Andersen S., Berglund B., et al. Quaternary stratigraphy of Norden: a proposal for terminology and classification. *Boreas.* 1974. No. 3 (1–2). P. 78–85.
16. Zhukhovitskaya A. L., Generalova V. A. Geokhimiya ozer Belorussii [Geochemistry of Belarusian lakes]. Minsk, 1991 (in Russ.).
17. Novik A. The development of lake sedimentation since Older Dryas in Belarus. *The environmental and socio-economic response in the southern Baltic region : materials 2<sup>nd</sup> Int. Conf. on Clim. Change (Szczecin, Poland, 12–15 May, 2014).* Szczecin, 2014. P. 15–16.
18. Novik A. A. Geologo-geomorfologicheskaja harakteristika i istorija formirovanija reliefa i vodosbora ozera Kuzhi [Geologo-geomorphological characteristic and a history of formation of a relief of a reservoir of lake Kuzhi]. *Theoretical and applied aspects of modern geography and geographical formation : materials VIII Congr. Belarus. of a geogr. soc. (Minsk, 10–14 Novemb., 2010).* Minsk, 2011. P. 85–87 (in Russ.).
19. Novik A. A. O genesise glacigennih ritvin v lednikovom komplekse [About the genesis of the glacial channel in glacial complex]. *Vestnik BSU. Ser. 2, Khim. Biol. Geogr.* 2002. No. 2. P. 76–80 (in Russ.).
20. Novik A. A. Obschie zakonomernosti osadkonakoplenija i kolebanija urovnei ozer Belarusi v poslednednikovij period [Principal features of the lacustrine sedimentational and lake-level fluctuations in Belarus during the postglacial period]. *Vestnik BSU. Ser. 2, Khim. Biol. Geogr.* 2010. No. 2. P. 95–99 (in Russ.).
21. Zernitskaya V., Makhnach N., Kolkovski V. Stratigraphy of Late Glacial and Holocene deposits in Belarusian Poozerie. *The Quaternary of Western Lithuania: from the Pleistocene Glaciations to the evolution of the Baltic sea : proc. the INQUA Peribalt. Group Field Symp. (Plateliai, Lithuania, 27 May – 02 June, 2007).* Eds.: R. Guobyte, M. Stancikaite. Vilnius, 2007. P. 107–108.

Статья поступила в редакцию 14.11.2016.  
Received by editorial board 14.11.2016.

УДК 911.3:314(476)+331.52:63

## РЕГИОНАЛЬНЫЕ РАЗЛИЧИЯ МАСШТАБОВ ДЕМОГРАФИЧЕСКОГО СТАРЕНИЯ БЕЛАРУСИ И РОССИИ

Е. А. АНТИПОВА<sup>1)</sup>, З. А. ТРИФОНОВА<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2)</sup>Чувашский государственный университет имени И. Н. Ульянова,  
Московский пр., 15, 428015, г. Чебоксары, Россия

Проведен сравнительно-географический анализ масштабов демографического старения Беларуси и России. Излагается система показателей для оценки масштабов и уровня старения, обосновывается использование индекса старости. С применением двух шкал старения сделаны сравнительные выводы о преобладающей стадии старения. Они заключаются в более высокой степени старения Беларуси по сравнению с Россией на макрогеографическом уровне с четко выраженной региональной дифференциацией процесса в обеих странах. С использованием индекса старости разработаны типологии субъектов федерации России за 1989 и 2002 гг. и административных районов Беларуси за 1999 и 2015 гг. по уровню демографического старения, свидетельствующие о проявлении межрегиональной дифференциации. Обнаружена более высокая степень межрегиональной дифференциации демографического старения России по сравнению с Беларусью, в основе которой лежит этнический фактор, на что указывает совпадение концентрации этнических регионов в определенном типе старения. При помощи микрогеографического анализа Беларуси выявлены центропериферийные свойства демографического старения, а также усиление дифференциации между городской и сельской местностью. Сделан вывод о том, что межрегиональная дифференциация выражается в более благоприятной ситуации в контексте старения в Минской области и на территории Полесья и неблагоприятной – в Витебской, Гродненской и Могилёвской областях.

**Ключевые слова:** старение населения; индексная оценка; межрегиональная дифференциация; этнический фактор; центропериферийные свойства.

**Благодарность.** Публикация подготовлена в рамках проекта БРФФИ № Г16Р 011, РГНФ № 16-22-01007 «Демографическое старение России и Беларуси: оценка масштабов и социально-экономических последствий».

## REGIONAL DIFFERENCES OF THE DEMOGRAPHIC AGEING SCALE OF BELARUS AND RUSSIA

E. A. ANTIPOVA<sup>a</sup>, Z. A. TRIFONOVA<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Belarusian State University, Nezavisimosti avenue, 4, 220030, Minsk, Republic of Belarus

<sup>b</sup>Chuvash State University named I. N. Ulyanov, Moskovskij avenue, 15, 428015, Cheboksari, Russia

Corresponding author: antipovaekaterina@gmail.com

The comparative geographical analysis of the demographic ageing in Belarus and Russia is given in the article. The article describes a system of indicators to assess the extent and the level of ageing and rationale for the use of ageing index is providing. With use of two international ageing scales made comparative conclusions about the prevailing stage of

---

### Образец цитирования:

Антипова Е. А., Трифонова З. А. Региональные различия масштабов демографического старения Беларуси и России // Журн. Белорус. гос. ун-та. География. Геология. 2017. № 1. С. 36–49.

### For citation:

Antipova E. A., Trifonova Z. A. Regional differences of the demographic ageing scale of Belarus and Russia. *J. Belarus. State Univ. Geogr. Geol.* 2017. No. 1. P. 36–49 (in Russ.).

---

### Авторы:

**Екатерина Анатольевна Антипова** – доктор географических наук, профессор, заведующий кафедрой экономической географии зарубежных стран географического факультета.

**Зоя Алексеевна Трифонова** – кандидат географических наук, доцент, доцент кафедры экономической и социальной географии историко-географического факультета.

### Authors:

**Ekaterina Antipova**, doctor of science (geography), full professor, head of the department of economic countries of foreign countries, faculty of geography.

antipovaekaterina@gmail.com

**Zoya Trifonova**, PhD (geography), docent, associate professor at the department of economic and social geography, historic and geographical faculty.

zoyatrifonova@mail.ru

ageing are made. They are at a higher level of ageing in Belarus than in Russia at the macro geographical level and even to the strong regional differentiation process in Belarus and Russia. In the work with ageing index the typology of Russian Federation by the subjects of federation for 1989 and 2002 and the typology of the administrative districts of Belarus for 1999 and 2015 by the level of demographic ageing are developed, indicating about the manifestation of inter-regional differentiation. Comparative analysis showed a higher degree of inter-regional differentiation of demographic ageing Russia than Belarus, which is based traced the dominant role of the ethnic factor. This is indicated by the coincidence of ethnic concentration regions in a particular type of ageing. Micro geographical level of analysis of Belarus shows the center-peripheral properties of demographic ageing and evidence about strengthening of differentiation between rural and urban areas. Interregional differentiation is expressed in a more favorable situation in the field of ageing in the Minsk region and Polesie and unfavorable – in the Vitebsk, Grodno and Mogilev regions.

**Key words:** the ageing population; the index score; interregional differentiation; the ethnic factor; the center-peripheral properties.

**Acknowledgements.** The publication has been prepared within the project BRFRF No. Г16Р 011, RHSF No. 16-22-01007 «Demographic ageing of Russia and Belarus: evaluation of scales and socio-economic impacts».

## Введение

Демографическое старение – это эволюционный процесс, определяющий изменение возрастной структуры населения, вступившего на траекторию второго демографического перехода. В XXI в. рост уровня социально-экономического развития и размеров мирового валового продукта обеспечивается в том числе «стареющими экономиками», которые существуют в качественно новых условиях жизнедеятельности. В связи с этим анализ и мониторинг масштабов демографического старения в странах Европы с наиболее постаревшей возрастной структурой среди других регионов мира приобретают новый ракурс, связанный с разработкой социальных и экономических механизмов устойчивого развития государств при значительных масштабах численности населения в старших возрастных группах.

Европейские страны лидируют по уровню постаревшего населения среди других регионов мира. При среднем мировом показателе доли лиц в возрасте 65 лет и старше 8 % в Европе он более чем вдвое выше – 17 %. И если доля лиц в возрасте 60 лет и старше в мире составляет 11,5 %, то в Европе – 22,5 % [1; 2]. Численность пожилого населения на этой территории продолжает увеличиваться и в настоящее время приближается к отметке 130 млн человек. Однако по сравнению с развивающимися странами, где процесс старения сегодня идет максимально быстрыми темпами, европейский регион характеризуется замедлением роста численности стареющего населения. Если за 1985–2000 гг. население в возрасте 65 лет и старше выросло на 25 %, то за 2000–2015 гг. – на 21,4 %.

Мезорегионам Европы свойственна дифференциация масштабов старения. В странах Северной Европы, несмотря на высокие показатели продолжительности жизни, в силу активного миграционного притока представлена наименьшая доля лиц в возрасте 65 лет и старше – 14,2 % в структуре населения региона. Наибольшая численность стареющего населения наблюдается в странах Восточной и Западной Европы – 43 млн и 38 млн человек соответственно. В относительном выражении практически каждый третий пожилой европеец проживает в этих двух мезорегионах. Вместе с тем в странах Западной и Южной Европы отмечается наиболее высокая доля лиц в возрасте 65 лет и старше – по 19 %. Государства Восточной Европы также характеризуются разными масштабами демографического старения. Так, при среднерегionalном показателе доли населения в возрасте 65 лет и старше 17 %, а в возрасте 60 лет и старше 22,5 % наиболее постаревшими странами в настоящее время являются Болгария и Венгрия. Для России и Беларуси свойственны меньшие показатели, однако масштабы старения остаются высокими, при этом региональные особенности и различия на локальном уровне чрезвычайно серьезные. В связи с этим сравнительно-географический анализ демографического старения Беларуси и России на региональном уровне представляется актуальным в контексте проводимой в обеих странах социально-демографической политики. При анализе ситуации в двух государствах авторы исходили из того, что демографическое старение, как результат длительных изменений в характере воспроизводства населения, на межрегиональном уровне имеет различия, связанные с разновременным влиянием причин и локально действующих факторов старения населения.

Основной целью сравнительного исследования стало выявление территориальных различий в степени демографического старения Республики Беларусь и Российской Федерации за период с 1989 по 2015 г. с разработкой типологий по уровню старения. Информационную базу составили официальные данные материалов переписей населения и текущей демографической статистики Федеральной службы государственной статистики Российской Федерации и Национального статистического комитета Республики Беларусь. Территориальные различия на примере России определялись в разрезе субъектов федерации, на примере Беларуси – административных областей, районов и городов.



## Теории и методика исследования

Демографическое изучение пожилых людей в российской науке систематически ведется со второй половины XX в. [3]. В настоящее время успешно применяются различные методики оценки и прогноза старения населения [4–12]. В гуманитарных исследованиях появились работы, посвященные проблемам занятости и рынка труда [8], геронтологии в целом [12] и др. Как отмечает известный экономикогеограф Г. М. Фёдоров, старение населения – это одно из проявлений трансформации его возрастной структуры в процессе второго демографического перехода, или демографической революции [13]. Работы А. Сови, Ж. Буржуа-Пиша, А. Я. Боярского показали, что первопричиной увеличения доли пожилых людей является спад рождаемости. Однако на рубеже XX–XXI вв. в развитых странах все большее воздействие на рост доли пожилых людей стала оказывать снижающаяся смертность в пожилом и старом возрасте. Такой тип демографического старения населения был назван «старение сверху». Кроме того, на демографическое старение мирового населения влияет миграция. Сочетание множества факторов обуславливает возрастную структуру населения и распределение стран по доле пожилых. Новейшие исследования, в частности работы К. Преттнера, указывают на тесную связь между демографическим старением и уровнем роста экономики [14].

Для оценки демографического старения в его традиционном понимании, основанном на концепции ретроспективного (хронологического) возраста, используют два типа показателей.

Показатели *первого типа* рассчитываются как отношение численности пожилых людей к общей численности населения или другого возрастного контингента. В настоящее время в ЕС и ОЭСР за границу старости принимают возраст, равный 65 годам, а в изданиях ООН рассматривают два варианта: 60 и 65 лет. Для этих показателей разработаны шкалы старения населения. Наиболее широкое распространение среди них получила шкала Ж. Божё-Гарнье – Э. Россета. По этой шкале демографическая старость начинается с того момента, когда доля лиц в возрасте 60 лет и старше в населении преодолевает порог, равный 12 %. По шкале ООН население с долей лиц в возрасте 65 лет и старше на уровне 7 % и выше считается старым.

Среди широкого спектра показателей старения, основанных на соотношении возрастных контингентов, наиболее употребительными являются следующие:

- доля пожилых людей (в возрасте 60 или 65 лет и старше) и доля самых старых (в возрасте 80 или 85 лет и старше) в населении;
- доля самых старых среди пожилых, т. е. их соотношение, или индекс глубины старения, измеряющий старение самого контингента пожилых;
- индекс старения – отношение числа пожилых к числу детей в возрасте до 15 лет;
- коэффициент демографической нагрузки пожилыми и обратный ему коэффициент демографической поддержки пожилых.

При этом возрастные границы трудоспособного возраста имеют множество вариантов [15].

Ко *второму типу* показателей демографического старения относятся средний и медианный возрасты населения. Международные организации, как правило, используют последний из них, отчасти потому, что он более устойчив к систематическим искажениям сведений о возрасте, характерным для многих развивающихся стран. Беспрецедентный сдвиг возрастной структуры населения к старшему возрасту сопровождается столь же беспрецедентным увеличением продолжительности жизни [16].

В настоящем исследовании при проведении анализа использовалась группа показателей первого типа, а именно доля населения в возрасте 60 и 65 лет и старше. Однако при анализе ситуации в России была взята доля двух возрастных групп, а в Беларуси – 60 лет и старше и группа трудоспособного населения. Кроме того, за временной ряд исследования, касающегося России, были приняты 1989 и 2010 гг. [17–19], для Беларуси использовались две переписи населения – 1999 и 2009 гг., а также данные текущего учета за 2015 г. [21–23]. Эти методические допущения были приняты исходя из различий в стартовых годах наступления демографической старости в двух государствах. В частности, в Беларуси в 1989 г. на макрогеографическом и региональном уровнях процесс старения уже наступил, в то время как в России в ряде регионов он еще не ощущался. Этим объясняется оперирование в белорусской части шкалой Ж. Божё-Гарнье – Э. Россета, а не ООН. Для разработки типологий по уровню демографического старения в обеих странах был использован индекс старости, который показывает, сколько пожилых людей приходится на детей, и рассчитывается по формуле

$$I_{\text{age}} = P_{(65+)} / P_{(0-16)} \cdot 100,$$

где  $I_{\text{age}}$  – индекс старости;  $P_{(65+)}$  – численность населения в возрасте старше 65 лет, чел.;  $P_{(0-16)}$  – численность населения в возрасте от 0 до 16 лет, чел.



Этот индекс является более удачным для дифференциации регионов Беларуси и России по уровню старения, поскольку учитывает две наиболее изменившиеся с 1989 по 2015 г. возрастные группы. Исследователь С. Бухер применил этот индекс для территориальной дифференциации уровня старения Словакии [16].

### Результаты исследования

**Анализ демографического старения России.** Демографическое старение происходит как из-за длительного сокращения численности детей вследствие падения рождаемости, так и из-за увеличения доли пожилых вследствие снижения смертности. Отдельная причина – миграция, преобразовывающая возрастную структуру. Возрастная структура населения России существенно изменилась в период между 1989 и 2002 гг. Доля пожилых людей в возрасте 65 лет и старше увеличилась более чем вдвое (табл. 1). Разница между экстремальными значениями трех последних переписей населения была постоянной. В 1989 г. она составляла 18,9 ед., в 2002 г. – 20,2, а в 2010 г. – 14,5 ед. Состав регионов с максимальными значениями удельного веса пожилых в динамике изменился незначительно. В основном это регионы Центральной России. В целом к 2010 г. все регионы страны перешли в группу «старых» согласно классификации, предложенной экспертами ООН.

Таблица 1

Группировка регионов России по доле лиц в возрасте 65 лет и старше  
в общей численности населения

Table 1

The grouping of regions of Russia by the share of persons aged 65 years and older in total population

| Регион                                             | Доля лиц в возрасте 65 лет и старше, %                                                                                                                                                         |                                     |                                                |
|----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------------------|
|                                                    | 1989 г.                                                                                                                                                                                        | 2002 г.                             | 2010 г.                                        |
| С максимальным значением доли пожилых              | Тамбовская область – 14,9                                                                                                                                                                      | Тульская область – 26,7             | Тульская область – 27,4                        |
| С минимальным значением доли пожилых               | Чукотский АО – 0,4                                                                                                                                                                             | Ямало-Ненецкий АО – 6,5             | Чеченская Республика – 8,5                     |
| С молодым населением – до 4 % лиц старше 65 лет    | Ненецкий АО, Мурманская и Тюменская области, Ханты-Мансийский, Ямало-Ненецкий автономные округа, Тува, Якутия, Камчатская область, Корякский, Чукотский автономные округа, Магаданская область | –                                   | –                                              |
| Со зрелым населением – 4–7 % лиц старше 65 лет     | Коми, Калмыкия, Дагестан, Алтайская Республика, Красноярский край, Иркутская и Читинская области, Приморский край, Амурская область, Хабаровский край, Сахалинская область, Еврейская АО       | Ямало-Ненецкий АО                   | –                                              |
| Со старым населением – более 7 % лиц старше 65 лет | Все регионы Центральной России, Северо-Запада, Поволжья, Урала, большинство регионов Северного Кавказа, Кемеровская, Новосибирская, Омская, Томская области, Хакасия                           | 82 региона, без Крыма и Севастополя | Все регионы России, включая Крым и Севастополь |
| Российская Федерация                               | 9,6                                                                                                                                                                                            | 20,7                                | 21,6                                           |

Отметим, что существенно изменился состав регионов, имеющих минимальные значения доли лиц старше 65 лет. В 1989 г. 13 регионов относились к молодым и 12 – к зрелым. В том же году наряду с Чукотским автономным округом минимальные значения имели другие северные окраины страны (Ханты-Мансийский, Ямало-Ненецкий, Камчатский, Таймырский, Эвенкийский автономные округа, Мурманская область). Это объяснялось общегосударственной экономической политикой, связанной с освоением Севера (высокие надбавки и гарантированные высокие пенсии для лиц, длительное время проработавших в северных регионах страны). В таких условиях граждане старше 65 лет предпочитали уезжать на Большую землю, при этом в северные регионы приезжали люди трудоспособного возраста. Таким образом, низкая доля пожилых в возрастной структуре населения этих регионов определялась миграционным фактором. В 2000-х гг. в северных регионах России увеличилась доля пожилых людей в возрастной структуре. Тем не менее в 2010 г. в Ханты-Мансийском, Ямало-Ненецком и Чукотском автономных округах доля пожилых оставалась одной из самых низких в стране и не превышала 11 %.

Необходимо отметить действие еще одного фактора, обусловившего в 1989 г. дифференциацию регионов по удельному весу пожилых. В группе относительно зрелых регионов выделились Чечня, Ингушетия, Тува и Дагестан, показавшие 4–7 % лиц старше 65 лет в общей численности населения республик. Этот феномен объясняется сохранением в них самых высоких показателей рождаемости в России. Кроме того, сказывается влияние традиций и религии. Именно за счет данного типа демографического старения в этих республиках происходило плавное и медленное увеличение доли пожилых людей. К 2010 г. указанные регионы демонстрировали относительно низкую долю пожилого населения (8–11 %).

Сравнивая удельный вес лиц старше 60 лет, проживающих в России, за 1989–2010 гг., А. А. Шабунова и В. Н. Барсуков отметили «выравнивание старения населения» между регионами и федеральными округами [11]. Их вывод можно подвергнуть сомнению. Действительно ли происходит нивелирование регионов по уровню старения населения и каковы географические закономерности распространения этого процесса? Степень дифференциации и географию уровня старения регионов страны поможет понять сравнение величин индекса старения, который позволяет сопоставить динамические изменения, произошедшие в регионах.

Как мы и полагали, при сравнении показателей индекса за 1989 и 2010 гг. не удалось увидеть сглаживания величины между регионами. Напротив, разница между экстремальными значениями индекса старости в регионах России в 2010 г. увеличилась. Если в 1989 г. разность между максимальной и минимальной величинами этого показателя составляла 69 ед., то в 2010 г. она равнялась 180 ед.

В 1989 г. самый высокий уровень старости составлял 70 пожилых в возрасте 65 лет и старше на 100 детей. Он наблюдался во многих регионах Центральной России, а также в некоторых областях Поволжья. На карте эти области отнесены к типу регионов с начальным уровнем старости (рис. 1). Некоторые автономные округа, республики, области Дальнего Востока и Сибири относились к типу регионов с молодым населением, в них на 100 пожилых в возрасте старше 65 лет приходилось 100 детей. Наряду с этим в Чукотском автономном округе, имеющем самый низкий уровень старости, на одного пожилого в возрасте старше 65 лет приходилось 100 детей в возрасте до 16 лет.

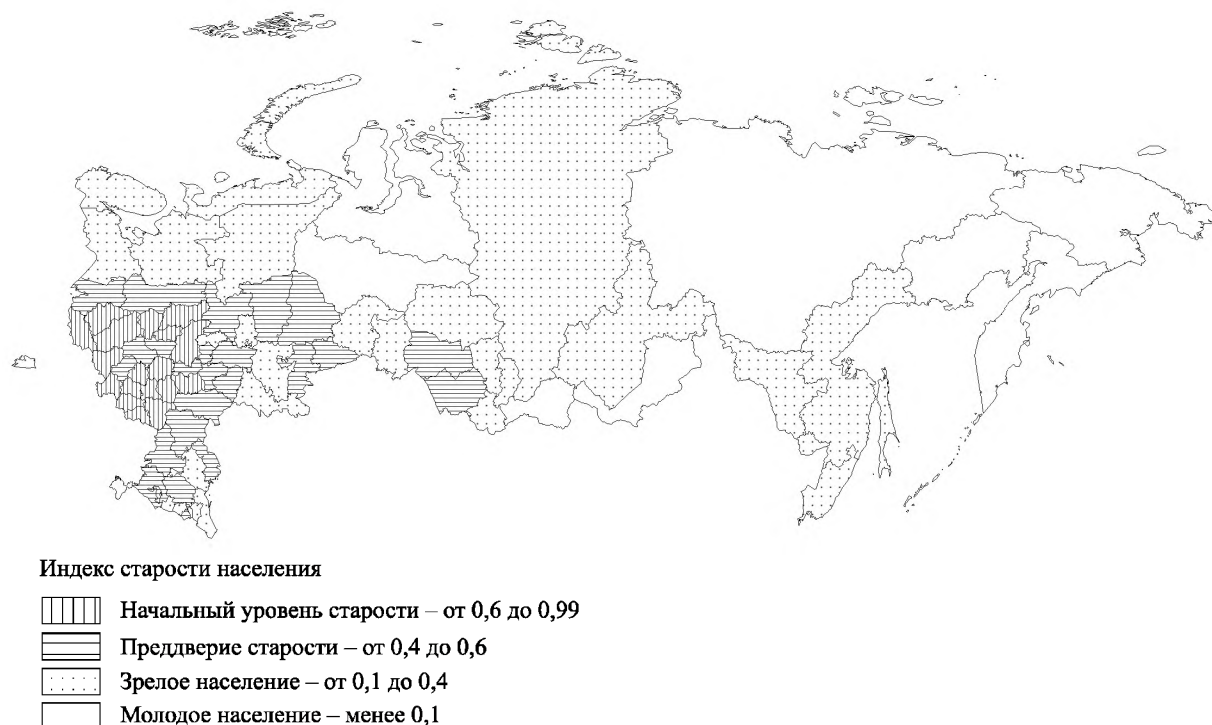


Рис. 1. Уровень старения населения регионов России, 1989 г.

Fig. 1. Level of demographic ageing of regions of Russia, 1989

К 2010 г. регионы с молодым населением исчезли с карты России, при этом лишь три республики (Чечня, Ингушетия и Тува) относились к типу регионов со зрелым населением (рис. 2). Регионы Центральной России, Северо-Запада и Поволжья перешли в категорию новых типов демографического старения. Так появился тип регионов с очень высоким уровнем старости, среди них Тульская область, имевшая самую высокую величину индекса старости в 2010 г. (210 пожилых на 100 детей).



Рис. 2. Уровень старения населения регионов России, 2010 г.

Fig. 2. Level of demographic ageing of regions of Russia, 2010

Довольно обширной оказалась группа областей, краев и некоторых республик, относящихся к типу регионов с высоким уровнем старости. В них индекс варьируется от 100 до 149 пожилых на 100 детей. Оба последних типа регионов встречаются во всех федеральных округах. Массово тип с очень высоким уровнем старения представлен в Центральной России, также он обнаруживается в Поволжье и на Северо-Западе, а тип с высоким уровнем старения вкраплен повсеместно, в том числе на Урале, в Сибири и на Дальнем Востоке (см. рис. 2). По-видимому, во всех упомянутых регионах по причине того, что потенциал рождаемости в них крайне низкий и уже длительное время сохраняет такие значения, произошел переход к «старению сверху», особенно в областях с очень высоким уровнем старости.

Интересно, что по сравнению с 1989 г. в 2010-м сохранился тип регионов с начальным уровнем старости (см. рис. 1 и 2), однако состав регионов полностью изменился. Если в 1989 г. к этому типу относились области Центральной России, то в 2010 г. – практически все российские республики и округа, а также края. Они встречаются на Европейском Севере, Северном Кавказе, Дальнем Востоке и в Сибири. К этому же типу относится Республика Крым, где довольно высока доля трех этносов: русских, татар и украинцев.

Этнический фактор становится еще более явным при рассмотрении двух следующих типов: регионов в преддверии старости и регионов со зрелым населением (см. рис. 2). В составе регионов в преддверии старости находятся три автономных округа (Ханты-Мансийский, Ямало-Ненецкий и Чукотский) и две республики (Дагестан и Якутия). В составе регионов со зрелым населением – три республики (Чечня, Ингушетия и Тува).

Расчеты индекса старения позволили провести сравнительный анализ динамики старения населения в регионах России, а также обнаружить новые факторы, определяющие протекание этого процесса. Происходит углубление региональной дифференциации по уровню демографического старения, которое ускорилось в силу того, что с 1989 по 2010 г. резко сократилась доля детей. В итоге к 2010 г. с карты России исчезли регионы с молодым населением, лишь три российские республики относятся к типам со зрелым населением. Все остальные субъекты Российской Федерации принадлежат к типу старых регионов. К 2010 г. в 63 регионах пожилое население стало преобладать над детьми. География таких территорий обширна и в целом совпадает с основной полосой расселения. Довольно масштабно типы регионов с очень старым и старым населением представлены в европейской части страны и за Уралом, к востоку эта полоса сужается. Таким образом, в большинстве регионов России произошла смена факторов старения, «старение снизу» замещено «старением сверху». В связи с этим важно, чтобы региональные правительства учитывали тип демографического старения населения при разработке программных документов, ориентированных на потребности пожилых людей. Это особенно актуально для регионов с очень высоким и высоким уровнем старения, т. е. Центральной России.



Изменившийся состав регионов со зрелым населением и регионов в преддверии старости указывает на этнический и религиозный факторы. Сохраняющиеся традиции многодетности способствуют высокой рождаемости в российских республиках, что, в свою очередь, определяет высокую долю детей в возрасте до 16 лет. Однако возможна и иная трактовка этого феномена. По мнению экспертов ООН, уровень старения хорошо коррелирует с уровнем развития, т. е. в высокоразвитых странах наблюдается высокий уровень старения населения, и наоборот. Интерпретируя данное положение в применении к российским республикам, автономным округам и некоторым краям, можно отметить их сравнительно низкие темпы развития. Это хорошо подтверждают примеры Ингушетии, Тувы, Еврейской автономной области, Забайкальского края, Иркутской области, Бурятии, Алтая и республик Северного Кавказа. В то же время примеры успешного экономического роста Тюменской области, Ханты-Мансийского и Ямало-Ненецкого автономных округов, Якутии и Чечни не могут коррелировать с низким уровнем старения населения в них. Все это указывает на необходимость детального анализа новых факторов демографического старения, таких как политические и экономические условия, этнические или религиозные традиции.

**Анализ демографического старения Беларуси.** Для нашей страны, как и для всей Европы, характерен процесс демографического старения. Однако ему свойственны как общие для европейских стран, так и отличительные факторы и тенденции развития. Общая тенденция заключается в том, что старшая возрастная группа является единственной в структуре населения с положительной динамикой за последние годы. В настоящее время численность населения в возрасте 60 лет и старше составляет 1845 тыс. человек, или 19,5 %, в структуре населения, в возрасте 65 лет и старше – 13,7 %. Эти показатели меньше, чем в среднем в европейском регионе, однако по шкалам ООН и Ж. Божё-Гарнье – Э. Россета они оцениваются как очень высокий уровень демографического старения.

В основе демографического старения лежат три основные группы факторов: демографические, экономические, а также факторы социальной инфраструктуры и уровня жизни населения [20]. Оценка демографических факторов показывает, что старение Беларуси обусловлено суженным типом воспроизводства населения и связанной с этим значительной долей в возрастной структуре лиц пожилого и старшего возраста и др. Среди экономических факторов, влияющих на старение, выделяют уровни занятости и безработицы, инфляции, развития и диверсификации производства, инвестиционную и инновационную активность хозяйствующих субъектов [20]. Состояние системы здравоохранения, обеспеченность белорусского общества мощностями социальной инфраструктуры, доходы и уровень бедности населения, физическая безопасность оцениваются в Беларуси как способствующие увеличению продолжительности жизни и, соответственно, росту численности и доли граждан пожилого возраста в структуре.

Распределение по территории Беларуси населения старше трудоспособного возраста неравномерно и имеет ряд отличительных особенностей и закономерностей. Процесс демографического старения охватил всю страну, включая все уровни территориальной иерархии. В столице сосредоточена самая значительная часть населения данной возрастной группы – 345 тыс. человек в возрасте 60 лет и старше и 231 тыс. человек – в возрасте 65 лет и старше, или 19 % в региональной структуре. Доля Брестской, Гомельской и Минской областей составляет 15 %. Наименьшей численностью населения пенсионного возраста характеризуются Гродненская и Могилёвская области.

Пенсионная группа является единственной в возрастной структуре населения Беларуси, которая характеризуется положительной динамикой. За 1999–2015 гг. численность населения старше трудоспособного возраста увеличилась на 5 %. Если в 1999 г. пенсионером в стране был каждый пятый житель, то в настоящее время – примерно каждый четвертый.

Регионы Беларуси по характеру изменений численности населения в возрасте 60 лет и старше делятся на две группы: с положительной и отрицательной динамикой. В пяти областях – Витебской, Гомельской, Гродненской, Минской и Могилёвской – отмечено сокращение численности населения данной возрастной группы. Это объясняется смертностью значительной части населения старше трудоспособного возраста, накопление которой произошло в возрастной структуре населения. Брестская область и г. Минск характеризуются положительной динамикой. При этом если в Брестском регионе численность населения данной возрастной группы увеличилась на 5 %, то в столице отмечен более чем двукратный рост. Минск опережает другие регионы и по увеличению численности населения в возрасте 60 лет и старше – на 52 % (с 226 тыс. до 345 тыс. человек).

Оценка уровня демографического старения в регионах Беларуси свидетельствует, с одной стороны, о соответствии тенденций в регионах общему тренду демографического старения в стране (доля населения в возрасте 60 лет и старше увеличивается), с другой – о региональной специфике, в основе которой лежат локальные факторы. В 1989 г. все регионы Беларуси перешли 12 % отметку доли населения в возрасте 60 лет и старше, что соответствовало вступлению нашей страны в качественно новую стадию демографического развития – старение. В 1999 г. абсолютное большинство регионов (за исключением Могилёвской области) преодолели 18 % отметку по шкале Ж. Божё-Гарнье – Э. Россета,



что означает наступление стадии очень высокого уровня старости. В настоящее время наиболее демографически постаревшими являются три региона Беларуси: Минская, Витебская и Гродненская области, где доля лиц в возрасте 60 лет и старше превысила 20 % (табл. 2).

Таблица 2

Динамика численности населения в возрасте 60 лет и старше в Республике Беларусь

Table 2

The dynamics of population aged 60 years and older in the Republic of Belarus

| Регион              | Численность населения |      |           |      |           |      |
|---------------------|-----------------------|------|-----------|------|-----------|------|
|                     | 1999 г.               |      | 2009 г.   |      | 2015 г.   |      |
|                     | чел.                  | %    | чел.      | %    | чел.      | %    |
| Брестская область   | 274 464               | 18,8 | 263 943   | 18,8 | 276 088   | 19,6 |
| Витебская область   | 267 428               | 20,8 | 238 835   | 20,0 | 245 224   | 20,5 |
| Гомельская область  | 292 666               | 19,8 | 259 419   | 18,5 | 273 403   | 19,5 |
| Гродненская область | 228 649               | 20,5 | 209 911   | 20,1 | 209 707   | 20,1 |
| Минская область     | 308 616               | 20,8 | 301 200   | 21,9 | 283 964   | 20,7 |
| г. Минск            | 233 097               | 20,1 | 199 924   | 18,6 | 210 851   | 19,6 |
| Могилёвская область | 225 913               | 13,5 | 288 349   | 15,6 | 345 386   | 17,8 |
| Республика Беларусь | 1 830 833             | 19,0 | 1 761 581 | 18,5 | 1 844 623 | 19,5 |

Схожесть этого показателя в трех регионах объясняется различными причинами. В Минской области в основе высокого показателя доли населения в старших возрастных группах лежит более высокий уровень социально-экономического развития, социальной инфраструктуры, здравоохранения, способствующий росту продолжительности жизни. В Витебской и Гродненской областях демографическое старение обусловили устойчивый внутрисреспубликанский миграционный отток молодого трудоспособного населения в другие регионы и последовавшее за этим более раннее наступление депопуляции. Различия в факторах демографического старения в этих регионах подтверждаются их принадлежностью к разным демографическим зонам Беларуси. Минская область относится к зоне с устойчивой благоприятной демографической ситуацией, Витебская и Гродненская – с неблагоприятной демографической ситуацией [24].

Для городского и сельского населения Беларуси при сохранении общего тренда демографического старения в настоящее время характерны значительные отличия и разнонаправленные тенденции. Так, если доля населения в возрасте 60 лет и старше в городах составляет 18,7 %, то в сельской местности – 29,4 %. При этом в городах происходит интенсивное увеличение численности пожилого населения, в сельской местности – как рост, так и сокращение.

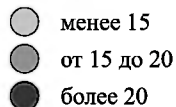
Сельская местность Беларуси демографически постарела значительно раньше, чем города. Это связано с миграционным бумом трудоспособного населения – перемещением из села в город в 1959–1979 гг., сосредоточением основной части граждан пенсионного возраста в сельских населенных пунктах и последовавшим за этим более ранним проявлением демографического старения [25]. В результате в сельской местности резко повысилась смертность населения, которая привела к условному «омоложению» постаревшей возрастной структуры сельских жителей в ряде административных районов. Прежде всего это относится к периферийным и приграничным по экономико-географическому положению районам всех областей и районам в зоне радиоактивного загрязнения. Географически эти районы расположены преимущественно в Могилёвской (Шкловский, Чаусский, Славгородский, Краснопольский) и Гомельской (Кормянский, Жлобинский, Хойникский, Речицкий) областях.

Наряду с этим в сельской местности остаются чрезвычайно демографически постаревшие районы. Например, доля населения данной возрастной группы в Ушачском (Витебская область), Кореличском, Зельвенском, Свислочском, Щучинском (Гродненская область) и Солигорском (Минская область) районах превышает 40 %.

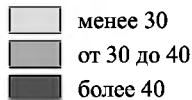
В городах Беларуси повсеместно отмечен процесс демографического старения. Наибольшей долей населения старше трудоспособного возраста характеризуются малые города: Коссово, Пружаны, Давид-Городок (Брестская область); Барань, Браслав, Дубровно, Дисна, Сенно (Витебская область). В них доля данной возрастной группы превышает 25 % (рис. 3).

a/a

Удельный вес населения старше трудоспособного возраста  
в общей численности городского населения, %



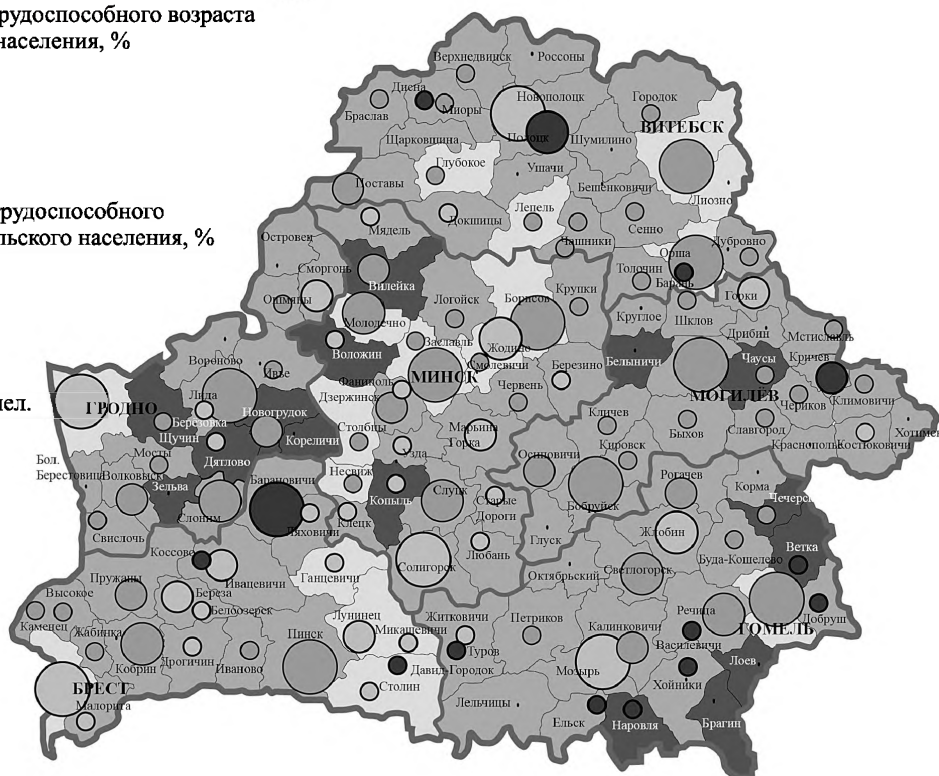
Удельный вес населения старше трудоспособного  
возраста в общей численности сельского населения, %



Средняя людность городов, тыс. чел.

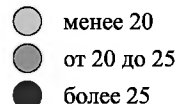


0 50 100 км

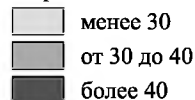


b/b

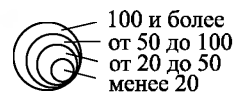
Удельный вес населения старше трудоспособного возраста  
в общей численности городского населения, %



Удельный вес населения старше трудоспособного  
возраста в общей численности сельского населения, %



Средняя людность городов, тыс. чел.



0 50 100 км

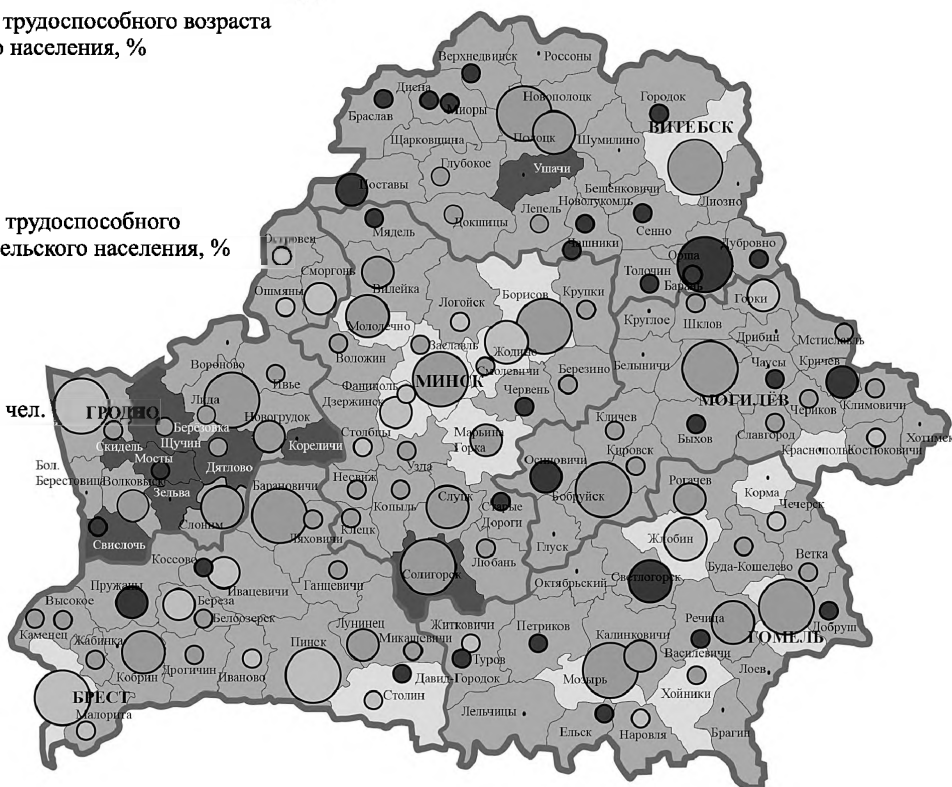


Рис. 3. Региональное распределение населения старше трудоспособного возраста Республики Беларусь:  
а – 1999 г.; б – 2015 г.

Fig. 3. Regional distribution of above working age population of the Republic of Belarus:  
a – 1999; b – 2015

Анализ индекса старости Республики Беларусь показывает тенденцию к росту. Если в 1999 г. он составлял 1,0, что соответствовало паритетному соотношению в структуре населения молодежи и пожилых людей, то в настоящее время достиг значения 1,4. Это свидетельствует об очень высоком уровне старости и означает, что за 16 лет демографической истории Беларуси при снижении рождаемости и сокращении репродуктивного контингента в конце XX – начале XXI в. доля населения старшего возраста неуклонно росла и достигла практически полуторакратного разрыва. Аналогичная тенденция проявилась во всех без исключения регионах, однако темпы роста различаются. При среднем росте индекса старости в Беларуси на 40 % наиболее интенсивная положительная динамика проявилась в столице, где он увеличился на 75 %. Для Гродненской области характерен наименьший рост этого показателя (табл. 3).

Таблица 3

Региональная динамика индекса старости Республики Беларусь, %

Table 3

Regional dynamics of demographic ageing index of the Republic of Belarus, %

| Регион              | Год  |      |
|---------------------|------|------|
|                     | 1999 | 2015 |
| Брестская область   | 0,9  | 1,3  |
| Витебская область   | 1,2  | 1,7  |
| Гомельская область  | 1,0  | 1,4  |
| Гродненская область | 1,1  | 1,3  |
| г. Минск            | 0,8  | 1,4  |
| Минская область     | 1,1  | 1,4  |
| Могилёвская область | 1,1  | 1,5  |
| Республика Беларусь | 1,0  | 1,4  |

Микрогеографический анализ индекса старости Республики Беларусь позволил выявить следующие временные и пространственные тенденции и закономерности. В 1999 г. Беларусь находилась на стадии начального уровня старости. Однако эта ситуация формировалась исключительно за счет более молодого возрастного состава городов, где значение индекса соответствовало даже преддверию старости (табл. 4).

Таблица 4

Региональная структура индекса старости Республики Беларусь, %

Table 4

Regional structure of demographic ageing index of the Republic of Belarus, %

| Уровень старения (по <i>Iage</i> )   | Города  | Сельская местность | Города  | Сельская местность |
|--------------------------------------|---------|--------------------|---------|--------------------|
|                                      | 1999 г. |                    | 2015 г. |                    |
| Преддверие старости                  | 6       | 0                  | 0       | 0                  |
| Начальный уровень старости           | 84      | 3                  | 10      | 1                  |
| Средний уровень старости             | 9       | 17                 | 73      | 4                  |
| Высокий уровень старости             | 1       | 52                 | 15      | 33                 |
| Чрезвычайно высокий уровень старости | 0       | 29                 | 2       | 62                 |

В сельской местности уже в 1999 г. не было ни одного района в преддверии старости, и только три области – Брестская, Витебская и Минская (районы в зоне влияния региональных центров) – оставались на стадии начального уровня. Все остальные административные районы сельской местности устойчиво вошли в тренд высоких значений индекса.



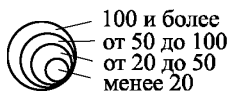
Сегодня стадия преддверия старости в Беларуси отсутствует. Наблюдается значительная дифференциация уровня старения между городом и сельской местностью, что имеет глубокие корни демографической истории нашей страны [25]. В городах преобладает средний уровень. Аналогичная тенденция характерна для 73 % городских населенных пунктов. Географически наибольшая концентрация подобных городов свойственна двум регионам – Минской и Брестской областям. Каждый десятый город Беларуси описывается начальным уровнем старости, такие города преобладают на территории Полесья (Брестская и Гомельская области). Это подтверждает демографическое зонирование Республики Беларусь с выделением зоны относительно благоприятной демографической ситуации именно в данном регионе. В то же время два города – Дисна и Барань – имеют чрезвычайно высокий уровень старости. Это одни из самых малых по численности населения городов страны.

В сельской местности преобладают районы с чрезвычайно высоким уровнем старости, где индекс превышает 2,0. В ряде районов этот показатель преодолел отметку 3,0 (Новогрудский, Свислочский – 3,7; Зельвенский, Щучинский – 3,5; Ушачский – 3,4). Преимущественно это периферийные в экономико-географическом и социально-экономическом отношении районы с малым демографическим потенциалом, подверженным депопуляции и миграционному оттоку. В противовес им относительно более благоприятная ситуация в сельской местности, характеризующаяся средним уровнем старости, наблюдается в четырех районах Полесья: Брестском, Столинском, Мозырском и Хойникском (рис. 4).

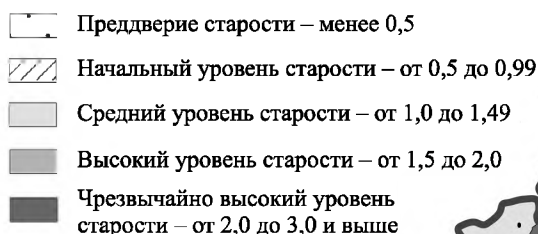
Значительная дифференциация уровня старения между городом и сельской местностью Беларуси в целом сохраняется. Однако старение в городах не претерпело существенных изменений – произошел равномерный переход от начального уровня старения к среднему при сохранении общей однородности пространства. В сельской местности также осуществлен переход на более высокий уровень старения, при этом пространство старения за 1999–2015 гг. стало однороднее [25].

*a/a*

Средняя людность городов, тыс. чел.



Индекс старости городского и сельского населения



0 50 100 км

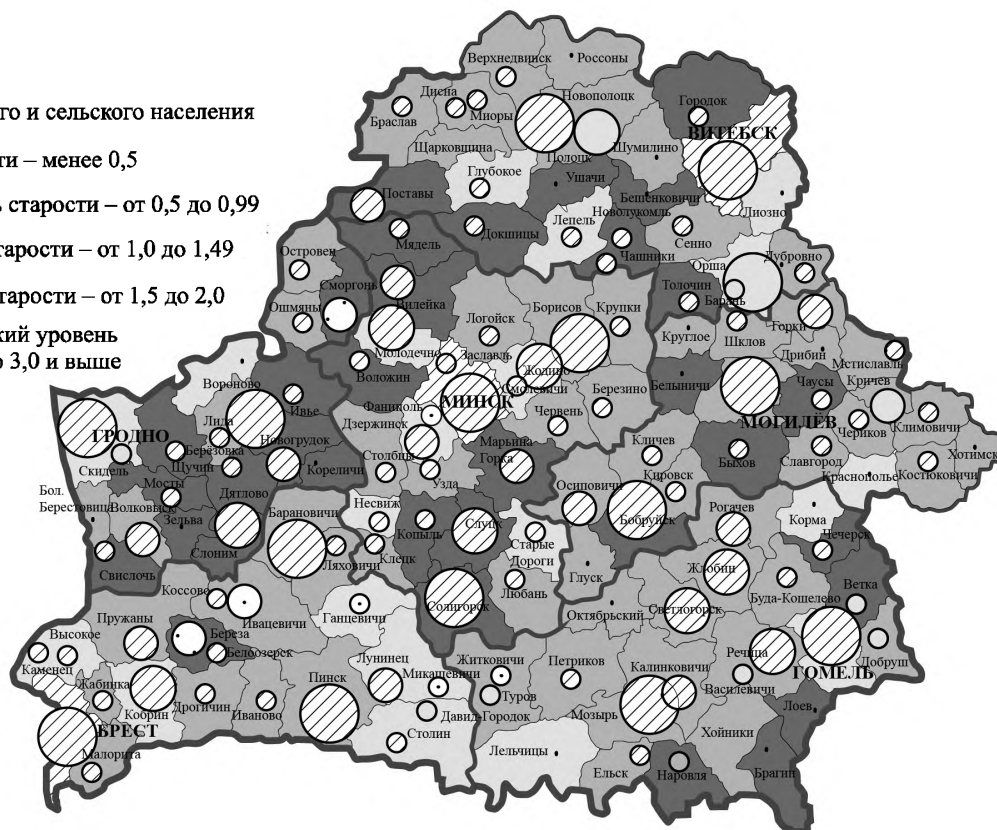


Рис. 4. Региональные различия в индексе старости Республики Беларусь:

*a* – 1999 г. (окончание см. на с. 47)

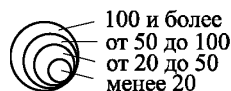
Fig. 4. Regional differences in demographic ageing index of the Republic of Belarus:

*a* – 1999 (ending see on the p. 47)

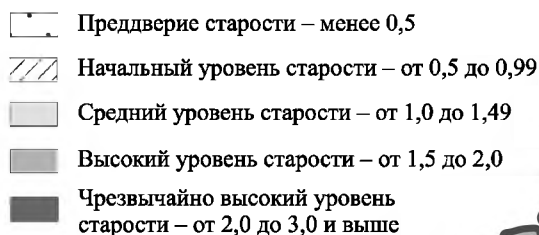


6/6

Средняя плотность городов, тыс. чел.



Индекс старости городского и сельского населения



0 50 100 км

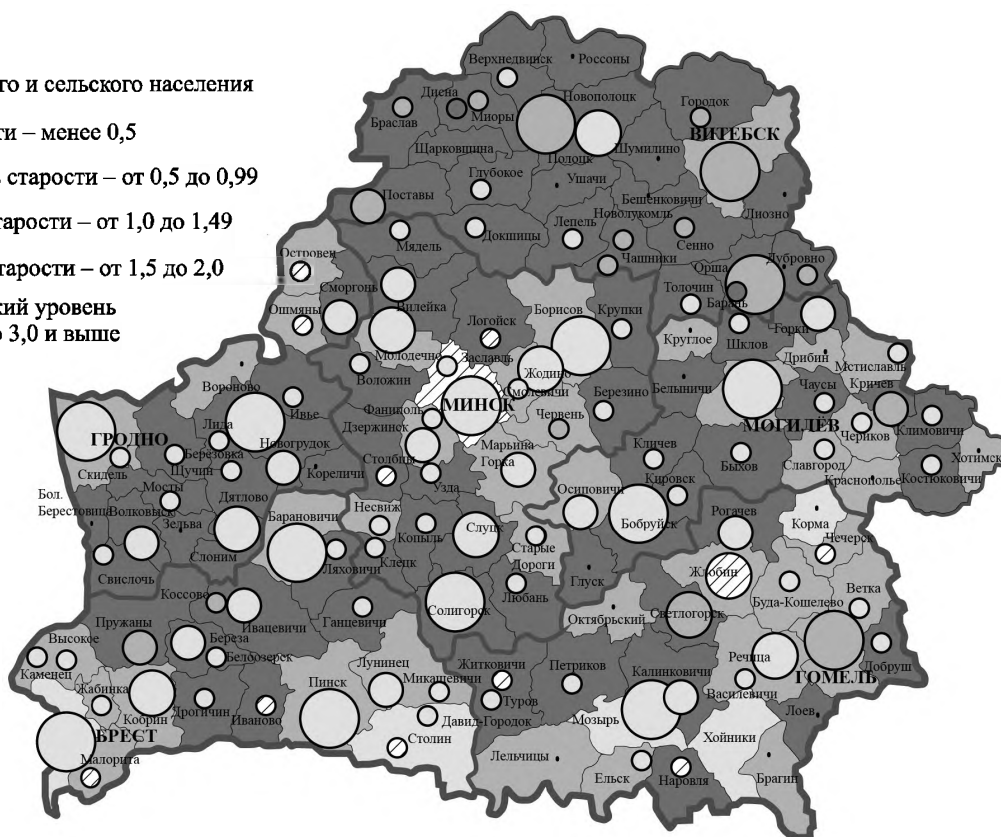


Рис. 4. Окончание (начало см. на с. 46): б – 2015 г.

Fig. 4. Ending (beginning see on the p. 46): b – 2015

## Общие выводы

Сравнительно-географический анализ масштабов демографического старения Беларуси и России позволил выявить сходства и различия. Первыми выступают эволюционная обусловленность демографического старения в двух государствах, связанная с ростом уровня социально-экономического развития, и межрегиональная дифференциация. В основе различий демографического старения двух стран лежат локальные факторы: этнический (действующий в России и формирующий более разнородное пространство демографического старения в силу сохраняющихся отличий в демовоспроизводстве между регионами), историко-культурный и фактор относительно равномерных масштабов внутренней миграции, определившие всеобщность территориального охвата старения на макро- и мезоуровне к 1989 г.

Кроме того, сравнительный анализ показал более высокую степень межрегиональной дифференциации демографического старения России по сравнению с Беларусью, обусловленную совпадением концентрации этнических регионов в определенном типе старения. Микрогеографический уровень анализа Беларуси позволил выявить центропериферийные свойства демографического старения, а также усиление дифференциации между городом и сельской местностью. Межрегиональная дифференциация выражается в более благоприятной ситуации в сфере старения в Минской области и на территории Полесья и неблагоприятной – в Витебской, Гродненской и Могилёвской областях.

Обнаруженные межрегиональные и микрогеографические диспропорции демографического старения Беларуси и России выступают инструментом региональной социально-экономической политики в двух государствах. Несомненно, при разработке мер, ориентированных на потребности пожилых людей, необходимо учитывать тип демографического старения населения.

## Библиографические ссылки

1. World Population Prospects, the 2015 Revision [Electronic resource]. URL: <https://esa.un.org/unpd/wpp/Download/Standard/Population/> (date of access: 25.05.2016).
2. World Population Ageing. 2015. Highlights. N. Y., 2015.
3. Россет Э. Процесс старения населения: демографическое исследование / пер. с пол. Н. Н. Малютиной, Э. Н. Фарберовой; под ред. А. Г. Волкова. М., 1968.
4. Сапожникова Т. И. Демографическое старение: прогнозы, причины, последствия // Науч. журн. КубГАУ. 2007. № 25 (1) [Электронный ресурс]. URL: <http://ej.kubagro.ru/2007/01/pdf/10.pdf> (дата обращения: 14.09.2016).
5. Трифонова З. А. Региональные различия в уровне демографического старения России // Наука. Инновации. Технологии // Науч. журн. Сев.-кавк. федер. ун-та. 2016. № 3. С. 211–225.
6. Laslett P. What is Old Age? Variation over the Time and between Cultures // Health Mortal. among Elder. Popul. / eds.: G. Caselli, A. D. Lopez. N. Y., 1996. P. 21–39.
7. Антипова Е. А. Старение населения: география процесса и новые подходы к экономико-географическому изучению // Вучон. зап. Брэсц. дзярж. ун-та імя А. С. Пушкіна. 2007. Т. 3, ч. 2. С. 134–142.
8. Социально-экономические последствия демографического старения населения России / С. Г. Максимова [и др.]. // Вестн. АГАУ. 2010. № 11 (73). С. 87–91.
9. Барсуков В. Н. Демографическое старение населения: методы оценки // Вопр. террит. развития. 2014. Вып. 4 (14) [Электронный ресурс]. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/demograficheskoe-starenie-naseleniya-metody-otsenki> (дата обращения: 10.03.2016).
10. Пожилые люди в современном российском обществе / А. А. Шабунова [и др.]. Вологда, 2015.
11. Шабунова А. А., Барсуков В. Н. Тенденции демографического старения населения Российской Федерации и пути их преодоления // Пробл. развития территории. 2015. Вып. 1 (75). С. 76–87.
12. Альперович В. Д. Социальная геронтология. Ростов н/Д., 2008.
13. Федоров Г. М. Геодемографическая обстановка: теория и методические основы / под ред. Н. Т. Агафонова. Л., 1984.
14. Prettnner K. Population aging and endogenous economic growth // J. popul. econ. 2013. Vol. 26, № 2. P. 811–834.
15. Васин С. А. Старение населения Самарской области // Мед.-соц. последствия демогр. старения (на примере Самар. обл.). Самара, 2011. С. 3–43.
16. Bucher S. Population ageing and changes in the age structure of Slovakia // J. Geogr. 2012. № 7. P. 7–24.
17. Население по возрастным группам и полу по субъектам Российской Федерации [Электронный ресурс]. URL: [http://www.gks.ru/free\\_doc/new\\_site/perepis2010/croc/perepis\\_itogi1612.htm](http://www.gks.ru/free_doc/new_site/perepis2010/croc/perepis_itogi1612.htm) (дата обращения: 09.04.2016).
18. Население по полу и возрастным группам по субъектам Российской Федерации [Электронный ресурс]. URL: <http://www.perepis2002.ru/index.html?id=31> (дата обращения: 09.04.2016).
19. Всесоюзная перепись населения 1989 г. Распределение населения регионов РСФСР по полу и возрасту (однолетние возрастные группы) [Электронный ресурс]. URL: [http://demoscope.ru/weekly/ssp/rus\\_age1\\_89.php](http://demoscope.ru/weekly/ssp/rus_age1_89.php) (дата обращения: 09.04.2016).
20. Юзаева Ю. П. Теоретические аспекты статистического изучения демографического старения на региональном уровне // Вопросы современной науки : коллективная науч. моногр. / под ред. Н. Р. Красовской. М., 2016. Т. 3. С. 91–120.
21. Материалы переписи населения Республики Беларусь 1999 года [Электронный ресурс]. URL: <http://www.belstat.gov.by/informatsiya-dlya-respondenta/perepis-naseleniya/perepis-naseleniya-1999-goda/> (дата обращения: 12.05.2016).
22. Материалы переписи населения Республики Беларусь 2009 года [Электронный ресурс]. URL: <http://www.belstat.gov.by/informatsiya-dlya-respondenta/perepis-naseleniya/perepis-naseleniya-2009-goda/> (дата обращения: 12.05.2016).
23. Демографический ежегодник Республики Беларусь – 2015 : стат. сб. Минск, 2016.
24. Антипова Е. А. Демографическое развитие Республики Беларусь в XXI веке: тенденции, региональные различия, проблемы // Народонаселение. 2016. Т. 71-1, № 1. С. 5–15.
25. Антипова Е. А. Геодемографические проблемы и территориальная структура сельского расселения Беларуси. Минск, 2008.

## References

1. World Population Prospects, the 2015 Revision [Electronic resource]. URL: <https://esa.un.org/unpd/wpp/Download/Standard/Population/> (date of access: 25.05.2016).
2. World Population Ageing. 2015. Highlights. N. Y., 2015.
3. Rosset E. Protsess stareniya naseleniya: demograficheskoe issledovanie. Per. s pol. N. N. Malyutinoi, E. N. Farberovoi, ed. by A. G. Volkova. Mosc., 1968 (in Russ.).
4. Sapozhnikova T. I. Demograficheskoe starenie: prognozy, prichiny, posledstviya. *Sci. j. KubSAU*. 2007. No. 25 (1) [Electronic resource]. URL: <http://ej.kubagro.ru/2007/01/pdf/10.pdf> (date of access: 14.09.2016) (in Russ.).
5. Trifonova Z. A. Regional differences in the level of demographic ageing Russian. *Sci. Innov. Technol. Sci. j. North-Cauc. Fed. Univ*. 2016. No. 3. P. 211–225 (in Russ.).
6. Laslett P. What is Old Age? Variation over the Time and between Cultures. *Health Mortal. among Elder. Popul.* Eds.: G. Caselli, A. D. Lopez. N. Y., 1996. P. 21–39.
7. Antipova E. A. Population ageing: process geography and new approaches to economic-geographical study. *Sci. am. Brest State Univ. named A. S. Pushkin*. 2007. Vol. 3, part 2. P. 134–142 (in Russ.).
8. Maksimova S. G., Noyanzina O. E., Goncharova N. P., et. al. Sotsial'no-ekonomicheskie posledstviya demograficheskogo stareniya naseleniya Rossii. *Vestnik ASAU*. 2010. No. 11 (73). P. 87–91 (in Russ.).
9. Barsukov V. N. Demograficheskoe starenie naseleniya: metody otsenki. *Vopr. terr. razvitiya*. 2014. Vol. 4 (14) [Electronic resource]. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/demograficheskoe-starenie-naseleniya-metody-otsenki> (date of access: 10.03.2016) (in Russ.).
10. Shabunova A. A., Barsukov V. N., Kalachikova O. N., et al. Pozhilye lyudi v sovremennom rossiiskom obshchestve. Vologda, 2015 (in Russ.).

11. Shabunova A. A., Barsukov V. N. Tendencies of demographic ageing of Russian Federation and ways to overcome. *Probl. dev. territ.* 2015. Vol. 1 (75). P. 76–87 (in Russ.).
12. Al'perovich V. D. *Sotsial'naya gerontologiya*. Rostov-on-Don, 2008 (in Russ.).
13. Fedorov G. M. *Geodemograficheskaya obstanovka: teoriya i metodicheskie osnovy*. Ed. by N. T. Agafonova. Leningr., 1984 (in Russ.).
14. Prettner K. Population aging and endogenous economic growth. *J. popul. econ.* 2013. Vol. 26, No. 2. P. 811–834.
15. Vasin S. A. Starenie naseleniya Samarskoi oblasti. *Mediko-sots. posledstviya demogr. stareniya (na primere Samar. obl.)*. Samara, 2011. P. 3–43 (in Russ.).
16. Bucher S. Population ageing and changes in the age structure of Slovakia. *J. Geogr.* 2012. No. 7. P. 7–24.
17. Naselenie po vozrastnym gruppam i polu po sub'ektam Rossiiskoi Federatsii [Electronic resource]. URL: [http://www.gks.ru/free\\_doc/new\\_site/perepis2010/croc/perepis\\_itogi1612.htm](http://www.gks.ru/free_doc/new_site/perepis2010/croc/perepis_itogi1612.htm) (date of access: 09.04.2016) (in Russ.).
18. Naselenie po polu i vozrastnym gruppam po sub'ektam Rossiiskoi Federatsii [Electronic resource]. URL: <http://www.perepis2002.ru/index.html?id=31> (date of access: 09.04.2016) (in Russ.).
19. Vsesoyuznaya perepis' naseleniya 1989 g. Raspredelenie naseleniya regionov RSFSR po polu i vozrastu (odnoletnie vozrastnye gruppy) [Electronic resource]. URL: [http://demoscope.ru/weekly/ssp/rus\\_age1\\_89.php](http://demoscope.ru/weekly/ssp/rus_age1_89.php) (date of access: 09.04.2016) (in Russ.).
20. Yuzaeva Y. R. Teoreticheskie aspekty statisticheskogo izucheniya demograficheskogo stareniya na regional'nom urovne. *Voprosy sovremennoi nauki* : kollekt. nauchn. monogr. Ed. by N. R. Krasovskoi. Mosc., 2016. Vol. 3. P. 91–120 (in Russ.).
21. Materialy perepisi naseleniya Respubliki Belarus' 1999 goda [Electronic resource]. URL: <http://www.belstat.gov.by/informatsiya-dlya-respondenta/perepis-naseleniya/perepis-naseleniya-1999-goda/> (date of access: 12.05.2016) (in Russ.).
22. Materialy perepisi naseleniya Respubliki Belarus' 2009 goda [Electronic resource]. URL: <http://www.belstat.gov.by/informatsiya-dlya-respondenta/perepis-naseleniya/perepis-naseleniya-2009-goda/> (date of access: 12.05.2016) (in Russ.).
23. Demograficheskii ezhegodnik Respubliki Belarus' – 2015 : stat. sb. Minsk, 2016 (in Russ.).
24. Antipova E. A. The demographic development of the Republic of Belarus in XXI century: trends, regional differences, problems. *Narodonaseleniye*. 2016. Vol. 71-1, No. 1. P. 5–15 (in Russ.).
25. Antipova E. A. *Geodemograficheskie problemy i territorial'naya struktura sel'skogo rasseleniya Belarusi*. Minsk, 2008 (in Russ.).

Статья поступила в редколлегию 17.11.2016.  
Received by editorial board 17.11.2016.



УДК 556.5(476)

## ДОЛГОСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ СТОКА ГОРНЫХ И РАВНИННЫХ РЕК ДЛЯ ОЦЕНКИ ИХ ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА (на примере Украинских Карпат и Беларуси)

С. И. СНЕЖКО<sup>1)</sup>, А. Г. ОБОДОВСКИЙ<sup>1)</sup>, П. С. ЛОПУХ<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Киевский национальный университет им. Тараса Шевченко, ул. Владимирская, 60, 01601, г. Киев, Украина

<sup>2)</sup>Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Республика Беларусь

Рассматриваются вопросы, связанные с влиянием потепления климата на формирование водных ресурсов Украинских Карпат и Беларуси в ближайшей и долгосрочной перспективе. Анализируются результаты применения методов моделирования и балансов для прогнозного расчета стока рек Украинских Карпат. Приведены результаты прогноза стока белорусских рек на основе анализа форм атмосферной циркуляции. Апробированный балансовый метод прогноза изменения стока и состояния водных ресурсов при потеплении климата рекомендуется использовать в условиях Беларуси. Отмечается, что в будущем необходимо уточнить прогнозы для более детальных расчетов водных ресурсов обеих стран. Сделан вывод о том, что балансовый метод оценки водных ресурсов является высокоперспективным для региональных гидрологических исследований.

**Ключевые слова:** потепление; прогноз; балансовый метод; циркуляция; энергетика; Карпаты; Беларусь.

## LONG-TERM FORECAST OF MOUNTAIN AND LOWLAND RIVERS RUNOFF FOR ASSESSMENT THEIR HYDROPOWER POTENTIAL (on the example of Ukrainian Carpaty and Belarus)

S. I. SNIZHKO<sup>a</sup>, A. G. OBODOVSKIY<sup>a</sup>, P. S. LOPUCH<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Taras Shevchenko National University of Kyiv, Vladimirskaya street, 60, 01601, Kyiv, Ukraine

<sup>b</sup>Belarusian State University, Nezavisimosti avenue, 4, 220030, Minsk, Republic of Belarus

Corresponding author: lopuch49@mail.ru

The problems of the effects of climate warming on the formation of the water resources of the Ukrainian Carpaty and the territory of Belarus in the near and distant future. The results of the application of modeling techniques and balances to calculate the forecast river runoff of the Ukrainian Carpaty. For the conditions of Belarus are the results

---

### Образец цитирования:

Снежко С. И., Ободовский А. Г., Лопух П. С. Долгосрочный прогноз стока горных и равнинных рек для оценки их гидроэнергетического потенциала (на примере Украинских Карпат и Беларуси) // Журн. Белорус. гос. ун-та. География. Геология. 2017. № 1. С. 50–61.

### For citation:

Snizhko S. I., Obodovskiy A. G., Lopuch P. S. Long-term forecast of mountain and lowland rivers runoff for assessment their hydropower potential (on the example of Ukrainian Carpaty and Belarus). *J. Belarus. State Univ. Geogr. Geol.* 2017. No. 1. P. 50–61 (in Russ.).

---

### Авторы:

**Сергей Иванович Снежко** – доктор географических наук, профессор; заведующий кафедрой метеорологии и климатологии географического факультета.

**Александр Григорьевич Ободовский** – доктор географических наук, профессор; профессор кафедры гидрологии и гидроэкологии географического факультета.

**Петр Степанович Лопух** – доктор географических наук, профессор; заведующий кафедрой общего землеведения и гидрометеорологии географического факультета.

### Authors:

**Sergiy Snizhko**, doctor of science (geography), full professor; head of the department of meteorology and climatology, faculty of geography.

tempo@2007meta.ua

**Aleksandr Obodovskiy**, doctor of science (geography), full professor; professor at the department of hydrology and hydroecology, faculty of geography.

obodovskiy@univ.kiev.ua

**Piotr Lopuch**, doctor of science (geography), full professor; head of the department of the general geography and hydro-meteorology, faculty of geography.

lopuch49@mail.ru

of the forecast river flow in Belarus on the basis of the analysis of atmospheric circulation types. Proven balance method of forecasting water runoff changes and prediction under climate warming in the near and distant future it is recommended to use in the case of Belarus. In the future, you need to update forecasts for more detailed calculations of water resources in both countries. The use of the balance method in the evaluation of water resources has a good prospect for regional hydrological researches.

**Key words:** warming; forecast; balance sheet liability method; circulation; energy; Carpaty; Belarus.

### Актуальность исследований

В современном мире около 20 % производства электроэнергии приходится на гидроэнергетику. Однако гидроэнергетический потенциал многих стран до сих пор используется далеко не полностью [1]. В горных регионах доля производства гидроэлектроэнергии значительно выше. Например, в Австрии и Швейцарии она превышает 50 % всей выработки электроэнергии [2]. В большой степени производство гидроэлектроэнергии зависит от водности рек, которая, в свою очередь, служит интегральным показателем увлажненности территории, комплекса природно-климатических факторов. В ближайшей перспективе флуктуацию водного стока определяют кратковременные, а иногда и резкие по амплитуде погодные изменения, которые проявляются в виде сильных осадков, быстрого таяния устойчивого снежного покрова или дождевых паводков. В долгосрочной перспективе гидроэнергетическая отрасль зависит от глобального изменения климата и потепления, действие которых имеет односторонний характер и может привести как к длительному снижению водного стока рек, так и к его повышению.

Согласно отчету Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК), в XXI в. ожидается общее снижение гидроэнергетического потенциала примерно на 6 % [3]. При этом могут наблюдаться значительные региональные отклонения от этой величины. Так, в Средиземноморье возможно падение гидроэнергетического потенциала на 20–50 %, в Северной и Восточной Европе оно может составить 15–30 %. Оценка изменения гидроэнергетического потенциала Беларуси и Украины под влиянием глобального потепления ранее не проводилась. В то же время проблема энергетической независимости обеих стран стоит очень остро. Идея развития гидроэнергетики за счет строительства малых экологически безопасных гидроэлектростанций (ГЭС) находит все большую поддержку и уже реализуется на территории Беларуси. Наиболее перспективными для строительства малых ГЭС на Украине являются водные объекты Украинских Карпат.

### Характеристика объектов исследований и исходных данных

Чтобы повысить роль гидроэнергетики в достижении энергетической независимости Беларуси, на территории страны реконструируются малые и строятся мини-ГЭС. Более масштабные объекты создаются на крупных реках (Гродненская, Витебская, Полоцкая ГЭС). В равнинных условиях строительство ГЭС регламентируется экологическими ограничениями. С этой целью было выполнено районирование по степени экологической приемлемости (рис. 1, а). Гидроэнергетические ресурсы распределяются по территории Беларуси крайне неравномерно (рис. 1, б). Наиболее перспективными для возведения ГЭС являются Поозерский, Нарочано-Вилейский и Неманский районы [4; 5].

В целях проведения подобных исследований на территории Украины, которых ранее не было, использовались данные многолетних наблюдений гидрометеорологической службы Украины по основным гидроклиматическим характеристикам (температура воздуха, осадки, водный сток), взятым за период с 1950 по 2015 г. на 19 метеорологических станциях и 23 гидрологических постах Украинских Карпат, в том числе на 9 станциях и 12 постах в бассейне р. Тисы, 4 станциях и 3 постах в бассейнах рек Прут и Сирет, 6 станциях и 8 постах в бассейне р. Днестр.

Для прогнозирования водного стока указанных рек в качестве входных параметров водно-балансовой модели были использованы прогнозные климатические характеристики Украинского гидрометеорологического института НАН Украины (УкрГМИ НАНУ) на ближайшую (до 2030 г.) и среднесрочную (к 2050 г.) перспективу [6]. Исследования выполнены в рамках европейского проекта FP-6 ENSEMBLES с применением ансамбля региональных климатических моделей (РКМ).

Чтобы осуществить качественную верификацию результатов РКМ, были использованы базы данных Всемирного климатического центра CRU (Climate Research Unit, University of EastAnglia, Norwich) и база данных E-Obs, разработанная в рамках того же проекта FP-6 ENSEMBLES на основе наибольшего доступного набора данных метеорологической сети Европы (табл. 1).



Рис. 1. Перспективы использования потенциальных гидроэнергоресурсов Беларуси

Fig. 1. Prospects for the use of hydropower potential of Belarus

Таблица 1

**Количественная характеристика исходной информации (метеостанции и узлы сетки), использованной в моделировании климата на примере Украинских Карпат [6]**

Table 1

**Quantitative characteristyk of the initial information (weather stations and grid nodes) used in climate modeling on the example of Ukrainian Carpaty [6]**

| Область           | Высота, м       |                  |                   | Количество                         |                 |     |       |     |
|-------------------|-----------------|------------------|-------------------|------------------------------------|-----------------|-----|-------|-----|
|                   |                 |                  |                   | метеорологических станций и постов |                 |     | узлов |     |
|                   | $h_{\text{ср}}$ | $h_{\text{мин}}$ | $h_{\text{макс}}$ | Станции                            | Станции и посты | CRU | E-Obs | PKM |
| Закарпатская      | 436             | 113              | 1330              | 9                                  | 27              | 54  | 24    | 24  |
| Ивано-Франковская | 604             | 275              | 1451              | 5                                  | 28              | 66  | 26    | 26  |
| Львовская         | 325             | 212              | 594               | 10                                 | 32              | 96  | 46    | 46  |
| Черновицкая       | 502             | 242              | 762               | 2                                  | 4               | 33  | 14    | 14  |

Поскольку ансамблевое усреднение считается лучшим методом использования данных климатических моделей, для оценки возможных изменений температурного режима на Украине в XXI в. был применен ансамбль из десяти РКМ, а для анализа количества осадков – ансамбль из четырех РКМ. Исследования специалистов УкрГМИ НАНУ подтвердили, что эти ансамбли моделей точнее воспроизводят пространственно-временное распределение рассмотренных климатических показателей на изучаемой территории.

Возможные климатические изменения в XXI в. на территории Украины анализировались для двух 20-летних периодов: на ближайшую (2011–2030) и отдаленную (2031–2050) перспективу (для средних месячных и годовых температур, а также месячного и годового количества осадков). Изменения



характеристик определялись по отношению к климатическому периоду с 1991 по 2010 г. Расчеты проводились для всех узлов расчетной сетки и усреднялись для каждой административной области, выделенной по сходству физико-географических условий, однотипности проявления климатообразующих факторов и относительной однородности полей климатических характеристик.

На 2011–2050 гг. прогнозируемые изменения термического режима исследуемой территории сохраняют тенденцию к потеплению. В первом прогнозном периоде (до 2030 г.) температура повысится на 0,40–0,41 °С, во втором (к 2050 г.) она составит 1,21–1,27 °С. В Беларуси за последние 25 лет, по данным В. И. Мельника, температура воздуха превысила климатическую норму на 1,2 °С и в ближайшей перспективе эта тенденция сохранится.

Наибольший интерес для дальнейших исследований представляет прогноз изменения нормы осадков на ближайшую и среднесрочную перспективу. Расчеты показывают, что среднее количество осадков на Украине увеличится в обоих периодах. До 2030 г. их объем повысится на 4–10 %, а к 2050 г. увеличится на 9–12 % по отношению к уровню 1991–2010 гг. В первом периоде наименьшие изменения ожидаются в Черновицкой области (рост всего на 4 %), а самые большие – в Закарпатской области (на 10 %), что в абсолютном выражении будет составлять 25 и 83 мм слоя осадков соответственно. Во втором прогнозном периоде тенденция к повышению увлажненности территории водосборов исследуемых рек сохранится, хотя темп изменений будет разным. В Черновицкой области вероятен наибольший темп увеличения осадков: от 4 % в первом периоде до 9 % – во втором. Однако в абсолютном выражении по сравнению с 1991–2010 гг. количество осадков больше возрастет во Львовской и Закарпатской областях (на 84 и 74 мм соответственно).

На первом этапе потепления увеличение атмосферных осадков в Беларуси составило около 80 мм. В первой половине нынешнего столетия ожидается рост атмосферных осадков в северной части территории страны.

### Методика исследований

Интересным является опыт применения метода водного баланса для оценки изменения водности рек на территории Украины. Более века он относится к основным методам исследований в гидрологии и достаточно успешно используется для решения задач, связанных с оценкой влияния климата на водные ресурсы как отдельных речных бассейнов, так и целых регионов, стран и континентов [6–8]. Водно-балансовый метод прост в применении и позволяет быстро и сравнительно точно оценить изменения средней нормы стока не только для одного отдельно выбранного речного бассейна, но и для всего региона. Другие методы требуют большого объема подготовительных работ, учитывая широкий перечень параметров среды, значительный массив информации, а также сложность получения параметров модели.

Точность оценки влияния климатических изменений на водные ресурсы зависит от способности связать колебания в реальных величинах испарения с прогнозируемым объемом осадков и потенциального испарения. Рассчитав величину потенциального, т. е. максимально возможного, испарения на любой прогнозный период с применением смоделированных (прогнозных) параметров температуры и суточной солнечной радиации, в дальнейшем можно воспользоваться так называемым методом водно-теплового баланса (одна из разновидностей водно-балансового метода), чтобы оценить изменение водных ресурсов в будущем.

Успешным примером применения метода водно-теплового баланса, по нашему мнению, является работа Е. Д. Гопченко и Н. С. Лободы [7], в которой было реализовано уравнение водно-теплового баланса В. С. Мезенцева и других ученых [8] в целях оценки природных водных ресурсов Украины. Используя этот метод, авторы также сделали прогноз, касающийся возможных изменений водных ресурсов Украины в условиях глобального потепления климата [9].

Учитывая растущую доступность результатов моделирования климата по ансамблю РКМ, стоит изучить основанные на них водно-балансовые методы расчета. В частности, заслуживает внимания водно-балансовая модель Л. Турка [10; 11], успешно примененная польским гидрологом З. Качмарком [12] в составе рабочей группы по вопросам воздействия климатических изменений на водные ресурсы МГЭИК.

Данная методика является достаточно чувствительной к изменениям осадков и температуры [13]. Она позволила получить вполне удовлетворительные результаты прогноза для бассейнов рек Европы. Водно-балансовая модель, ориентированная на использование среднегодовых данных, была предложена французским гидрологом Л. Турком, которому впервые удалось установить четкое соотношение между осадками, температурой и стоком. Эта формула получила широкое распространение в исследованиях, посвященных прогнозу возможных изменений водных ресурсов во второй половине XX в., вызванных глобальным потеплением, в связи с возникновением новой научной задачи – оценки будущих запасов водных ресурсов. Кроме того, данная модель была апробирована для долгосрочного прогнозирования водного стока рек различных природных зон Украины [14].



Исходя из результатов апробации модели на примере речных бассейнов различных природных зон и сравнения их с данными US Country Studies program [15], которые позволяют оценить изменения водных ресурсов более чем в 40 странах мира, можно рекомендовать ее как основную модель для прогноза состояния водных ресурсов под влиянием климата как в условиях Украины, так и Беларуси.

Модель Л. Турка разработана для определенного гидроклиматического региона. Однако она содержит калибровочный коэффициент  $C$  и может применяться повсеместно с единственной оговоркой: различные бассейны должны иметь одинаковую сравнительную временную базу (период).

### Параметризация водно-балансовой модели

Необходимым условием для успешного моделирования влияния климатических изменений на водные ресурсы является параметризация гидрологической модели с использованием данных регулярных натурных наблюдений. Обычно эта процедура состоит из двух важных этапов – калибровки и валидации. Однако на данный момент для них не существует общепринятой процедуры или инструкции в научной литературе. В то же время есть множество точек зрения, касающихся калибровки и проверки модели, у разработчиков и пользователей.

Калибровка модели Л. Турка подразумевает расчет специально предусмотренного разработчиками калибровочного коэффициента  $C$  на основе собранных фактических данных о стоке, осадках и температуре за определенный период. Интервал, за который используются наблюдения для этих расчетов, называется калибровочным периодом. От его правильного выбора зависит точность расчетных параметров водно-балансовой модели и, следовательно, прогноза водного стока, который является конечной целью моделирования. Выбранный калибровочный период должен обеспечивать создание репрезентативных выборок гидрометеорологических данных и правильно отражать структуру генеральной выборки.

В настоящей работе выбор калибровочного периода был обусловлен проведенными ранее исследованиями украинских климатологов, касающимися оценки изменения регионального климата Украины в XXI в., где в качестве сравнительного (базового) периода для климатических сценариев был избран промежуток с 1991 по 2010 г. Указанный 20-летний период позволяет сформировать репрезентативные статистические выборки необходимых гидрометеорологических параметров, однако не учитывает циклично-фазовую структуру гидрологических рядов. Это может вносить определенные погрешности в точность расчета параметров модели и результаты будущего прогноза.

Для валидации модели использовались многолетние ретроспективные периоды наблюдений по главным гидрометеорологическим характеристикам исследуемых водосборов. Суть процедуры заключалась в применении калибровочных параметров модели, установленных на основе наблюдений за базовый климатический период (1991–2010) при составлении так называемого ретроспективного прогноза от начала сбора данных в том или ином речном бассейне до наших дней. Прежде чем приступить к моделированию изменений водности всех рек исследуемого региона, необходимо было произвести калибровочно-валидационные расчеты для исследуемых речных бассейнов с различными условиями формирования стока.

Пример полученных результатов калибровки параметров модели по данным базового климатического периода (1991–2010) для шести репрезентативных бассейнов приведен в табл. 2.

Таблица 2

Результаты калибровки параметров модели по данным базового климатического периода (1991–2010) для рек Украинских Карпат

Table 2

The results of the calibration of the model parameters according to the base climate period (1991–2010) for the Ukrainian Carpaty rivers

| Река  | Параметры |        |       |       |      |
|-------|-----------|--------|-------|-------|------|
|       | $Ta$      | $Pa$   | $Qa$  | $La$  | $C$  |
| Тиса  | 7,98      | 1251,6 | 788,0 | 524,9 | 1,60 |
| Уж    | 9,46      | 817,1  | 461,9 | 578,7 | 3,30 |
| Свича | 8,12      | 905,4  | 737,0 | 529,7 | 26,0 |
| Стрый | 8,53      | 1023,1 | 656,1 | 544,2 | 4,23 |
| Сирет | 7,79      | 771,3  | 386,5 | 518,4 | 1,81 |
| Прут  | 7,53      | 1046,4 | 733,0 | 509,5 | 6,93 |

Примечание.  $Ta$  – среднегодовая температура, °C;  $Pa$  – среднегодовая сумма осадков, мм;  $Qa$  – среднегодовой слой стока, мм;  $La$  – коэффициент регрессии для зависимости стока от температуры;  $C$  – калибровочный коэффициент.

Данные параметры были использованы в расчетах ретропрогноза на избранных реках в целях валидации модели. Результаты представлены в виде совмещенных графиков временного хода одной из составляющих водного баланса речного бассейна – водного стока в виде слоя стока. Фактический, или измеренный, слой стока обозначен как  $Qa_{\text{факт}}$ , а спрогнозированный по водно-балансовой модели Л. Турка – как  $Qa_{\text{прогн}}$  (рис. 2).

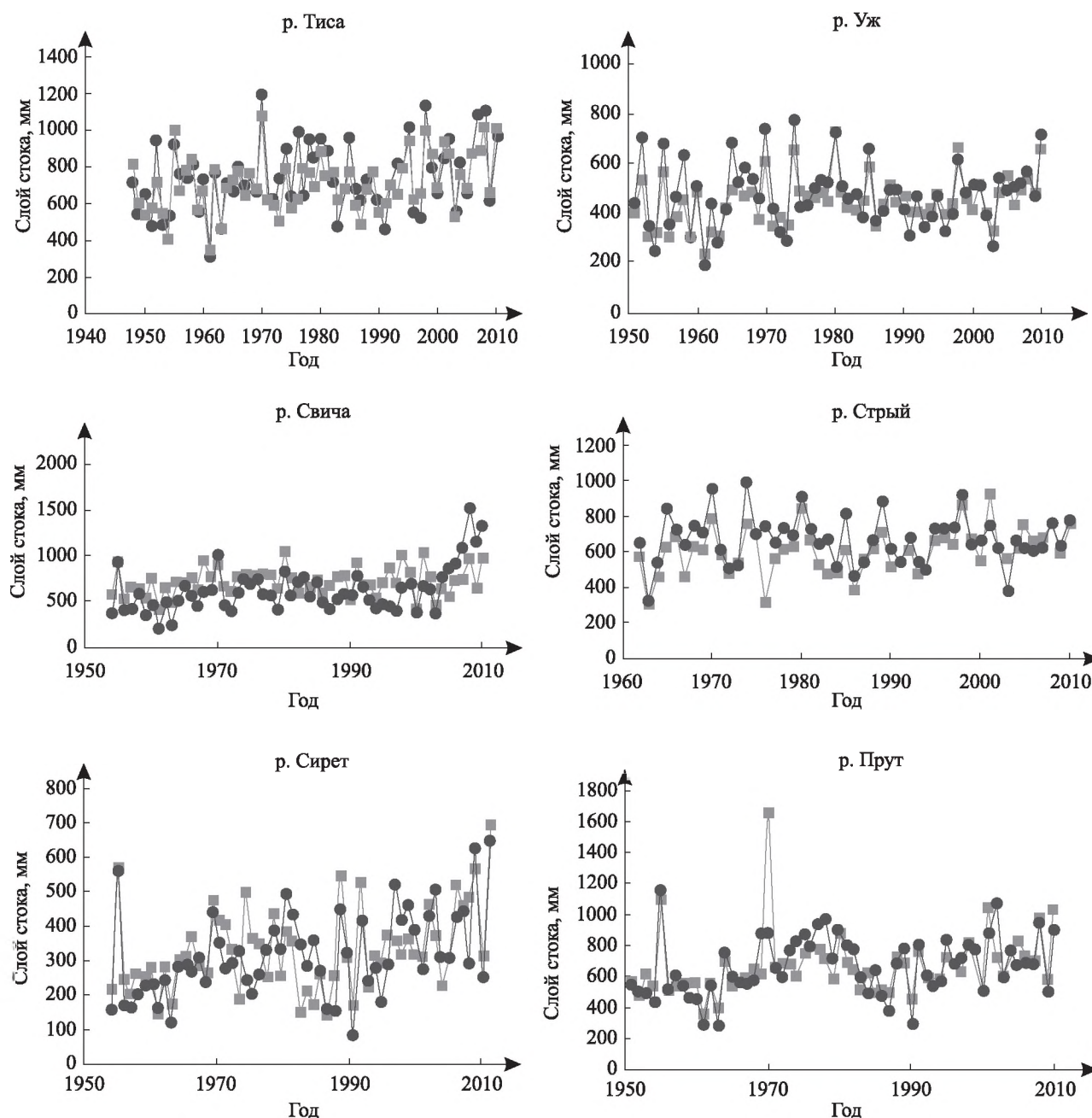


Рис. 2. Результаты сравнения фактических значений среднего годового слоя стока воды ( $Qa_{\text{факт}}$  — ●—) исследуемых рек со смоделированным ( $Qa_{\text{прогн}}$  — ■—)

Fig. 2. The results of the comparison of the actual average annual runoff depth of the rivers studied ( $Qa_{\text{факт}}$  — ●—) with simulated ( $Qa_{\text{прогн}}$  — ■—)

Обобщенные результаты валидации гидрологической модели отражены в табл. 3, которая позволяет сравнить среднегодовые значения слоя водного стока за весь период сбора информации, рассчитанные по данным наблюдений, со смоделированными. Приведены также значения абсолютной ( $\Delta Q_{\text{абс}}$ ) и относительной ( $\Delta Q$ ) погрешностей расчетов.

Таблица 3

Результаты валидации водно-балансовой модели Л. Турка  
(ретропрогноз среднегодового расхода воды выбранных рек Украинских Карпат за многолетний период)

Table 3

Results of the validation of water-balance model L. Turc  
(retroprognost average annual flow of the rivers selected of Ukrainian Carpaty for the multi-year period)

| Река  | Расход воды, мм    |                     | Погрешность                        |                |
|-------|--------------------|---------------------|------------------------------------|----------------|
|       | $Qa_{\text{факт}}$ | $Qa_{\text{прогн}}$ | $\Delta Q_{\text{абс}}, \text{мм}$ | $\Delta Q, \%$ |
| Тиса  | 722,2              | 679,9               | 42,2                               | 5,85           |
| Уж    | 468,3              | 446,8               | 21,4                               | 2,03           |
| Свича | 622,1              | 712,1               | 90,0                               | 14,4           |
| Стрый | 666,3              | 610,3               | 55,9                               | 7,17           |
| Сирет | 314,2              | 331,9               | 17,6                               | 13,2           |
| Прут  | 666,5              | 671,0               | 4,5                                | 3,39           |

Как свидетельствуют данные контрольных расчетов, величина относительной погрешности моделирования (ретропрогноза) для четырех рек исследованной группы не превышает 10 %. Несколько снижена точность моделирования для р. Свича и р. Сирет. Это объясняется более сложными условиями формирования стока в их бассейнах и невозможностью достаточного учета циклично-фазовой структуры временных гидрологических рядов этих рек при выборе калибровочного периода. Таким образом, примененные процедуры параметризации расчетной модели позволили получить удовлетворительную точность приближения смоделированных рядов водного стока к фактическим. Величина ошибки в большинстве случаев гораздо меньше или не превышает величины естественной вариации нормы стока исследуемых рек. Валидация модели показала ее пригодность для прогнозирования водного стока (многолетних норм стока) рек Украинских Карпат на ближайшую (2011–2030) и среднесрочную (2031–2050) перспективу с привязкой к данным моделирования климата на эти временные периоды.

### Прогноз водного стока основных рек Украинских Карпат для различных временных периодов

Расчет производился с помощью программы *Excel* после калибровки и валидации модели по каждому речному водосбору. Результаты прогноза водного стока для двух указанных периодов приведены в табл. 4–6.

Таблица 4

Исходные и прогнозные значения речного стока бассейна р. Тисы

Table 4

Baseline and projected values of river flow of the Tisza Basin

| Река – пункт                    | Сток за базовый период, мм (1991–2010) | Прогнозный сток, мм |           | Изменение водности, % |      | Изменение водности относительно нормы стока, % |       |
|---------------------------------|----------------------------------------|---------------------|-----------|-----------------------|------|------------------------------------------------|-------|
|                                 |                                        | Год                 |           |                       |      |                                                |       |
|                                 |                                        | 2011–2030           | 2031–2050 | 2030                  | 2050 | 2030                                           | 2050  |
| Тиса – г. Рахов                 | 843,2                                  | 873,0               | 865,3     | 7,8                   | 5,0  | –3,49                                          | –6,30 |
| Тиса – п. г. т. Виллок          | 726,6                                  | 794,6               | 785,7     | 9,4                   | 8,1  | 7,76                                           | 6,53  |
| Черная Тиса – п. г. т. Ясиня    | 785,0                                  | 853,0               | 843,2     | 8,7                   | 7,4  | 8,66                                           | 7,41  |
| Белая Тиса – с. Луги            | 951,3                                  | 1022,8              | 1013,7    | 7,5                   | 6,6  | –3,79                                          | –4,75 |
| Косовская – с. Косовская Поляна | 1223,9                                 | 1304,4              | 1295,7    | 6,6                   | 5,9  | 4,38                                           | 3,67  |
| Тересва – с. Усть-Чорна         | 1075,0                                 | 1144,1              | 1132,0    | 6,4                   | 5,3  | 7,23                                           | 6,10  |
| Рика – п. г. т. Межгорье        | 840,6                                  | 907,0               | 883,9     | 7,9                   | 5,2  | 1,10                                           | –1,65 |



Окончание табл. 4  
Ending table 4

| Река – пункт             | Сток за базовый период, мм (1991–2010) | Прогнозный сток, мм |           | Изменение водности, % |      | Изменение водности относительно нормы стока, % |       |
|--------------------------|----------------------------------------|---------------------|-----------|-----------------------|------|------------------------------------------------|-------|
|                          |                                        | Год                 |           |                       |      |                                                |       |
|                          |                                        | 2011–2030           | 2031–2050 | 2030                  | 2050 | 2030                                           | 2050  |
| Пилипец – с. Пилипец     | 910,0                                  | 981,2               | 972,1     | 7,8                   | 6,8  | 19,83                                          | 18,82 |
| Боржава – с. Долгое      | 838,5                                  | 902,4               | 885,6     | 7,6                   | 5,6  | 9,62                                           | 7,61  |
| Латорица – с. Подполозье | 868,3                                  | 935,3               | 924,1     | 7,7                   | 6,4  | 11,82                                          | 10,53 |
| Латорица – г. Свалява    | 644,1                                  | 706,1               | 686,9     | 9,6                   | 6,6  | 15,53                                          | 12,54 |
| Латорица – г. Мукачево   | 672,8                                  | 736,6               | 714,4     | 9,5                   | 6,2  | –0,02                                          | –3,31 |
| Латорица – г. Чоп        | 409,7                                  | 476,3               | 436,0     | 16,3                  | 6,4  | 12,66                                          | 2,82  |
| Веча – с. Нелепино       | 964,7                                  | 1036,6              | 1027,9    | 7,4                   | 6,5  | –1,06                                          | –1,95 |
| Старая – с. Зняцево      | 364,4                                  | 418,4               | 401,8     | 14,8                  | 10,3 | 0,83                                           | –3,73 |
| Уж – с. Жорнава          | 740,4                                  | 810,8               | 802,5     | 9,5                   | 8,4  | 8,51                                           | 7,38  |
| Уж – с. Заречье          | 544,0                                  | 603,8               | 589,2     | 11,0                  | 8,3  | 6,10                                           | 3,41  |
| Уж – м. Ужгород          | 461,9                                  | 520,1               | 502,8     | 12,6                  | 8,8  | 14,39                                          | 10,65 |
| Турья – с. Симер         | 643,3                                  | 706,9               | 697,1     | 9,9                   | 8,4  | 7,79                                           | 6,26  |

Таблица 5

Базовые и прогнозные значения речного стока бассейнов рек Прут и Сирет

Table 5

Basic and forecast values of river runoff basins of the rivers Prut and Siret

| Река – пункт                      | Сток за базовый период, мм (1991–2010) | Прогнозный сток, мм |           | Изменение водности, % |      | Изменение водности относительно нормы стока, % |        |
|-----------------------------------|----------------------------------------|---------------------|-----------|-----------------------|------|------------------------------------------------|--------|
|                                   |                                        | Год                 |           |                       |      |                                                |        |
|                                   |                                        | 2011–2030           | 2031–2050 | 2030                  | 2050 | 2030                                           | 2050   |
| Белый Черемош – с. Яблунница      | 540,3                                  | 567,5               | 585,0     | 5,0                   | 8,3  | –3,50                                          | –0,26  |
| Ильц – с. Ильцы                   | 612,1                                  | 646,4               | 640,5     | 5,6                   | 4,6  | 3,51                                           | 2,54   |
| Каменка – с. Дора                 | 348,7                                  | 387,3               | 361,0     | 11,1                  | 3,5  | –9,22                                          | –16,77 |
| Прут – п.г.т. Ворохта             | 1293,7                                 | 1336,8              | 1353,9    | 3,3                   | 4,7  | –3,60                                          | –2,28  |
| Прут – села Татаров, Кременцы     | 658,7                                  | 696,1               | 671,1     | 5,7                   | 1,9  | –10,10                                         | –13,89 |
| Прут – г. Яремче                  | 662,9                                  | 700,1               | 676,0     | 5,6                   | 2,0  | –5,01                                          | –8,64  |
| Прут – г. Черновцы                | 311,0                                  | 336,7               | 336,4     | 8,3                   | 8,2  | –12,31                                         | –12,21 |
| Путила – п.г.т. Путила            | 428,8                                  | 444,1               | 459,2     | 3,6                   | 7,1  | 2,55                                           | 6,08   |
| Черемош – с. Устерыки             | 588,4                                  | 617,8               | 637,3     | 5,0                   | 8,3  | –2,07                                          | 1,24   |
| Черный Черемош – п.г.т. Верховина | 677,7                                  | 711,1               | 715,0     | 4,9                   | 5,5  | –1,28                                          | –0,71  |
| Чернява – с. Любковцы             | 151,6                                  | 163,1               | 160,6     | 7,5                   | 5,9  | 7,50                                           | 5,90   |
| Сирет – г. Сторожинец             | 313,2                                  | 326,6               | 336,7     | 4,3                   | 7,5  | –19,24                                         | –16,01 |

Таблица 6

Базовые и прогнозные значения речного стока бассейна р. Днестр

Table 6

Basic and predicted values of the river Dniester Basin

| Река – пункт                         | Сток за базовый период, мм (1991–2010) | Прогнозный сток, мм |           | Изменение водности, % |      | Изменение водности относительно нормы стока, % |        |
|--------------------------------------|----------------------------------------|---------------------|-----------|-----------------------|------|------------------------------------------------|--------|
|                                      |                                        | Год                 |           |                       |      |                                                |        |
|                                      |                                        | 2011–2030           | 2031–2050 | 2030                  | 2050 | 2030                                           | 2050   |
| Быстрица – г. Надворная, с. Пасечная | 701,9                                  | 738,8               | 750,7     | 5,3                   | 7,0  | 1,96                                           | 3,66   |
| Быстрица – с. Озимина                | 396,8                                  | 428,3               | 434,8     | 7,9                   | 9,6  | –5,54                                          | –3,89  |
| Быстрица – Солотвино – с. Гута       | 881,9                                  | 904,0               | 923,7     | 2,5                   | 4,7  | –15,06                                         | –12,82 |
| Ворона – г. Тысменица                | 233,0                                  | 262,8               | 264,1     | 12,8                  | 13,4 | 5,86                                           | 6,43   |
| Головчанка – с. Тухля                | 745,2                                  | 789,4               | 803,7     | 5,9                   | 7,8  | –13,44                                         | –11,51 |
| Днестр – г. Галич                    | 347,0                                  | 387,8               | 381,7     | 11,7                  | 10,0 | 0,71                                           | 1,25   |
| Днестр – п. г. т. Журавно            | 308,2                                  | 358,0               | 348,6     | 16,2                  | 13,1 | 7,65                                           | 7,85   |
| Днестр – п. г. т. Роздол             | 255,0                                  | 304,9               | 294,9     | 19,6                  | 15,6 | 12,65                                          | 8,72   |
| Днестр – г. Самбор                   | 417,7                                  | 463,0               | 463,8     | 10,8                  | 11,1 | 0,60                                           | –2,45  |
| Днестр – с. Стрелки                  | 421,6                                  | 465,0               | 467,2     | 10,3                  | 10,8 | 9,63                                           | 7,89   |
| Завадка – с. Рыков                   | 744,8                                  | 791,0               | 805,4     | 6,2                   | 8,1  | 3,89                                           | 5,82   |
| Ломница – с. Осмолода                | 1064,9                                 | 1085,8              | 1102,9    | 2,0                   | 3,6  | –0,59                                          | 1,02   |
| Ломница – с. Перевозец               | 480,8                                  | 513,9               | 520,4     | 6,9                   | 8,2  | 4,63                                           | 5,98   |
| Лужанка – с. Гошев                   | 520,9                                  | 553,6               | 558,9     | 6,3                   | 7,3  | –8,18                                          | –7,15  |
| Луква – с. Бондарев                  | 544,7                                  | 584,9               | 601,4     | 7,4                   | 10,4 | –4,35                                          | –1,32  |
| Опир – г. Сколе                      | 576,5                                  | 618,1               | 622,9     | 7,2                   | 8,1  | 13,15                                          | 13,99  |
| Орава – хут. Станислав               | 607,9                                  | 648,0               | 655,1     | 6,6                   | 7,8  | 8,52                                           | 9,69   |
| Рыбник – с. Майдан                   | 863,7                                  | 918,8               | 938,4     | 6,4                   | 8,6  | 5,32                                           | 7,59   |
| Свича – с. Заречное                  | 622,0                                  | 662,0               | 675,3     | 6,4                   | 8,6  | –12,05                                         | –9,91  |
| Свича – с. Мысливка                  | 855,7                                  | 897,5               | 909,8     | 4,9                   | 6,3  | –5,74                                          | –4,30  |
| Славская – с. Славское               | 769,3                                  | 816,5               | 831,9     | 6,1                   | 8,1  | 5,63                                           | 7,63   |
| Стрый – с. Верхнее Синевидное        | 554,8                                  | 596,5               | 605,6     | 7,5                   | 9,2  | 7,95                                           | 9,59   |
| Стрый – с. Завадовка                 | 666,5                                  | 711,1               | 724,0     | 6,7                   | 8,6  | 8,21                                           | 10,16  |
| Стрый – с. Маткив                    | 845,5                                  | 896,5               | 914,4     | 6,0                   | 8,1  | 10,09                                          | 12,20  |
| Сукил – с. Тисов                     | 711,2                                  | 758,6               | 776,6     | 6,7                   | 9,2  | –5,09                                          | –2,55  |
| Тысменица – г. Дрогобыч              | 441,8                                  | 485,4               | 495,2     | 9,9                   | 12,1 | –13,22                                         | –11,00 |
| Чечва – с. Спас                      | 591,3                                  | 626,4               | 637,0     | 5,9                   | 7,7  | 0,92                                           | 2,70   |

Долгосрочный сценарий водности рек Беларуси

По расчетам И. С. Партасёнок, были составлены долгосрочные сценарии изменения водности белорусских рек в XXI в. в соответствии с повторяемостью солнечной активности и преобладанием типов атмосферной циркуляции [16].

В 2020–30-х гг. есть основания прогнозировать преобладание меридиональной формы (С) циркуляции (табл. 7). В 2030–40-х гг. на фоне максимума векового цикла солнечной активности (2040 г.) вероятно увеличение смешанной (восточной и меридиональной – E + C) формы циркуляции. В 2040–50-х гг. на фоне начала спада векового цикла солнечной активности, скорее всего, будет преобладать меридиональная форма атмосферной циркуляции. В 2050–60-х гг., связанных с 60-летним циклом соединения Юпитера и Сатурна и периодом четного 11-летнего цикла солнечной активности, возможно чередование

форм циркуляции, но все же при некотором преобладании западной формы (*W*). В 2060–70-х гг. характер циркуляции в определенной мере будет таким же, как в 1960-х гг. В этот период может наблюдаться пониженный уровень солнечной активности в вековом цикле и преобладать западная форма циркуляции. В последние три десятилетия XXI в. ожидаются два периода понижения среднегодовых аномалий температуры воздуха – в 2075 и 2095 гг. Первый связан с моментом соединения Сатурна и Урана (цикл соединения – около 45 лет), второй – с максимальными значениями в вековом цикле солнечной активности. Два периода повышения температуры в последние три десятилетия текущего века (2085 и 2105 гг.) будут связаны с периодами нечетных 11-летних циклов. Есть основания прогнозировать преобладание западной формы циркуляции.

Таблица 7

Долгосрочный сценарий отклонений от средних многолетних значений наибольших расходов воды  
весеннего половодья на части территории Беларуси, %

Table 7

Long-term scenario deviations from multiyear averages largest water spring tide expenses  
on the part of Belarusian territory, %

| Гидрологический район  | Форма циркуляции         |                         |                         |                             |                         |
|------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------------|-------------------------|
|                        | <i>W</i><br>(до 2010 г.) | <i>E</i><br>(2011–2020) | <i>C</i><br>(2021–2030) | <i>E + C</i><br>(2031–2050) | <i>W</i><br>(2051–2070) |
| Западно-Двинский       | 63–81                    | 129–162                 | 118–129                 | 129–162                     | 63–81                   |
| Верхне-Днепровский     | 40–67                    | 140–171                 | 131–146                 | 146–171                     | 40–67                   |
| Вилейский              | 40–45                    | 150–200                 | 150–160                 | 160–200                     | 40–45                   |
| Неманский              | 33–57                    | 139–187                 | 137–150                 | 150–187                     | 33–57                   |
| Центрально-Березинский | 53–65                    | 145–165                 | 130–144                 | 144–165                     | 53–65                   |
| Припятский             | 40–76                    | 159–192                 | 123–169                 | 169–192                     | 40–76                   |

До 2010 г. погода в Беларуси была обусловлена западной формой циркуляции (*W*) – соответственно, в зимний сезон наблюдался повышенный сток, а затем – низкое весеннее половодье (см. табл. 7). В текущем десятилетии (2011–2020) отмечается увеличение повторяемости восточной формы (*E*), а также наступление более холодных и снежных зим и высокой водности рек во время весеннего половодья. Если прогноз динамики общей циркуляции атмосферы оправдается, в 2021–2030 гг. восточную форму циркуляции сменит меридиональная (*C*) с холодными зимами и высоким весенним половодьем. В 2031–2050 гг. наступит эпоха смешанной (восточной и меридиональной) циркуляции атмосферы (*E + C*), когда будут наблюдаться условия для формирования высокой водности рек во время весеннего половодья, а наибольшие расходы воды превысят средние значения в 1,5–2,0 раза.

Во второй половине XXI в. следует ожидать чередования повторяемости процессов разных форм, но преобладать будет западная форма циркуляции. Водность рек во время весеннего половодья прогнозируется низкой.

## Выводы

Результаты моделирования возможных изменений в стоке рек Украинских Карпат и Беларуси на ближайшие 20–30 лет и долгосрочную перспективу позволили сделать следующие выводы.

Глобальное потепление климата на территории Украины и Беларуси выражается в односторонних трендах изменения температуры воздуха и осадков. В ожидаемом изменении стока украинских рек обнаруживаются следующие тенденции: в бассейне р. Тисы в 2030 г. ожидается повышение речного стока в среднем на 6,75 %, а в 2050 г. – на 4,32 %, а в бассейнах рек Прут и Сирет – незначительное уменьшение водности: в среднем на 3,3 % в каждом прогнозном периоде. В бассейне р. Днестр в оба временных интервала водность практически не изменится относительно базового периода (среднее колебание водности по бассейну – 0,5 и 1,3 %), но в пределах бассейна будет наблюдаться как увеличение стока (горные реки), так и его уменьшение (равнинные реки). Полученные оценки изменения водного стока исследуемых рек свидетельствуют о том, что его значительного уменьшения, а следовательно понижения гидроэнергетического потенциала рек, не ожидается.



Гидрометеорологические условия Республики Беларусь существенно различаются во времени и зависят от преобладания формы атмосферной циркуляции, влияние которой прежде всего заметно на сезонном стоке и его внутригодовом распределении. Западная форма циркуляции обуславливает повышенный зимний сток (30–70 % нормы) и весеннее половодье (до 40–80 % нормы). Восточная и меридиональная формы обуславливают низкий меженный сток (60–85 % нормы) и весеннее половодье (до 150–200 % нормы). Это не может не отразиться на энергетических ресурсах северных районов страны.

Полученные результаты характеризуются достаточной точностью, базирующейся на качестве исходных гидрометеорологических данных, прогнозе и методике водно-балансового моделирования, и могут быть использованы не только для оценки гидроэнергетического потенциала рек, но и для разработки мероприятий по адаптации водного хозяйства к ожидаемым климатическим изменениям.

Несмотря на это, авторы не исключают необходимости применения более точных численных методов долгосрочного прогнозирования водного стока рек в ближайшем будущем.

Апробированный балансовый метод прогнозирования изменения стока и состояния водных ресурсов при потеплении климата на ближайшую и долгосрочную перспективу можно использовать в условиях Беларуси. В дальнейшем необходимо уточнить прогнозы для более детальных расчетов водных ресурсов обеих стран. Таким образом, применение балансового метода при оценке водных ресурсов имеет хорошую перспективу.

### Библиографические ссылки

1. Sternberg R. Hydropower's future, the environment, and global electricity systems // *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2010. Vol. 14, issue 2. P. 713–723.
2. Zimmermann M. Energy situation and policy in Switzerland // *Int. J. Ambient Energy.* 2001. Vol. 22, issue 1. P. 29–34.
3. Bates B. C., Kundzewicz Z. W., Wu S., et al. (eds.). *Climate Change and Water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Geneva, 2008.
4. Лопух П. С. Закономерности развития природы водоемов замедленного водообмена, их использование и охрана. Минск, 2000.
5. Географический атлас учителя. Минск, 2016.
6. Дослідження регіональних особливостей зміни клімату в Україні у XXI столітті на основі чисельного моделювання. Заключний звіт. № держ. реєстрації 0111U001571 / С. В. Краківська [та ін.]. 2013.
7. Гонченко Є. Д., Лобода Н. С. Оцінювання водних ресурсів України за методом водно-теплового балансу // *Наук. праці УкрНДДГМІ.* 2001. Вип. 249. С. 106–119.
8. Мезенцев В. С., Карнацевич И. В. Увлажненность Западно-Сибирской равнины. Л., 1969.
9. Лобода Н. С., Гонченко Є. Д. Водні ресурси України у зв'язку з кліматичними умовами // *Україна: геогр. і проблеми сталого розвитку.* Київ, 2004. Т. 3. С. 144–146.
10. Turc L. Evaluation de besoins en eau d'irrigation, ET potentielle // *Ann. Agron.* 1961. Vol. 12. P. 13–49.
11. Turc L. Water Balance of Soils: Relationship between Precipitation, Evapotranspiration and Runoff // *Ann. Agron.* 1954. Vol. 5. P. 491–595; Vol. 6. P. 5–131.
12. Kaczmarek Z. Chapter 14: Water Resource Management // *Climate Change 1995: IPCC Second Assessment Report.* Cambridge; N. Y., 1996. P. 880.
13. Kaczmarek Z., Krasuski D. Sensitivity of Water Balance to Climate Change and Variability // *IIASA Working Paper.* Laxenburg, 1991. P. 7–8.
14. Использование водно-балансовой модели Турка и численной региональной модели REMO оценки водных ресурсов местного стока в Украине в XXI веке / С. И. Снежко [и др.] // *Вестн. Брян. ун-та.* 2014. № 4. С. 191–201.
15. Kaczmarek Z. Polish Water Resources Vulnerability Assessment // *Report to U. S. Countries Studies Program.* 1995.
16. Лопух П. С., Пармасенок И. С. Влияние атмосферной циркуляции на формирование гидрологического режима рек Беларуси. Минск, 2013.

### References

1. Sternberg R. Hydropower's future, the environment, and global electricity systems. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2010. Vol. 14, issue 2. P. 713–723. DOI: 10.1016/j.rser.2009.08.016.
2. Zimmermann M. Energy situation and policy in Switzerland. *Int. J. Ambient Energy.* 2001. Vol. 22, issue 1. P. 29–34.
3. Bates B. C., Kundzewicz Z. W., Wu S., et al. (eds.). *Climate Change and Water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Geneva, 2008.
4. Lopuch P. S. Zakonomernosti razvitiya prirody vodoemov zamedlennogo vodoobmena, ikh ispol'zovanie i okhrana [Regularities in the development of the nature reservoirs slow water exchange, use and protection]. Minsk, 2000 (in Russ.).
5. Geograficheskii atlas uchitelya [Geographical atlas of teachers]. Minsk, 2016 (in Russ.).
6. Krakowska S. V., Palamarchuk L. V., Shedemenko I. P., et al. Regional studies of climate change in Ukraine in the XXI century based on numerical simulation. Final Report. State registration No. 0111U001571. 2013 (in Ukrainian).

7. Gopčenko E. D., Loboda N. S. Ocinnjuvannja vodnyh resursiv Ukrai'ny za metodom vodno-teplovogo balansu [Estimation of water resources of Ukraine by the method of water-heat balance]. *Naukovyj zbirnyk Ukrai'ns'kogo naukovo-doslidnogo gidro-meteorologichnogo instytutu*. 2001. Issue 249. P. 106–119 (in Ukrainian).
8. Mezentsev V. S., Karnatsevich I. V. Uvlazhnennost' Zapadno-Sibirskoi ravniny [Condition of the West Siberian Plain moistening]. Leningr., 1969 (in Russ.).
9. Loboda N. S., Gopčenko E. D. Vodni resursy Ukrai'ny u zv'jazku z klimatychnymy umovamy [Water resources of Ukraine in connection with climatic conditions]. *Ukrai'na: geogr. i problemy stalogo rozvytku*. Kyiv, 2004. Vol. 3. P. 144–146 (in Ukrainian).
10. Turc L. Evaluation de besoins en eau d'irrigation, ET potentielle. *Ann. Agron.* 1961. Vol. 12. P. 13–49.
11. Turc L. Water Balance of Soils: Relationship between Precipitation, Evapotranspiration and Runoff. *Ann. Agron.* 1954. Vol. 5. P. 491–595; Vol. 6. P. 5–131.
12. Kaczmarek Z. Chapter 14: Water Resource Management. *Climate Change 1995: IPCC Second Assessment Report*. Cambridge; N. Y., 1996. P. 880.
13. Kaczmarek Z., Krasuski D. Sensitivity of Water Balance to Climate Change and Variability. *IIASA Working Paper*. Laxenburg, 1991. P. 7–8.
14. Snezhko S. I., Kuprikov I. V., Shevchenko O. G., et al. Using of the water balance model of turc and numerical regional model remo for assessment of local water resources in Ukraine in the XXI century. *The Bryansk State Univ. Herald*. 2014. No. 4. P. 191–201 (in Russ.).
15. Kaczmarek Z. *Polish Water Resources vulnerability Assessment*. Report to U. S. Countries Studies Program. 1995.
16. Lopuch P. S., Partasenok I. S. Vliyanie atmosferyoi tsirkulyatsii na formirovanie gidrologicheskogo rezhima rek Belarusi [Influence of atmospheric circulation on the formation of the hydrological regime of rivers of Belarus]. Minsk, 2013 (in Russ.).

Статья поступила в редколлегию 17.11.2016.  
Received by editorial board 17.11.2016.

## КЛАСТЕРИЗАЦИЯ В РОССИИ: ДИНАМИКА И РЕГИОНАЛЬНАЯ СПЕЦИФИКА РАЗВИТИЯ

Т. Ф. КРЕЙДЕНКО<sup>1)</sup>, И. А. РОДИОНОВА<sup>1)</sup>, И. И. БОГАЧЕВ<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Российский университет дружбы народов, ул. Миклухо-Маклая, 6, 117198, г. Москва, Россия

Отмечено, что повышение эффективности организации экономического пространства территории – важнейшая проблема современного развития в условиях глобализации. Проанализированы особенности создания кластеров и кластерной политики в регионах Российской Федерации. Выделены и охарактеризованы этапы становления кластерной политики и кластерных инициатив в России. Рассмотрены региональные отличия в формировании кластеров в стране и показана отраслевая специфика их деятельности. Представлены особенности применения инструментов для стимулирования процесса кластеризации экономики Российской Федерации на современном этапе. Отмечено, что создание кластерных форм в экономике России имеет тесную связь с пространственными формами организации производства, сложившимися в советский период. При этом и в современной экономике страны развитие кластеров невозможно без поддержки со стороны государства. Определена роль технико-внедренческих особых экономических зон, формирующихся технологических платформ и программно-целевого метода поддержки функционирования инновационно-территориальных кластеров в развитии кластеризации в России. Подчеркивается, что формирование кластеров должно осуществляться не на основании руководящих указаний «сверху», а в рамках реализации региональных стратегий развития с учетом потенциала и потребностей каждой территории.

**Ключевые слова:** Россия; кластеризация; региональные кластеры; инновационное развитие; региональные стратегии развития; технологические платформы; региональная политика; пространственное развитие.

## THE PROCESS OF CLUSTERING IN RUSSIA: DYNAMICS AND REGIONAL FEATURES OF DEVELOPMENT

T. F. KREJDENKO<sup>a</sup>, I. A. RODIONOVA<sup>a</sup>, I. I. BOGACHEV<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Peoples' Friendship University of Russia, Miklukho-Maklaya, 6, 117198, Moscow, Russia  
Corresponding author: iarodionova@mail.ru

This article analyzes the characteristics of the formation of clusters and cluster policy in Russia's regions. Improving the efficiency of the organization of the economic territory of the space – is the most important problem of the modern

---

### Образец цитирования:

Крейденко Т. Ф., Родионова И. А., Богачев И. И. Кластеризация в России: динамика и региональная специфика развития // Журн. Белорус. гос. ун-та. География. Геология. 2017. № 1. С. 62–70.

### For citation:

Krejdenko T. F., Rodionova I. A., Bogachev I. I. The process of clustering in Russia: dynamics and regional features of development. *J. Belarus. State Univ. Geogr. Geol.* 2017. No. 1. P. 62–70 (in Russ.).

---

### Авторы:

**Татьяна Федоровна Крейденко** – кандидат географических наук; доцент кафедры региональной экономики и географии экономического факультета.

**Ирина Александровна Родионова** – доктор географических наук, профессор; профессор кафедры региональной экономики и географии экономического факультета.

**Иван Иванович Богачев** – кандидат экономических наук; ассистент кафедры региональной экономики и географии экономического факультета.

### Authors:

**Tatiana Krejdenko**, PhD (geography); associate professor at the department of regional economy and geography, faculty of economics.

*t.krejdenko@mail.ru*

**Irina Rodionova**, doctor of science (geography), full professor; professor at the department of regional economy and geography, faculty of economics.

*iarodionova@mail.ru*

**Ivan Bogachev**, PhD (economics); assistant at the department of regional economy and geography, faculty of economics.

*bog\_i\_v@mail.ru*

development in the context of globalization. The article describes the stages of cluster policy and cluster initiatives in Russia. Regional features of creation of clusters in the country have been considered and was recognized the specificity of their activities by industries. Features of the application of tools to stimulate the clustering process of the Russian economy at the present stage of development were highlighted in the article. It is noted that the formation of cluster forms in the Russian economy has a close relationship with the spatial forms of production organization that emerged in the Soviet period. At the same time, and in the modern economy of Russia the development of clusters is not possible without support from the state (the federal government). It highlighted the special role of technology-innovative special economic zones, emerging technology platforms and program-target method of functioning of innovation and support regional clusters in the development of clusters in Russia. However, it emphasizes that the formation of clusters should be carried out not at the direction of the federal government (or «top»). It must be carried out within the framework of the implementation of regional strategies for the development of Russian regions. And it must be carried out with the obligatory account of the potential and needs of each region, where a cluster is formed.

**Key words:** Russia; clustering; regional clusters; innovation development; regional development strategy; technology platforms; regional policy; spatial development.

## Введение

В мире растет конкуренция за новые рынки сбыта товаров и услуг, привлечение квалифицированных кадров и инвестиций. Одним из путей решения данной проблемы является развитие разнообразных форм концентрации производства на определенной территории, позволяющее сформировать ряд конкурентных преимуществ не только самого региона, но и отдельных предприятий, использующих агломерационный эффект в своем развитии [1].

Кластеризация – это комплекс мероприятий, которые осуществляют государственные и общественные институты в целях объединения предприятий (хозяйственных образований) в кластеры для установления между ними сетевого сотрудничества. Процессом кластеризации охвачены многие экономики стран разного уровня и типа развития. Формирование и динамика кластеров (как показывает опыт зарубежных стран) – действенный инструмент региональной политики и повышения эффективности предприятий, входящих в них.

В исследовании кластерных инициатив и выявлении особенностей работы кластеров на современном этапе наиболее дискуссионной является проблема определения экономической эффективности функционирования отдельных хозяйствующих субъектов в условиях кластеризации. Существуют различные подходы к определению показателей эффективности деятельности предприятий внутри кластеров [2–8].

Цель настоящего исследования – выявление динамики и региональной специфики процесса кластеризации в России, характеристика этапов становления кластерной политики и анализ государственной поддержки формирования кластеров.

## Особенности становления кластерной политики в России

В настоящее время в России развитие кластеров невозможно без поддержки со стороны государства. Пространственная структура экономики страны формировалась в течение нескольких десятилетий, причем вне рыночных механизмов, в первую очередь это были территориально-производственные комплексы, сформированные в социалистический период развития. Механизм создания устойчивых конкурентных преимуществ предприятий (группы предприятий) был развит в то время крайне слабо. Конкурентоспособные региональные кластеры могут выступить в качестве двигателя дальнейшего экономического роста регионов и страны в целом, но для этого необходимо создание механизмов их развития, одним из которых стала кластерная политика как комплекс мер, направленных на формирование деловой среды, развитие конкуренции, создание инфраструктуры (как условий развития кластера) и поддержку кластерных инициатив [9].

Эффективно организованная кластерная политика в регионе решает современные социально-экономические задачи развития территорий. При этом реализация инвестиционных проектов в рамках кластерных образований позволяет создать инфраструктуру не только на территории самого кластера, но и для региона в целом (включая производственную, транспортную, энергетическую, инженерную, инновационную, жилищную и социальную инфраструктуры). Инвестиции в проекты, реализуемые внутри кластера, способны стимулировать дополнительный их приток и в другие центры региона.

Успешный опыт функционирования предприятий кластера позволяет сформировать и распространить наиболее действенные механизмы государственно-частного партнерства. Развитие системы образования в сфере малого и среднего предпринимательства, в том числе в рамках повышения квалификации и переквалификации сотрудников, создает среду для эффективной международной научно-технической и производственной кооперации.



Государственная кластерная политика в России проводится в течение последнего десятилетия. При этом используются такие инструменты, как организационная, методическая, финансовая поддержка кластерных инициатив со стороны федеральных органов власти. Но при формировании кластеров также необходима активная позиция непосредственно региональных властей [10]. Оформленная кластерная политика на федеральном уровне фактически начала осуществляться в России с 2008 г., но до настоящего времени не получила еще должного распространения.

Нами выделены пять этапов становления кластерной политики в Российской Федерации (далее – РФ). Как уже было отмечено, основы пространственной структуры экономики России были заложены еще в советский период в форме территориально-производственных комплексов, которые нельзя рассматривать как кластеры. Но следует учитывать их опыт в пространственной организации производства и достижении определенного экономического развития, поэтому авторы рассматривают этот период как *первый этап становления кластерной политики страны* (таблица).

Этапы развития кластерной политики в России  
States in the formation cluster policy in Russia

| Название этапа                                       | Год                          | Основные черты                                                                                                                                                                 |
|------------------------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Советский период                                     | До 1991 г.                   | Формирование территориально-производственных комплексов и энергопроизводственных циклов как территориальных форм организации экономики                                         |
| Период региональных кластерных инициатив             | 1991–2006                    | Создание и развитие прообразов кластеров в ряде регионов России, реализуемых в рамках региональной политики субъектов РФ                                                       |
| Период кластеризации инновационной сферы             | 2006–2007                    | Развитие кластеризации в рамках технико-внедренческих особых экономических зон                                                                                                 |
| Период государственных кластерных инициатив          | 2007–2014                    | Разработка нормативных правовых актов для создания кластеров, формирование технологических платформ, активная государственная поддержка инновационно-территориальных кластеров |
| Период активизации региональных кластерных инициатив | С 2014 г. по настоящее время | Активное создание и расширение кластерных инициатив на основе инноваций, связей между предприятиями и развития конкуренции                                                     |

*Второй этап – период региональных кластерных инициатив.* Возникновение первых кластеров в России относят ко второй половине 1980-х гг., когда началось становление рыночных механизмов в экономике. Но распространение производственной кооперации в этот период было осложнено разрывом сложившихся экономических связей после распада Советского Союза. В связи с этим в то время кластеры возникали как пространственные формы организации производства только в отдельных регионах (Иркутской, Мурманской, Томской областях, Республике Коми и еще в некоторых субъектах РФ). Становление рыночной экономики уже в независимой России, анализ опыта работы промышленных предприятий в зарубежных странах в рамках кластера привели к постепенно возрастающему интересу со стороны государства к процессу кластеризации.

*Третий этап – период кластеризации инновационной сферы.* В 2006 г. Правительством РФ был инициирован проект по созданию технико-внедренческих особых экономических зон, это положило начало кластеризации инновационной сферы России. Несмотря на то что термин «кластер» не использовался, основные принципы организации созданных образований в целом соответствовали процессу кластеризации: инновационная деятельность, тесная кооперация между предприятиями крупного, малого, среднего бизнеса и научно-исследовательскими учреждениями [11]. Такие зоны были созданы в Москве, Московской области, Санкт-Петербурге и Томской области. Но их развитие проходило крайне медленно. В результате даже к настоящему времени большая часть запланированных показателей развития особых экономических зон (ОЭЗ) так и не была достигнута. Аналогичная ситуация сложилась и с другими проектами, которые можно было бы отнести к разряду кластерных инициатив. Имеется в виду возрождение наукоградов (созданных еще в СССР), формирование системы региональной поддержки малых инновационных предприятий, технопарков [11].

Причины медленного и малоэффективного развития этих форм были связаны в первую очередь с непроработанным законодательством в области регулирования инновационной сферы. Так, например, создалось противоречие между механизмами реализации предложенных мер и действовавшими в России на тот период нормами экономического регулирования, которые не имели прямого отношения к инновационной сфере.

Предваряя хронологический порядок изложения, следует отметить, что ситуация осложнилась в 2009 г., когда начал реализовываться проект инновационного г. Сколково (Московская область), в который были направлены основные финансовые, управленческие, технологические и другие виды ресурсов РФ. К тому же в рамках технико-внедренческих зон не сложились устойчивые взаимосвязи между предприятиями – участниками кластера и их смежниками – научными и образовательными организациями, генерирующими основную часть инноваций.

Кластерная политика проводилась через соответствующие программы Министерства экономического развития РФ и фактически сократилась до поддержки малых (в первую очередь – инновационных) предприятий, хотя они не были выделены в отдельную категорию со специальными режимами поддержки. В ряде регионов России были приняты программы развития кластеров. При этом даже создавались организационные структуры по их развитию. Но активность была временной, а не постоянной. В итоге были разрекламированы планы по формированию кластеров (например, авиационный кластер в г. Жуковском Московской области), но реализованы они не были. В то же время интерес к кластеризации усиливался как со стороны региональных, так и федеральных органов власти. В результате на уровне федерального центра приступили к разработке базовых документов реализации кластерной политики, хотя этот процесс шел также крайне медленно.

*Четвертый этап – период государственных кластерных инициатив.* В 2007 г. была создана Концепция развития кластерной политики в Российской Федерации (далее – Концепция) [12]. Но прошло еще два года, прежде чем были разработаны Методические рекомендации по реализации кластерной политики в Российской Федерации (и в первую очередь по формированию инновационных кластеров) [13]. В этом документе определены предпосылки для создания промышленных кластеров. К ним отнесли в том числе формирование в России крупных интегрированных бизнес-структур, которые уже активно позиционировали себя на национальном рынке, а также наличие производственной кооперации, которая сложилась между предприятиями различных видов и сегментов бизнеса. Пилотные проекты по созданию кластеров было решено реализовать на базе технико-внедренческих зон (ТВЗ) и технопарков. Но при этом для развития кластеров предлагалось более эффективно использовать уже имеющиеся возможности «институтов развития» (которые начинали в то время свою деятельность).

В Концепции были выделены наиболее значимые направления поддержки развития кластеров: долевое финансирование аналитических исследований структуры кластера, определение целей и направлений развития, создание центров по обмену знаниями, привлечение заинтересованных организаций к совместным действиям. Необходимым являлось также повышение эффективности программ профессиональной подготовки кадров и содействие научно-исследовательской деятельности, включая помощь по коммерциализации ее результатов.

Только в 2008 г. начали формироваться (на основе европейского опыта) технологические платформы – очень эффективный инструмент развития сотрудничества между всеми участниками кластера. Из 12 основных параметров оценки кластеров, выделенных в результате международного исследования лучших кластерных практик мира (INNOVISA, 2012 г.), развитие 4 было напрямую связано с динамикой кластеров в рамках технологических платформ [14]. Это в первую очередь означало усиление связей между наукой и бизнесом, повышение эффективности взаимодействия участников кластера с разработчиками кластерной политики, развитие новых технологий, привлечение новых компаний в регионы. Остальные параметры оценки, в числе которых следует выделить рост инвестиций, увеличение количества рабочих мест, возрастание числа участников кластера, расширение ассортимента работ и услуг на предприятиях, входящих в кластер, развитие специализированных тренингов и соответствие целям развития, могли иметь большее значение при опосредованном влиянии технологических платформ.

Необходимо учитывать тот факт, что технологические платформы в Европе были созданы как инструменты активного сетевого взаимодействия всех участников кластера. Формирование европейских технологических платформ прошло три этапа развития. В самом начале были сформулированы (на основе анализа особенностей социально-экономического, технологического и инновационного состояния отдельных территорий) приоритетные направления, задавшие основные векторы развития кластеров (в том числе отраслевые). Затем разрабатывались «дорожные карты» технологических платформ, в рамках которых были найдены источники финансирования и созданы базовые проекты, формирующие кластеры, и которые реализовывались лишь на третьем этапе развития платформ [15].

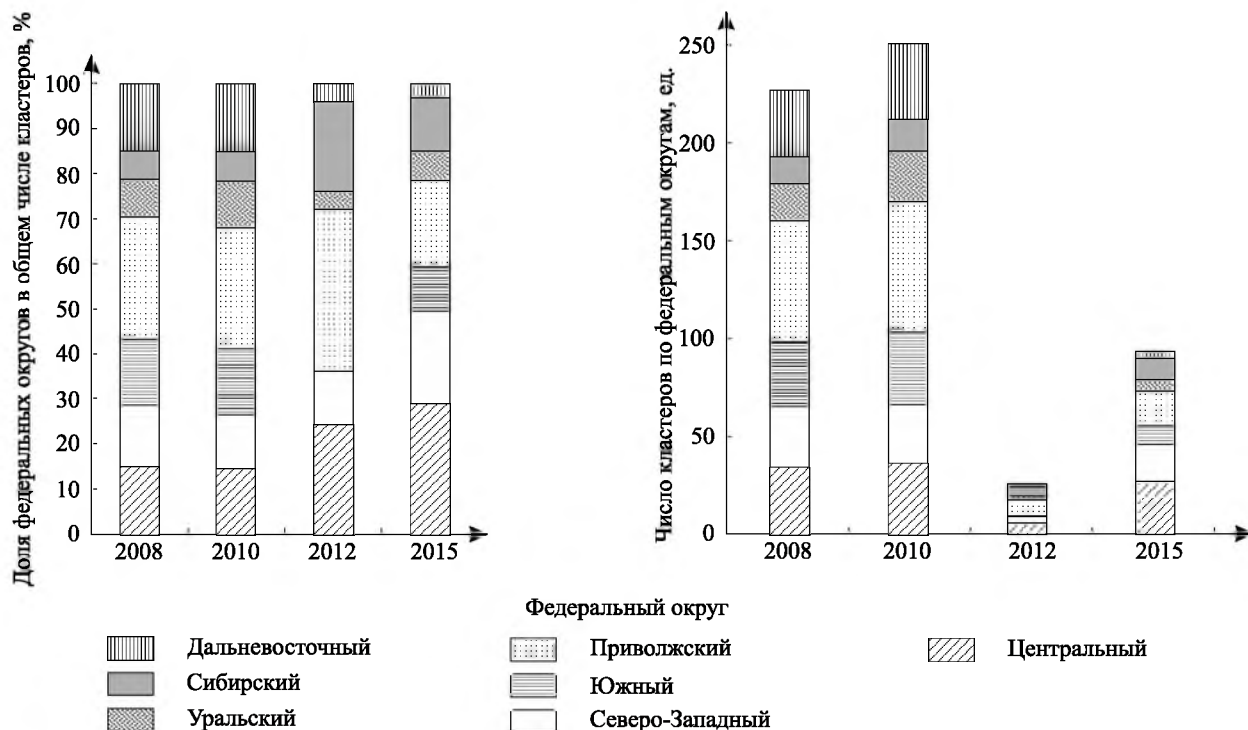
В России технологические платформы пока развиты весьма слабо. Именно поэтому в программах развития кластеров практически не рассматривается их связь с технологическими платформами. В 17 из 25 программ развития инновационно-территориальных кластеров РФ, получающих государственную поддержку, упоминается, что некоторые организации участвуют в технологических платформах. Но не учитываются возможные преимущества такого участия в дальнейшем развитии. В 8 программах вообще нет информации о связях кластеров с технологическими платформами. Ни одна из существующих

программ не предлагает разработанный план взаимодействия предприятий кластера с технологическими платформами. Так, например, в программе развития кластера фармацевтики, биотехнологий и биомедицины указано, что опосредованная связь с технологическими платформами «Медицина будущего» и «Современные биотехнологии» происходит через организации, являющиеся участниками кластеров. Однако виды их совместной деятельности не представлены.

Это связано в первую очередь с тем, что приоритетные направления развития науки, технологий и техники в стране были сформулированы указами Президента РФ и постановлениями Правительства РФ, в соответствии с которыми впоследствии были определены направления развития технологических платформ. Разработанные при отсутствии государственного финансирования на организацию работы «дорожные карты» платформ оказались низкого качества [15]. А этап реализации проектов в условиях длительного процесса согласования мер государственной поддержки и финансовых условий фактически только начинается.

В [16] предусмотрено несколько видов государственной поддержки кластерных инициатив в регионах со сложными природными условиями: информационно-аналитическая и конкурсная поддержка, разработка общей стратегии, содействие развитию международного сотрудничества в сфере кластерной политики.

В настоящее время в соответствии с административным делением в Российской Федерации существуют 85 субъектов (регионов) и 8 федеральных округов. Согласно [13] к 2008 г. уже в 64 регионах России было заявлено о создании более чем 220 территориальных кластеров. При этом 62 из них (27 %) было запланировано создать в Приволжском федеральном округе. Еще 100 кластеров в общей сложности должны были быть сформированы в Центральном, Северо-Западном и Южном федеральных округах. Меньше всего планировалось создать кластеров в Сибирском федеральном округе – 14. Формирование кластеров в Северо-Кавказском федеральном округе было невозможным ввиду отсутствия необходимых условий. Региональные особенности создания кластеров в России (2008–2015) иллюстрируют представленные диаграммы (рисунок).



Региональные особенности создания кластеров в России (2008–2015). Составлено по [17].

Regional features of formation of clusters in Russia (2008–2015)

По данным подкомитета по развитию субконтракции кластерных технологий Комитета Российской торгово-промышленной палаты по развитию частного предпринимательства, малого и среднего бизнеса, в 2010 г. было декларировано создание 250 кластеров в 50 отраслях экономики. В том числе 70 кластеров (28 % общего числа) относились к трем видам деятельности: агропромышленный комплекс, строительство и туризм [18]. Но значительного экономического эффекта этот процесс не принес. Большая часть кластеров была заявлена на базе существующих предприятий, которые крайне неохотно шли на изменение структуры деятельности, поскольку механизмов финансовой поддержки фактически создано не было.



В 2011 г. в ходе разработки новых стратегий развития страны вновь была реанимирована идея развития кластеров. Так, кроме создания Стратегии инновационного развития РФ на период до 2020 г.<sup>1</sup> (далее – Стратегия), была принята очередная редакция Концепции долгосрочного социально-экономического развития РФ на период до 2020 г. [19]. В этих документах воспроизведены основные положения Концепции долгосрочного социально-экономического развития РФ на период до 2020 г. (утвержденной распоряжением Правительства РФ от 17 ноября 2008 г. № 1663-р). И хотя в Стратегии не было определено, что такое «инновационные кластеры», этот термин употреблялся в одном контексте с понятиями ОЭЗ, «технопарк» и «наукоград».

Инновационным кластерам в Стратегии посвящен раздел, где были установлены также условия и направления, по которым предстояло развиваться кластерам в России, – глубокое вмешательство государства в процесс кластеризации (вплоть до регламентации и контроля над институтами, обеспечивающими создание и развитие кластеров), федеральное субсидирование основных мероприятий кластеризации – и ориентировочно определена государственная поддержка малых предприятий. В то же время четкой позиции по вопросам государственной поддержки сформулировано в документах не было. А поскольку не были точно прописаны критерии выделения инновационных кластеров, то возник риск отнесения к кластерным образованиям практически любых территориальных комплексов.

Хотя разработка Стратегии ориентировалась на зарубежный и в первую очередь европейский опыт, не было учтено, что на современном этапе в основе выделения кластеров в странах Европы лежит так называемая умная специализация (*smart specialization*) [20]. Данный инструмент подразумевает выбор на региональном, а не государственном уровне отраслей специализации кластеров с учетом максимального возможного вклада в экономическое развитие того региона, в котором формируется кластер.

В результате реализации мероприятий в рамках Стратегии Министерство экономического развития РФ в марте 2012 г. объявило о формировании перечня пилотных программ развития инновационных территориальных кластеров. Непосредственно от регионов РФ осуществлялся прием предложений по включению программ развития инновационных территориальных кластеров, утверждаемый Правительством РФ. В соответствии с отраслевой специализацией кластеры были сформированы в ряде отраслей (медицина и фармацевтика, радиационные технологии, информационно-коммуникационные технологии (ИКТ), лазерные технологии, производство летательных и космических аппаратов, двигателестроение, нефтегазопереработка и нефтегазохимия, автомобилестроение, приборостроение, электроника и др.). Все они относятся к шести направлениям, которые обозначены приоритетными в развитии науки, технологий и техники в Российской Федерации [22]. Первоначально на федеральные субсидии претендовали 94 инновационные площадки, но в перечень пилотных программ (утвержденный Министерством экономического развития РФ) вошло лишь 25 территориальных кластеров из 19 регионов России. Отобранные 25 кластеров характеризуются высоким уровнем концентрации научно-технической и производственной деятельности. Среди них – ряд наукоградов и ОЭЗ, закрытых территориальных образований. В большей части кластеров формируются многоотраслевые комплексы в смежных или связанных между собой отраслях.

Таким образом, фактически подходы к кластерной политике в России основаны на прежних идеях, которые в свое время не были реализованы в полном объеме. Состав мер поддержки формирования кластеров был расширен с учетом зарубежного опыта. Но, к сожалению, не были приняты во внимание новые инструменты развития инновационных кластеров, что тормозит данный процесс.

*Пятый этап – период активизации региональных инициатив и участие государства в создании кластеров.* Активизация мер, обуславливающих развитие кластеров (не только для пилотных инновационных кластеров, но и в отношении других), Центром кластерного развития в рамках программы Министерства экономического развития России по поддержке малого и среднего предпринимательства способствовала интенсификации деятельности региональных органов власти по формированию кластерных инициатив.

### Региональные особенности формирования кластеров в России

К началу 2016 г. Российской кластерной обсерваторией НИУ «Высшая школа экономики» (ВШЭ) зарегистрированы 92 реально существующих кластера в 40 регионах России с общей численностью занятых более 1 млн человек [9]. Наибольшее количество кластеров были созданы в инновационных регионах России: Москве, Московской области, Санкт-Петербурге, Республике Татарстан.

Особенности размещения кластеров в регионах России могут быть охарактеризованы по разным показателям, в том числе по количеству участников кластера и численности занятого населения на предприятиях, входящих в кластер, по которым лидируют Санкт-Петербург, Москва и Московская область, Республика Татарстан [17].

<sup>1</sup>Сайт Комитета Российской торгово-промышленной палаты [Электронный ресурс]. URL: <http://tpprf.ru/ru/interaction/committee/komlogistics/> (дата обращения: 10.12.2016).



Анализ отраслевой структуры кластеров свидетельствует о приоритетном развитии в них высоко- и среднетехнологичных отраслей (микроэлектроника, ИКТ, фармацевтика и медицинская промышленность). По показателю численности занятых на предприятиях, входящих в состав кластеров, лидируют такие отрасли, как автомобилестроение и производство автокомпонентов, выпуск машин и оборудования, медицинская промышленность, фармацевтика и ядерные и радиационные технологии (рассчитано по [17]).

Несмотря на наличие кластеров в 38 субъектах Российской Федерации, осуществляемая кластерная политика в стране пока не дала должного результата. Так, в рейтинге стран мира по индексу глобальной конкурентоспособности Всемирного экономического форума по индикатору «состояние развития кластеров» Россия по-прежнему занимает позицию ниже 100-й (в 2012–2013 гг. – 114-ю; в 2015–2016 гг. – 110-ю) [22]. При этом никакой устойчивой положительной динамики пока не наблюдается.

Крайне низки позиции России также по следующим индикаторам: «охват цепочек добавленной стоимости местными компаниями» (94-е место), «сотрудничество компаний и университетов в области НИОКР» (81-е место), «распространенность практики обучения персонала в бизнесе» (83-е место), «объем прямых иностранных инвестиций и трансфер технологий» (115-е место из 140).

Несмотря на наметившиеся положительные сдвиги в росте эффективности кластерных инициатив, в целом кластеры далеко не всегда выступают двигателем экономического развития регионов России. В первую очередь, на наш взгляд, это связано со слабой экономической автономией кластеров на региональном и местном уровнях, с недостаточным развитием инновационной инфраструктуры, которая призвана обеспечить поддержку развития кластерных образований. Обстоятельствами, существенно осложняющими эффективность государственной поддержки, являются непоследовательность мероприятий, непродуманность алгоритма действий и периодически угасающий интерес к созданию инновационных кластеров в регионах России.

По нашему глубокому убеждению, формирование кластеров должно осуществляться в рамках реализации региональных стратегий развития с учетом потребностей каждой территории, где создается кластер (а не «сверху»).

### Заключение

Размещение кластеров по территории России не является равномерным. В 2010 г. было декларировано создание 250 кластеров в 50 отраслях экономики. К началу 2016 г. Российской кластерной обсерваторией НИУ ВШЭ зарегистрированы 92 реально существующих кластера в 40 регионах России. Наибольшее количество кластеров были созданы в инновационных регионах России: Москве, Московской области, Санкт-Петербурге, Республике Татарстан.

Несмотря на наличие кластеров во многих субъектах Российской Федерации, осуществляемая кластерная политика в стране пока не дала ожидаемого результата. Только регионы-лидеры проводили последовательную политику, направленную на инновационное развитие экономики. В связи с этим именно в этих регионах – с наибольшей инвестиционной привлекательностью – отмечаются лучшие показатели инновационной и научной деятельности, более высокий уровень развития малого и среднего предпринимательства, чем в среднем по стране. Именно в этих регионах были созданы и развивались первые технико-внедренческие зоны России.

Анализ сложившейся ситуации позволяет сделать вывод о неэффективной государственной кластерной политике в РФ на современном этапе, так как выделенные средства на поддержку кластерных инициатив пока не помогли получить запланированные результаты.

Можно сформулировать основные направления повышения эффективности кластерных инициатив как инструментов государственной промышленной политики России: реализация экономической автономии на региональном и местном уровнях, политика посредничества, направленная на создание условий для конструктивного диалога внутри кластера и усиление кооперации между его участниками; стимулирование внешнего спроса путем активизации включения участников кластера в глобальную цепочку добавленной стоимости.

### Библиографические ссылки

1. Белова Л. Г. Зарубежный опыт формирования региональных кластеров как конкурентного преимущества «второй природы» // Регионы России: стратегии и механизмы модернизации, инновационного и технологического развития : тр. VIII Междунар. науч.-практ. конф. (Москва, 31 мая – 1 июня 2012 г.). М., 2012. Ч. 2. С. 274–277.
2. Абакин В. Л., Бояров А. Д., Куценко Е. С. Кластерная политика в России: от теории к практике // Форсайт. 2012. Т. 6, № 3. С. 16–27.
3. Буянова М. Э., Дмитриева Л. В. Оценка эффективности создания региональных инновационных кластеров // Вестн. ВолГУ. Сер. 3, Экономика. Экология. 2012. № 2 (21). С. 54–60.

4. Пилотные инновационные территориальные кластеры в Российской Федерации / под общ. ред. Л. М. Гохберга, А. Е. Шадрина. М., 2013.
5. Ерохина Е. В. Исследование методологии и феномена эффективности // Новое в экономике и управлении : сб. ст. / под ред. В. А. Николаева ; сост. Т. А. Коровкина. М., 2013. № 41. С. 59–64.
6. Ерохина Е. В. Методология анализа и оценка эффективности инновационной деятельности в регионе // Изв. ТулГУ. Экон. и юрид. науки. 2013. Вып. 4, № 1. С. 3–17.
7. Клепикова Н. И. Оценка эффективности создания отраслевого кластера // Фундам. исслед. 2013. № 4-4. С. 934–939.
8. Куценко Е. С. Алгоритм развития кластеров с участием малого и среднего предпринимательства в регионе // Кластерные политики и кластерные инициативы: теория, методология, практика. Пенза, 2012. С. 80–118.
9. Кластерная политика: концентрация потенциала для достижения глобальной конкурентоспособности : доклад. М., 2015 // Российская кластерная обсерватория [Электронный ресурс]. URL: <http://cluster.hse.ru/cluster-policy/> (дата обращения: 15.12.2016).
10. Романова О. А., Лаврикова Ю. Г. Потенциал кластерного развития экономики региона // Пробл. прогнозирования. 2008. № 4. С. 56–70.
11. Дежина И. Г. Новый этап кластерной политики в инновационной сфере // Экон. развитие России. 2012. Т. 19, № 2. С. 41–43.
12. Концепция кластерной политики в Российской Федерации и план действий Правительства Российской Федерации по ее реализации в 2007–2008 гг. : постановление Правительства РФ. 2007 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ifap.ru/ofdocs/rus/rus006.pdf> (дата обращения: 01.02.2017).
13. Методические рекомендации по реализации кластерной политики в субъектах Российской Федерации [Электронный ресурс]. URL: <http://economy.gov.ru/minrec/activity/sections/innovations/development/doc1248781537747> (дата обращения: 15.12.2016).
14. International Benchmarking Study of Competitiveness Poles and Clusters and Identification of Best Practices. URL: [http://www.vegepolys.eu/media/international\\_benchmarking\\_study\\_inovisa\\_pic\\_2012\\_092299500\\_1147\\_26062012.pdf](http://www.vegepolys.eu/media/international_benchmarking_study_inovisa_pic_2012_092299500_1147_26062012.pdf) (дата обращения: 01.02.2017).
15. Дежина И. Г. Технологические платформы и инновационные кластеры: вместе или порознь? // Инновации. 2013. № 2. С. 35–43.
16. Методические рекомендации по реализации кластерной политики в северных субъектах Российской Федерации [Электронный ресурс]. URL: <http://economy.gov.ru/minrec/activity/sections/innovations/politic/doc201001081642> (дата обращения: 10.12.2016).
17. Карта кластеров России. Данные Кластерной обсерватории Научно-исследовательского университета «Высшая школа экономики» [Электронный ресурс]. URL: <http://map.cluster.hse.ru/list> (дата обращения: 10.12.2016).
18. Стратегия инновационного развития РФ на период до 2020 г. [Электронный ресурс]. URL: [http://economy.gov.ru/minrec/activity/sections/innovations/doc20120210\\_04](http://economy.gov.ru/minrec/activity/sections/innovations/doc20120210_04) (дата обращения: 10.12.2016).
19. Проект Концепции долгосрочного социально-экономического развития России до 2020 г. [Электронный ресурс]. URL: <http://economy.gov.ru/minrec/activity/sections/strategicPlanning/concept/> (дата обращения: 10.12.2016).
20. Smart Specialisation Platform [Электронный ресурс]. URL: <http://s3platform.jrc.ec.europa.eu/> (дата обращения: 01.02.2017).
21. Приоритетные направления развития науки, технологий и техники в Российской Федерации [Электронный ресурс]. URL: <http://kremlin.ru/supplement/987> (дата обращения: 25.10.2016).
22. Competitiveness Rankings // World Economic Forum. 2015 [Электронный ресурс]. URL: <http://reports.weforum.org/global-competitiveness-report-2015-2016/competitiveness-rankings> (дата обращения: 10.12.2016).

## References

1. Belova L. G. Zarubezhnyi opyt formirovaniya regional'nykh klasterov kak konkurentnogo preimushchestva «vtoroi prirody». *Regiony Rossii: strategii i mekhanizmy modernizatsii, innovatsionnogo i tekhnologicheskogo razvitiya* : tr. VIII Mezhdunar. nauchn.-prakt. konf. (Moscow, 31 May – 1 June, 2012). Mosc., 2012. Part 2. P. 274–277 (in Russ.).
2. Abashkin V. L., Boyarov A. D., Kutsenko E. S. Klasterная politika v Rossii: ot teorii k praktike. *Forsait*. 2012. Vol. 6, No. 3. P. 16–27 (in Russ.).
3. Buyanova M. E., Dmitrieva L. V. The evaluation of the effectiveness of the creation of regional innovation clusters. *Sci. J. VolSU. Glob. Econ. System*. 2012. No. 2 (21). P. 54–60 (in Russ.).
4. Pilotnye innovatsionnye territorial'nye klasteri v Rossiiskoi Federatsii. Ed. by L. M. Gokhberga, A. E. Shadrina. Mosc., 2013 (in Russ.).
5. Erokhina E. V. Issledovanie metodologii i fenomena effektivnosti. *Novoe v ekonomike i upravlenii* : sb. statei. Ed. by V. A. Nikolaeva ; compiler T. A. Korovkina. Mosc., 2013. No. 41. P. 59–64 (in Russ.).
6. Erokhina E. V. Methodology analysis and evaluation innovation in the region. *Izv. Tul'skogo gos. univ. Ekon. i yuridicheskie nauki*. 2013. Vol. 4, No. 1. P. 3–17 (in Russ.).
7. Klepikova N. I. The assessment of effectiveness of the formation of an industry-based cluster. *Fundamental'nye issled.* 2013. No. 4-4. P. 934–939 (in Russ.).
8. Kutsenko E. S. Algoritm razvitiya klasterov s uchastiem malogo i srednego predprinimatel'stva v regione. In *Klasternye politiki i klasternye initsiativy: teoriya, metodologiya, praktika*. Penza, 2012. P. 80–118 (in Russ.).
9. Klasterная politika: kontsentratsiya potentsiala dlya dostizheniya global'noi konkurentosposobnosti : doklad. Mosc., 2015. *Rossiiskaya klasterная observatoriya* [Electronic resource]. URL: <http://cluster.hse.ru/cluster-policy/> (date of access: 15.12.2016) (in Russ.).
10. Romanova O. A., Lavrikova Yu. G. Potentsial klasterного razvitiya ekonomiki regiona. *Probl. progn.* 2008. No. 4. P. 56–70 (in Russ.).
11. Dezhina I. G. Novyi etap klasternoi politiki v innovatsionnoi sfere. *Ekon. Razvit. Rossii*. 2012. Vol. 19, No. 2. P. 41–43 (in Russ.).
12. Kontseptsiya klasternoi politiki v Rossiiskoi Federatsii i plan deistvii Pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii po ee realizatsii v 2007–2008 gg. : Postanovlenie Pravitel'stva RF. 2007 [Electronic resource]. URL: <http://www.ifap.ru/ofdocs/rus/rus006.pdf> (date of access: 01.02.2017) (in Russ.).

13. Metodicheskie rekomendatsii po realizatsii klasternoi politiki v sub'ektakh Rossiiskoi Federatsii [Electronic resource]. URL: <http://economy.gov.ru/minrec/activity/sections/innovations/development/doc1248781537747> (date of access: 15.12.2016) (in Russ.).
14. International Benchmarking Study of Competitiveness Poles and Clusters and Identification of Best Practices. URL: [http://www.vegepolys.eu/media/international\\_benchmarking\\_study\\_inovisa\\_pic\\_2012\\_092299500\\_1147\\_26062012.pdf](http://www.vegepolys.eu/media/international_benchmarking_study_inovisa_pic_2012_092299500_1147_26062012.pdf) (date of access: 01.02.2017).
15. Dezhina I. G. Tekhnologicheskie platformy i innovatsionnye klastery: vmeste ili porozn'? *Innovatsii*. 2013. No. 2. P. 35–43 (in Russ.).
16. Metodicheskie rekomendatsii po realizatsii klasternoi politiki v severnykh sub'ektakh Rossiiskoi Federatsii [Electronic resource]. URL: <http://economy.gov.ru/minrec/activity/sections/innovations/politic/doc201001081642> (date of access: 10.12.2016) (in Russ.).
17. Karta klasterov Rossii. Dannye Klasternoi observatorii Nauchno-issledovatel'skogo universiteta «Vysshaya shkola ekonomiki» [Electronic resource]. URL: <http://map.cluster.hse.ru/list> (date of access: 10.12.2016) (in Russ.).
18. Strategiya innovatsionnogo razvitiya RF na period do 2020 g. [Electronic resource]. URL: [http://economy.gov.ru/minrec/activity/sections/innovations/doc20120210\\_04](http://economy.gov.ru/minrec/activity/sections/innovations/doc20120210_04) (date of access: 10.12.2016) (in Russ.).
19. Proekt Kontseptsii dolgosrochnogo sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya Rossii do 2020 g. [Electronic resource]. URL: <http://economy.gov.ru/minrec/activity/sections/strategicPlanning/concept/> (date of access: 10.12.2016) (in Russ.).
20. Smart Specialisation Platform [Electronic resource]. URL: <http://s3platform.jrc.ec.europa.eu/> (date of access: 01.02.2017).
21. Prioritetnye napravleniya razvitiya nauki, tekhnologii i tekhniki v Rossiiskoi Federatsii [Electronic resource]. URL: <http://kremlin.ru/supplement/987> (date of access: 25.10.2016) (in Russ.).
22. Competitiveness Rankings. *World Economic Forum*. 2015 [Electronic resource]. URL: <http://reports.weforum.org/global-competitiveness-report-2015-2016/competitiveness-rankings> (date of access: 10.12.2016).

Статья поступила в редколлегию 17.11.2016.  
Received by editorial board 17.11.2016.

## ОЦЕНКА ЭМИССИИ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ ИЗ ОРГАНИЧЕСКИХ ПОЧВ

А. Н. ПОЛЕВОЙ<sup>1)</sup>, А. Ю. МИКИТЮК<sup>2)</sup><sup>1)</sup>Одесский государственный экологический университет, ул. Львовская, 15, 65016, г. Одесса, Украина<sup>2)</sup>Институт развития территориальных общин, ул. Лютеранская, 21/12, 01024, г. Киев, Украина

С помощью расчетов по модели динамики органического вещества в органических почвах и эмиссии парниковых газов (PEAT-GHG-MODEL) проведена оценка выбросов парниковых газов. Моделировались эмиссия  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}$  и накопление углерода в дренированной органической почве мелиоративной системы «Крюково», расположенной в Черниговской области (Украина), в 2000–2011 гг. Материалом для оценки служил участок с растительностью типа сообщества низких корневищных осок *Carex humilis*/*Carex rhizina*. Средние значения надземной сухой массы составили 125–325 г/м<sup>2</sup>, содержание органического вещества в сухой массе растений – 45,5...47,8 %. Среднегодовые значения эмиссии  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}$  в 2000–2011 гг. достигли 6,718 т  $\text{CO}_2$  –  $\text{C га}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$ ; 2,960 кг  $\text{CH}_4$  –  $\text{C га}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$ ; 5,583 кг  $\text{N}_2\text{O}$  и  $\text{NO}$  –  $\text{N га}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$  соответственно. Накопление углерода в почве колебалось по годам от 0,439 до 0,836 т  $\text{C га}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$ . Дана оценка внутригодовой изменчивости потоков  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  и  $\text{NO}$  за два года – 2006-й и 2010-й, контрастных по динамике уровня грунтовых вод.

**Ключевые слова:** эмиссия; парниковые газы; потоки; углерод; азот; метан; закись азота; органическая почва; динамика; растительность; осадки; уровень грунтовых вод.

## ASSESSMENT OF GREENHOUSE GAS EMISSIONS FROM ORGANIC SOILS

A. N. POLEVOY<sup>a</sup>, A. Y. MYKYTIUK<sup>b</sup><sup>a</sup>Odessa State Environmental University, Lvovskaja street, 15, 65016, Odessa, Ukraine<sup>b</sup>Institute for Community Development, Ljuteranskaja street, 21/12, 01024, Kyiv, Ukraine

Corresponding author: apolevoy@te.net.ua

The estimation of greenhouse gas emissions was carried out by using model calculations of the dynamics of organic matter in organic soils and emissions of greenhouse gases (PEAT-GHG-MODEL). Emissions of  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}$  and carbon accumulation in drained organic soil in reclamation «Kryukovo» system located in the Chernihiv province in the period 2000–2011 were modeled. The lot with vegetation type Community of *Carex humilis*/*Carex rhizina* was studied. The average rate of above-ground dry matter is 125–325 g/m<sup>2</sup>, the content of organic matter in dry matter of the plant is 45.5–47.8 %. The average annual rates of  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}$  emissions for the period 2000–2011 are 6.718 tons of  $\text{CO}_2$  –  $\text{C ha}^{-1} \cdot \text{y}^{-1}$ ; 2.960 kg of  $\text{CH}_4$  –  $\text{C ha}^{-1} \cdot \text{y}^{-1}$ ; 5.583 kg  $\text{N}_2\text{O}$  and  $\text{NO}$  –  $\text{N ha}^{-1} \cdot \text{y}^{-1}$  respectively. The carbon accumulation in the soil varied from year to year, from 0.439 to 0.836 tons  $\text{C ha}^{-1} \cdot \text{y}^{-1}$ . The estimations of annual variability of  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  and  $\text{NO}$  fluxes for the two contrasting GWL dynamics 2006 and 2010 years were given.

**Key words:** emission; greenhouse gases; flows; carbon; nitrogen; methane; nitrous oxide; organic soil; dynamics; vegetation; precipitations; ground water level.

## Образец цитирования:

Полевой А. Н., Микитюк А. Ю. Оценка эмиссии парниковых газов из органических почв // Журн. Белорус. гос. ун-та. География. Геология. 2017. № 1. С. 71–78.

## For citation:

Polevoy A. N., Mykytiuk A. Y. Assessment of greenhouse gas emissions from organic soils. *J. Belarus. State Univ. Geogr. Geol.* 2017. No. 1. P. 71–78 (in Russ.).

## Авторы:

Анатолий Николаевич Полевой – доктор географических наук, профессор, заведующий кафедрой агрометеорологии гидрометеорологического факультета.

Александр Юрьевич Микитюк – кандидат биологических наук, доцент, директор.

## Authors:

Anatoly Polevoy, doctor of science (geography), full professor; head of the department of agricultural meteorology, faculty of hydrometeorology.

apolevoy@te.net.ua

Aleksandr Mykytiuk, PhD (biology), docent; director.

alex.mykytiuk@icdu.kiev.ua



## Введение

Разработка национальной стратегии по снижению выбросов парниковых газов основывается на их инвентаризации, которая включает и количественные оценки, полученные с помощью создания различных моделей этих процессов.

Динамическое моделирование процессов трансформации органического вещества почв является важным инструментом исследования функционирования и прогнозирования изменений почвенной системы, количественной оценки роли почвенного покрова в балансе парниковых газов в атмосфере и процессах изменений климата.

В основу принятой нами концепции моделирования динамики органического вещества в органических почвах и выбросов парниковых газов [1, с. 141–147] положены принципы, сформулированные в [2, с. 8–9; 3, с. 8–9], сущность которых заключается в обосновании разделения органического материала растительных остатков и почвы на активные и пассивные компартменты и дальнейшем количественном описании их динамики. Выделяется стойкий органический материал, декомпозиционный органический материал, инертный органический материал, а также пулы микробиологической биомассы и гумуса. В модель (PEAT-GHG-MODEL) включены все главные процессы круговорота С и N, интенсивность которых описывается уравнением первого порядка. При разложении органического вещества рассматривается эмиссия  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$ . Моделируются основные процессы трансформации форм азота под воздействием факторов окружающей среды: аммонификация, нитрификация, денитрификация, иммобилизация, поглощение азота корневой системой растений, вынос нитратов за пределы слоя почвы 0–50 см при инфильтрации влаги, эмиссия  $\text{N}_2\text{O}$  при нитрификации и денитрификации.

## Материалы и методы исследования

В качестве объекта изучения рассматривалось моделирование эмиссии парниковых газов из органических почв Украинского Полесья. Оценка выбросов парниковых газов проводилась для мелиоративной системы «Крюково», расположенной в Черниговской области (Украина). Для наблюдаемого опытного участка с дренированной органической почвой характерны различные типы растительности.

Нами исследовался участок, на котором распространена растительность типа сообщества низких корневищных осок. Средние значения надземной сухой массы составляют 125–325 г/м<sup>2</sup>, содержание органического вещества в сухой массе растений – 45,5...47,8 %. Подземная часть растений достаточно большая, и для слоя почвы 0–20 см сухая масса находится в пределах 721–3603 г/м<sup>2</sup> при содержании органического вещества 44,6–44,8 %. Общий запас биомассы составляет 3955 г/м<sup>2</sup>.

## Результаты исследований и их обсуждение

Моделировались эмиссия  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ , NO и накопление углерода в дренированной органической почве в 2000–2011 гг. Для этих лет были характерны среднегодовая температура воздуха 7,2–8,7 °С, сумма годовых осадков 550–818 мм, среднегодовой уровень грунтовых вод (УГВ) от –37 до –171 см (табл. 1). Годовая эмиссия  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  и NO из органической почвы в 2000 и 2011 гг. соответственно имела разницу в следующих пределах: 5,156–9,804 т  $\text{CO}_2$  – С га<sup>–1</sup> · год<sup>–1</sup>; 0–8,133 кг  $\text{CH}_4$  – С га<sup>–1</sup> · год<sup>–1</sup>; 3,482–12,329 кг  $\text{N}_2\text{O}$  и NO – N га<sup>–1</sup> · год<sup>–1</sup>. Накопление углерода в почве колебалось по годам от 0,439 до 0,836 т С га<sup>–1</sup> · год<sup>–1</sup>. Среднегодовые значения эмиссии  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ , NO за 2000–2011 гг. составили 6,718 т  $\text{CO}_2$  – С га<sup>–1</sup> · год<sup>–1</sup>; 2,960 кг  $\text{CH}_4$  – С га<sup>–1</sup> · год<sup>–1</sup>; 5,583 кг  $\text{N}_2\text{O}$  и NO – N га<sup>–1</sup> · год<sup>–1</sup> соответственно.

Таблица 1

Эмиссия  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  и NO из органической почвы и накопление углерода в почве (мелиоративная система «Крюково», сообщество низких корневищных осок, 2000–2011 гг.)

Table 1

$\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  and NO emissions from organic soil and soil carbon storage (Kriukovo Meliorative System, a community of low rhizomatous sedge, 2000–2011)

| Год  | Эмиссия                                                       |                                                                               |                                                                                     |                                                                                                | Накопление<br>углерода<br>в почве за<br>год, т С<br>га <sup>-1</sup> · год <sup>-1</sup> | Средняя за год<br>температура<br>воздуха, °С | Сумма<br>осадков за<br>год, мм | Средний<br>за год<br>УГВ, см |
|------|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------|------------------------------|
|      | CO <sub>2</sub>                                               |                                                                               | CH <sub>4</sub> , кг<br>CH <sub>4</sub> – С<br>га <sup>-1</sup> · год <sup>-1</sup> | N <sub>2</sub> O + NO, кг<br>N <sub>2</sub> O и NO – N<br>га <sup>-1</sup> · год <sup>-1</sup> |                                                                                          |                                              |                                |                              |
|      | т CO <sub>2</sub> – С<br>га <sup>-1</sup> · год <sup>-1</sup> | среднесуточная за<br>март – октябрь, г<br>CO <sub>2</sub> – С м <sup>-2</sup> |                                                                                     |                                                                                                |                                                                                          |                                              |                                |                              |
| 2000 | 6,982                                                         | 2,86                                                                          | 2,299                                                                               | 5,896                                                                                          | 0,595                                                                                    | 8,2                                          | 701                            | –64                          |
| 2001 | 5,156                                                         | 1,45                                                                          | 3,922                                                                               | 3,482                                                                                          | 0,439                                                                                    | 7,7                                          | 713                            | –55                          |

Окончание табл. 1  
Ending table 1

| Год  | Эмиссия                                                       |                                                                               |                                                                                     |                                                                                                            | Накопление<br>углерода<br>в почве за<br>год, т С<br>га <sup>-1</sup> · год <sup>-1</sup> | Средняя за год<br>температура<br>воздуха, °С | Сумма<br>осадков за<br>год, мм | Средний<br>за год<br>УГВ, см |
|------|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------|------------------------------|
|      | CO <sub>2</sub>                                               |                                                                               | CH <sub>4</sub> , кг<br>CH <sub>4</sub> – С<br>га <sup>-1</sup> · год <sup>-1</sup> | N <sub>2</sub> O + NO <sub>x</sub> кг<br>N <sub>2</sub> O и NO – N<br>га <sup>-1</sup> · год <sup>-1</sup> |                                                                                          |                                              |                                |                              |
|      | т CO <sub>2</sub> – С<br>га <sup>-1</sup> · год <sup>-1</sup> | среднесуточная за<br>март – октябрь, г<br>CO <sub>2</sub> – С м <sup>-2</sup> |                                                                                     |                                                                                                            |                                                                                          |                                              |                                |                              |
| 2002 | 6,637                                                         | 2,74                                                                          | 3,414                                                                               | 5,812                                                                                                      | 0,566                                                                                    | 8,2                                          | 598                            | –55                          |
| 2003 | 6,326                                                         | 2,62                                                                          | 2,252                                                                               | 5,011                                                                                                      | 0,539                                                                                    | 7,1                                          | 603                            | –58                          |
| 2004 | 5,385                                                         | 2,22                                                                          | 1,932                                                                               | 3,454                                                                                                      | 0,459                                                                                    | 7,5                                          | 550                            | –58                          |
| 2005 | 6,331                                                         | 2,62                                                                          | 2,153                                                                               | 4,677                                                                                                      | 0,540                                                                                    | 7,6                                          | 818                            | –58                          |
| 2006 | 5,243                                                         | 2,15                                                                          | 8,133                                                                               | 3,513                                                                                                      | 0,447                                                                                    | 7,2                                          | 642                            | –56                          |
| 2007 | 7,963                                                         | 3,28                                                                          | 0,178                                                                               | 6,389                                                                                                      | 0,679                                                                                    | 8,6                                          | 640                            | –146                         |
| 2008 | 7,389                                                         | 3,03                                                                          | 0,0                                                                                 | 5,322                                                                                                      | 0,630                                                                                    | 8,7                                          | 599                            | –171                         |
| 2009 | 6,686                                                         | 2,73                                                                          | 1,917                                                                               | 5,168                                                                                                      | 0,568                                                                                    | 8,0                                          | 607                            | –76                          |
| 2010 | 9,804                                                         | 4,05                                                                          | 2,609                                                                               | 12,329                                                                                                     | 0,836                                                                                    | 8,3                                          | 651                            | –58                          |
| 2011 | 6,729                                                         | 2,76                                                                          | 6,714                                                                               | 5,942                                                                                                      | 0,574                                                                                    | 7,7                                          | 585                            | –37                          |

Напряженность гидротермических факторов – температуры и влажности почвы – определяет интенсивность биохимических процессов, происходящих в торфяной почве, в результате которых высвобождается углерод в виде диоксида углерода и метана, а также процессов трансформации форм азота, приводящих к выбросу закиси и окиси азота.

В 2007–2008 гг. наблюдались наиболее низкое за рассматриваемый период среднее за год стояние грунтовых вод (от –140 до –150 см) и самая высокая среднегодовая температура воздуха. Для этих лет характерны достаточно высокие годовые уровни эмиссии CO<sub>2</sub> и практически нулевые уровни выброса CH<sub>4</sub>. Максимальные значения потоков CO<sub>2</sub> наблюдались в 2007 и 2010 гг.

Экспериментальные измерения эмиссии CO<sub>2</sub> из органических почв, проведенные в различных почвенно-климатических условиях, позволяют сопоставить полученные нами результаты моделирования с результатами других авторов.

В условиях южной Германии для органической почвы елового леса (Hoglwald Forest) наблюдались [4, с. 1741] значения эмиссии 7,0–9,2 т CO<sub>2</sub> – С га<sup>-1</sup> · год<sup>-1</sup>. Для условий Финляндии [5, с. 159] эмиссия CO<sub>2</sub> из органической почвы посаженного леса составила от 207 до 539 г CO<sub>2</sub> – С га<sup>-1</sup> · год<sup>-1</sup> (2,07–5,39 т CO<sub>2</sub> – С га<sup>-1</sup> · год<sup>-1</sup>). В работе [6, с. 1059] говорится о том, что в условиях Швеции в лиственном лесу эмиссия CO<sub>2</sub> из органической почвы составила для недренированного участка 1,9 кг CO<sub>2</sub> м<sup>-2</sup> · год<sup>-1</sup> (5,18 т CO<sub>2</sub> – С га<sup>-1</sup> · год<sup>-1</sup>), а на дренированном участке – 1,0 кг CO<sub>2</sub> м<sup>-2</sup> · год<sup>-1</sup> (2,72 т CO<sub>2</sub> – С га<sup>-1</sup> · год<sup>-1</sup>). Для условий южной Швеции [7, с. 1–2] приводятся сведения об эмиссии CO<sub>2</sub> из органической дренированной почвы для двух участков с различной растительностью в количестве 6700–9300 и 11200–14800 кг м<sup>-2</sup> · год<sup>-1</sup> соответственно (что в пересчете составляет 1,825–2,534 и 3,052–5,432 т га<sup>-1</sup> · год<sup>-1</sup>). На основе непрерывных 11-летних мониторинговых наблюдений за эмиссией CO<sub>2</sub> в работе [8, с. 42] получены оценки сезонных и годовых потоков CO<sub>2</sub> из почв южнотаежной зоны России и рассчитана их межгодовая вариабельность. В зависимости от типа растительности среднесуточная годовая эмиссия CO<sub>2</sub> из дерново-подзолистой и серой лесной почв изменялась от 381 до 809 г CO<sub>2</sub> – С га<sup>-1</sup> · год<sup>-1</sup> (в пересчете – 3,81...8,09 т CO<sub>2</sub> – С га<sup>-1</sup> · год<sup>-1</sup>), а ее межгодовая вариабельность составляла 13–21 % для почв естественных экосистем и 33–37 % для почвы агроценоза. В условиях южной Эстонии [9, с. 40–42] в прибрежном ольховом лесу отмечалась вариация эмиссии CO<sub>2</sub> от 3862 до 4100 кг CO<sub>2</sub> – С га<sup>-1</sup> · год<sup>-1</sup>, что в пересчете составляет от 3,862 до 4,100 т CO<sub>2</sub> – С га<sup>-1</sup> · год<sup>-1</sup>.

Оценки эмиссии CO<sub>2</sub> из дренированной органической почвы с естественной растительностью в условиях Украинского Полесья, полученные нами, изменяются год от года (см. табл. 1). Они удовлетворительно соотносятся с оценками, полученными в результате мониторинговых наблюдений для органических почв, дренированных в разное время, с различной растительностью в климатических условиях Западной Европы, чем и объясняются пространственная изменчивость и временная вариабельность этих экспериментальных значений эмиссии CO<sub>2</sub>.

Сравнение с результатами, полученными в условиях южной Эстонии [9, с. 40–41], наиболее близких по климату к условиям Украинского Полесья, показывает некоторое завышение выброса, рассчитанного

нами по модели эмиссии  $\text{CO}_2$ . Это может объясняться как различием почвенных условий, так и несколько более высоким уровнем температур, определяющих интенсивность продуцирования  $\text{CO}_2$  в условиях Украинского Полесья.

Оценки, выполненные с помощью модели, позволяют сопоставить результаты расчетов среднесуточной эмиссии  $\text{CO}_2$  за теплый период года (март – октябрь) (см. табл. 1) с данными измерений средних суточных и часовых значений эмиссии  $\text{CO}_2$  из органической почвы, выполненных в климатических условиях, сходных с режимом погоды Украинского Полесья. Такое сопоставление связано с рядом трудностей. Некоторые из них являются следствием различных упрощающих предположений, допущенных при моделировании, выполненных с достаточно большим временным (месячным) шагом модельных расчетов, другие зависят от различий в свойствах органических почв. Поэтому можно выполнить только достаточно условное сравнение результатов расчета и данных экспериментальных измерений.

В работе [10, с. 10–11] представлены результаты измерений эмиссии  $\text{CO}_2$  из органической почвы в условиях Земландского полуострова (западная часть Калининградской области). Изучались почвы на ключевых участках как в лесных массивах, так и на сельскохозяйственных угодьях (пашни, залежи). На осушенной торфяно-глеевой почве под камышево-вейниково-ситниковым сообществом эмиссия  $\text{CO}_2$  (при среднем уровне болотных вод 90 см) составила в среднем  $1,2 \text{ г С м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$ . Наблюдения, проведенные на аналогичной почве под пырейным сообществом (при УГВ 100–110 см), показали размеры эмиссии  $\text{CO}_2$  в пределах  $3,1 \text{ г С м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$ .

Результаты изучения эмиссии  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  и закиси азота ( $\text{N}_2\text{O}$ ) из освоенных и естественных торфяных почв представлены в [11, с. 90]. Исследования проводились в пойме р. Яхромы (Дмитровский район Московской области) и на территории Ростовской низины (Ярославская область). Были изучены две пары (освоенная – неосвоенная) торфяных почв. Эмиссия  $\text{CO}_2$  на этих участках регистрировалась в размере  $10,1\text{--}91,4 \text{ нмоль CO}_2 \text{ см}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$ , что в пересчете составило  $0,026\text{--}0,261 \text{ г CO}_2\text{–С м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$  соответственно. В условиях Западно-Двинского лесоболотного стационара в Тверской области исследовалась [12, с. 83] эмиссия  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$  с поверхности почвы в атмосферу в лесах разной увлажненности и на болотах различной трофности в течение вегетационного периода, равного 184 сут (май – октябрь). Максимальная эмиссия  $\text{CO}_2$  характерна для почв наиболее продуктивных ельников-кисличников и составляет  $730 \text{ г С м}^{-2}$ , затем следуют сосняки: чернично-зеленомошный –  $515 \text{ г С м}^{-2}$  и лишайниково-зеленомошный –  $450 \text{ г С м}^{-2}$ , что в пересчете на одни сутки составляет  $3,96$ ;  $2,80$  и  $2,45 \text{ г CO}_2\text{–С м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$ . Гидролесомелиорация, понижая уровень почвенно-грунтовых вод и увеличивая зону аэрации, создает условия для возрастания эмиссии  $\text{CO}_2$  в осушенных грядово-мочажинном комплексе и черноольшанике крапивном до  $590$  и  $1290 \text{ г С м}^{-2}$ , что в пересчете составляет  $3,21$  и  $7,01 \text{ г CO}_2\text{–С м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$  соответственно. В условиях южной Эстонии в прибрежном ольховом лесу на двух участках с органической почвой наблюдалась [9, с. 40–41] эмиссия  $\text{CO}_2$  в пределах от  $2$  до  $148 \text{ мг CO}_2\text{–С м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$  и от  $2$  до  $366 \text{ мг CO}_2\text{–С м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$  (от  $0,048$  до  $4,752$  и от  $0,048$  до  $8,784 \text{ г CO}_2\text{–С м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$  соответственно). В [13, с. 12] для условий юго-восточной Карелии приводятся средние за теплый период года скорости эмиссии  $\text{CO}_2$  из торфяной почвы для естественного участка –  $82,5 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$  и для осушаемого участка –  $134,5 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$ , что в пересчете составляет  $1,98$  и  $3,28 \text{ г CO}_2\text{–С м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$  соответственно.

Приведенные в табл. 1 данные свидетельствуют о том, что полученные нами в модельных расчетах значения среднесуточной эмиссии  $\text{CO}_2$  за теплый период года (март – октябрь) из органической почвы на территории Украинского Полесья варьируют и сопоставимы с экспериментально установленными значениями эмиссии  $\text{CO}_2$  для условий юго-восточной Карелии, южной Эстонии, Земландского полуострова и Западно-Двинского лесоболотного стационара.

Вместе с тем они на порядок выше, чем экспериментальные результаты, полученные на освоенных и естественных торфяных почвах в пойме р. Яхромы и на территории Ростовской низины. В связи с этим можно высказать предположение о том, что эти расхождения между размерами эмиссии  $\text{CO}_2$  объясняются существенными различиями свойств сравниваемых органических почв и обусловлены различными сроками осушения и многолетним сельскохозяйственным использованием торфяников Подмосковья.

Результаты расчетов показывают, что эмиссия метана была значительной только в 2006 и 2011 гг., хотя средний за год УГВ в 2006 г. ненамного отличался от УГВ в период с 2000 по 2005 г., а для 2011 г. характерен самый высокий за весь рассматриваемый период среднегодовой УГВ (см. табл. 1). Минимальная эмиссия  $\text{CH}_4$  регистрировалась в течение самого низкого за рассматриваемый период стояния УГВ, который наблюдался в 2007 г. (первые три месяца он составлял от  $-69$  до  $-95 \text{ см}$ , затем всю оставшуюся часть года был на уровне от  $-166$  до  $-177 \text{ см}$ ) и 2008 г. (УГВ составлял от  $-145$  до  $-196 \text{ см}$ ). При этом толща торфяной почвы работает как метанопоглощающий фильтр, который окисляет метан, образующийся в анаэробной зоне, что приводит к снижению общего потока метана из почвы в атмосферу.



Эмиссия метана значительно изменяется в пространстве и во времени в зависимости от свойств органической почвы и формирующихся под влиянием УГВ аэробных или анаэробных условий в зоне постоянного переувлажнения и затопления.

В Англии в [14, с. 92] для елового леса получены оценки потоков эмиссии  $\text{CH}_4$  из органической дренированной и недренированной почв, которые достигали 3,23–9,06 и 13,53–21,18 кг  $\text{CH}_4 - \text{C га}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$  соответственно. В условиях Словении [15, с. 1437] эмиссия метана из дренированной, покрытой травяной растительностью органической почвы составляла 3,1 кг  $\text{CH}_4 - \text{C га}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$ . В лиственном лесу в климате Швеции изучались [6, с. 1059] потоки эмиссии метана на двух участках. Для недренированного участка эмиссия составила 7,6 г  $\text{CH}_4 - \text{C га}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$  (76 кг  $\text{CH}_4 - \text{C га}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$ ), для дренированного участка была равна 0,9 г  $\text{CH}_4 - \text{C га}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$  (9 кг  $\text{CH}_4 - \text{C га}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$ ). Для условий Финляндии в работе [5, с. 159] демонстрируются значения эмиссии метана из органической почвы от –0,32 до +0,61 г  $\text{CH}_4 - \text{C га}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$  (от –3,2 до +6,1 кг  $\text{CH}_4 - \text{C га}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$ ). В работе [9, с. 40] приводятся результаты измерений эмиссии метана из органической почвы в прибрежном ольховом лесу, которые показывают среднее значение эмиссии – около 0,9 кг  $\text{CH}_4 - \text{C га}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$ .

Приведенные выше данные эмиссии метана получены из органических почв, обладающих различными свойствами, а также не в одинаковых климатических условиях при разном варьировании УГВ, определяющем размеры толщи торфа, в которой формируются анаэробные условия.

В выполненных нами модельных расчетах получены оценки эмиссии метана из органической почвы Украинского Полесья, которые колеблются от 0 до 8,13 кг  $\text{CH}_4 - \text{C га}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$ . Они коррелируют с приведенными выше данными других авторов.

Рассмотрение динамики выбросов  $\text{N}_2\text{O}$  и  $\text{NO}$  по годам показывает, что она повторяет динамику выбросов  $\text{CO}_2$  и максимальные значения этих выбросов также наблюдались в 2007 и 2010 гг. (см. табл. 1).

В аэробной зоне складываются условия для эмиссии закиси азота в процессе нитрификации и окиси азота – в процессе денитрификации.

Данные наблюдений в Исландии [16, с. 24] показали, что из участка дренированной органической почвы регистрировалась эмиссия закиси азота от 5,5 до 17,0 кг  $\text{N}_2\text{O} - \text{N га}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$ . В Англии для елового леса [14, с. 21] изучались выбросы закиси азота из дренированной и недренированной почв, которые составили 1,87–13,71 и 2,18–14,55 кг  $\text{N}_2\text{O} - \text{N га}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$  соответственно. Для западной Голландии [17, с. 583] эмиссия из органической почвы оценивается в пределах 8–30 кг  $\text{N}_2\text{O} - \text{N га}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$ , а в условиях дренированной органической почвы пастбища в [18, с. 35] приводится значение выброса закиси азота, которое колеблется от 14 до 61 кг  $\text{N}_2\text{O} - \text{N га}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$ . В лиственном лесу в условиях Швеции [6, с. 1059–1060] из дренированной почвы наблюдалась эмиссия закиси азота в размере 2–9 кг  $\text{N}_2\text{O} - \text{N га}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$ . Для условий Финляндии в работе [5, с. 159–160] отмечаются на двух залесенных участках выбросы закиси азота из органической почвы от 1 до 30 кг  $\text{N}_2\text{O} - \text{N га}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$  и от 0,1 до 4,8 кг  $\text{N}_2\text{O} - \text{N га}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$ .

Измерения эмиссии  $\text{N}_2\text{O}$  в северной и южной Финляндии из полевых участков органической почвы под разными сельскохозяйственными культурами показали [19, с. 591] существенно отличающиеся результаты. На севере эмиссия закиси азота составляла от 4,0 до 13,0 кг  $\text{N}_2\text{O} - \text{N га}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$ , а на юге ее уровень был выше и достигал 7,3–25,0 кг  $\text{N}_2\text{O} - \text{N га}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$ . На неиспользуемых заброшенных участках органической почвы, где ранее возделывались сельскохозяйственные культуры, эмиссия регистрировалась в размере 5,5 кг  $\text{N}_2\text{O} - \text{N га}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$ , а на заброшенных залесенных участках – в среднем 2,4 кг  $\text{N}_2\text{O} - \text{N га}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$ .

Проведенные нами модельные расчеты суммарных потоков эмиссии  $\text{N}_2\text{O}$  и  $\text{NO}$  показали, что годовые значения меняются в пределах 3,45–12,33 кг  $\text{N}_2\text{O} - \text{N га}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$ . Они соотносятся с результатами экспериментальных измерений приведенных выше литературных данных.

В 2006 и 2010 гг. на территории Украинского Полесья наблюдалась максимальная эмиссия  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$ . Представляет интерес рассмотрение особенностей динамики УГВ и внутригодовой динамики  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$  в эти годы (табл. 2). Динамика УГВ в 2006 и 2010 гг. характеризуется большой изменчивостью по месяцам. Как видно из данных табл. 2, в 2006 г. по сравнению с январем – мартом УГВ в апреле – июне повысился, в июле – августе произошло понижение УГВ, а затем он снова повысился. В 2010 г. с января по апрель УГВ повышался, затем с мая по август понижался и с сентября по декабрь происходило его повышение.

Для оценки внутригодовой изменчивости потоков  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  и  $\text{NO}$  использованы результаты расчетов, выполненных за два года, контрастных по динамике УГВ, – 2006-й и 2010-й. Внутригодовая динамика выбросов  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  и  $\text{NO}$  имеет четко выраженный годовой ход. В 2010 г., так же как и в остальные годы, максимальные значения суммарных месячных величин эмиссии  $\text{CO}_2$  приходились на летние месяцы (июнь – июль), что объясняется глубоким залеганием УГВ и интенсивно протекающим в аэробных условиях процессом разложения органического вещества почвы и растительных остатков (см. табл. 2).



Таблица 2

Внутригодовая эмиссия  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  и  $\text{NO}$  из органической почвы  
(мелиоративная система «Крюково», сообщество низких корневищных осок, 2006 и 2010 гг.)

Table 2

$\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  and  $\text{NO}$  intra-annual emissions from organic soil  
(Kriukovo Meliorative System, a community of low rhizomatous sedge, 2006 and 2010)

| Месяц   | Эмиссия                                                                             |                                                                                      |                                                                                                 | Средний<br>за месяц<br>УГВ, см | Эмиссия                                                                             |                                                                                      |                                                                                                 | Средний<br>за месяц<br>УГВ, см |
|---------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
|         | CO <sub>2</sub> , т<br>CO <sub>2</sub> – C<br>га <sup>-1</sup> · мес. <sup>-1</sup> | CH <sub>4</sub> , кг<br>CH <sub>4</sub> – C<br>га <sup>-1</sup> · мес. <sup>-1</sup> | N <sub>2</sub> O + NO, кг<br>N <sub>2</sub> O и NO – N<br>га <sup>-1</sup> · мес. <sup>-1</sup> |                                | CO <sub>2</sub> , т<br>CO <sub>2</sub> – C<br>га <sup>-1</sup> · мес. <sup>-1</sup> | CH <sub>4</sub> , кг<br>CH <sub>4</sub> – C<br>га <sup>-1</sup> · мес. <sup>-1</sup> | N <sub>2</sub> O + NO, кг<br>N <sub>2</sub> O и NO – N<br>га <sup>-1</sup> · мес. <sup>-1</sup> |                                |
| 2006 г. |                                                                                     |                                                                                      |                                                                                                 |                                | 2010 г.                                                                             |                                                                                      |                                                                                                 |                                |
| I       | 0                                                                                   | 0                                                                                    | 0,001                                                                                           | –69                            | 0                                                                                   | 0                                                                                    | 0,0015                                                                                          | –50                            |
| II      | 0                                                                                   | 0                                                                                    | 0,0008                                                                                          | –79                            | 0                                                                                   | 0                                                                                    | 0,0019                                                                                          | –46                            |
| III     | 0,0223                                                                              | 0                                                                                    | 0,0043                                                                                          | –69                            | 0,0264                                                                              | 0,089                                                                                | 0,0056                                                                                          | –41                            |
| IV      | 0,1106                                                                              | 0,603                                                                                | –0,0054                                                                                         | –30                            | 0,0889                                                                              | 1,383                                                                                | –0,0084                                                                                         | –15                            |
| V       | 0,6543                                                                              | 1,114                                                                                | 0,1913                                                                                          | –46                            | 1,1246                                                                              | 0,898                                                                                | 0,7503                                                                                          | –54                            |
| VI      | 1,1709                                                                              | 5,532                                                                                | 0,4712                                                                                          | –29                            | 3,8607                                                                              | 0                                                                                    | 5,2964                                                                                          | –74                            |
| VII     | 2,0146                                                                              | 0                                                                                    | 2,0733                                                                                          | –76                            | 2,8986                                                                              | 0                                                                                    | 4,6388                                                                                          | –98                            |
| VIII    | 0,9115                                                                              | 0                                                                                    | 0,699                                                                                           | –80                            | 1,304                                                                               | 0                                                                                    | 1,487                                                                                           | –98                            |
| IX      | 0,1796                                                                              | 0,536                                                                                | 0,0417                                                                                          | –42                            | 0,3496                                                                              | 0                                                                                    | 0,1256                                                                                          | –80                            |
| X       | 0,1112                                                                              | 0,285                                                                                | 0,0223                                                                                          | –45                            | 0,0767                                                                              | 0,058                                                                                | 0,0137                                                                                          | –57                            |
| XI      | 0,0324                                                                              | 0,046                                                                                | 0,0061                                                                                          | –52                            | 0,075                                                                               | 0,182                                                                                | 0,014                                                                                           | –46                            |
| XII     | 0,00354                                                                             | 0,018                                                                                | 0,0069                                                                                          | –60                            | 0                                                                                   | 0                                                                                    | 0,0023                                                                                          | –35                            |

Колебания УГВ вызывают увеличение или уменьшение объема торфяной почвы, где складываются анаэробные условия для продуцирования  $\text{CH}_4$ . Из данных, представленных в табл. 2, следует, что при высоких значениях УГВ в начале 2006 г., особенно в апреле – июне, в анаэробных условиях шло интенсивное образование  $\text{CH}_4$  и максимальные за месяц значения потоков эмиссии метана наблюдались в июне. В период низкого стояния грунтовых вод в июне – октябре эмиссия метана была практически нулевой.

Поток закиси азота в 2010 г., в отличие от метана, в этих условиях, наоборот, возрастает. Максимальные значения суммарного потока эмиссии  $\text{N}_2\text{O}$  и  $\text{NO}$  наблюдались при низком залегании грунтовых вод в июне – июле.

### Закключение

Таким образом, предложенная нами PEAT-GHG-MODEL позволяет оценить эмиссию парниковых газов с органических почв Украинского Полесья, занятых естественной растительностью, и сопоставить полученные результаты с результатами экспериментальных исследований выбросов парниковых газов с органических почв в климатических условиях Западной Европы и России. Сравнение показало, что расчетные значения эмиссии  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  и  $\text{NO}$  удовлетворительно согласуются с экспериментальными данными.

Перспектива применения таких расчетов состоит в том, что модельные расчеты, выполненные для преобладающих типов растительности с учетом площади их распространения, особенно с использованием спутниковой информации, позволяют оценить эмиссию парниковых газов на обширных территориях Украинского Полесья, занятых органическими почвами, определить долю вклада этих выбросов в суммарную эмиссию парниковых газов на территории Украины. Применение модельных расчетов делает возможным построение карт, характеризующих условия формирования выбросов парниковых газов, и при использовании существующих сценариев изменения климата позволяет оценить эмиссию парниковых газов в будущем.

Дальнейшее развитие расчетных методов количественной оценки выбросов парниковых газов связано с необходимостью получения более широкого спектра экспериментальных данных об их эмиссии с торфяников.

## Библиографические ссылки

1. Польовий А. М., Микитюк О. Ю. Моделювання емісії парникових газів із органічних ґрунтів (PEAT-GHG-MODEL) // Український гідрометеорологічний журнал. 2015. № 16. С. 141–147.
2. Coleman K., Jenkinson D. S. A model for the turnover of carbon in soil. Model description and windows users guide. Harpenden Herts, 2008. URL: [http://www.rothamsted.ac.uk/sites/default/files/users/kcoleman/RothC\\_guide\\_WIN.pdf](http://www.rothamsted.ac.uk/sites/default/files/users/kcoleman/RothC_guide_WIN.pdf) (date of access: 10.12.2016).
3. Smith J., Gottschalk P., Bellarby J. Model to Estimate Carbon in Organic Soils – Sequestration and Emissions (ECOSSE). Aberdeen, 2010.
4. Decadal variable of soil CO<sub>2</sub>, NO, N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> fluxes at the Hoggwald Forest, Germany / G. L. Lun [et al.] // Biogeosciences. 2012. Vol. 9, issue 5. P. 1741–1763.
5. Soil greenhouse gas emissions from afforested organic soil croplands and cutaway peatlands / P. Makiranta [et al.] // Boreal Env. Res. 2007. Vol. 12, issue 2. P. 159–175.
6. Fluxes of CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O from drained organic soils in deciduous forests / K. Von Arnold [et al.] // Soil Biol. & Biochem. 2005. Vol. 37, issue 6. P. 1059–1071.
7. Ernfors M. Greenhouse gas fluxes between drained forested peatlands and the atmosphere : a thesis submitted for the degree of doctor of philosophy. Gothenburg, 2009.
8. Курганова И. Н. Эмиссия и баланс диоксида углерода в наземных экосистемах России : автореф. дис. ... д-ра биол. наук : 03.00.27 ; 03.00.16. М., 2010.
9. Dynamics of gaseous nitrogen and carbon fluxes in riparian alder forests / K. Soosaar [et al.] // Ecol. Eng. 2011. Vol. 37, issue 1. P. 40–53.
10. Анциферова О. А., Столтовский А. В. Эмиссия CO<sub>2</sub> из почв западной части Калининградской области // Эмиссия и сток парниковых газов на территории северной Евразии : тез. докл. III Междунар. конф. (Пушкино, 4–8 июня 2007 г.). Пушкино, 2007. С. 10–11.
11. Новиков В. В., Степанов А. Л. Эмиссия парниковых газов в торфяных почвах разной степени освоения // Эмиссия и сток парниковых газов на территории северной Евразии : тез. докл. II Междунар. конф. (Пушкино, 16–20 июня 2003 г.). Пушкино, 2003. С. 90.
12. Эмиссия диоксида углерода и метана с поверхности почв лесных и болотных экосистем разной увлажненности в подзоне южной тайги Европейской территории России / С. Э. Вомперский [и др.] // Эмиссия и сток парниковых газов на территории северной Евразии : тез. докл. нац. конф. с междунар. участием (Пушкино, 20–24 нояб. 2000 г.). Пушкино, 2000. С. 83.
13. Икконен Е. Н. Влияние осушения на интенсивность выделения CO<sub>2</sub> мезоолиготрофным болотом Юго-Восточной Финляндии : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.00.16. Петрозаводск, 2000.
14. Mojeremane W. Effects of site preparation for afforestation on soil properties and greenhouse gas emission : a thesis submitted for the degree of doctor of philosophy. Edinburgh, 2009.
15. Emissions of CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O from Southern European peat lands / T. Danevcic [et al.] // Soil Biology & Biochemistry. 2010. Vol. 42. P. 1437–1446.
16. Jansen E. The effects of land use, temperature and water level fluctuations in the emission of nitrous oxide (N<sub>2</sub>O), carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) and methane (CH<sub>4</sub>) from organic soil cores in Iceland. M. Sc. : thesis in environment and resources. Reykjavik, 2008.
17. Hendriks R. F. A., Wolleswinkel R. J., van den Akker Alterra J. J. H. Predicting greenhouse gas emission from peat soils depending on water management with the SWAP – ANIMO model // Peatland and Climate. Wageningen, 2006. P. 583–586.
18. Emissions of CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O from pasture on drained peat soils in the Netherlands / C. A. Langeveld [et al.] // Europ. J. Agron. 1997. Vol. 7 (1). P. 35–42.
19. Fluxes of N<sub>2</sub>O from farmed peat soils in Finland / K. Regina [et al.] // Europ. J. Soil Sci. 2004. Vol. 55, issue 3. P. 591–599.

## References

1. Pol'ovii A. M., Mykytjuk O. Ju. Modelyuvannya emisiï parnykovykh gaziv iz organichnykh g'runtiv [Modeling greenhouse gas emission from organic soils] (PEAT-GHG-MODEL). *Ukrains'kyj gidrometeorologichnyi zhurnal*. 2015. No. 16. P. 141–147 (in Ukrainian).
2. Coleman K., Jenkinson D. S. A model for the turnover of carbon in soil. Model description and windows users guide. Harpenden Herts, 2008. URL: [http://www.rothamsted.ac.uk/sites/default/files/users/kcoleman/RothC\\_guide\\_WIN.pdf](http://www.rothamsted.ac.uk/sites/default/files/users/kcoleman/RothC_guide_WIN.pdf) (date of access: 10.12.2016).
3. Smith J., Gottschalk P., Bellarby J. Model to Estimate Carbon in Organic Soils – Sequestration and Emissions (ECOSSE). Aberdeen, 2010.
4. Lun G. L., Bruggemann N., Wolf B., et al. Decadal variable of soil CO<sub>2</sub>, NO, N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> fluxes at the Hoggwald Forest, Germany. *Biogeosciences*. 2012. Vol. 9, issue 5. P. 1741–1763. DOI: 10.5194/bg-9-1741-2012, 2012.
5. Makiranta P., Hytonen J., Aro L., et al. Soil greenhouse gas emissions from afforested organic soil croplands and cutaway peatlands. *Boreal Env. Res.* 2007. Vol. 12, issue 2. P. 159–175.
6. Von Arnold K., Nilsson M., Hanell B., et al. Fluxes of CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O from drained organic soils in deciduous forests. *Soil Biol. & Biochem.* 2005. Vol. 37, issue 6. P. 1059–1071. DOI: 10.1016/j.soilbio.2004.11.004.
7. Ernfors M. Greenhouse gas fluxes between drained forested peatlands and the atmosphere : a thesis submitted for the degree of doctor of philosophy. Gothenburg, 2009.
8. Kurganova I. N. Emissiya i balans dioksida ugleroda v nazemnykh ekosistemakh Rossii [Emission and balance of dioxide of carbon in the surface ecosystems of Russia] : avtoref. diss. ... d-ra biol. nauk : 03.00.27 ; 03.00.16. Mosc., 2010 (in Russ.).
9. Soosaar K., Mander U., Maddison M., et al. Dynamics of gaseous nitrogen and carbon fluxes in riparian alder forests. *Ecol. Eng.* 2011. Vol. 37, issue 1. P. 40–53. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2010.07.025.

10. Antsiferova O. A., Stolpovskii A. V. Emissiya  $\text{SO}_2$  iz pochv zapadnoi chasti Kaliningradskoi oblasti [Emission of  $\text{CO}_2$  from soils of western part of the Kaliningrad area]. *Emissiya i stok parnikovykh gazov na territorii severnoi Evrazii* : tez. dokl. III Mezhdunar. konf. (Pushchino, 4–8 June, 2007). Pushchino, 2007. P. 10–11 (in Russ.).
11. Novikov V. V., Stepanov A. L. Emissiya parnikovykh gazov v torfyanykh pochvakh raznoi stepeni osvoeniya [Emission of greenhouse gases in peat soils of different degree of mastering]. *Emissiya i stok parnikovykh gazov na territorii severnoi Evrazii* : tez. dokl. II Mezhdunar. konf. (Pushchino, 16–20 June, 2003). Pushchino, 2003. P. 90 (in Russ.).
12. Vomperskii S. E., Kovalev A. G., Glukhova T. V., et al. Emissiya dioksida ugleroda i metana s poverkhnosti pochv lesnykh i bolotnykh ekosistem raznoi uvlazhnennosti v podzone yuzhnoi taigi Evropeiskoi territorii Rossii [Emission of dioxide of carbon and methane from the surface of soils of forest and bog ecosystems of different moisture in subregion of south taiga European territory of Russia]. *Emissiya i stok parnikovykh gazov na territorii severnoi Evrazii* : tez. dokl. nats. konf. s mezhdunar. uchastiem (Pushchino, 20–24 Novemb., 2000). Pushchino, 2000. P. 83 (in Russ.).
13. Ikkonen E. N. Vliyanie osusheniya na intensivnost' vydeleniya  $\text{SO}_2$  mezooligotrofnym bolotom Yugo-Vostochnoi Fennoskandii [Influence of drainage on intensity of selection of  $\text{CO}_2$  the meso-oligotrophic bog of South-east Fennoscandia] : avtoref. diss. ... kand. biol. nauk : 03.00.16. Petrozavodsk, 2000.
14. Mojeremane W. Effects of site preparation for afforestation on soil properties and greenhouse gas emission : a thesis submitted for the degree of doctor of philosophy. Edinburgh, 2009.
15. Danevcic T., Mandic-Mulec I., Stres B., et al. Emissions of  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  and  $\text{N}_2\text{O}$  from Southern European peat lands. *Soil Biology & Biochemistry*. 2010. Vol. 42. P. 1437–1446.
16. Jansen E. The effects of land use, temperature and water level fluctuations in the emission of nitrous oxide ( $\text{N}_2\text{O}$ ), carbon dioxide ( $\text{CO}_2$ ) and methane ( $\text{CH}_4$ ) from organic soil cores in Iceland. M. Sc. : thesis in environment and resources. Reykjavik, 2008.
17. Hendriks R. F. A., Wolleswinkel R. J., van den Akker Alterra J. J. H. Predicting greenhouse gas emission from peat soils depending on water management with the SWAP – ANIMO model. *Peatland and Climate*. Wageningen, 2006. P. 583–586.
18. Langeveld C. A., Segers R., Dirks B. O. M., et al. Emissions of  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  and  $\text{N}_2\text{O}$  from pasture on drained peat soils in the Netherlands. *Europ. J. Agron.* 1997. Vol. 7 (1). P. 35–42. DOI: 10.1016/S1161-0301(97)00036-1.
19. Regina K., Syvasalo E., Hunnukkala A., et al. Fluxes of  $\text{N}_2\text{O}$  from farmed peat soils in Finland. *Europ. J. Soil Sci.* 2004. Vol. 55, issue 3. P. 591–599. DOI: 10.1111/j.1365-2389.2004.00622.x.

Статья поступила в редколлегию 18.11.2016.  
Received by editorial board 18.11.2016.

УДК 551.5:633.491:633.63(476)

## ВЛИЯНИЕ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ НА КОЛЕБАНИЯ УРОЖАЙНОСТИ КАРТОФЕЛЯ И САХАРНОЙ СВЕКЛЫ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

О. В. ДАВЫДЕНКО<sup>1)</sup>, П. С. ЛОПУХ<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Белорусский государственный университет,  
пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Республика Беларусь

Рассмотрена динамика урожайности картофеля и сахарной свеклы, дана оценка современному состоянию и перспективам соответствующих отраслей растениеводства. Выявлено замедление роста урожайности картофеля, зафиксирована устойчивая положительная динамика урожайности сахарной свеклы на территории Республики Беларусь. Посредством построения линий трендов определены экономические тенденции в динамике урожайности: рост в 1970–80-х гг., снижение в конце XX в. и рост в начале XXI в. Обнаружена тенденция к повышению роли агротехники в формировании урожая сахарной свеклы, а также сохранение доли погодной составляющей дисперсии урожайности картофеля на уровне более 50 %. Установлено, что снижение зависимости урожайности от погодных условий сопровождается усилением территориальной дифференциации. Наименьший вклад погодных условий в дисперсию урожайности картофеля отмечен на западе и юге республики, наибольший – в Витебской области. Сделан вывод о том, что картофелеводство в сравнении с возделыванием сахарной свеклы больше нуждается в реализации мер, направленных на адаптацию к изменившимся климатическим условиям и совершенствование агротехники в целях сохранения лидирующих позиций Беларуси в данной отрасли растениеводства.

**Ключевые слова:** картофель; сахарная свекла; колебания урожайности; погодная составляющая дисперсии урожайности.

## INFLUENCE OF WEATHER CONDITIONS ON PRODUCTIVITY FLUCTUATIONS OF POTATOES AND SUGAR BEET IN REPUBLIC OF BELARUS

O. V. DAVYDENKO<sup>a</sup>, P. S. LOPUCH<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Belarusian State University, Nezavisimosti avenue, 4, 220030, Minsk, Republic of Belarus  
Corresponding author: davol82@mail.ru

Dynamics of productivity of potato and sugar beet, a current state and prospects of the relevant branches of plant growing are considered. Delay of growth of productivity of potato and steady positive dynamics of productivity of sugar beet in the territory of Republic of Belarus are revealed. By means of creation of lines of trends economic tendencies are

### Образец цитирования:

Давыденко О. В., Лопух П. С. Влияние погодных условий на колебания урожайности картофеля и сахарной свеклы в Республике Беларусь // Журн. Белорус. гос. ун-та. География. Геология. 2017. № 1. С. 79–88.

### For citation:

Davydenko O. V., Lopuch P. S. Influence of weather conditions on productivity fluctuations of potatoes and sugar beet in Republic of Belarus. *J. Belarus. State Univ. Geogr. Geol.* 2017. No. 1. P. 79–88 (in Russ.).

### Авторы:

**Ольга Васильевна Давыденко** – старший преподаватель кафедры общего земледелия и гидрометеорологии географического факультета.

**Петр Степанович Лопух** – доктор географических наук, профессор; заведующий кафедрой общего земледелия и гидрометеорологии географического факультета.

### Authors:

**Olga Davydenko**, senior lecturer at the department of the general geography and hydrometeorology, faculty of geography. [davol82@mail.ru](mailto:davol82@mail.ru)

**Piotr Lopuch**, doctor of science (geography), full professor; head of the department of the general geography and hydrometeorology, faculty of geography. [lopuch49@mail.ru](mailto:lopuch49@mail.ru)



installed in the dynamics of productivity: growth in the 1970–80s years, decrease at the end of the XX century and growth at the beginning of the XXI century. A steady tendency of increase of a role of an agrotechnology in formation of a crop of sugar beet and reservation of a share of the weather making dispersion of productivity of potato at the level of more than 50 % are found. Decrease in dependence of productivity of potato on weather conditions is followed by strengthening of territorial differentiation of this dependence. Weather conditions make the smallest contribution to dispersion of productivity of potatoes in the west and south of the republic, the greatest – in Vitebsk region. It is established that potato growing, in comparison with cultivation of sugar beet, needs implementation of measures for adaptation to the changed climatic conditions and improvement of an agrotechnology for the reserve of the leading positions of Belarus in this branch of plant growing.

**Key words:** potato; sugar beet; productivity fluctuations; weather component of dispersion of productivity.

Урожайность сельскохозяйственных культур является результатом использования агроклиматических ресурсов. В структуре общей посевной площади в Беларуси в 2014 г. в хозяйствах всех категорий картофель занимал 5,3 % (около 310 тыс. га) [1], сахарная свекла – 1,8 % (105,8 тыс. га) [2]. Однако если сахарная свекла характеризуется стабильностью посевных площадей и преимущественно ростом урожайности, то ежегодное сокращение площади посадки картофеля в хозяйствах населения сопровождается стагнацией его продуктивности. Кроме того, в сельскохозяйственных организациях посевные площади сахарной свеклы уже вдвое превышают те, которые заняты картофелем.

Сахарная свекла активно возделывается лишь в трех областях Беларуси, а в последние годы ее посевы для технических целей появились и в Могилёвском регионе. В 2014 г. сахаристость корней в республике превысила базисную (16 %) и составила 16,7 %, урожайность корнеплодов, в сравнении с предыдущим годом, также возросла (табл. 1). Максимальная продуктивность отмечена в Гродненском районе (795 ц/га). В 148 свеклосеющих организациях (40 %) урожайность этой сельскохозяйственной культуры превысила 450 ц/га.

Таблица 1

Показатели продуктивности сахарной свеклы в хозяйствах всех категорий Беларуси за 2014 г. [2]

Table 1

Indicators of sugar beet productivity in all categories of farms in Belarus in 2014 [2]

| Область                | Валовой сбор,<br>тыс. т | Урожайность, ц/га |                                  | Количество организаций с урожайностью выше 450 ц/га<br>(% общего количества организаций) |
|------------------------|-------------------------|-------------------|----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
|                        |                         | 2014 г.           | 2014 г. в сравнении<br>с 2013 г. |                                                                                          |
| Брестская              | 1004,1                  | 454               | +68                              | 38 (37)                                                                                  |
| Гродненская            | 2088,3                  | 536               | +37                              | 75 (61)                                                                                  |
| Минская                | 1546,9                  | 413               | +6                               | 33 (31)                                                                                  |
| Могилёвская            | 166,3                   | 317               | –                                | 2 (6)                                                                                    |
| Республика<br>Беларусь | 4805,6                  | 463               | +26                              | 148 (40)                                                                                 |

Вопреки сокращению посевных площадей картофеля Республика Беларусь остается одним из основных его производителей в мире (в 2013 г. наша страна оказалась на 11-м месте по валовому сбору) и занимает 1-е место по производству этой культуры на душу населения. В 2014 г. в хозяйствах всех категорий собрано 6279,7 тыс. т картофеля при средней урожайности 235 ц/га. Лидирующие позиции по валовому сбору заняла Минская область, а по урожайности – Могилёвская. При этом Могилёвская и Гродненская области, видимо, достигли предельно высоких урожаев на данном этапе экономического развития (продуктивность здесь незначительно снизилась). Несмотря на существенный прирост урожайности в Витебской области, лишь три организации этого региона смогли преодолеть отметку 300 ц/га, тогда как в других областях их насчитывалось более 10, а в Гродненской и Минской – свыше 30. Минская область впереди и по количеству организаций с низкой продуктивностью картофеля, однако их удельный вес в Витебской области наибольший (табл. 2) [1].

Таблица 2

Показатели продуктивности картофеля в сельскохозяйственных организациях Беларуси за 2014 г. [1]

Table 2

Potato productivity indicators in the agricultural organizations of Belarus in 2014 [1]

| Область                | Валовой сбор,<br>тыс. т | Урожайность, ц/га |                                        | Количество организаций с урожайностью |                                                    |
|------------------------|-------------------------|-------------------|----------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------------------------|
|                        |                         | 2014 г.           | 2014 г. в сравнении<br>с 2013 г., ц/га | выше 300 ц/га                         | ниже 150 ц/га<br>(% общего количества организаций) |
| Брестская              | 189,7                   | 209               | +16                                    | 13                                    | 37 (36)                                            |
| Витебская              | 76,4                    | 210               | +46                                    | 3                                     | 40 (69)                                            |
| Гомельская             | 162,4                   | 234               | +17                                    | 11                                    | 15 (14)                                            |
| Гродненская            | 157,5                   | 249               | –7                                     | 37                                    | 14 (14)                                            |
| Минская                | 269,9                   | 244               | +17                                    | 33                                    | 41 (25)                                            |
| Могилёвская            | 146,8                   | 263               | –2                                     | 13                                    | 16 (28)                                            |
| Республика<br>Беларусь | 1002,7                  | 235               | +14                                    | 110                                   | 163 (28)                                           |

Являясь пропашными культурами, картофель и сахарная свекла различаются требованиями (в том числе метеорологическими) к условиям выращивания, а непрерывная климатическая динамика подразумевает оперативную адаптацию сельского хозяйства. Такие экономические тенденции обусловили выбор данных сельскохозяйственных культур для исследования того, как погодные условия воздействуют на их урожайность.

Несмотря на определенные различия в посевных площадях и динамике продуктивности, картофель и сахарная свекла характеризуются в Беларуси меньшей урожайностью по сравнению со многими европейскими странами. Даже сопоставление показателей за 2014 г. выявило отличия в урожайности. Например, в Финляндии, расположенной севернее Беларуси, урожайность картофеля (273 ц/га) была несколько выше, а урожайность сахарной свеклы (457 ц/га) оказалась схожей с белорусской. В Италии, которая находится южнее нашей страны, урожайность картофеля оказалась близкой к белорусской и составила 261 ц/га, а урожайность сахарной свеклы (728 ц/га) значительно превысила таковую в Беларуси. Австрия, Бельгия, Венгрия, Германия, Дания, Великобритания, Франция, Швеция – государства, которые опережают нашу страну по урожайности данных сельскохозяйственных культур. На близком к белорусскому уровне продуктивность картофеля находится в Польше, при этом в Румынии она несколько ниже, чем в Беларуси. Урожайность сахарной свеклы в этих странах выше [3].

Естественно, обеспеченность территорий упомянутых стран климатическими и почвенными ресурсами различна. Однако следует учитывать, что важную роль в формировании урожая играет уровень агротехники: чем он выше, тем меньше потери от воздействия неблагоприятных внешних (в том числе погодных) условий. Сравнение степени продуктивности картофеля и сахарной свеклы свидетельствует не в пользу Беларуси и доказывает актуальность исследования, призванного выявить метеорологическую составляющую в колебаниях урожайности этих сельскохозяйственных культур.

### Материалы и методика исследования

Оценить динамику урожайности картофеля удалось для всех административных районов Беларуси, а урожайность сахарной свеклы рассматривалась лишь по 20 районам, где данная культура выращивалась ежегодно в течение изучаемого периода. В исследовании использовались данные Национального статистического комитета Республики Беларусь по урожайности картофеля и сахарной свеклы в административных районах за 1970–1987 и 1989–2011 гг. (информация за 1988 г. отсутствует). Нижняя граница этого периода обусловлена собранными сведениями об урожайности, верхняя – данными на момент начала изучения проблемы. Учет последних лет может несколько повлиять на полученные результаты. Однако в настоящей работе ставилась цель проанализировать изменение вклада погодных условий в колебания урожайности картофеля и сахарной свеклы. Включенного в исследования 23-летнего периода потепления (1989–2011) вполне достаточно для получения обоснованных научных результатов.

Агрометеорологи выделяют в динамике урожаев два основных компонента: первый прослеживается в общей тенденции меняющегося уровня хозяйственной урожайности (его следует считать трендом), второй – в межгодовых флуктуациях (вызванных внешними, в основном погодными, факторами) на фоне тренда. В ходе исследования вклад погодных условий в урожайность картофеля и сахарной свеклы оценивался согласно методике, детально описанной В. М. Пасовым в 1986 г. и актуальной в настоящее время. В соответствии с ней при наличии трендов в ходе урожайности можно определить вклад, который вносит изменчивость погоды в общую дисперсию урожайности. Для этого после выделения тренда и расчета ежегодных аномалий (отклонений) урожайности оценивается воздействие погодных условий на знак и величину аномалии путем расчета дисперсий. При расчете общей дисперсии ( $\sigma^2$ ) используется урожайность конкретного года ( $y_i$ ) и средняя многолетняя урожайность ( $\bar{y}$ ), а агротехническая составляющая дисперсии ( $\sigma_a^2$ ) определяется величинами трендовой ( $\hat{y}_i$ ) и средней многолетней ( $\bar{y}$ ) урожайности. Вклад изменчивости погоды в величину дисперсии урожайности ( $\sigma_m^2$ ) рассчитывается как разность общей дисперсии и ее агротехнической составляющей. Расчеты выполняются по приведенным ниже формулам:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1},$$
$$\sigma_a^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{n-1},$$
$$\sigma_m^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 - \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{n-1},$$

где  $n$  – количество исследованных лет.

Долю агротехнической и погодной составляющих дисперсии урожайности находят путем деления соответствующих составляющих на общую дисперсию. В настоящей работе погодная составляющая дисперсии урожайности приводится в долях единицы.

Представление результатов исследований погодной составляющей дисперсии урожайности, вычисленной по отклонениям от трендов, зачастую вызывает вопросы о роли доз внесения минеральных удобрений, которые, изменяясь из года в год, могут приводить к колебаниям урожайности. Однако при выделении линий трендов учитывается развитие агротехники в целом, что наряду с внесением удобрений включает в себя и другие значимые факторы. Поэтому не всегда увеличение доз внесения минеральных удобрений сопровождается ростом урожайности. Так, в сельскохозяйственных организациях в период с 2010 по 2014 г. максимальные дозы минеральных удобрений, внесенные под картофель и сахарную свеклу, зафиксированы в 2011 г., тогда как максимальная урожайность получена в 2012 г., когда дозы были ниже. Дозы внесения минеральных и органических удобрений под сахарную свеклу в 2010 и 2012 гг. были очень близки по значениям, а средняя урожайность различалась на 90 ц/га. Более яркий пример представляют 2014 и 2015 гг. с различиями в объеме урожайности до 130 ц/га [3].

Выявлять направленную экономическую тенденцию посредством построения линии тренда И. В. Свисюк (1992) рекомендует по временным отрезкам небольшой продолжительности (10–15 лет). Эти рекомендации были учтены при построении трендов по значениям урожайности картофеля и сахарной свеклы. Период исследования был разделен на три временных промежутка (1970–1987, 1989–1999, 2000–2011), границы которых обосновываются ниже при описании полученных результатов.

Линии трендов выстраивались по методу наименьших квадратов с помощью табличного процессора *Excel*. Выбор вида полинома для трендов осуществлялся на основе коэффициента детерминации  $R^2$ ; степень полинома повышалась, если это сопровождалось увеличением коэффициента на 0,1 и более. Во избежание перегруженности иллюстраций уравнения для построенных линий трендов на графиках не приводятся. Для сопоставимости значений урожайности картофеля и сахарной свеклы на графиках применен единый масштаб (рис. 1).

Для всех административных районов, областей и республики в целом по каждому из временных промежутков были построены линии трендов, отражающие ход урожайности картофеля, в виде полиномов третьей, второй и первой степени соответственно. Лишь три района на северо-востоке Могилёвской области (Мстиславский, Чаусский и Шкловский) имеют тренды урожайности картофеля с уравнениями

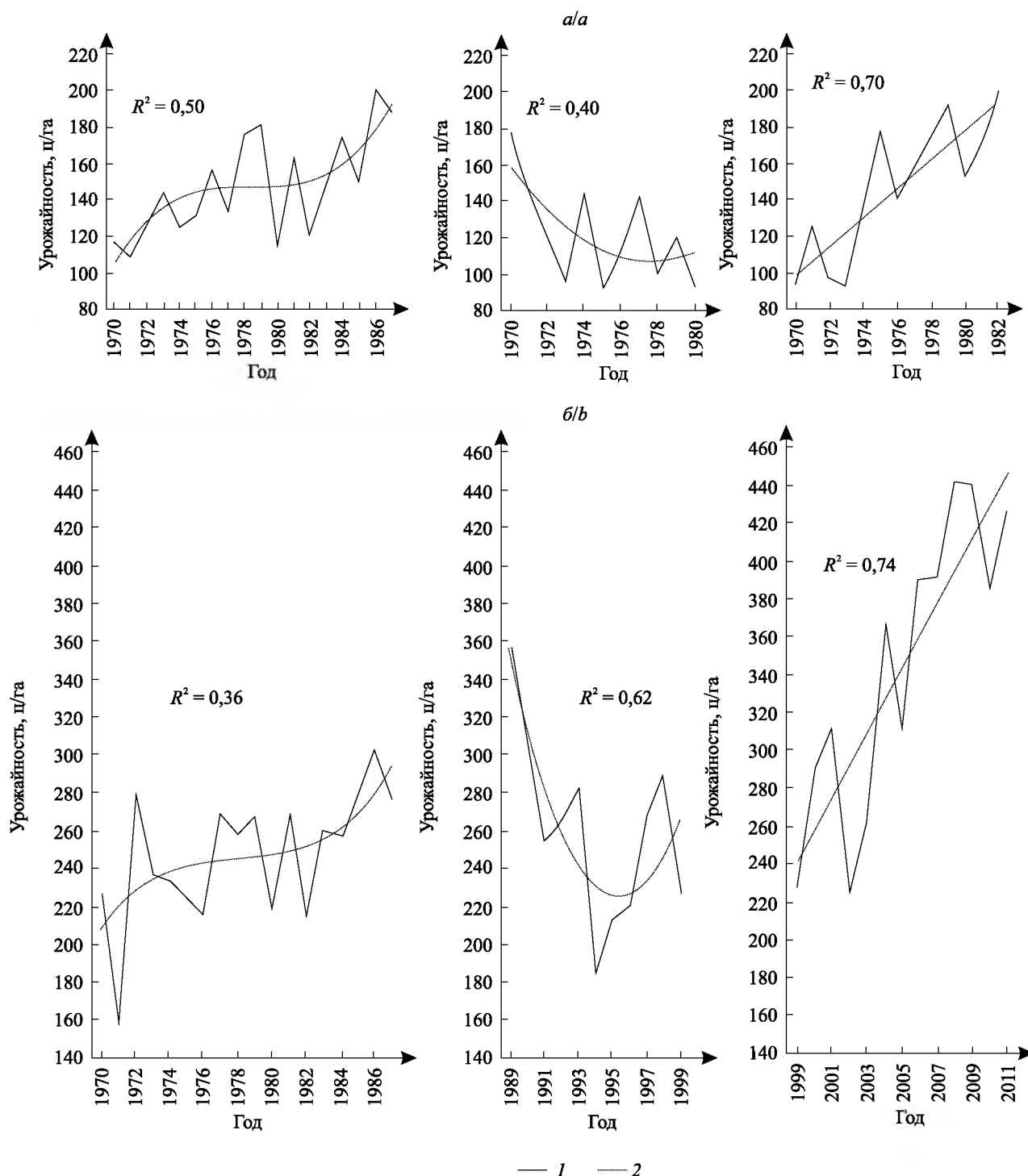


Рис. 1. Динамика урожайности картофеля в Республике Беларусь (а) и сахарной свеклы в среднем по исследуемым районам (б):

1 – статистические данные; 2 – тренд

Fig. 1. Dynamics of potato yields in the Republic of Belarus (a) and sugar beet on average in the studied districts (b):

1 – statistical data; 2 – trend

второй степени для третьего временного отрезка, что обусловлено скачком урожайности в последний год рассматриваемого периода. Следует указать, что 1999 г., который завершает второй временной отрезок, служил исходной точкой для построения тренда третьего временного промежутка. По причине отсутствия данных по урожайности за 1988 г. тренд для первого интервала заканчивается в 1987 г., а для второго начинается с 1989 г. Аналогичные операции были выполнены для урожайности сахарной свеклы, но при осреднении использовались данные лишь по 20 исследуемым районам (см. рис. 1).



Средняя урожайность картофеля была рассчитана для каждого из выделенных временных промежутков по всем административным районам, а для сахарной свеклы – по районам, где культура возделывалась ежегодно в период исследования.

После определения с помощью описанной выше методики погодной составляющей дисперсии урожайности для картофеля и сахарной свеклы была оценена территориальная и временная дифференциация данного показателя. С этой целью сравнивались величины погодной обусловленности урожайности по районам и областям, а также по выделенным временным отрезкам. Кроме того, были вычислены коэффициенты вариации погодной составляющей дисперсии урожайности по административным районам в пределах областей и республики в целом и коэффициенты вариации, отражающие межобластные различия (вычислены по среднеобластным значениям погодной составляющей дисперсии урожайности).

### Результаты исследования

Как было сказано выше, учитывая экономические тенденции, а также принимая во внимание значения урожайности картофеля за отдельные годы, исследуемый период (1970–2011) был разделен на три указанных временных отрезка. Их границы совпадают с характерными точками на температурной кривой. С 1989 г. отмечается преобладание положительных отклонений средних годовых температур от принятой нормы (за период с 1961 по 2011 г.), а начиная с 1999 г. среднегодовая температура воздуха составляла 6,8–8,0 °С, превышая норму на 0,4–1,6 °С [4].

В настоящем исследовании первый из выделенных временных интервалов (1970–1987) соответствует периоду, предшествовавшему интенсификации изменений климата. На фоне общего роста урожайности картофеля заметно снизилась в 1980 и 1982 гг. Это можно связать как с недостаточно благоприятными погодными условиями, так и с отголосками мирового экономического кризиса 1980 г. Указанные годы нельзя считать реперами для выделения границ отрезков с различными экономическими тенденциями, поскольку эти понижения являлись локальными и в последующие годы урожайность возвращалась на уровень, близкий к предыдущему. На данном временном отрезке урожайность картофеля достигла максимальных показателей в конце 1980-х гг. (см. рис. 1). Схожая динамика отмечалась и для сахарной свеклы, но однозначной и четко выраженной тенденции в сторону роста в исследуемых районах не зафиксировано.

Период потепления, или активизации климатических изменений, который начался в 1989 г., для Республики Беларусь является неоднородным, если рассматривать его с экономических позиций. Данное обстоятельство предопределило разбиение указанного периода на два временных отрезка. Начало периода интенсификации климатических изменений связано с отрицательной динамикой урожайности, обусловленной кризисными явлениями в экономике. Во многих административных районах минимум урожайности пришелся на 1994 г., когда негативные экономические тенденции сопровождались неблагоприятными погодными условиями (засухой) в период вегетации. Предпринятые в дальнейшем меры позволили стабилизировать ситуацию. После 1994 г. рост урожайности сахарной свеклы отмечался в большинстве свеклосеющих районов Брестской и Гродненской областей. В результате реализации плана по выходу из кризиса в 1995–2000 гг. спад уровня урожайности картофеля либо прекратился, либо его темпы заметно снизились. Для ряда районов Беларуси наименьшей урожайностью отличались 1999 или 2002 г., когда к недостаточно устойчивым экономическим условиям добавились негативные погодные воздействия (засуха). Именно 1999 г. стал верхней границей второго временного отрезка, в рамках которого урожайность стремительно падала с некоторым замедлением в конце десятилетия или переходом к росту (для сахарной свеклы).

Промежуток с 2000 по 2002 г. специалисты называют периодом стабилизации, а следующий за ним – периодом экономического роста. Указанные временные отрезки вошли в третий промежуток, для которого проводилось исследование динамики урожайности картофеля и сахарной свеклы. Данный показатель продуктивности в большинстве районов характеризуется устойчивым повышением.

Урожайность картофеля за соответствующие промежутки времени в среднем по республике составила 147; 122 и 152 ц/га соответственно. В 1970–1987 гг. ни в одном из административных районов она не превышала 200 ц/га, а районы с наибольшей урожайностью (свыше 150 ц/га) были сконцентрированы в Брестской и Гродненской областях. Минский регион лидировал по среднеобластной урожайности (162 ц/га), высокие позиции занимали Клецкий, Слуцкий и Любанский районы, где средняя урожайность превысила 190 ц/га. Минимальная продуктивность отмечалась на севере страны – в Витебской области (119 ц/га), при этом наименьшая – в Городокском районе (95 ц/га). Дрибинский район Могилёвской области, который был выделен лишь в 1989 г., на схеме указанного временного промежутка обозначен белым цветом (рис. 2).

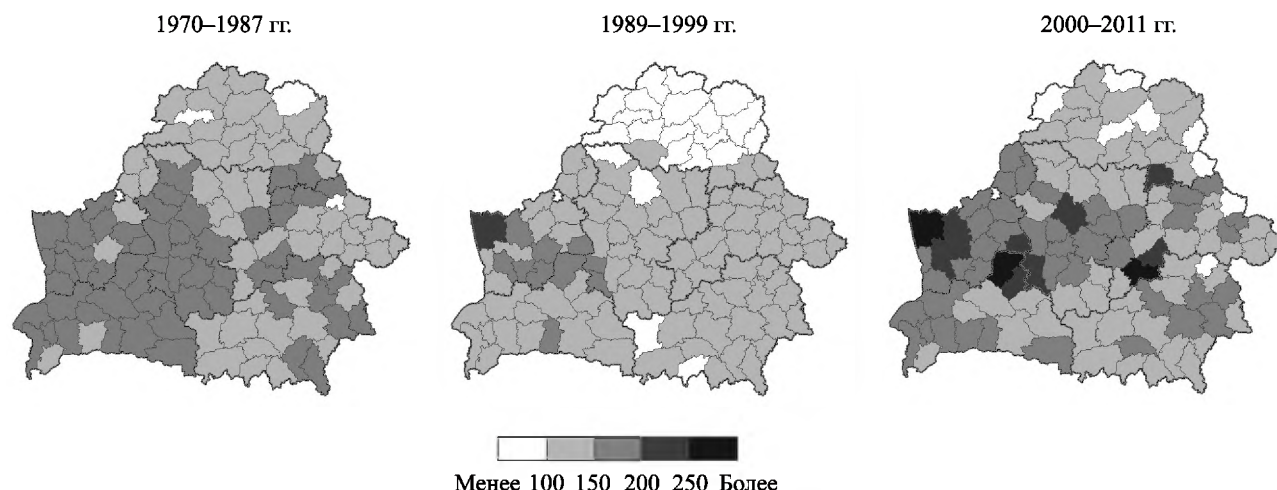


Рис. 2. Урожайность картофеля в административных районах Республики Беларусь, ц/га

Fig. 2. Potato yields in the administrative districts of the Republic of Belarus, q/ha

В 1989–1999 гг. при общем снижении урожайности картофеля по республике лидером стала Гродненская область, где спад (с 156 до 154 ц/га) был не столь резким, как в других регионах. В среднем по стране урожайность уменьшилась на 25 ц/га. Лидировал Гродненский район (210 ц/га). Средняя урожайность в Витебской области снизилась до 89 ц/га, а минимальное значение по-прежнему демонстрировал Городокский район (66 ц/га). Падение продуктивности в Минской области на 40 ц/га привело к тому, что урожайность стала здесь ниже, чем в Брестской и Могилёвской областях.

В 2000–2011 гг. Гродненская область продолжала лидировать по урожайности картофеля (197 ц/га). Другие же существенно отставали от нее: урожайность в Минской области составила 158 ц/га, Брестской – 156, Могилёвской – 154, Гомельской – 140, Витебской – 115 ц/га. Средняя урожайность для третьего временного интервала лишь в Гродненской и Могилёвской областях превысила показатели первого промежутка. Урожайность более 250 ц/га продемонстрировали Гродненский, Барановичский и Бобруйский районы.

Следовательно, при активизации климатической динамики урожайность картофеля претерпела серьезные изменения: снижение в первой части периода потепления сменилось ростом в XXI в., а интенсивный спад в районах с изначально низкими показателями урожайности картофеля был в меньшей степени компенсирован последующим ростом, чем в традиционно продуктивных районах. Это привело к усилению дифференциации районов Беларуси по урожайности картофеля (см. рис. 2).

Степень влияния агротехники на урожайность картофеля предварительно можно оценить исходя из  $R^2$  для уравнений линий трендов. Возрастание коэффициента говорит о приближении урожайности к трендовой, т. е. ослаблении зависимости от погодных условий. Наибольшее значение  $R^2$  для третьего временного отрезка при наименьшей степени полинома свидетельствует о повышении роли агротехнической составляющей в динамике урожайности. Точность построения линий трендов урожайности (величина коэффициентов детерминации) по областям страны различается, но в динамике  $R^2$  прослеживается та же тенденция, что и для республики в целом.

Согласно расчетам метеорологические условия за весь исследуемый период определяли более половины дисперсии урожайности картофеля. Однако временные отрезки характеризуются различными величинами (рис. 3). В среднем по районам Беларуси доля изменчивости погодных условий в общей дисперсии урожайности во втором отрезке по отношению к первому возросла, а в третьем – снизилась (табл. 3). До активизации климатической динамики районы с наибольшим вкладом погодных условий в дисперсию урожайности концентрировались на севере республики. В Витебской области существенная доля урожая была обусловлена погодой. Меньше всего урожайность картофеля зависела от нее в южных регионах страны (Брестская и Гомельская области). Даже в Гродненской области более половины урожая определяли метеоусловия. В последующие годы воздействие погоды на урожайность картофеля в этом регионе уменьшилось, тогда как в других областях в конце XX в. роль климатических факторов в формировании урожая картофеля возросла, и лишь в начале XXI в. влияние погоды на урожайность картофеля ослабло. Это может быть связано как со стабилизацией климатических показателей, так и с эффективностью мер по адаптации к изменившимся погодным условиям. Однако в Витебской области они до сих пор определяют более двух третей дисперсии урожайности, хотя их вклад в формирование урожая картофеля заметно уменьшился.

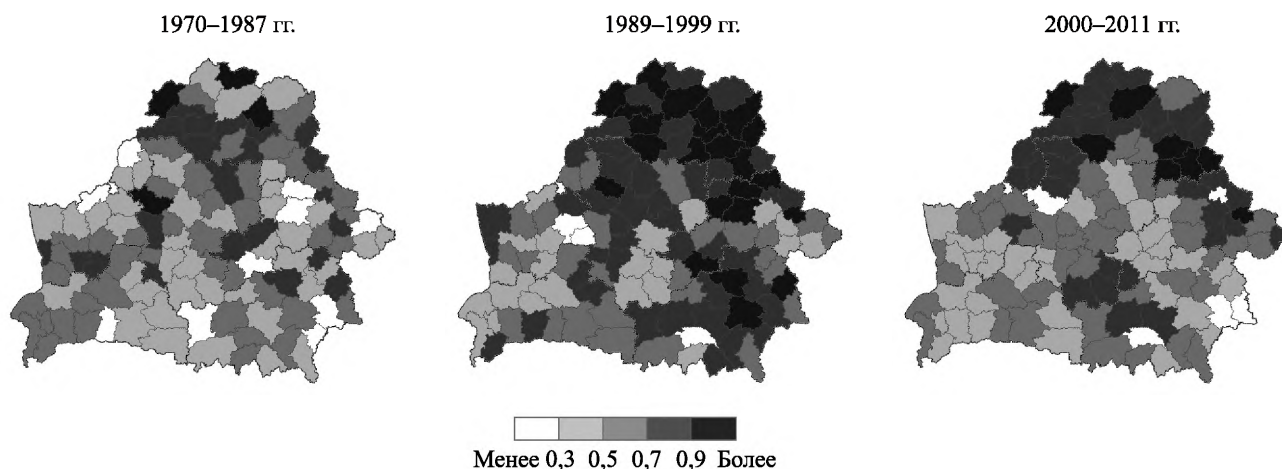


Рис. 3. Вклад изменчивости погоды в общую дисперсию урожайности картофеля  
Fig. 3. Contribution weather variability in total dispersion potato yield

Таблица 3

**Дифференциация вклада изменчивости погоды в общую дисперсию  
урожайности картофеля в Республике Беларусь в 1970–2011 гг.**

Table 3

**Differentiation of the contribution of weather variability  
in total dispersion of potato yield in Belarus in 1970–2011**

| Область              | Вклад изменчивости погоды в величину дисперсии урожайности ( $\sigma_m^2$ ) |           |           | Коэффициент вариации ( $C_v$ ), % |           |           |
|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------------------------------|-----------|-----------|
|                      | Год                                                                         |           |           |                                   |           |           |
|                      | 1970–1987                                                                   | 1989–1999 | 2000–2011 | 1970–1987                         | 1989–1999 | 2000–2011 |
| Брестская            | 0,49                                                                        | 0,57      | 0,51      | 18                                | 27        | 24        |
| Витебская            | 0,83                                                                        | 0,9       | 0,69      | 16                                | 9         | 29        |
| Гомельская           | 0,49                                                                        | 0,71      | 0,51      | 32                                | 26        | 34        |
| Гродненская          | 0,57                                                                        | 0,52      | 0,46      | 26                                | 36        | 40        |
| Минская              | 0,6                                                                         | 0,69      | 0,61      | 28                                | 23        | 23        |
| Могилёвская          | 0,64                                                                        | 0,7       | 0,51      | 29                                | 29        | 40        |
| Республика Беларусь: |                                                                             |           |           |                                   |           |           |
| по районам           | 0,61                                                                        | 0,69      | 0,55      | 31                                | 29        | 34        |
| по областям          | 0,61                                                                        | 0,69      | 0,55      | 21                                | 19        | 16        |

Территориальная дифференциация вклада погодных условий в колебания урожайности картофеля по коэффициенту вариации  $C_v$  позволяет выявить и другие особенности климатических воздействий (см. табл. 3). Так, в конце XX в. в Витебской области отмечалось снижение  $C_v$  при росте абсолютного значения вклада погодных условий в общую дисперсию урожайности, т. е. межрайонные различия постепенно сглаживались. В то же время в Гродненской области при уменьшении влияния погоды на урожайность  $C_v$  возрастает, а значит, увеличиваются различия между районами в уровне агротехники.

Изменение  $C_v$  в целом для районов Республики Беларусь также свидетельствует об усилении дифференциации по степени зависимости от погодных условий в начале XXI в., хотя в кризисный период (1989–1999) межрайонные различия были наименьшими.

Межобластные различия, оцениваемые по  $C_v$  средних для каждой области погодных составляющих колебаний урожайности, постепенно уменьшаются от первого временного интервала к последующим. Наибольшее значение  $C_v$  в первом промежутке определялось ощутимым по сравнению с другими областями вкладом метеоусловий в колебания урожайности на территории Витебской области (0,83). Последовавшие изменения климатических показателей и преобразования в экономической сфере привели к росту зависимости урожайности от погоды на 0,08 (прирост составил 13 %). Наибольший относительный



прирост был отмечен в Гомельской области (44 %), наименьший – в Гродненской, где зависимость урожайности от погодных условий снизилась на 0,05 (или 9 % относительно первого промежутка). При этом в Витебской области, где обусловленность урожайности погодными условиями и в прежние годы была очень высокой, относительный прирост составил лишь 8 %.

Таким образом, дифференциация районов внутри каждой области растёт, тогда как различия между областями сглаживаются.

Анализ урожайности сахарной свеклы проводился по аналогии с анализом урожайности картофеля: использовались те же временные промежутки и полиномы тех же порядков для линий трендов (см. рис. 1).

Динамика урожайности сахарной свеклы и картофеля имеет сходные черты. Однако в последнее десятилетие XX в. продуктивность сахарной свеклы, преодолев снижение, возобновила рост быстрее, чем урожайность картофеля. Это можно объяснить как введением в севооборот новых сортов и гибридов, так и ростом термических ресурсов на территории Беларуси. Причем если в среднем по исследуемым районам урожайность сахарной свеклы в первом временном промежутке была чуть ниже 250 ц/га, то во втором превысила 260 ц/га. В начале XXI в. максимальная урожайность корнеплодов преодолела значение 600 ц/га, а по рассматриваемым районам составила в среднем около 350 ц/га. Лидером по урожайности сахарной свеклы на протяжении всего периода исследований остается Гродненская область.

Величина вклада погодных условий в дисперсию урожайности сахарной свеклы сопоставима с таковой для картофеля, однако при этом отмечается тенденция к снижению доли метеосоставляющей дисперсии урожайности в каждом последующем временном промежутке (табл. 4). В среднем по 20 исследуемым районам дисперсия урожайности сахарной свеклы в выделенных временных отрезках на 0,69; 0,54 и 0,43 определялась погодными условиями. Более детальный анализ выявил, что в Брестской области в первое десятилетие активизации климатических изменений (1989–1999) зависимость урожайности сахарной свеклы от погодных условий несколько снизилась. Возможно, это связано с приближением условий в регионе к оптимальным для названной культуры. Однако в последующие годы здесь отмечено новое повышение показателя, что говорит о необходимости применения адаптационных мер к изменившейся погоде. В административных районах Гродненской области в основном наблюдается направленное снижение зависимости урожайности сахарной свеклы от метеоусловий, а в районах Минской области – падение, следующее за ростом.

Таблица 4

Вклад изменчивости погоды в общую дисперсию урожайности сахарной свеклы

Table 4

Contribution weather variability in total dispersion sugar beet yield

| Область                               | Район         | Год       |           |           |
|---------------------------------------|---------------|-----------|-----------|-----------|
|                                       |               | 1970–1987 | 1989–1999 | 2000–2011 |
| Брестская                             | Берёзовский   | 0,47      | 0,35      | 0,41      |
|                                       | Брестский     | 0,67      | 0,21      | 0,48      |
|                                       | Жабинковский  | 0,84      | 0,34      | 0,89      |
|                                       | Ивановский    | 0,74      | 0,48      | 0,76      |
|                                       | Каменецкий    | 0,89      | 0,41      | 0,58      |
|                                       | Кобринский    | 0,86      | 0,42      | 0,66      |
|                                       | Пинский       | 0,71      | 0,13      | 0,55      |
| Среднее значение по Брестской области |               | 0,74      | 0,33      | 0,62      |
| Гродненская                           | Берестовицкий | 0,84      | 0,65      | 0,48      |
|                                       | Волковысский  | 0,64      | 0,53      | 0,66      |
|                                       | Гродненский   | 0,65      | 0,56      | 0,23      |
|                                       | Зельвенский   | 0,85      | 0,57      | 0,39      |
|                                       | Мостовский    | 0,61      | 0,54      | 0,39      |
|                                       | Щучинский     | 0,51      | 0,32      | 0,33      |



| Область                                                 | Район        | Год       |           |           |
|---------------------------------------------------------|--------------|-----------|-----------|-----------|
|                                                         |              | 1970–1987 | 1989–1999 | 2000–2011 |
| Среднее значение по Гродненской области                 |              | 0,68      | 0,53      | 0,41      |
| Минская                                                 | Клецкий      | 0,47      | 0,82      | 0,29      |
|                                                         | Копыльский   | 0,55      | 0,78      | 0,40      |
|                                                         | Несвижский   | 0,45      | 0,82      | 0,15      |
|                                                         | Слуцкий      | 0,77      | 0,79      | 0,19      |
|                                                         | Солигорский  | 0,42      | 0,75      | 0,32      |
|                                                         | Столбцовский | 0,84      | 0,80      | 0,29      |
|                                                         | Узденский    | 0,93      | 0,57      | 0,20      |
| Среднее значение по Минской области                     |              | 0,63      | 0,76      | 0,26      |
| Среднее значение по районам выращивания сахарной свеклы |              | 0,69      | 0,54      | 0,43      |

Таким образом, совпадение порядка уравниваний линий трендов для урожайности картофеля и сахарной свеклы подтверждает единые экономические тенденции. При этом восстановление и рост величины урожайности для сахарной свеклы в XXI в. происходят более активно, чем для картофеля, урожайность которого в исследуемый период лишь в 2011 г. вернулась на докризисный уровень. Изменчивость погоды вносит сопоставимый вклад в дисперсию урожайности обеих культур. Однако если доля погодной составляющей в дисперсии урожайности сахарной свеклы в среднем по рассматриваемым районам снижалась постоянно, то для картофеля во втором временном промежутке она выросла в сравнении с первым и лишь в XXI в. отмечено ее уменьшение до минимума в пределах исследуемого интервала.

Следовательно, погодные условия в настоящее время больше благоприятствуют выращиванию сахарной свеклы. В то же время именно картофелеводство нуждается в реализации мер по адаптации к изменившимся климатическим условиям, а также в совершенствовании агротехники в целях сохранения лидирующих позиций Беларуси в данной отрасли растениеводства, экспорт продукции которой резко (почти в пять раз) увеличился в 2013 г. за счет роста поставок в Российскую Федерацию.

Обоснование мер по адаптации сельскохозяйственных культур и определение вклада метеорологических показателей и отдельных явлений в дисперсию урожайности представляют собой предмет исследования, который требует дальнейшей разработки.

### Библиографические ссылки

1. Картофель // Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь [Электронный ресурс]. URL: <http://mshp.minsk.by/agriculture/crop/potato/> (дата обращения: 10.11.2015).
2. Сахарная свекла // Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь [Электронный ресурс]. URL: <http://mshp.minsk.by/agriculture/crop/sugarbeet/> (дата обращения: 10.11.2015).
3. Сельское хозяйство Республики Беларусь : стат. сб. Минск, 2016.
4. Давыденко О. В. Динамика средних годовых температур воздуха и их внутригодовых вариаций на территории Беларуси // Вестн. БГУ. Сер. 2, Химия. Биология. География. 2014. № 2. С. 89–95.

### References

1. Potato. *Ministry of Agriculture and food of the Republic of Belarus* [Electronic resource]. URL: <http://mshp.minsk.by/agriculture/crop/potato/> (date of access: 10.11.2015) (in Russ.).
2. Sugar beet. *Ministry of Agriculture and food of the Republic of Belarus* [Electronic resource]. URL: <http://mshp.minsk.by/agriculture/crop/sugarbeet/> (date of access: 10.11.2015) (in Russ.).
3. Sel'skoe khozyaistvo Respubliki Belarus' : stat. sb. [Agriculture of the Republic of Belarus : stat. compend.]. Minsk, 2016 (in Russ.).
4. Davydenko O. V. Dynamics of the average annual air temperatures and their variations interannuales in Belarus. *Vestnik BGU. Ser. 2, Khim. Biol. Geogr.* 2014. No. 2. P. 89–95 (in Russ.).

Статья поступила в редколлегию 18.11.2016.  
Received by editorial board 18.11.2016.

## ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ТРАНСФОРМАЦИИ СОВРЕМЕННОГО МИРОВОГО МИГРАЦИОННОГО ПРОСТРАНСТВА И МЕСТО БЕЛАРУСИ В НЕМ

*В. С. ЗАГОРЕЦ<sup>1)</sup>, И. В. ЗАГОРЕЦ<sup>2)</sup>*

<sup>1)</sup>Белорусский государственный экономический университет,  
Партизанский пр., 26, 220070, г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2)</sup>Академия управления при Президенте Республики Беларусь,  
ул. Московская, 17, 220007, г. Минск, Республика Беларусь

Проанализированы современные тенденции и процессы мирового миграционного пространства. Особое внимание уделено последним направлениям развития легальной и нелегальной миграции в европейском регионе. Исследованы ключевые факторы, детерминирующие международную миграцию населения, а также ее объемы и география. Отмечено, что мигранты из восточноевропейских стран выезжают в страны ЕС, как правило, на основе легально полученных разрешений на жительство, а выходцы из Африки и Азии – преимущественно как политические беженцы, при этом миграции строго локализованы. Определено место Республики Беларусь в мировом миграционном пространстве. Изучены главные направления миграции человеческих и трудовых ресурсов страны. Установлено, что в современном мировом миграционном пространстве Беларусь играет в первую очередь роль донора, или поставщика, человеческих и трудовых ресурсов. Обоснована актуальность разработки комплекса средне- и долгосрочных мероприятий, призванных уменьшить отток собственных человеческих и трудовых ресурсов в другие государства и привлечь из них достаточное количество высококвалифицированной рабочей силы.

**Ключевые слова:** международные миграции; факторы миграции; беженство; современное мировое миграционное пространство.

## THE MAIN DIRECTIONS OF TRANSFORMATION OF MODERN GLOBAL MIGRATION SPACE AND THE PLACE OF BELARUS IN IT

*U. S. ZAHARETS<sup>a</sup>, I. V. ZAHARETS<sup>b</sup>*

<sup>a</sup>Belarusian State Economic University, Partizanskii avenue, 26, 220070, Minsk, Republic of Belarus

<sup>b</sup>Academy of Public Administration under the Aegis of the President of the Republic of Belarus,  
Moskovskaya street, 17, 220007, Minsk, Republic of Belarus  
Corresponding author: zaharets\_iryana@tut.by

The article analyzes the current trends and processes of global migration space. Special attention is paid to the latest trends of legal and illegal migration in the European region. The basic factors determining international migration, its volume and geography. Noted that migrants from Eastern European countries enter the EU mainly on the basis

### Образец цитирования:

Загорец В. С., Загорец И. В. Основные направления трансформации современного мирового миграционного пространства и место Беларуси в нем // Журн. Белорус. гос. ун-та. География. Геология. 2017. № 1. С. 89–98.

### For citation:

Zaharets U. S., Zaharets I. V. The main directions of transformation of modern global migration space and the place of Belarus in it. *J. Belarus. State Univ. Geogr. Geol.* 2017. No. 1. P. 89–98 (in Russ.).

### Авторы:

**Владимир Семенович Загорец** – кандидат экономических наук; доцент кафедры налогов и налогообложения факультета финансов и банковского дела.

**Ирина Викторовна Загорец** – кандидат географических наук; доцент кафедры управления региональным развитием факультета подготовки и переподготовки Института государственной службы.

### Authors:

**Uladzimir Zaharets**, PhD (economics); associate professor at the department of taxes and taxation, faculty of finance and banking.

zaharets.uladzimir@gmail.com

**Iryna Zaharets**, PhD (geography); associate professor at the department of regional development, faculty training and retraining, Institute of civil service.

zaharets\_iryana@tut.by

of legally obtained residence permits, while immigrants from Africa and Asia primarily as political refugees. Migration is geographically localized. The place of the Republic of Belarus in the global migration space. We study the main directions of migration of human and labor resources of the country. Noted that contemporary global migration space country performs first the role of the donor or vendor of human and labor resources. The urgency of the development of complex medium and long-term measures to reduce the outflow of its own human and labor resources in other countries and attraction of these countries, a sufficient number of qualified workers.

**Key words:** international migration; factors migration; refuge; migration modern world space.

Одна из важнейших характеристик современного мира – интенсификация процессов глобализации, которая проникает во все составляющие мирового развития и особенно активно затрагивает экономическую и информационную сферы. Не остаются в стороне от нее и демографические процессы, что проявляется прежде всего в резком усилении международной миграции. В настоящее время в мировом миграционном пространстве происходят значительные изменения. Они пока не вполне осознаны в научной среде и тем более не переведены в плоскость нормативно-правовых решений в области государственного регулирования внешней миграции. В то же время для многих стран эти процессы стали одним из главных политических вызовов современности. Несмотря на то что в Беларуси международная миграция и связанные с ней проблемы еще не достигли такой остроты, как в других странах, наша миграционная стратегия также нуждается в переосмыслении, поиске новых путей, методов и механизмов воздействия на процессы внешней миграции.

Изучение современной миграции находится в сфере внимания исследователей во многих странах мира. Активные разработки в этой области на постсоветском пространстве ведутся в России, где существуют научные центры, занимающиеся данной проблематикой. В Беларуси количество таких исследований существенно меньше. При этом в большей части публикаций содержится анализ внешней миграции населения Беларуси только на основе официальных национальных статистических данных по въезду и выезду из страны. Это существенно искажает величину, направление, сальдо внешней миграции и, соответственно, ее роль в формировании человеческих и трудовых ресурсов страны [1; 2]. Ошибочность тезиса о положительном сальдо внешней миграции отмечалась нами в ряде работ, основанных на анализе обширной статистической информации – как национальной, так и зарубежной [3]. Более реалистичной оценкой внешней миграции Беларуси, ее объема, направления и экономического значения для государства отличались исследования специалистов Белорусского института стратегических исследований, в частности А. Елисеева [4].

Существуют три главных фактора, детерминирующих международные перемещения человеческих ресурсов в современном мире:

- экономический;
- политический;
- демографический.

*Экономический* фактор основан на различиях в уровне развития отдельных стран и территорий. При этом главным направлением современной международной миграции является перемещение в наиболее развитые государства мира. За первое десятилетие XXI в. положительное сальдо миграции стран с высоким уровнем развития составило почти 40 млн человек (табл. 1).

Таблица 1

Сальдо внешней миграции по группам стран мира с 1990 по 2010 г., млн чел. [5; 6]

Table 1

Balance of external migration by groups of countries of the world from 1990 to 2010, m people [5; 6]

| Группа стран                       | Год       |           |           |
|------------------------------------|-----------|-----------|-----------|
|                                    | 1990–1995 | 2000–2005 | 2005–2010 |
| С низким уровнем доходов           | –3286     | –4000     | –6818     |
| Со средним уровнем доходов         | –9673     | –11 987   | –16 342   |
| С низким и средним уровнем доходов | –12 959   | –15 987   | –23 160   |
| С высоким уровнем доходов          | 12 929    | 15 970    | 22 906    |
| Еврозона                           | 5285      | 5036      | 6336      |

В десятку крупнейших нетто-импортеров человеческих ресурсов за этот период вошли США, Испания, ОАЭ, Италия, Канада, Великобритания, Австралия, Германия, Россия и Саудовская Аравия. Из них только Россия не относится к странам с высокими доходами населения, но она активно привлекала мигрантов с постсоветского пространства. Максимальный миграционный приток имели США, принявшие почти 16 млн выходцев из других государств [5; 6].

Среди стран – крупнейших доноров, или поставщиков, мигрантов – за анализируемый период первую пятерку составили Пакистан, Индия, Мексика, Китай и Бангладеш. Кроме них, в группе весомых нетто-экспортеров человеческих ресурсов находились семь африканских, три азиатских, два латиноамериканских, а также семь постсоциалистических государств [5; 6].

При этом интенсивность миграционного обмена сегодня существенно возросла, поскольку увеличилась дифференциация в уровне экономического развития стран. Разрыв в размере валового внутреннего продукта (ВВП) на душу населения между странами, имеющими максимальную и минимальную величину данного показателя, составляет более 600 раз [7]. С учетом возможностей, которые появились благодаря интернету и современному телевидению, а также в условиях повышения информационной осведомленности граждан растет неудовлетворенность существующим уровнем жизни в менее развитых странах, что мотивирует их жителей эмигрировать. В целом отмечается четкая зависимость объема и направления международной трудовой миграции в том или ином государстве от величины его ВВП на душу населения [3]. Конечно, международная миграция человеческих ресурсов не ограничивается только одним направлением – из наименее развитых стран в более развитые. Значительные потоки мигрантов наблюдаются и между государствами с близким уровнем экономического развития. Существует также минимальное по размеру обратное движение населения из более развитых в менее развитые страны. Однако это не отменяет главной детерминанты направления современной экономической миграции – движения населения в более развитые в экономическом отношении государства.

Наиболее притягательными для потенциальных мигрантов являются страны ЕС, поэтому в настоящем исследовании главное внимание уделено миграциям в этом регионе. Его государства становятся реципиентами для мигрантов как из близлежащих стран, например восточноевропейских (Россия, Украина, Молдова, Беларусь), так и из стран Азии и Африки. При этом мигранты из восточноевропейских регионов въезжают в страны ЕС, как правило, на основе легально полученных разрешений на жительство, а выходцы из Африки и Азии – преимущественно как нелегалы и беженцы.

Объем легальной миграции в ЕС (количество выданных видов на жительство) в 2014 г. составил 2,3 млн разрешений. Это на 9 % меньше, чем в 2008 г. В 2015 г. объем миграции вырос до 2,6 млн человек, увеличившись по сравнению с предыдущим годом на 12,1 % и достигнув максимума с 2008 г. [8]. Три четверти всех разрешений в 2014–2015 гг. были выданы шестью странами: Соединенным Королевством, Польшей, Германией, Францией, Италией и Испанией.

Среди основных причин миграции названы следующие:

- семейный мотив (28,9 %);
- трудоустройство (27,0 %);
- получение образования (20,2 %).

При этом отмечается быстрый рост трудовых миграций (на 23,5 %). В географии миграции в рамках ЕС наблюдаются значительные различия. На две страны – лидера по приему мигрантов (Соединенное Королевство и Польшу) в последнее время приходилось 40–45 % всех выданных разрешений. Наиболее стремительный рост зафиксирован в Польше (в 1,5 раза). Если в качестве главной причины получения разрешений на жительство в «старые» страны ЕС назывался семейный мотив, то в Польшу более половины мигрантов ехали для трудоустройства. Соединенное Королевство лидирует по количеству приехавших в целях получения образования (табл. 2).

География стран – доноров европейской миграции достаточно обширна, хотя более половины новых мигрантов прибыли из десяти стран мира. Лидером по числу мигрантов в ЕС второй год подряд является Украина. При этом направления миграции из отдельных государств строго локализованы. Так, сирийцы преобладают среди получивших разрешение на жительство в Германии, Дании, Нидерландах, Австрии и Швеции, где наиболее высокий уровень жизни и «мягкое» миграционное законодательство. Американцы занимают первое место среди мигрантов в высокоразвитые страны Европы: Соединенное Королевство, Швейцарию, Люксембург и Ирландию.

Значительная часть мигрантов направляются в близлежащие страны ЕС. Например, большинство получивших вид на жительство в Польше (93,3 %) – белорусы и украинцы. Последние также лидируют среди мигрантов в Чехии, Эстонии, Литве и Словакии, алжирцы – во Франции (табл. 3).



Таблица 2

Количество выданных разрешений на жительство в ЕС в 2014 и 2015 гг. [8]

Table 2

First residence permits issued in the EU by reason in 2014 and 2015 [8]

| Страна                  | Общее количество разрешений |           | В расчете на 1000 жителей |      | Цель выдачи разрешения, % |       |                       |      |                 |      |                |      |
|-------------------------|-----------------------------|-----------|---------------------------|------|---------------------------|-------|-----------------------|------|-----------------|------|----------------|------|
|                         |                             |           |                           |      | Семейные причины          |       | Получение образования |      | Трудоустройство |      | Прочие причины |      |
|                         | Год                         |           |                           |      |                           |       |                       |      |                 |      |                |      |
|                         | 2014                        | 2015      | 2014                      | 2015 | 2014                      | 2015  | 2014                  | 2015 | 2014            | 2015 | 2014           | 2015 |
| Соединенное Королевство | 567 806                     | 633 017   | 8,8                       | 9,7  | 17,0                      | 14,2  | 31,2                  | 36,2 | 20,6            | 18,7 | 31,2           | 30,9 |
| Польша                  | 355 418                     | 541 583   | 9,4                       | 14,3 | 0,3                       | 0,2   | 8,4                   | 7,3  | 58,0            | 69,3 | 33,3           | 23,3 |
| Германия                | 237 627                     | 194 813   | 2,9                       | 2,4  | 38,6                      | 68,7  | 20,8                  | 8,6  | 12,3            | 6,9  | 28,3           | 15,8 |
| Франция                 | 218 268                     | 226 630   | 3,3                       | 3,4  | 42,2                      | 40,8  | 30,0                  | 30,9 | 8,8             | 9,3  | 19,1           | 19,1 |
| Италия                  | 204 335                     | 178 884   | 3,4                       | 2,9  | 48,5                      | 61,1  | 11,9                  | 12,8 | 26,1            | 9,7  | 13,5           | 16,4 |
| Испания                 | 188 537                     | 192 931   | 4,1                       | 4,2  | 53,5                      | 53,1  | 15,6                  | 17,2 | 22,5            | 21,5 | 8,4            | 8,2  |
| Мальта                  | 9895                        | 9984      | 23,2                      | 23,1 | 21,0                      | 21,5  | 29,6                  | 23,5 | 20,7            | 27,9 | 28,8           | 27,2 |
| Кипр                    | 13 841                      | 15 569    | 16,2                      | 18,4 | 15,3                      | 16,65 | 10,4                  | 14,3 | 57,7            | 47,1 | 16,6           | 22,0 |
| Всего                   | 2 305 758                   | 2 605 629 | 4,5                       | 5,0  | 29,5                      | 28,9  | 20,7                  | 20,2 | 24,8            | 27,2 | 25,0           | 23,8 |

Примечание. Приведены цифры для стран, выдавших наибольшее количество разрешений. Строка «Всего» отражает ситуацию по всем странам ЕС.

Таблица 3

Впервые выданные разрешения на жительство по гражданству и стране получения в 2015 г. [8]

Table 3

First residence permits issued in the EU by citizenship in 2015 [8]

| Страна                  | Общее количество разрешений на жительство | Первая группа | % общего количества | Вторая группа | % общего количества |
|-------------------------|-------------------------------------------|---------------|---------------------|---------------|---------------------|
| Бельгия                 | 50 085                                    | Марокко       | 11,4                | Сирия         | 8,0                 |
| Болгария                | 9595                                      | Россия        | 29,0                | Турция        | 26,7                |
| Чехия                   | 68 804                                    | Украина       | 33,7                | Россия        | 16,4                |
| Германия                | 194 813                                   | Сирия         | 13,5                | Турция        | 9,5                 |
| Франция                 | 226 630                                   | Алжир         | 12,1                | Марокко       | 11,7                |
| Польша                  | 541 883                                   | Украина       | 79,4                | Беларусь      | 13,9                |
| Испания                 | 192 931                                   | Марокко       | 19,3                | Китай         | 6,5                 |
| Соединенное Королевство | 633 017                                   | США           | 31,8                | Китай         | 12,8                |
| Латвия                  | 6357                                      | Россия        | 32,8                | Украина       | 25,0                |
| Греция                  | 37 464                                    | Албания       | 70,3                | Россия        | 3,1                 |

Причины миграции в разрезе стран-доноров ощутимо различаются. Если граждане США и Китая едут в Европу в основном в целях получения образования, то из Украины и Индии – для трудоустройства. Беларусь входит в число стран – лидеров поставщиков мигрантов в ЕС, опережая даже Россию (табл. 4). Однако при этом причины получения вида на жительство в странах ЕС нашими гражданами не вполне понятны: более 80 % из них указали прочие цели.

Таблица 4

Предоставление вида на жительство в ЕС в 2014 и 2015 гг. по гражданству [8]

Table 4

Main citizenships of persons granted first residence permits in the EU by reasons and citizenship in 2014 and 2015 [8]

| Страна   | Общее количество разрешений |           | Цель выдачи разрешения, % |      |                       |       |                 |      |                |      |
|----------|-----------------------------|-----------|---------------------------|------|-----------------------|-------|-----------------|------|----------------|------|
|          |                             |           | Семейные причины          |      | Получение образования |       | Трудоустройство |      | Прочие причины |      |
|          | Год                         |           |                           |      |                       |       |                 |      |                |      |
|          | 2014                        | 2015      | 2014                      | 2015 | 2014                  | 2015  | 2014            | 2015 | 2014           | 2015 |
| Украина  | 302 772                     | 499 992   | 7,1                       | 5,9  | 7,3                   | 6,1   | 68,2            | 75,2 | 17,4           | 12,9 |
| США      | 199 244                     | 261 760   | 10,7                      | 8,5  | 18,3                  | 30,85 | 20,5            | 14,5 | 50,5           | 46,2 |
| Китай    | 169 657                     | 167 118   | 21,0                      | 20,9 | 59,4                  | 61,2  | 13,1            | 11,0 | 6,5            | 6,9  |
| Индия    | 134 881                     | 135 514   | 33,8                      | 38,4 | 16,3                  | 15,4  | 40,5            | 38,5 | 9,3            | 7,7  |
| Марокко  | 96 273                      | 96 099    | 66,8                      | 70,5 | 10,6                  | 11,0  | 15,7            | 11,4 | 6,9            | 7,1  |
| Сирия    | 81 899                      | 104 134   | 18,2                      | 34,0 | 2,3                   | 1,5   | 1,7             | 1,0  | 77,7           | 63,5 |
| Беларусь | 80 442                      | 82 024    | 3,3                       | 3,7  | 4,5                   | 4,7   | 7,0             | 7,2  | 85,2           | 84,4 |
| Россия   | 73 821                      | 73 528    | 34,8                      | 37,2 | 21,3                  | 20,2  | 17,4            | 18,4 | 26,4           | 24,5 |
| Бразилия | 57 009                      | 57 027    | 28,2                      | 30,6 | 46,4                  | 42,7  | 13,8            | 13,1 | 11,6           | 13,6 |
| Турция   | 56 323                      | 58 131    | 48,6                      | 50,4 | 25,6                  | 23,7  | 9,0             | 8,4  | 16,8           | 17,5 |
| Всего    | 2 305 758                   | 2 605 629 | 29,5                      | 28,9 | 20,7                  | 20,2  | 24,8            | 27,2 | 25,0           | 23,8 |

Примечание. Приведены цифры для стран, выдавших наибольшее количество разрешений. Строка «Всего» отражает ситуацию по всем странам ЕС.

Наряду с экономическими процессами второй важной составляющей, детерминирующей современную транснациональную миграцию, является *политический* фактор. Многочисленные локальные войны и конфликты вызывают массовые перемещения населения как внутри стран, так и за их пределы. Рост вынужденного переселения наблюдается с середины 1990-х гг. в большинстве регионов мира, но в течение последних пяти лет его темпы ускорились.

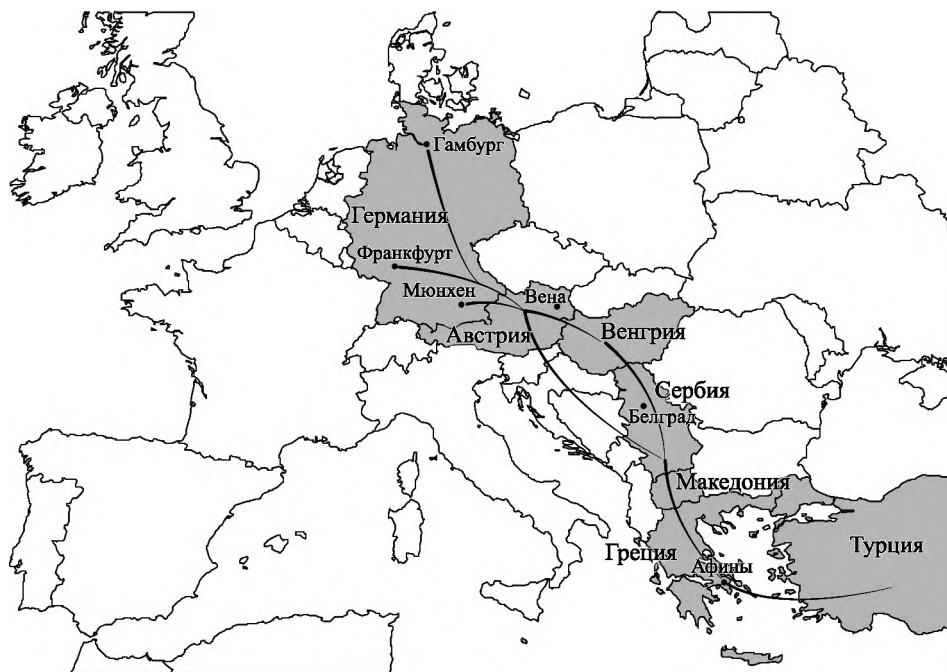
К концу 2014 г. почти 60 млн человек во всем мире находились в положении вынужденных переселенцев из-за преследований, конфликтов, проявлений насилия и нарушений прав человека. К их числу относились 19,5 млн беженцев, 38,2 млн внутренне перемещенных лиц (ВПЛ) и около 1,8 млн человек, ищущих убежища. Такое количество людей было наибольшим из когда-либо зарегистрированного, причем 13,9 млн человек стали перемещенными лицами только в 2014 г. Из 14,4 млн беженцев, подмандатных УВКБ ООН, более половины являются выходцами из трех стран: Афганистана, Сирии и Сомали [9].

В 2015 г. численность беженцев возросла еще больше. Данные ежегодного доклада УВКБ ООН «Глобальные тенденции» свидетельствуют о том, что на конец 2015 г. в мире насчитывалось уже 65,3 млн перемещенных лиц по сравнению с 59,5 млн всего 12 месяцев назад [10].

География мировых политических миграций обширна и затрагивает практически все регионы. Наибольшие объемы отмечены в Европе и Азии. В Азиатско-Тихоокеанском регионе по состоянию на конец 2014 г. нашли убежище 3,8 млн беженцев, 5 млн ВПЛ и 1,5 млн лиц без гражданства. Число беженцев в Европе в течение 2014 г. также резко возросло и достигло 3,1 млн человек (с учетом 1 млн сирийцев, зарегистрированных в Турции) [9].

В 2015–2016 гг. был отмечен значительный рост миграции в Европу, преимущественно нелегальной. Одним из ее основных маршрутов стал средиземноморский, которым на территорию ЕС прибыли более миллиона человек. В 2015 г. главным первичным реципиентом этих мигрантов являлась Греция, конечной точкой для большей части данной «миграционной волны» стала Германия (рисунок). За рассматриваемый период в страны ЕС через Грецию перебрались около 846 тыс. человек.

Вторым по значимости направлением миграции в ЕС в 2015 и 2016 гг. стал средиземноморский маршрут через Италию. В 2015 г. им воспользовались около 153 тыс. человек. Если в Греции преобладали выходцы из пяти стран: Сирии (455,4 тыс.), Афганистана (186,5 тыс.), Ирака (63,4 тыс.), Пакистана (23,3 тыс.) и Ирана (19,6 тыс.), то в Италии большую часть мигрантов составляли граждане Эритреи (37,9 тыс.), Нигерии (20,2 тыс.) и Сомали (11,2 тыс.) [11]. При этом мигранты не задерживались в странах первичного въезда в ЕС. Целью большинства из них являлись самые развитые государства региона, предоставляющие максимально льготный режим для мигрантов: Скандинавские страны, в первую



Маршрут мигрантов в Германию из Турции в 2015 г.  
Route migrants into Germany from Turkey in 2015

очередь Швеция, а также Великобритания и ФРГ. Подобная избирательность места пребывания ставит под сомнение чисто политические мотивы этих миграционных потоков. Кроме того, около 70 % нелегальных политических мигрантов в Европе являются не наиболее социально беззащитными группами населения, а молодыми мужчинами, оставившими на родине своих женщин и детей. Очевидно, что главная цель данных миграций – не защита от политических, религиозных и других преследований, а повышение благосостояния. Эти «беженцы» рассчитывают обосноваться в европейских странах и перевезти свои семьи, воспользовавшись существующей системой пособий и других социальных льгот. Таким образом, данные миграции во многом обусловлены экономическими причинами.

В 2016 г. география и объем нелегальной миграции в ЕС претерпели серьезные изменения. Вместо основного маршрута мигрантов из Турции в Грецию более значимым стал маршрут в Италию. Количество прибывших в нее по морю мигрантов и беженцев возросло в 2016 г. по сравнению с 2015 г. на 15 % и по состоянию на конец сентября превысило 164 тыс. человек (табл. 5).

Таблица 5

Миграции населения через Средиземное море в 2015–2016 гг. [12]

Table 5

Population migration across the Mediterranean in 2015–2016 [12]

| Страна прибытия | Прибывшие 1 января – 9 ноября 2016 г., чел. | Прибывшие 1 января – 9 ноября 2015 г., чел. |
|-----------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|
| Италия          | 164 822                                     | 140 987                                     |
| Греция          | 170 322                                     | 587 939                                     |
| Испания         | 5445                                        | –                                           |
| Всего въехавших | 340 778                                     | 728 926                                     |

Между тем большинство реальных беженцев просят убежища не в развитых европейских или американских странах, а в ближайших к зоне военных и политических конфликтов государствах. В целом в 2015 г. 86 % беженцев в ведении УВКБ ООН находились в развивающихся странах, прежде всего это относится к Азии. Список государств, принявших наибольшее число беженцев, возглавляет Турция (2,5 млн), на втором месте – Пакистан (1,5 млн). В Ливане оказалось больше беженцев в расчете на тысячу жителей, чем в любой другой стране (183 чел.). Африканские страны – Демократическая Республика Конго и Эфиопия – приняли максимум беженцев относительно масштабов экономики (471 и 453 беженца на каждый доллар ВВП/душу населения по паритету покупательной способности соответственно). Более половины беженцев (54 %) составили выходцы из трех стран: Сирии (4,9 млн), Афганистана (2,7 млн) и Сомали (1,1 млн) [13].

Третьим фактором, детерминирующим современные процессы международной миграции, стал *демографический переход*, а точнее, несовпадение сроков прохождения его этапов в различных странах и группах стран. Наряду с влиянием на естественное движение населения внутри государств он привел к резкому усилению механического перемещения населения, или миграции. Значительная часть стран в настоящее время осуществляют воспроизводство собственных человеческих ресурсов по суженному типу. Иными словами, для них характерна естественная убыль населения. Между тем в других государствах, преимущественно африканских, воспроизводство населения происходит по резко расширенному типу. Последствиями этого являются, во-первых, снижение численности населения и трудовых ресурсов в отдельных странах и группах стран, во-вторых, миграции из трудоизбыточных в трудонедостаточные государства и регионы.

Отмечая возрождение роли миграции как важного фактора в формировании человеческих ресурсов, некоторые демографы даже называют ее третьим этапом демографического перехода [14]. Низкий уровень рождаемости влияет на политику в отношении миграции, которая, в свою очередь, отражается на составе населения. В итоге это может привести к его полному изменению и вытеснению нынешнего населения либо мигрантами, либо их потомками, либо гражданами смешанного происхождения. Если нынешние тенденции сохранятся до конца столетия, то миграция станет главным фактором, определяющим характеристики населения не только отдельных стран, но и целых континентов со всеми вытекающими из этого последствиями.

Республика Беларусь в настоящее время не вовлечена в большинство упомянутых выше миграционных потоков (за исключением миграции из Украины). В современном мировом миграционном пространстве она играет в первую очередь роль донора, или поставщика, человеческих и трудовых ресурсов.

После распада СССР и трансформации внутренних миграций в международные анализ миграционного движения в Беларуси, особенно со странами СНГ, стал затруднен. Учет миграции, мигрантов, лиц иностранного происхождения является очень сложным, в силу этого процессы миграции не поддаются такому прямому и простому анализу, как, например, рождаемость и смертность. По общепринятой методике учет миграции осуществляется по месту прибытия. Если в отношении внутренней миграции это не вызывает ощутимых искажений статистических данных, то в случае внешней миграции возникают серьезные сомнения не столько в достоверности сведений, сколько в их полноте.

Значительная часть как временных, так и постоянных эмигрантов никакими государственными органами страны не учитываются и не попадают в данные Национального статистического комитета по внешней миграции. По этой причине общее количество эмигрантов существенно занижается, что приводит к искажению результата, или сальдо международной миграции между Беларусью и другими государствами. По информации Национального статистического комитета Республики Беларусь, сальдо внешней миграции населения нашей страны почти всегда было и остается до сих пор положительным, хотя при анализе данных стран – реципиентов белорусских мигрантов картина меняется на противоположную: сальдо оказывается не просто отрицательным, а резко отрицательным, измеряющимся сотнями тысяч человек.

Основным направлением миграции трудовых ресурсов из Беларуси является восточное. Главная детерминанта этого направления трудовой миграции – дифференциация в заработной плате, а также минимальные административные барьеры, длительное проживание белорусов и россиян в одной стране и, следовательно, близость их ментальности.

Оценить реальные объемы миграций населения России и Беларуси достаточно проблематично, особенно с учетом временной трудовой миграции. Выводы о результатах безвозвратной постоянной миграции можно сделать, используя данные о прибытии мигрантов Федеральной службы государственной статистики Российской Федерации и Национального статистического комитета Республики Беларусь. В целом их сравнение показывает, что до 2010 г. сальдо миграции для Беларуси было положительным, но составляло не более 3,9 тыс. человек [15, с. 36]. За следующий период (2011–2015) сальдо миграции стало отрицательным. При учете мигрантов по месту прибытия (в Беларуси или России) постоянные миграционные потери нашей страны за пять последних лет составили 33,8 тыс. человек, при этом миграционная убыль имеет тенденцию к усугублению (табл. 6).

Таблица 6

Миграции населения России и Беларуси за 2011–2015 гг., чел. [16; 17]

Table 6

Migration of the population of Russia and Belarus for the period 2011–2015, people [16; 17]

| Направление миграции         | Год    |        |        |        |        |
|------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                              | 2011   | 2012   | 2013   | 2014   | 2015   |
| Прибыли в Россию из Беларуси | 10 182 | 16 564 | 15 748 | 17 931 | 17 741 |
| Прибыли в Беларусь из России | 9666   | 8560   | 9150   | 9131   | 7837   |
| Сальдо миграции для Беларуси | –516   | –8004  | –6598  | –8800  | –9904  |



Трудовая миграция из Беларуси в Россию многократно превышает безвозвратную. В России, по данным Федеральной миграционной службы, в начале 2015 г. находились 517 828 граждан нашей страны, при этом за год их численность выросла на 127 264 человека [18]. Дальнейшее развитие миграций в этом направлении может интенсифицироваться еще в большей степени. Опыт наших ближайших западных соседей – Польши и Литвы – показывает, что их вступление в ЕС и ликвидация барьеров на пути миграции человеческих ресурсов вызвали ее резкий рост [19, с. 83–85]. Дальнейшее углубление интеграции в рамках ЕАЭС по пути, аналогичному европейскому, может привести к такому же увеличению эмиграции из Беларуси в Россию.

Наряду с дифференциацией в заработной плате важным фактором, детерминирующим миграционные процессы в западном направлении, является то, что белорусы, как и украинцы, восполняют в странах-соседах убыль трудовых ресурсов, образующуюся за счет миграции их собственных кадров в более развитые страны Европы. Основным государством, принимающим белорусских трудовых мигрантов на данном направлении, является Польша. Трудовая миграция в эту страну представлена не только временными мигрантами, некоторые становятся постоянными жителями европейских стран и учитываются в переписях, часть из них получают не просто вид на жительство, а гражданство. Так, безвозвратная, официально регистрируемая эмиграция из Беларуси в Польшу составляет около 200 человек в год [20], а в странах ЕС, по данным последних переписей населения, проводившихся в 2011 г., проживали около 200 тыс. человек, рожденных в Республике Беларусь [21]. Как упоминалось выше, только за последние два года белорусы получили более 162 тыс. разрешений на жительство в странах ЕС. Таким образом, с учетом анализа данных стран-реципиентов общее сальдо и трудовой миграции, и миграции в целом является не просто отрицательным, а резко отрицательным для нашей страны. При этом необходимо учитывать, что трудовая миграция, трактуемая некоторыми исследователями [1] как временная, может продолжаться много лет и переходить в безвозвратную.

Обратный приток человеческих и трудовых ресурсов в Беларусь существенно уступает их оттоку в другие, более развитые страны. Что касается прибытия постоянных мигрантов, то, согласно официальным данным Национального статистического комитета Республики Беларусь, около 80 % всех приехавших к нам в последние годы составляют граждане стран СНГ. Лидерами традиционно являются Российская Федерация и Украина [22, с. 417].

По данным Департамента по гражданству и миграции МВД Беларуси, на 1 июля 2016 г. всего в нашей стране находилось 54,5 тыс. иностранцев, имеющих разрешение на временное проживание (в 2015 г. – 59,5 тыс.), из них 11,4 тыс. человек прибыли к супругу или близкому родственнику, свыше 15,5 тыс. – на учебу, почти 17,2 тыс. – по служебным делам, а также более 179,5 тыс. граждан проживали постоянно (в 2015 г. – 177,8 тыс.) [23]. В последние годы основной прирост прибывающих в Беларусь на постоянное и временное проживание произошел за счет украинцев.

Зарегистрированная временная трудовая миграция в Беларусь за последние несколько лет была достаточно стабильной. Большинство въехавших в Беларусь в 2015 г. на работу иностранцев составили граждане Китая (4074 человека), Украины (3332 человека) и Узбекистана (300 человек). По рабочим специальностям в нашу страну прибыло максимальное число трудящихся-иммигрантов – 5524 человека, в качестве квалифицированных работников и специалистов въехали 2344 человека, на должности руководителей – 576. Сальдо зарегистрированной органами МВД внешней трудовой миграции Беларуси на протяжении 2011–2015 гг. было положительным и возрастало с 2011 г. (2912 человек) до 2014 г. (32 427 человек). В 2015–2016 гг. количество приехавших начало сокращаться, а выехавших – возрастать, за счет чего положительное сальдо официально зарегистрированной трудовой миграции существенно уменьшилось [24].

В то же время миграция в Беларусь, вызванная политическими причинами, в последние годы значительно возросла. Начиная с 2014 г. в связи с событиями в юго-восточных регионах Украины, а также возникновением вооруженных конфликтов в ряде арабских государств наметилась тенденция к увеличению обращений от иностранцев с ходатайствами о предоставлении статуса беженца или дополнительной защиты в Республике Беларусь (далее – ходатайство о защите). Если в 2013 г. к рассмотрению было принято 208 ходатайств о защите, то в 2014-м – 868, а в 2015-м – 1246 [23].

Дальнейшее развитие миграционных процессов, в которые вовлечена Республика Беларусь, будет обусловлено теми же, преимущественно экономическими и политическими, факторами. Ухудшение ситуации на белорусском рынке труда, сокращение размеров реальной заработной платы, рост безработицы будут способствовать усилению миграционных ожиданий населения и еще большему увеличению отрицательного сальдо международной миграции. В ходе опроса сотрудников белорусских предприятий специалистами компании «HeadHunter Беларусь» в 2012 г. выяснилось, что только 37 % из них счастливы на работе [25]. Этот факт, несомненно, должен учитываться при формировании стратегии Республики Беларусь в сфере внешней миграции.

Республика Беларусь, являясь частью мирового миграционного пространства, также вовлечена в процессы, происходящие в нем. Вместе с тем характер этих процессов и возникающие при этом проблемы отличаются от тех, с которыми сталкиваются страны ЕС. Для последних главный вызов состоит в резком росте бесконтрольной нелегальной миграции, приводящей к серьезным изменениям национального, религиозно-конфессионального состава населения и сопутствующим им социально-экономическим и политическим противоречиям. Поэтому первостепенными задачами, стоящими перед странами ЕС в сфере внешней миграции, являются борьба с нелегальной миграцией, сокращение ее размеров и восстановление контроля на внешних границах Шенгенской зоны.

Таким образом, Беларусь – преимущественно донор, поставщик собственных человеческих и трудовых ресурсов в другие страны. При этом внешняя миграция еще больше усугубляет их естественную убыль. Следовательно, для нашей страны актуальной является разработка и реализация комплекса средне- и долгосрочных мероприятий, призванных снизить отток собственных человеческих и трудовых ресурсов в другие страны, а также привлечь из них достаточное количество высококвалифицированной рабочей силы. В противном случае этот процесс может привести к ощутимым негативным последствиям и отрицательно сказаться на экономическом росте страны.

### Библиографические ссылки

1. Тихонова Л. И., Красинец Е. С. Трудовая миграция и миграционная политика Республики Беларусь в рамках интеграции в Евразийский экономический союз // Журнал междунар. права и междунар. отношений. 2015. № 2 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.evolutio.info/content/view/2401/235/> (дата обращения: 05.01.2016).
2. Шлахотько Л., Боброва А. Влияние трудовой миграции на Беларусь: демографическая перспектива // Научно-исследовательский отчет 2012/20 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.carim-east.eu/media/CARIM-East-2012> (дата обращения: 05.01.2016).
3. Загорец В. С., Загорец И. В. Стратегия Республики Беларусь в сфере внешней миграции: новые вызовы и возможности // Журнал междунар. права и междунар. отношений. 2016. № 1/2 [Электронный ресурс]. URL: <http://evolutio.info> (дата обращения: 05.10.2016).
4. Елисеев А. Миграция между Беларусью и ЕЭ: текущая ситуация и ожидаемое будущее // Белорус. ин-т стратег. исслед. [Электронный ресурс]. URL: <http://belinstitute.eu> (дата обращения: 05.01.2016).
5. World Development Indicators 2007. Washington, 2007. P. 360–362.
6. World Development Indicators 2012. Washington, 2012. P. 382–384.
7. GDP per capita (current US\$) // World Bank [Electronic resource]. URL: <http://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.PCAP>. CD (date of access: 04.09.2015).
8. Residence permits for non-EU citizens EU // Евростат [Electronic resource]. URL: <http://Euvrostat/newsrelease211/2016> (date of access: 10.11.2016).
9. Доклад Верховного комиссара Организации Объединенных Наций по делам беженцев (за период с 1 июля 2014 г. по 30 июня 2015 г.) // Журнал междунар. права и междунар. отношений. 2015. № 3 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.evolutio.info/content/view/2426/235/> (дата обращения: 05.01.2016).
10. Вынужденные перемещения населения побили все рекорды и затронули одного из 113 человек // УВКБ ООН [Электронный ресурс]. URL: [http://www.unhcr.ru/index.php?id=10&tx\\_ttnews%5Btt\\_news%5D=584&cHash=2866954b240cec0c2dcdb5752a97130e](http://www.unhcr.ru/index.php?id=10&tx_ttnews%5Btt_news%5D=584&cHash=2866954b240cec0c2dcdb5752a97130e) (дата обращения: 04.11.2016).
11. Mediterranean Update. Migration flows Europe: Arrivals and fatalities // Missing migrant project [Electronic resource]. URL: <http://missingmigrants.iom.int/en/mediterranean-update-31-december-2015> (date of access: 05.01.2016).
12. Mediterranean Migrant Arrivals Reach 340,778; Deaths at Sea: 4,271 Data // Int. org. migr. [Electronic resource]. URL: <http://www.ukrinform.ru/rubric-world/2116019-v-sredizemnom-more-spasli-bolee-tysaci-migrantov-desat-celovek-pogibli.html> (date of access: 11.11.2016).
13. Global trends forced displacement in 2015 // UNHCR The UN Refug. Agency [Electronic resource]. URL: <https://s3.amazonaws.com/unhcrsharedmedia/2016/2016-06-20-global-trends/2016-06-14-Global-Trends-2015.pdf> (date of access: 15.10.2015).
14. Коулмен Д. Третий демографический переход // Демоскоп Weekly. 2007. № 299/300 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.demoscope.ru/weekly/2007/0299/tema01> (дата обращения: 22.10.2015).
15. Загорец В. С. Проблемы учета внешней миграции населения Беларуси // Труд. Профсоюзы. Общество. 2012. № 3. С. 33–38.
16. Международная миграция // Федер. служба гос. статистики [Электронный ресурс]. URL: [http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_main/rosstat/ru/statistics/population/demography/#](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/population/demography/#). (дата обращения: 28.10.2016).
17. Демографический ежегодник Республики Беларусь // Нац. стат. ком. Респ. Беларусь [Электронный ресурс]. URL: [http://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/publications/izdania/public\\_compilation/](http://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/publications/izdania/public_compilation/) (дата обращения: 15.10.2016).
18. Опалев С., Мязина Е. Исследование РБК: как из России уезжают иностранцы // РБК [Электронный ресурс]. URL: <http://rbc.ru/society/04/02/2015/54d0c05e9a7947df123f23e1> (дата обращения: 28.10.2015).
19. Загорец В., Загорец И. Миграция человеческих ресурсов как фактор социально-экономического развития страны // Журнал междунар. права и междунар. отношений. 2013. № 4. С. 82–91.
20. Baza Demografia. Wyniki badań bieżących. III. Migracje ludności imigracje // Główny Urząd Statystyczny [Electronic resource]. URL: <http://demografia.stat.gov.pl/bazademografia> (date of access: 15.10.2015).
21. Census Data // Eur. Stat. Syst. [Electronic resource]. URL: <https://ec.europa.eu/CensusHub2/intermediate.do?&method=forwardResult> (date of access: 15.10.2015).
22. Демографический ежегодник Республики Беларусь – 2016 // Нац. стат. ком. Респ. Беларусь [Электронный ресурс]. URL: [http://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/solialnaya-sfera/demografiya\\_2/metodologiya-otvetstvennye-za-informatsionnoe-s\\_2/index\\_5770/](http://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/solialnaya-sfera/demografiya_2/metodologiya-otvetstvennye-za-informatsionnoe-s_2/index_5770/) (дата обращения: 07.11.2016).

23. Миграционная ситуация в Республике Беларусь // Деп. по гражданству и миграции МВД Респ. Беларусь [Электронный ресурс]. URL: <http://mvd.gov.by/ru/main.aspx?guid=9871> (дата обращения: 04.11.2016).
24. Учет трудящихся-эмигрантов и трудящихся-иммигрантов // Деп. по гражданству и миграции МВД Респ. Беларусь [Электронный ресурс]. URL: <http://mvd.gov.by/ru/main.aspx?guid=174673> (дата обращения: 04.11.2016).
25. Основные причины трудовой миграции из Беларуси [Электронный ресурс]. URL: <http://news.tut.by/society/320061.html> (дата обращения: 12.11.2012).

## References

1. Tikhonova L. I., Krasinets E. S. Trudovaya migratsiya i migratsionnaya politika Respubliki Belarus' v ramkakh integratsii v Evraziiskii ekonomicheskii soyuz [Labour migration and migration policy of the Republic of Belarus within the framework of integration into the Eurasian economic Union]. *Zh. mezhdunar. prava i mezhdunar. otnoshenii*. 2015. No. 2 [Electronic resource]. URL: <http://www.evolutio.info/content/view/2401/235/> (date of access: 05.01.2016) (in Russ.).
2. Shakhot'ko L., Bobrova A. Vliyanie trudovoi migratsii na Belarus': demograficheskaya perspektiva [The impact of Labour Migration on Belarus: Demographic Perspective]. *Nauchno-issledovatel'skii otchet 2012/20* [Electronic resource]. URL: <http://www.carim-east.eu/media/CARIM-East-2012> (date of access: 05.01.2016) (in Russ.).
3. Zagorets V. S., Zagorets I. V. Strategiya Respubliki Belarus' v sfere vneshnei migratsii: novye vyzovy i vozmozhnosti [Strategy of the Republic of Belarus in the sphere of external migration: new challenges and opportunities]. *Zh. mezhdunar. prava i mezhdunar. otnoshenii*. 2016. No. 1/2 [Electronic resource]. URL: <http://evolutio.info> (date of access: 05.10.2016) (in Russ.).
4. Eliseev A. Migratsiya mezhdunarodnykh Belarus'yu i EU: tekushchaya situatsiya i ozhidaemoe budushchee [Migration between Belarus and EU: current situation and expected future]. *Belarus. Inst. for Strateg. Stud.* [Electronic resource]. URL: <http://belinstitute.eu> (date of access: 05.01.2016) (in Russ.).
5. World Development Indicators 2007. Washington, 2007. P. 360–362.
6. World Development Indicators 2012. Washington, 2012. P. 382–384.
7. GDP per capita (current US\$). *World Bank* [Electronic resource]. URL: <http://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.PCAP.CD> (date of access: 04.09.2015).
8. Residence permits for non-EU citizens EU. *Eurostat* [Electronic resource]. URL: <http://Eurostat/newsrelease211/2016> (date of access: 10.11.2016).
9. Doklad Verkhovnogo komissara Organizatsii Ob'edinennykh Natsii po delam bezhentshev (za period s 1 iyulya 2014 g. po 30 iyunya 2015 g.). *Zh. mezhdunar. prava i mezhdunar. otnoshenii*. 2015. No. 3 [Electronic resource]. URL: <http://www.evolutio.info/content/view/2426/235/> (date of access: 05.01.2016) (in Russ.).
10. Vynuzhdennye peremeshcheniya naseleniya pobili vse rekordy i zatronuli odnogo iz 113 chelovek. *UNHCR* [Electronic resource]. URL: [http://www.unhcr.ru/index.php?id=10&tx\\_ttnews%5Btt\\_news%5D=584&cHash=2866954b240cec0c2dcd5752a97130e](http://www.unhcr.ru/index.php?id=10&tx_ttnews%5Btt_news%5D=584&cHash=2866954b240cec0c2dcd5752a97130e) (date of access: 04.11.2016) (in Russ.).
11. Mediterranean Update. Migration flows Europe: Arrivals and fatalities. *Missing migrant project* [Electronic resource]. URL: <http://missingmigrants.iom.int/en/mediterranean-update-31-december-2015> (date of access: 05.01.2016).
12. Mediterranean Migrant Arrivals Reach 340,778; Deaths at Sea: 4,271 Data. *Int. org. migr.* [Electronic resource]. URL: <http://www.ukrinform.ru/rubric-world/2116019-v-sredizemnom-more-spasli-bolee-tysachi-migrantov-desat-chelovek-pogibli.html> (date of access: 11.11.2016).
13. Global trends forced displacement in 2015. *UNHCR The UN Refug. Agency* [Electronic resource]. URL: <https://s3.amazonaws.com/unhcrsharedmedia/2016/2016-06-20-global-trends/2016-06-14-Global-Trends-2015.pdf> (date of access: 15.10.2015).
14. Koulmen D. Tretii demograficheskii perekhod. *Demoskop Weekly*. 2007. No. 299/300 [Electronic resource]. URL: <http://www.demoscope.ru/weekly/2007/0299/tema01> (date of access: 22.10.2015) (in Russ.).
15. Zagorets V. S. Problemy ucheta vneshnei migratsii naseleniya Belarusi [Problems of accounting for external migration of the population of Belarus]. *Trud. Profsoyuz. Obshchestvo*. 2012. No. 3. P. 33–38 (in Russ.).
16. Mezhdunarodnaya migratsiya. *Fed. State Stat. Serv.* [Electronic resource]. URL: [http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_main/rosstat/ru/statistics/population/demography/#](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/population/demography/#) (date of access: 28.10.2016) (in Russ.).
17. Demograficheskii ezhegodnik Respubliki Belarus'. *Natl. Stat. Comm. of the Repub. of Belarus* [Electronic resource]. URL: [http://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/publications/izdania/public\\_compilation/](http://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/publications/izdania/public_compilation/) (date of access: 15.10.2016) (in Russ.).
18. Opalev S., Myazina E. Issledovanie RBK: kak iz Rossii uezhayut inostrantsy [Research RBC: from Russia leaving foreigners]. *RBK* [Electronic resource]. URL: <http://rbc.ru/society/04/02/2015/54d0c05e9a7947df123f23e1> (date of access: 28.10.2015) (in Russ.).
19. Zagorets V., Zagorets I. Migratsiya chelovecheskikh resursov kak faktor sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya strany [Human Resources Migration as the Factor of Social and Economic Development of the Country]. *Zh. mezhdunar. prava i mezhdunar. otnoshenii*. 2013. No. 4. P. 82–91 (in Russ.).
20. Baza Demografia. Wyniki badan biezacych. III. Migracje ludnosci imigracje. *Główny Urząd Statystyczny* [Electronic resource]. URL: <http://demografia.stat.gov.pl/bazademografia> (date of access: 15.10.2015).
21. Census Data. *Eur. Stat. Syst.* [Electronic resource]. URL: <https://ec.europa.eu/CensusHub2/intermediate.do?&method=forwardResult> (date of access: 15.10.2015).
22. Demograficheskii ezhegodnik Respubliki Belarus' – 2016. *Natl. Stat. Comm. of the Repub. of Belarus* [Electronic resource]. URL: [http://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/solialnaya-sfera/demografiya\\_2/metodologiya-otvetstvennye-za-informatsion-noe-s\\_2/index\\_5770/](http://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/solialnaya-sfera/demografiya_2/metodologiya-otvetstvennye-za-informatsion-noe-s_2/index_5770/) (date of access: 07.11.2016) (in Russ.).
23. Migratsionnaya situatsiya v Respublike Belarus'. *Dep. of citizsh. and Migr. Minist. of Int. Aff. Repub. of Belarus* [Electronic resource]. URL: <http://mvd.gov.by/ru/main.aspx?guid=9871> (date of access: 04.11.2016) (in Russ.).
24. Uchet trudnyashchikhsya-emigrantov i trudnyashchikhsya-immigrantov. *Dep. of citizsh. and Migr. Minist. of Int. Aff. Repub. of Belarus* [Electronic resource]. URL: <http://mvd.gov.by/ru/main.aspx?guid=174673> (date of access: 04.11.2016) (in Russ.).
25. Osnovnye prichiny trudovoi migratsii iz Belarusi [Electronic resource]. URL: <http://news.tut.by/society/320061.html> (date of access: 12.11.2012) (in Russ.).

Статья поступила в редколлегию 18.11.2016.  
Received by editorial board 18.11.2016.



ЗАКОНОМЕРНОСТИ И ТЕНДЕНЦИИ ФОРМИРОВАНИЯ  
ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ГОРОДСКИХ  
ЛАНДШАФТОВ БЕЛАРУСИГ. И. МАРЦИНКЕВИЧ<sup>1)</sup>, И. И. СЧАСТНАЯ<sup>1)</sup><sup>1)</sup>Белорусский государственный университет,  
пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Республика Беларусь

Рассмотрены предпосылки и тенденции развития городских ландшафтов, выявлены закономерности формирования их полифункциональной структуры под воздействием экономических и геополитических факторов на протяжении всей истории существования. Методологическую основу работы составили системный, исторический и ландшафтный научные подходы. Главными методами являлись картографический, геоинформационный, дистанционный, а также методы зонирования, районирования, классификации. В качестве материалов исследования были использованы генеральные планы, топографические карты разных масштабов и космические снимки Landsat белорусских городов (Гродно, Пинск, Жодино). Созданные карты урболандшафтов отражают структуру, иерархию и специфику распространения различных классификационных единиц (группа видов, вид) городских комплексов. Доказано, что каждый город обладает индивидуальными особенностями структуры урболандшафтов, обусловленной временем существования, выполняемыми социально-экономическими функциями и планировкой. Установлено, что непрерывный процесс развития поселений приводит к расширению их функций и усложнению структуры городских комплексов. Выявлено закономерное увеличение количества функциональных зон в городах – от трех в период их возникновения (детинец, окольный город, посад) до шести и более в последующие столетия. Это влечет за собой усложнение видового разнообразия и формирование полифункциональной структуры урболандшафтов. Обосновано применение классификационных единиц городских ландшафтов в практике выполнения проектно-планировочных работ, особенно при подготовке детальных планов городов, в качестве основы для анализа и оценки экологического состояния городской среды.

**Ключевые слова:** урболандшафт; функциональная зона; карта урболандшафтов; полифункциональная структура городских ландшафтов.

**Благодарность.** Работа выполнена в рамках ГПНИ «Природопользование и экология» подпрограммы «Природные ресурсы и экологическая безопасность» (2016–2018).

**Образец цитирования:**

Марцинкевич Г. И., Счастливая И. И. Закономерности и тенденции формирования полифункциональной структуры городских ландшафтов Беларуси // Журн. Белорус. гос. ун-та. География. Геология. 2017. № 1. С. 99–108.

**For citation:**

Martsinkevich G. I., Shchasnaya I. I. Regularities and tendencies of forming of multifunctional structure of urban landscapes in Belarus. *J. Belarus. State Univ. Geogr. Geol.* 2017. No. 1. P. 99–108 (in Russ.).

**Авторы:**

**Галина Иосифовна Марцинкевич** – доктор географических наук, профессор; профессор кафедры географической экологии географического факультета.

**Ирина Иосифовна Счастливая** – кандидат географических наук, доцент; доцент кафедры географической экологии географического факультета.

**Authors:**

**Galina Martsinkevich**, doctor of science (geography), full professor; professor at the department of geographical ecology, faculty of geography.

*halinamar@mail.ru*

**Iryna Shchasnaya**, PhD (geography), docent; associate professor at the department of geographical ecology, faculty of geography.

*schasnaya@tut.by*



## REGULARITIES AND TENDENCIES OF FORMING OF MULTIFUNCTIONAL STRUCTURE OF URBAN LANDSCAPES IN BELARUS

G. I. MARTSINKEVICH<sup>a</sup>, I. I. SHCHASNAYA<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Belarusian State University, Nezavisimosti avenue, 4, 220030, Minsk, Republic of Belarus

Corresponding author: schasnaya@tut.by

Prerequisites and tendencies of development of urban landscapes are considered, regularities of forming of their multifunctional structure under the influence of economic and geopolitical factors throughout all history of development are revealed. A methodological basis of the research – system, historical and landscape scientific approaches. The main methods – cartographical, geoinformation, remote-sensing, zoning, regionalization, classification. The used materials – master plans, topographic maps of different scales and Landsat satellite images of cities of our republic (Grodno, Pinsk, Zhodino). Created maps of urban landscapes represent structure, hierarchy and specifics of distribution of various classification units (group of types, types) of city complexes. It is proved that every city has specific features of urban landscapes structure, that depends on lifetime, social and economic functions and planning. It is established that continuous process of development of urban settlements leads to expansion of set of their functions and complication of structure of city complexes. It is revealed that there is a natural increase in quantity of functional zones in cities from three during their origin (stronghold, roundabout town, faubourg) to six and more in the next centuries that involves complication of a specific variety and forming of multifunctional structure of urban landscapes. It is determined that a set of classification units of urban landscapes can be applied in practice of accomplishment of project and planning works, especially in case of development of detailed plans of cities as a basis for the analysis and assessment of an ecological condition of urban environment.

**Key words:** urban landscape; functional zone; map of urban landscapes; multifunctional structure of urban landscapes.

**Acknowledgments.** Work performed under the SPSR «Nature and Ecology» subprogram «Natural resources and environmental safety» (2016–2018).

### Введение

Вторая половина XX в. характеризуется разрастанием социальных, экономических, политических, экологических, демографических и других проблем до глобальных масштабов. Среди них особо выделяются проблемы урбанизации, связанные с бурным ростом городов, увеличением численности их населения, распространением городского образа жизни во всех поселениях. Удельный вес городского населения мира в настоящее время составляет более 50 %, в Республике Беларусь этот показатель достиг 76 %. Появились города-мегаполисы, где живут более 10 млн человек (таких городов в 2016 г. насчитывалось 16), формируются своеобразные городские агломерации с населением свыше 20 млн жителей (Пекин, Шанхай, Карачи). Ввиду того, что процесс урбанизации продолжает активно развиваться, крупные города сталкиваются с новыми проблемами, в первую очередь с загрязнением среды обитания и ухудшением качества жизни населения. Все это приводит к необходимости искать новые возможности и пути совершенствования градостроительных разработок, внедрять современные технологии и приемы застройки. Эти же обстоятельства стимулировали зарождение новых научных направлений, таких как ландшафтная архитектура, ландшафтное планирование, экология города, урбоэкология, урбанистика, которые имеют общий терминологический аппарат, методы и методики и находятся на стыке географических наук и градостроительства.

Проникновение ландшафтных идей в градостроительство обусловило появление такого сравнительно нового термина, как «урболандшафт» (УЛ), который в географии и ландшафтной экологии рассматривается в качестве объекта изучения городской территории. Однако его содержание и смысл до сих пор воспринимаются неоднозначно и трактуются по-разному – от исключительно техногенного до экосистемного образования [1–3]. Чаще всего под УЛ подразумевается природно-антропогенный комплекс, обладающий однородной природной основой и определенным типом градостроительного использования [4]. Происходящее сегодня раздробление функциональных зон способствует обособлению более мелких и более однородных градостроительных комплексов, которые также претендуют на статус УЛ. Отсюда возникает необходимость изучения городских комплексов и специфики их структуры, обнаружения общих черт развития и формирования.

Выполненные исследования трех городов республики – Гродно, Пинска, Жодино – и классификация составляющих их комплексов [5] позволили выявить структуру УЛ каждого из них, определить закономерности ее формирования и тенденций развития.

## Материалы и методы исследования

Выбор городов Гродно, Пинска и Жодино в качестве объектов исследования не случаен. Эти города различаются по административному статусу, возрасту, количеству жителей и промышленному потенциалу: Гродно – многофункциональный крупный город национального значения, административный центр Гродненской области; Пинск – большой город регионального значения; Жодино – средний город субрегионального значения.

Методологическую основу исследования составили системный, исторический и ландшафтный научные подходы. Главными методами являлись картографический, геоинформационный, дистанционный, зонирования, районирования, классификации. Использованы ГИС-технологии как важнейший инструментальный для выполнения расчетных операций и визуализации полученной информации.

Основными документами, примененными для выделения, классификации и изучения структуры УЛ, стали генеральные планы городов, топографические карты разных масштабов, космические снимки Landsat и ландшафтные карты данных регионов.

Поскольку главным документом развития любого города в Беларуси служит генеральный план, являющийся официальным документом, который определяет направления и границы территориального развития, застройку и благоустройство территории, сохранение историко-культурного и природного наследия, при проведении настоящего исследования использованы генеральные планы Гродно, Пинска и Жодино.

Генеральный план города содержит также карту функционального зонирования, а для областного города предусмотрена схема планировочных районов. Функциональное зонирование – один из основных методов градостроительного проектирования, заключающийся в выделении территорий по их преобладающей функции [1]. Функциональные зоны формируются под влиянием специфики развития и планировки города и являются одним из индикаторов обособления городских ландшафтов.

Схема планировочных районов – это укрупненная система расположения застроенных и перспективных для освоения территорий в границах города. Структура районов состоит из мозаики небольших по площади участков функциональных зон разного генезиса, объединенных внутренними связями вследствие компактного территориального расположения, что также учитывается при обособлении городских комплексов.

Важным показателем при выделении УЛ выступает специфика природной основы – природные территориальные комплексы (надпойменные террасы, поймы рек, моренные равнины и холмы, участки водно-ледниковых равнин). Опираясь на две группы этих показателей – особенности застройки и планировки, а также природную основу, удалось выявить структуру УЛ. Выделение и картографирование городских комплексов осуществлялись в два этапа. С помощью модуля Open Layer Plugin в проект введен слой Open Street Map, послуживший базисом для привязки указанных карт к системе координат WGS-84. Затем в результате совмещения карт был создан полигональный слой (Shapefile), на котором с помощью дробления контуров выделены виды УЛ.

Многообразие комплексов обусловило их классификацию. Рассматривая город как природно-антропогенную урбосоциозкосистему, мы определяем ее как класс УЛ, который вычленяется с учетом всей совокупности градостроительных, социальных, экономических, рекреационных и экологических функций, присущих городскому поселению. В пределах класса выделяется ряд классификационных единиц: тип, группа видов, вид (см. таблицу).

Таблица

Классификационные единицы и факторы выделения УЛ

Table

Classification units and allocation factors of the urban landscapes

| Классификационная единица УЛ | Фактор выделения классификационных единиц                                      | Пример УЛ                                   |
|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| Класс                        | Трансформированные комплексы в границах города                                 | Городские                                   |
| Тип                          | Выполняемые функции в пределах города                                          | Ландшафтно-рекреационные                    |
| Группа                       | Местоположение и приуроченность к природному ландшафту                         | Северо-западные на водно-ледниковой равнине |
| Вид                          | Особенности застройки и использования ландшафта в пределах функциональной зоны | Жилая усадебная застройка городского типа   |

## Результаты исследования и их обсуждение

*История формирования УЛ.* Появившиеся в глубокой древности городские поселения Беларуси прошли долгий путь становления, развития и преобразования. На их формирование влияли природные (водные объекты, рельеф) и социально-экономические (географическое и геополитическое положение, торговля, войны, строительство железных дорог, индустриализация) предпосылки. Во временном измерении экономическая и социальная значимость формирования городских поселений возрастала, а роль природных факторов снижалась.

*Первый этап* в развитии поселений (IX–XII вв.) характеризуется появлением городов, которые закладывались с учетом оборонительных и торговых функций. Такие первые белорусские городские поселения строились с использованием древнерусских приемов и состояли из трех обособленных частей: укрепленного детинца, окольного города и торгово-ремесленного посада. В укрепленной части жили князья с дружинами и феодальная знать, в окольном городе – купцы и другие зажиточные люди, в посадах – ремесленники и торговцы [6]. По мере развития и усиления влияния старейшие города Полоцк (впервые упоминается в 862 г.) и Туров (980) стали центрами первых государственных образований на территории нынешней Беларуси – Полоцкого и Туровского княжеств.

*Второй этап* развития городов относится к XIII–XVIII вв. В этот период застройка осуществлялась под влиянием западноевропейских традиций. Центром города становится замок как оплот неприступности и символ власти и богатства, расширяются окольный город и посады. Постепенно осваиваются территории за пределами города – так называемые предместья, где возводятся усадьбы богатой знати, строятся монастыри и другие религиозные объекты. Таким образом закладывались основы формирования ландшафтно-рекреационной зоны, которая с течением времени входила в состав города и сегодня является неотъемлемой частью любого городского поселения.

В XV в. многие города Беларуси выполняли не только хозяйственно-экономические, но и административные функции, были центрами воеводств и поветов. С начала XVI в. в них стали выделяться административные кварталы – юридики [7]. Так зарождалась особая функциональная зона города, которая сейчас называется общественной. Параллельно с повышением экономической и торговой роли городов, а также их общественного значения в Великом княжестве Литовском стало распространяться самоуправление городов на основе магдебургского права. Руководил таким поселением городской магистрат, располагавшийся в ратуше, здание которой обычно находилось на центральной площади. По периметру площадь застраивалась домами самых богатых и уважаемых жителей города – таким образом формировался городской центр, который уже в те далекие времена осуществлял функции общественного управления.

Во второй половине XVI – первой половине XVII в. дальнейшее развитие получили торговля и ремесла. Это способствовало формированию ремесленнической функциональной зоны с улицами кузнецов, гончаров, сапожников, ювелиров, ткачей, а также росту численности городов и местечек. Если в XVI в. в Беларуси было более 200 местечек, то в середине XVII в. насчитывалось 42 города и 425 местечек.

В XVIII в. начался новый период в развитии городов – появились первые промышленные предприятия (мануфактуры). Так, уже в первой половине столетия в имениях крупных магнатов работали стекольные, шпалерные, суконные, шелкоткацкие, дубильные мануфактуры, фабрики гобеленов, шелковых поясов и др. В 1777 г. по инициативе губернатора Гродно А. Тизенгауза был создан промышленный центр, который насчитывал более 15 предприятий. Здесь функционировали свечная, чулочная, табачная, каретно-экипажная, дубильная, металлообрабатывающая, шелкоткацкая мануфактуры, производились пушки и ружья, изделия из золота. Всего на территории нынешней Беларуси было открыто свыше 50 различных мануфактур, из них 20 – в Гродно. Тем самым было положено начало формированию еще одной функциональной зоны в городах – производственной [8].

*Третий этап* охватывает период с конца XVIII до начала XX в., когда города превращаются в торгово-промышленные центры. Благодаря строительству железных дорог выросли города, ставшие железнодорожными узлами (Барановичи, Жабинка, Жлобин и др.). К этому времени относится быстрая застройка фабричных кварталов (производственная зона) и рабочих окраин (жилая застройка сельского типа).

В течение *четвертого*, советского, этапа многие города Беларуси превратились в крупные промышленные и культурные центры с развитой инфраструктурой, что особенно характерно для второй половины XX в. Усложнилась их функциональная структура, а также типология, насчитывающая шесть типов городских поселений: многофункциональные, промышленные, агропромышленные, аграрные, природоохранные, туристско-рекреационные.

Современный этап развития городов связан с появлением и укоренением новых подходов в градостроительной практике, реализующихся в условиях ограниченной возможности территориального



расширения городских территорий, что приводит к формированию нового типа функционального зонирования, обладающего полифункциональной структурой УЛ.

Описанная схема образования городов и обобщенные закономерности формирования их функциональной структуры не раскрывают специфических особенностей развития каждого города. Наибольших успехов достигли те из них, становлению которых способствовали различные предпосылки и комплекс благоприятных условий: выгодное географическое положение, наличие природных ресурсов, значимая историческая и административная роль, важные социально-экономические и геополитические функции. В результате каждое городское поселение обладает своими особенностями структуры УЛ.

**Структура УЛ исследуемых городов.** Гродно – один из старейших городов Беларуси, известный, согласно Ипатьевской летописи, с 1127 г. как центр удельного княжества. Его развитие изначально шло от замка, расположенного на высоком холме у впадения р. Городничанки в р. Неман, вдоль рек.

Современный Гродно – областной центр, крупный культурный и промышленный город, организованный с учетом особенностей и истории формирования. В процессе развития появился планировочный каркас города, который имеет радиально-кольцевое образование с ярко выраженной центральной зоной – историческим общегородским центром. Основу планировочного каркаса составляют градообразующие оси – магистрали, выводящие на главные внешние территориальные направления. Им в определенной мере соответствуют природные оси – долины рек. От долины р. Неман, как основной природной оси, город разрастался на север, восток, запад и юг. Согласно разработанной классификации на территории Гродно выделено 29 видов УЛ, объединенных в 5 групп (рис. 1).

Вся долина р. Неман входит в группу центральных УЛ, которые занимают доминирующее положение в городе (27,3 % всей площади) и представляют его старую часть с сохранившейся старинной застройкой, памятниками архитектуры, парками, участками реки. Здесь также присутствуют исторический общегородской центр, общественная и жилая усадебная застройки городского типа. В пределах группы расположен ряд промышленных предприятий, наиболее крупные из которых ОАО «Гродторгмаш» и ОАО «Гродненский ликеро-водочный завод».

В группе северных УЛ (20,5 % площади города) преобладает жилая усадебная и многоквартирная застройки, присутствует промышленная зона с рядом предприятий. Большая территория в пределах группы оставлена для развития на перспективу. Частично это пространство освоено, но есть резерв для дальнейшего использования.

Группа восточных УЛ, занимающая 12,7 % всей площади, является специфической, поскольку здесь расположены только промышленные предприятия с санитарно-защитными зонами, вынесенные на восточную окраину города. Самое крупное из них – ОАО «Гродно Азот».

Западная группа УЛ – это небольшой по площади (8,5 %) комплекс с общественной, усадебной и среднеэтажной жилой застройками. В пределах группы зарезервированы площадки для дальнейшего развития и расширения города.

Группа южных УЛ занимает 31,0 % всей площади города и является весьма перспективной для использования частью территории Гродно. Здесь представлены общественная и усадебная жилая застройки, участки промышленной зоны, присутствуют резервные площадки для расширения жилой и ландшафтно-рекреационной зон. В северной части группы сосредоточены промышленные предприятия.

На западе Белорусского Полесья расположился древний город Пинск, районный центр Брестской области, известный, согласно Ипатьевской летописи, с 1097 г. Его архитектурно-планировочная структура сформировалась во второй половине XVIII в. как результат развития исторической первоосновы. Современный Пинск – город, разросшийся и организованный с учетом истории развития. В процессе исторических реконструкций Пинск трансформировался: некоторые улицы выпрямлялись, частично были проведены новые магистрали. В соответствии с классификацией в Пинске выделено 6 групп и 13 видов городских ландшафтов (рис. 2).

Группа северо-восточных УЛ Пинска занимает самую маленькую площадь в черте города – 11,0 %. Помимо застройки разного назначения здесь находится несколько промышленных предприятий.

В группу восточных УЛ, занимающую 16,6 % всей городской площади, входит историческое ядро (УЛ 4) с сохранившимися памятниками архитектуры, учреждениями различного назначения, сложившейся планировкой и застройкой старого города. В силу особенностей возникновения и разрастания города его исторический центр географически смещен на восток. Территорию УЛ пересекает железная дорога, есть промышленные предприятия. Зеленая зона представлена внутриквартальными насаждениями и парками.



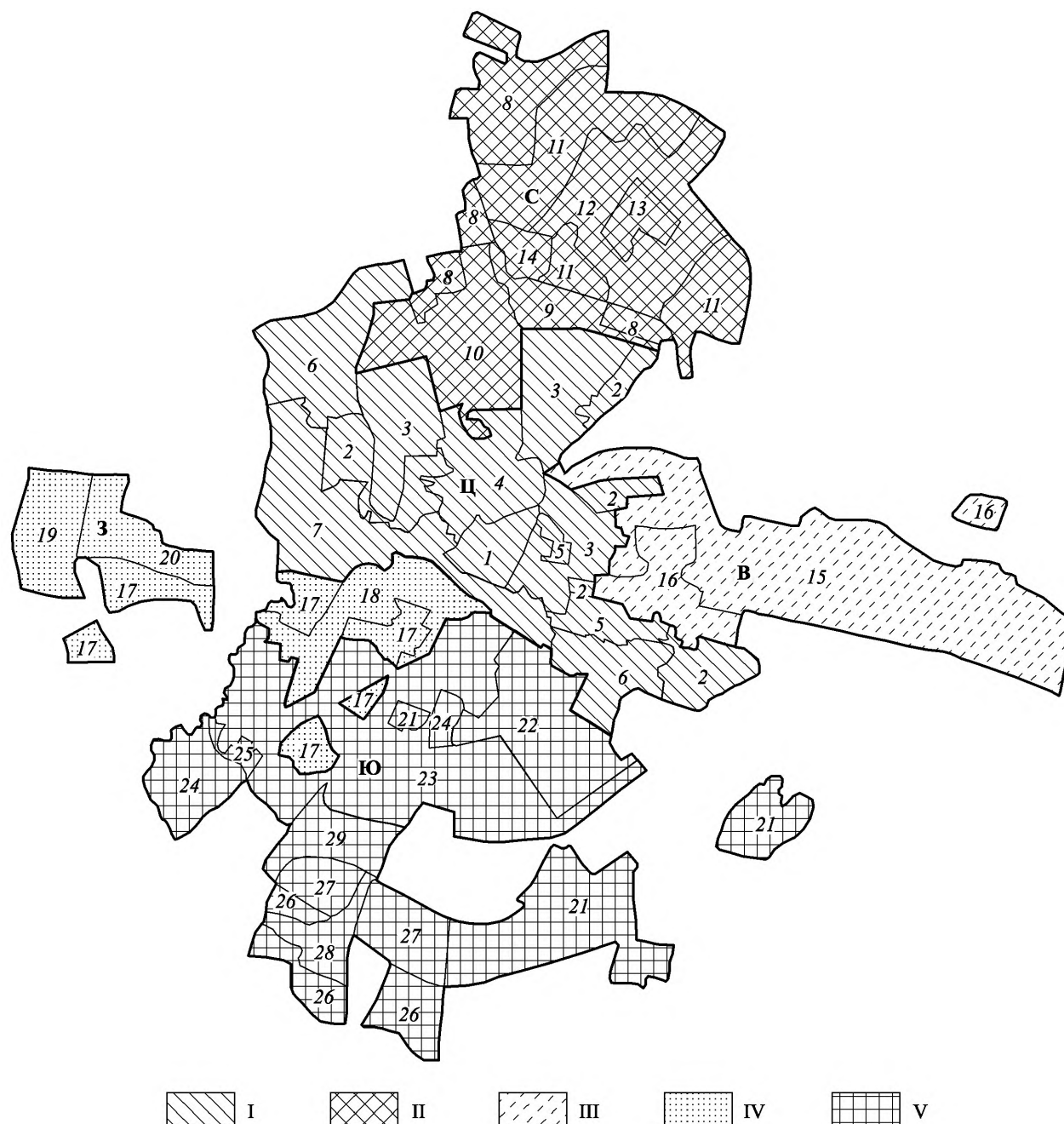


Рис. 1. Группы (I–V) и виды (1–29) урболандшафтов Гродно:

I. Группа Ц – центральные на водно-ледниковой равнине, надпойменной террасе и пойме: 1 – исторического центра с мало- и среднеэтажной жилой и общественной застройками; 2 – усадебной жилой застройки; 3 – высоко- и среднеэтажной жилой и общественной застройки; 4 – мало- и среднеэтажной жилой и общественной застройки; 5 – промышленных территорий; 6 – ландшафтно-рекреационных территорий; 7 – лесных и лесопарковых территорий. II. Группа С – северные на моренной возвышенности и водно-ледниковой равнине: 8 – усадебной жилой застройки; 9 – жилой многоквартирной застройки; 10 – промышленных территорий; 11 – перспективной усадебной жилой застройки; 12 – перспективной жилой многоквартирной застройки; 13 – перспективных ландшафтно-рекреационных территорий; 14 – перспективных санитарно-защитных территорий. III. Группа В – восточные на моренной возвышенности: 15 – промышленных территорий; 16 – санитарно-защитных территорий. IV. Группа З – западные на моренной равнине: 17 – усадебной жилой застройки; 18 – мало- и среднеэтажной жилой и общественной застройки; 19 – перспективной усадебной жилой застройки; 20 – перспективной жилой многоквартирной застройки. V. Группа Ю – южные на моренной равнине и возвышенности: 21 – усадебной жилой застройки; 22 – высоко- и среднеэтажной жилой и общественной застройки; 23 – промышленных территорий; 24 – ландшафтно-рекреационных, лесопарковых и лесных территорий; 25 – санитарно-защитной зоны; 26 – перспективной усадебной жилой застройки; 27 – перспективной высоко- и среднеэтажной жилой и общественной застройки; 28 – перспективных ландшафтно-рекреационных территорий; 29 – перспективных промышленных территорий

Fig. 1. Groups (I–V) and types (1–29) of the urban landscapes of Hrodno

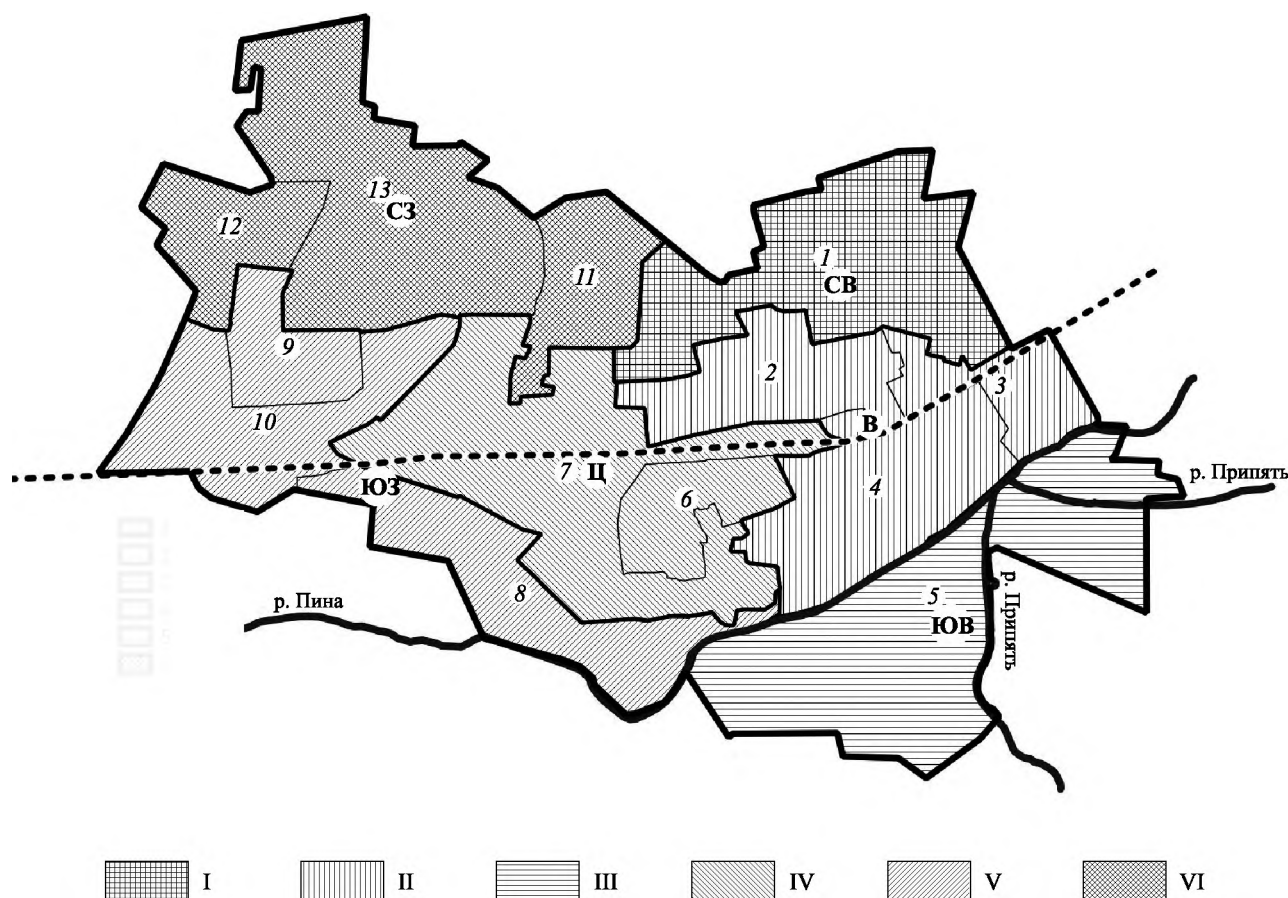


Рис. 2. Группы (I–VI) и виды (1–13) урболандшафтов Пинска:

I. Группа СВ – северо-восточные на водно-ледниковой равнине: 1 – жилой многоквартирной и общественной застройке учебного, торгового и медицинского назначения; 2 – жилой усадебной застройки городского типа, общественной застройки торгового и учебного назначения; 3 – промышленных, производственных и коммунально-складских территорий; 4 – общественной застройки общегородского центра торгового, медицинского, учебного, спортивного, культового назначения и жилой усадебной застройки городского типа. II. Группа В – восточные на водно-ледниковой равнине: 5 – парков, лесопарков и крупных площадей открытых озелененных территорий. III. Группа Ц – центральные на водно-ледниковой равнине: 6 – жилой многоквартирной и усадебной застроек городского типа, общественной застройки торгового и учебного назначения; 7 – промышленных, производственных и коммунально-складских территорий. IV. Группа ЮВ – юго-восточные на озерно-аллювиальной низине: 8 – жилой усадебной застройки городского типа, лесопарков и парков; 9 – промышленных, производственных и коммунально-складских территорий; 10 – жилой усадебной застройки сельского типа, лесопарков, парков и насаждений специализированного назначения. V. Группа ЮЗ – юго-западные на водно-ледниковой равнине: 11 – лесопарков и парков; 12 – жилой усадебной застройки сельского типа; 13 – жилой усадебной застройки городского типа.

Пунктирной линией обозначена железная дорога

Fig. 2. Groups (I–VI) and types (1–13) of the urban landscapes of Pinsk

Группа юго-восточных УЛ расположена на противоположном от города берегу р. Пины и занимает 16,1 % площади. Территория используется как рекреационная зона, есть пляж. Также здесь находятся грузовой порт и его складские помещения. По генеральному плану развития города на этой территории будет создан ландшафтно-рекреационный комплекс с множеством парков и лесопарков.

Западнее расположена центральная группа УЛ, занимающая 17,8 % площади города и имеющая довольно интересное строение. К историческому ядру примыкает жилая застройка с общественными учреждениями (УЛ 5), сменяемая далее на запад обширным участком (УЛ 6) с промышленными предприятиями. Железная дорога пересекает территорию, разделяя ее на две части – северную и южную. Из городских зеленых насаждений наиболее значителен детский парк.

Группа юго-западных УЛ, сформировавшаяся на окраине города, занимает 17,3 % его площади. Среди видов доминирует жилая усадебная застройка городского и сельского типов с большим количеством зеленых насаждений. И только в северной части группы есть комплекс (УЛ 9) с преобладанием промышленных, производственных и коммунально-складских территорий.



Группа северо-западных УЛ является доминирующей по площади в городе (21,2 %). Здесь преобладает усадебная застройка как городского, так и сельского типа с широкой полосой зеленых насаждений и примыкающей лесопарковой зоной. Большие участки зарезервированы для перспективного градостроительного освоения.

Самым молодым поселением, получившим статус города в 1963 г., является промышленный Жодино. Здесь работает крупное предприятие по производству большегрузных карьерных самосвалов – Белорусский автомобильный завод (БелАЗ). Особенности возникновения и развития города отражаются на специфике структуры УЛ. В Жодино сформировалось 13 видов УЛ, которые объединены в 5 групп (рис. 3).

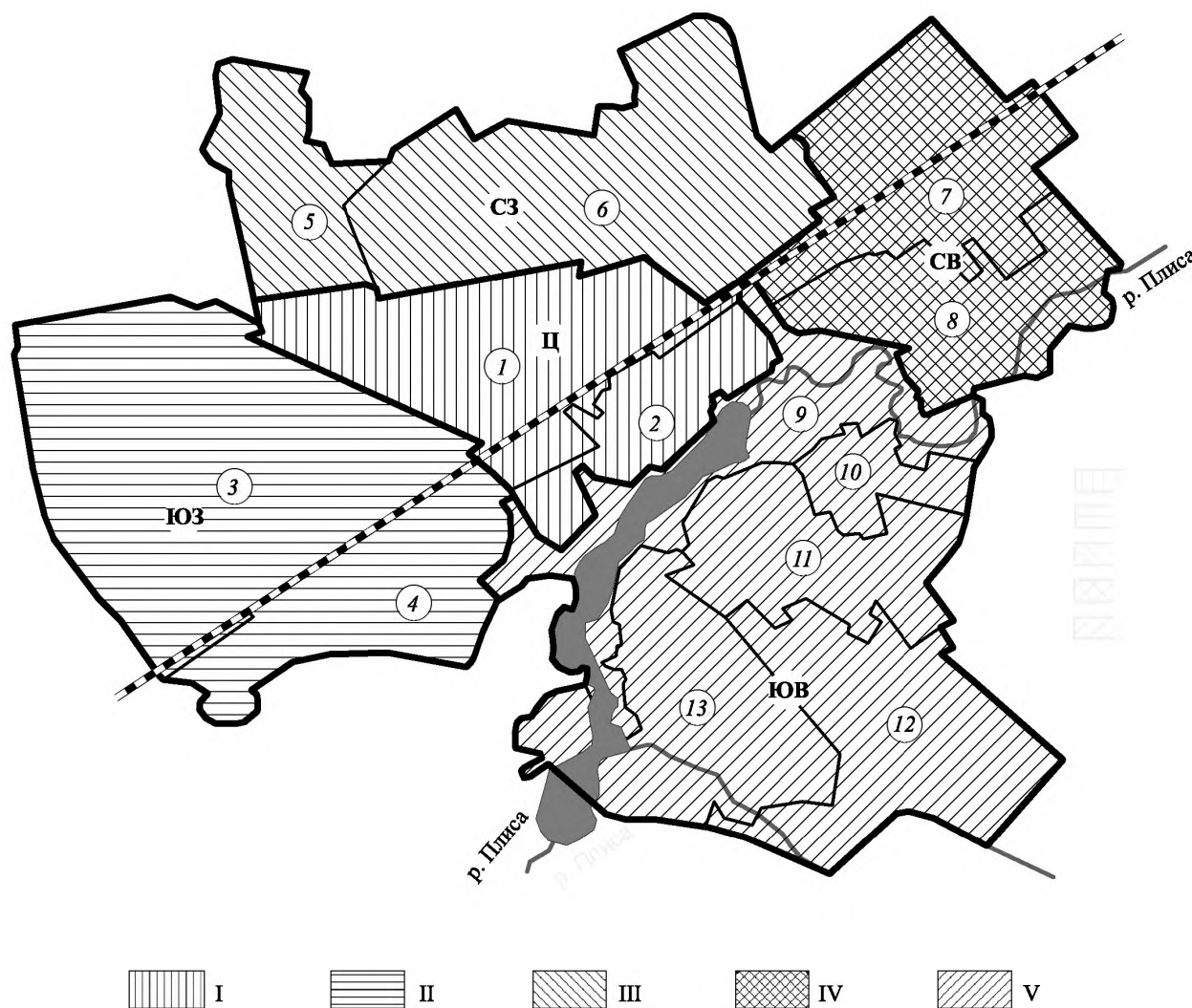


Рис. 3. Группы (I–V) и виды (1–13) урболандшафтов Жодино:

I. Группа Ц – центральные на моренной равнине: 1 – промышленной и коммунально-складской застройки с санитарно-защитными насаждениями; 2 – жилой усадебной и промышленной застройки. II. Группа ЮЗ – юго-западные на моренной равнине: 3 – жилой средне- и высокоэтажной, административной, промышленной застройки с санитарно-защитными насаждениями; 4 – промышленной и коммунально-складской застройки с санитарно-защитными насаждениями и пустырями. III. Группа СЗ – северо-западные на моренной равнине: 5 – жилой средне- и высокоэтажной, усадебной, административной застройки с парками и лесопарками; 6 – жилой усадебной застройки. IV. Группа СВ – северо-восточные на моренной равнине, речной долине: 7 – промышленной и коммунально-складской застройки; 8 – жилой средне- и высокоэтажной, усадебной и административной застройки. V. Группа ЮВ – юго-восточные на водно-ледниковой равнине, речной долине: 9 – ландшафтно-рекреационных территорий с парками, водоемами, лесопарками и стихийной растительностью; 10 – жилой средне- и высокоэтажной, административной застройки; 11 – промышленной и коммунально-складской застройки с санитарно-защитными насаждениями; 12 – ландшафтно-рекреационных территорий с разрозненными зелеными насаждениями и пустырями со стихийной растительностью; 13 – жилой усадебной застройки с садами, огородами и зелеными насаждениями.

Пунктирной линией обозначена железная дорога

Fig. 3. Groups (I–V) and types (1–13) of the urban landscapes of Zhodino

Группа центральных УЛ (12,7 %) представляет собой ядро города, в котором доминирует (65 % площади группы) промышленная и коммунально-складская застройки. Небольшую площадь (35 %) занимает жилая усадебная и промышленная застройки. Именно в пределах этого вида расположено градообразующее предприятие – БелАЗ. Территорию УЛ пересекает железная дорога.

Группа юго-западных УЛ, сформировавшаяся на окраине города, занимает 23,6 % его площади. Промышленная застройка покрывает 75,0 % площади группы (УЛ 3).

Северо-западные УЛ занимают 17,0 % площади Жодино. Преобладающая здесь жилая усадебная застройка (УЛ 6) распространена на 77,0 % площади группы.

К северо-восточным УЛ принадлежат 2 вида (7 и 8), занимающие 14,0 % городской площади.

В группе юго-восточных УЛ, доминирующей по площади в городе (32,7 %), превалируют ландшафтно-рекреационные территории с многообразием зеленых насаждений (УЛ 9), которые занимают 30,0 % площади группы. В центральной части (УЛ 11) расположено несколько промышленных предприятий (13,0 % площади группы).

Приведенный материал подтверждает предположение о том, что каждый город характеризуется индивидуальными особенностями структуры УЛ, обусловленной как природными, так и социально-экономическими предпосылками развития.

### Выводы и обсуждение

Сравнительный анализ истории развития трех городов Беларуси показал, что этот непрерывный процесс приводит к расширению их функций и усложнению структуры городских комплексов. Так, Гродно и Пинск прошли все смены социально-экономических функций, которые были характерны и для других городов, заложенных в первый период градостроительного освоения территории Беларуси (IX–XII вв.). Напротив, в г. Жодино сохраняются те же функции, которые были предусмотрены изначально. Установлено, что происходит закономерное увеличение количества функциональных зон в городах – от трех в период их возникновения (детинец, окольный город, посад) до шести и более в последующие столетия. К трем существующим в определенной последовательности постепенно присоединялись следующие: зона предместий, общественная, ремесленная, производственная, жилая зоны городского типа, жилая зона усадебного типа, полифункциональная зона жилого и общественного назначения. Такое усложнение функциональных зон порождает увеличение разнообразных видов УЛ и формирование их полифункциональной структуры. Наиболее простая структура этих комплексов характерна для Жодино (5 групп и 13 видов УЛ), самая сложная – для Гродно (5 групп и 29 видов). Очевидно, что в структуре УЛ крупного города проявляются черты полифункциональности, нехарактерные для структуры среднего городского поселения.

В связи с дальнейшим ускорением процессов урбанизации усиливается необходимость решения некоторых важных теоретических и прикладных задач, касающихся изучения, анализа, оценки и разработки конкретных мероприятий в области экологического состояния городской среды. Определенное внимание этим вопросам уделяет Международная ассоциация ландшафтной экологии (IALE), в составе которой работает группа, занимающаяся проблемами экологии города. Однако существует немаловажное препятствие для решения задач в области городской тематики, которое заключается в отсутствии терминов для обозначения более мелких комплексов внутри городского ландшафта. Термин «урболандшафт» (англ. *urban landscape*) воспринимается как общее понятие и широко используется для обозначения ландшафта как всего города, так и его внутренней структуры. Между тем поиски терминов продолжаются, что видно из публикаций западноевропейских исследователей. Так, О. Бастиан с соавторами [9] рассматривают ландшафт в качестве природно-антропогенного комплекса и выделяют внутри него элементы (*units*), которые другие авторы отождествляют с такими терминами, как *natural complex*, *geochore*, *land unit*, *land system*. В зарубежной литературе они бытуют давно, им придается первостепенное значение как индикаторам для мониторинга и оптимизации городской среды [10], носителям необходимой информации для оценки прошлого, современного и будущего состояния ландшафта [11], а также для разработки и оценки сценариев развития ландшафтов с учетом их функций [12].

В наших работах исследование и картографирование городских комплексов осуществляется с использованием системы классификационных единиц, среди которых наиболее важными выступают группы видов и виды УЛ [13]. Выделение этих комплексов имеет большое практическое значение. Они могут быть применены в качестве основы для анализа и оценки экологического состояния городской среды в процессе выполнения проектно-планировочных работ, особенно при подготовке детальных планов городов.



## Библиографические ссылки

1. Иодо И. А., Потаев Г. А. Основы градостроительства и территориальной планировки. Минск, 2003.
2. Город – экосистема / Э. А. Лихачева [и др.]. М., 1996.
3. Тютюнник Ю. Г. Концепция городского ландшафта // География и природ. ресурсы. 1990. № 2. С. 167–172.
4. Фалолеева М. А. Пространственная структура городских ландшафтов и оценка их экологического потенциала (на примере г. Минска): автореф. дис. ... канд. геогр. наук : 25.00.23. Минск, 2004.
5. Shchasnaya I., Zvoznikov A. Environmental assessment of urban landscapes of Minsk // *Acta Environ. Univ. Comenianae*. 2014. Vol. 22, № 2. P. 50–61.
6. Рэспубліка Беларусь. Вобласці і раёны : энцыкл. давед. / аўтар-складальнік Л. В. Календа. Мінск, 2004.
7. Коваль И. И., Ярмусик Э. С. История Беларуси с древнейших времен и до нашего времени. Минск, 2000.
8. Галкин А. Н. Отражение истории хозяйственного освоения территории Беларуси в особенностях формирования природно-технических систем // Природ. ресурсы. 2008. № 1. С. 99–104.
9. Landscape services: the concept and its practical relevance / O. Bastian [et. al.] // *Landsc. Ecol.* 2014. Vol. 29, issue 9. P. 1463–1479.
10. Bohm P. Urban structural units as a key indicators for monitoring and optimizing the urban environment // *Urban Ecol.* / Ed. by J. Breuste, H. Feldmann, O. Uhlmann. Berlin, 1998. P. 442–445.
11. Landscape metrics – a toolbox for assessing past, present and future landscape structure / S. Lang [et. al.] // *Geoinformation Technologies for Geo-Cultural Landscapes: European Perspectives* / Ed. by A. Vassilopoulos, et al. Boca Raton, 2009. P. 207–234.
12. The assessment of landscape scenarios with regard to landscape functions / Ed. by O. Bastian [et al.] // *Sustainable land use in intensively used agricultural regions. Landscape Europe* / Ed. by B. C. Meyer. Alterra Rep. № 1338. Wageningen, 2008. P. 15–22.
13. Марцинкевич Г. И., Счастная И. И., Звозников А. А. Структура и эколого-геохимическая оценка урбандолиндов города Пинска // Природные ресурсы Полесья: оценка, использование, охрана : материалы Междунар. науч.-практ. конф. (Пинск, 8–11 июня 2015 г.) : в 2 ч. Пинск, 2015. Ч. 2. С. 7–10.

## References

1. Iodo I. A., Potaev G. A. *Osnovy gradostroitel'stva i territorial'noi planirovki*. Minsk, 2003 (in Russ.).
2. Likhacheva E. A., Timofeev D. A., Zhidkov M. P., et al. *Gorod – ekosistema*. Mosc., 1996 (in Russ.).
3. Tyutyunnik Y. G. Kontseptsiya gorodskogo landshafta [The concept of urban landscape]. *Geogr. i prir. resursy*. 1990. No. 2. P. 167–172 (in Russ.).
4. Faloleeva M. A. Prostranstvennaya struktura gorodskikh landshaftov i otsenka ikh ekologicheskogo potentsiala (na primere g. Minska) : avtoref. dis. ... kand. geogr. nauk : 25.00.23. Minsk, 2004 (in Russ.).
5. Shchasnaya I., Zvoznikov A. Environmental assessment of Urban landscapes of Minsk. *Acta Environ. Univ. Comenianae*. 2014. Vol. 22, No. 2. P. 50–61.
6. Rjespublika Belarus'. Voblasci i rajony : jencykl. daved. Compiler L. V. Kalenda. Minsk, 2004.
7. Koval' I. I., Yarmusik E. S. *Istoriya Belarusi s drevneishikh vremen i do nashego vremeni*. Minsk, 2000 (in Russ.).
8. Galkin A. N. Otrazhenie istorii khozyaistvennogo osvoeniya territorii Belarusi v osobennostyakh formirovaniya prirodno-tekhnicheskikh system [Reflection of economic mastering history territory of Belarus in forming natural-technical systems]. *Prir. resursy*. 2008. No. 1. P. 99–104 (in Russ.).
9. Bastian O., Grunevald K., Syrbe R., et. al. Landscape services: the concept and its practical relevance. *Landsc. Ecol.* 2014. Vol. 29, issue 9. P. 1463–1479. DOI: 10.1007/s10980-014-0064.
10. Bohm P. Urban structural units as a key indicators for monitoring and optimizing the urban environment. In *Urban Ecology*. Ed. by J. Breuste, H. Feldmann, O. Uhlmann. Berlin, 1998. P. 442–445.
11. Lang S., Walz U., Klug H., et al. Landscape metrics – a toolbox for assessing past, present and future landscape structure. In *Geoinformation Technologies for Geo-Cultural Landscapes: European Perspectives*. Ed. by A. Vassilopoulos, et al. Boca Raton, 2009. P. 207–234.
12. Bastian O., Lütz M., Röder M., et al. The assessment of landscape scenarios with regard to landscape functions. In *Sustainable land use in intensively used agricultural regions. Landscape Europe*. Ed. by B. C. Meyer. Alterra Rep. No. 1338. Wageningen, 2008. P. 15–22.
13. Martsinkevich G. I., Shchasnaya I. I., Zvoznikov A. A. Struktura i ekologo-geokhimicheskaya otsenka urbolandshaftov goroda Pinska [Structure and ecological-geochemical assessment of urban landscapes of Pinsk town]. *Prirodnye resursy Poles'ya: otsenka, ispol'zovanie, okhrana* : materialy mezhhdunar. nauchn.-prakt. konf. (Pinsk, 8–11 June, 2015) : in 2 parts. Pinsk, 2015. Part 2. P. 7–10 (in Russ.).

Статья поступила в редколлегию 22.11.2016.  
Received by editorial board 22.11.2016.

ТЕРРИТОРИАЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ТУРИЗМА И РЕКРЕАЦИИ  
В СТОЛИЧНОМ РЕГИОНЕ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬВ. М. ЗАЙЦЕВ<sup>1)</sup>, А. Н. РЕШЕТНИКОВА<sup>1)</sup>, И. К. ТРИФОНОВА<sup>1)</sup><sup>1)</sup>Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Республика Беларусь

Раскрываются пространственно-временные закономерности развития некоторых наиболее востребованных видов туризма и рекреации в Минской области Республики Беларусь. Изучена географическая и функциональная структура, а также уровень развития санаторно-курортного хозяйства. Рассмотрены особенности становления агротуризма в Беларуси, проанализирована территориальная организация и динамика садово-огородных товариществ как одного из важнейших сегментов пригородного отдыха. Установлено, что по всем исследуемым видам туристско-рекреационной деятельности столичный регион является ведущим в стране как по количеству отдыхающих, так и по динамике роста. Отмечено, что данная тенденция прослеживается с начала 1990-х гг. и не потеряет своей актуальности в будущем. Удалось обнаружить, что специфика ресурсного потенциала приводит к существенной дифференциации на территории Минской области. Сделан вывод о том, что, учитывая динамику туристско-рекреационных потребностей жителей страны, возрастную структуру населения и уровень урбанизации, спрос на отдых вне городских поселений будет устойчиво повышаться, что необходимо принимать во внимание при планировании дальнейшего развития региона.

**Ключевые слова:** лечебно-оздоровительный туризм; рекреация; санаторно-курортное хозяйство; агротуризм; агроусадьбы; садово-огородные товарищества.

TERRITORIAL ORGANIZATION OF TOURISM AND RECREATION  
OF METROPOLITAN AREA OF THE REPUBLIC OF BELARUSU. M. ZAITSAU<sup>a</sup>, A. N. RESHETNIKOVA<sup>a</sup>, I. K. TRYFANAVA<sup>a</sup><sup>a</sup>Belarusian State University, Nezavisimosti avenue, 4, 220030, Minsk, Republic of Belarus

Corresponding author: anbsu@mail.ru

The article describes the spatial-temporal laws of development of some of the most popular types of tourism and recreation within Minsk district – the metropolitan region of the Republic of Belarus. It shows the geographical, functional structure and dynamics of the spa facilities, the development features of rural tourism, and the analysis of territorial organization and dynamics of gardening partnerships as one of the most important segments of the suburban recreation.

**Образец цитирования:**

Зайцев В. М., Решетникова А. Н., Трифонова И. К. Территориальная организация туризма и рекреации в столичном регионе Республики Беларусь // Журн. Белорус. гос. ун-та. География. Геология. 2017. № 1. С. 109–120.

**For citation:**

Zaitsau U. M., Reshetnikova A. N., Tryfanava I. K. Territorial organization of tourism and recreation of metropolitan area of the Republic of Belarus. *J. Belarus. State Univ. Geogr. Geol.* 2017. No. 1. P. 109–120 (in Russ.).

**Авторы:**

**Владимир Михайлович Зайцев** – кандидат географических наук, доцент, доцент кафедры экономической географии зарубежных стран географического факультета.

**Анастасия Николаевна Решетникова** – старший преподаватель кафедры экономической географии зарубежных стран географического факультета.

**Ирина Казимировна Трифонова** – старший преподаватель кафедры экономической географии зарубежных стран географического факультета.

**Authors:**

**Uladzimir Zaitsau**, PhD (geography), docent; associate professor at the department of economic geography of foreign countries, faculty of geography.

*zaitsauu@tut.by*

**Anastasiya Reshetnikova**, senior lecturer at the department of economic geography of foreign countries, faculty of geography.

*anbsu@mail.ru*

**Iryna Tryfanava**, senior lecturer at the department of economic geography of foreign countries, faculty of geography.

*trifonovaik@gmail.com*

It is defined that in all of the studied types of tourist and recreational activities capital region is the leading region of the country by the number of tourists, and the dynamics of growth. This trend can be traced to the early 1990s and it has positive tendencies in the future. At the same time, taking into consideration the specifics of the resource potential, it is significantly differentiated on Minsk region territory. Based on current trends in the dynamics of tourism and recreational needs of the residents of the country, the age structure of its population and the level of urbanization, the need for rest is urban settlements will grow steadily.

**Key words:** health tourism; recreation; sanatorium-resort business; agritourism; farm tourism estates; horticultural cooperatives.

## Введение

Столичный регион Республики Беларусь включает 22 административных района, общая площадь которых составляет 39,96 тыс. км<sup>2</sup>, или 19,3 % всей территории страны. В Минской области проживает 35 % всего населения, в том числе 81,7 % городских жителей.

Природные особенности и ландшафтное разнообразие Минской области определяются ее расположением во всех физико-географических зонах Беларуси, включая центральную часть, Поозерье и Полесье. К специфике экономико-географического положения относится фактор «столичности», а также наличие на территории области значительного количества полифункциональных городов (помимо Минска) с высоким рекреационным спросом населения.

Минская область представляет собой наиболее освоенный рекреационный регион Беларуси. К востребованным и активно развивающимся видам туризма, формирующим специализацию области, можно отнести лечебно-оздоровительный и агротуризм, а также рекреацию на базе садово-огородных товариществ (СОТ). Урбанизация, высокие техногенные нагрузки, неблагоприятная экологическая обстановка в крупных городах являются определяющими факторами растущего спроса на загородный отдых и оздоровление у жителей столичного региона.

Целью настоящего исследования является анализ особенностей развития и закономерностей территориальной организации санаторно-курортного хозяйства, агротуризма и рекреационной деятельности в садовых товариществах на примере Минской области как важнейших направлений туристско-рекреационной деятельности в Республике Беларусь.

## Лечебно-оздоровительный туризм

Лечебно-оздоровительный туризм в Минской области развивается на базе 56 рекреационных территорий, которые включают в себя зоны отдыха и курорты общей площадью 471,8 тыс. га, или 12 % площади столичного региона [1], занимающего ведущее место в стране по основным показателям динамики санаторно-курортного хозяйства. В 2015 г. на территории Минской области функционировало 157 санаторно-курортных и оздоровительных организаций (33 % всего количества в стране), в том числе 30 санаториев, 2 детских реабилитационно-оздоровительных центра (ДРОЦ) и 19 баз отдыха [2]. Заполняемость, превышающую 350 мест, имеют санатории «Приозерный» и «Нарочанка» (Мядельский район), «Криница» (Минский район), «Березина» (Борисовский район), «Рассвет-Любань» (Любанский район). Крупнейшими здравницами для детей являются детский санаторий «Случь», ДРОЦ «Надежда» и «Ждановичи», Национальный детский образовательно-оздоровительный центр «Зубренок»<sup>1</sup>.

Коечный фонд санаторно-курортных и оздоровительных учреждений Минской области составляет 20 тыс. мест (42,6 % общереспубликанского показателя), в том числе 8,8 тыс. – в санаториях. Удельный вес региона в общем объеме потока отдыхающих в санаторно-курортных и оздоровительных учреждениях Беларуси по итогам 2015 г. достиг 41,9 %.

Количество отдыхающих в здравницах Минской области в 2015 г. в условиях экономического кризиса и снижения турпотоков из России уменьшилось до 319 тыс. человек (в 2013 г. – 350 тыс.). Тем не менее этот показатель значительно превышает уровень 2005 г. (табл. 1). В структуре потока свыше 25 % составляют иностранные граждане. Ключевую роль в приеме зарубежных туристов играют санатории, которые обладают наиболее развитой материальной базой и квалифицированным персоналом для организации качественного комплексного санаторно-курортного обслуживания по сравнению с другими типами здравниц, а также активно занимаются продвижением своих услуг [3].

---

<sup>1</sup>Санаторно-курортные организации Минской области // Респ. центр по оздоровлению и санаторно-курортн. лечению населения [Электронный ресурс]. URL: <http://www.rco.by/> (дата обращения: 10.10.2016).

Таблица 1

Региональная структура и динамика развития санаторно-курортного хозяйства Республики Беларусь

Table 1

Regional structure and dynamics of development of spa facilities in the Republic of Belarus

| Область             | Коечный фонд,<br>тыс. мест / % |          |          | Плотность сети,<br>объектов на 1000 км <sup>2</sup> |      |      | Количество отдыхающих<br>в санаторно-курортных<br>и оздоровительных организациях,<br>тыс. чел. / % |           |           |
|---------------------|--------------------------------|----------|----------|-----------------------------------------------------|------|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|
|                     | Год                            |          |          |                                                     |      |      |                                                                                                    |           |           |
|                     | 2005                           | 2010     | 2015     | 2005                                                | 2010 | 2015 | 2005                                                                                               | 2010      | 2015      |
| Брестская           | 6,8/15                         | 7,3/17   | 6,8/14   | 1,6                                                 | 1,4  | 2,0  | 84,6/14                                                                                            | 110,9/15  | 113,2/15  |
| Витебская           | 6,2/13                         | 6,7/15   | 6,3/13   | 1,9                                                 | 2,5  | 2,7  | 93,9/15                                                                                            | 119,8/16  | 100,3/13  |
| Гомельская          | 7,5/16                         | 6,0/14   | 5,9/13   | 0,8                                                 | 0,5  | 1,0  | 105,8/17                                                                                           | 102,5/14  | 96,3/13   |
| Гродненская         | 5,3/11                         | 3,8/9    | 5,1/11   | 1,4                                                 | 1,2  | 2,2  | 66,3/11                                                                                            | 74,5/10   | 88,6/12   |
| Минская             | 16,1/35                        | 16,8/39  | 20,0/43  | 2,4                                                 | 2,8  | 3,9  | 229,9/37                                                                                           | 295,2/40  | 319,0/42  |
| Могилёвская         | 4,1/9                          | 2,9/7    | 2,9/6    | 1,1                                                 | 1,0  | 1,7  | 44,3/7                                                                                             | 39,8/5    | 43,3/6    |
| Республика Беларусь | 41,1/100                       | 43,5/100 | 47,0/100 | 1,5                                                 | 1,6  | 2,3  | 624,7/100                                                                                          | 742,8/100 | 760,7/100 |

Примечание. Составлено авторами на основе [2].

В 2015 г. в условиях экономического кризиса впервые отмечено снижение числа иностранных отдыхающих в здравницах Беларуси (172,8 тыс. против 231 тыс. в 2014 г.). Тем не менее в стране в целом и Минской области как лидирующем регионе в частности в 2000-х гг. достигнут значительный рост зарубежных гостей в санаторно-курортных учреждениях. Треть въездного потока направлена в санатории столичного региона. Свыше 96 % туристов из-за рубежа являются гражданами СНГ (прежде всего Российской Федерации, в меньшей степени – Украины), стран Балтии и Израйля.

Минская область характеризуется устойчивой положительной динамикой показателей функционирования санаторно-курортного хозяйства. По емкости коечного фонда санаторно-курортных и оздоровительных учреждений, а также по объемам обслуживания она более чем в три раза опережает Брестскую и Витебскую области, занимающие второе и третье места соответственно. Таким образом, показатели плотности сети лечебно-оздоровительных учреждений и обеспеченности коечным фондом в столичном регионе Беларуси значительно превосходят другие области.

Территориальная структура лечебно-оздоровительного туризма в Минской области формировалась под влиянием ресурсного, демографического, социально-экономического и исторического факторов. В результате сложилась развитая сеть здравниц, представленная в 21 из 22 административных районов столичного региона. Ее характерными особенностями являются следующие: значительная доля санаторно-курортных учреждений в функциональной структуре (45 %), высокая территориальная концентрация и внекурортная локализация большого количества здравниц.

Группировка, осуществленная на основе показателей плотности сети и интенсивности потока, между которыми прослеживается прямая корреляционная зависимость, позволила выделить четыре группы районов с учетом их роли в территориальной организации санаторно-курортного лечения (табл. 2).

На долю первой группы районов приходится более 65 % емкости лечебно-оздоровительной базы и объема потока отдыхающих. Среди них выделяются Минский и Мядельский районы – лидеры в сфере лечебно-оздоровительного туризма. Минскому району, удовлетворяющему высокий рекреационный спрос в пригородной зоне столицы, принадлежит 28,5 % коечного фонда области. В 2015 г. в 32 здравницах (5,4 тыс. мест) были размещены 99,8 тыс. человек, что составляет 34 % областного показателя. В Мядельском районе сконцентрировано 24,3 % коечного фонда региона, в 22 здравницах (4,9 тыс. мест) могут разместиться 77,6 тыс. человек (24 % областного показателя). Здесь функционируют лучшие курорты республики, интенсивно внедряются продуктовые и маркетинговые инновации: активно развивается сектор спа-услуг, разрабатываются комплексные лечебно-оздоровительные программы, осуществляется продвижение в интернете и т. д. Ведущие санатории районов-лидеров («Приозерный», «Спутник», «Юность») входят в число лучших здравниц Беларуси и стран СНГ. Молодечненский район не имеет целенаправленно развиваемых курортных территорий, однако характеризуется довольно развитой сетью специализированных средств размещения (10 объектов емкостью 2,5 тыс. мест приняли в 2015 г. 29 тыс. отдыхающих).



Таблица 2

Группировка районов Минской области по показателям интенсивности развития  
лечебно-оздоровительного туризма в 2015 г.

Table 2

Minsk region districts grouping in terms of the intensity of the development of medical tourism in 2015

| Группа    | Район                                                                                                    | Плотность сети<br>здравниц,<br>мест на 100 км <sup>2</sup> | Интенсивность<br>потока отдыхающих,<br>чел. на 100 км <sup>2</sup> | Доля группы, %                 |                                  |                      |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|----------------------|
|           |                                                                                                          |                                                            |                                                                    | В емкости<br>коечного<br>фонда | В объеме<br>потока<br>отдыхающих | В площади<br>области |
| Первая    | Минский, Мядельский,<br>Молодечненский                                                                   | >50                                                        | 2000–5000                                                          | 65,1                           | 66,9                             | 13,1                 |
| Вторая    | Слуцкий, Воложинский,<br>Столбцовский, Борисовский,<br>Любанский, Солигорский,<br>Вилейский, Дзержинский | 20–50                                                      | 300–700                                                            | 24,9                           | 24,1                             | 41,5                 |
| Третья    | Березинский, Логойский,<br>Смолевичский, Узденский,<br>Червенский                                        | 10–20                                                      | 150–300                                                            | 7,4                            | 6,9                              | 21,2                 |
| Четвертая | Клецкий, Стародорожский,<br>Крупский, Несвижский,<br>Пуховичский                                         | <10                                                        | 50–150                                                             | 2,8                            | 2,1                              | 19,3                 |

Примечание. Составлено авторами на основе данных Национального статистического комитета Республики Беларусь.

Перспективные для дальнейшего освоения районы с относительно высокой плотностью сети и интенсивностью потоков вошли во вторую группу. Так, Слуцкий район играет важную роль в организации лечебно-оздоровительного отдыха детей (свыше 700 мест). Значительным лечебным природным потенциалом обладает Борисовский район, где на санаторно-курортные организации приходится треть коечного фонда специализированных средств размещения. В Столбцовском районе доминируют предприятия оздоровительного и спортивного туризма, санаторно-курортное направление развития не получило. В условиях незначительных объемов нового рекреационного строительства в сфере лечебно-оздоровительного туризма с учетом растущего туристского спроса на отдых на природных территориях в некоторых районах группы, например в Воложинском, активно развивается агрозкотуризм. Дальнейшего эффективного освоения требует уникальный потенциал спелеотерапии Солигорского района, где активно функционируют Республиканская больница спелеолечения и ее филиал – реабилитационный центр «Зеленый бор».

Районы с низкой плотностью сети (третья и четвертая группы) занимают 40 % площади области. Неравномерность размещения объектов курортно-рекреационной инфраструктуры связана с влиянием двух факторов – ресурсов и спроса.

Необходимо отметить, что недостаточно высокий уровень туристской освоенности, не соответствующий рекреационно-ресурсному потенциалу, характерен для Березинского, Вилейского и Несвижского районов. На основе территориального сочетания природно-ресурсного потенциала и туристской инфраструктуры в них возможно формирование конкурентоспособных кластеров лечебно-оздоровительной специализации.

В организации лечебно-оздоровительного туризма Минской области особую роль играют крупнейший в стране курорт «Нарочь» (Мядельский район) и расположенный в пригородной зоне столицы курорт «Ждановичи» (Минский район).

Мядельскому району свойственны очень высокие показатели плотности коечного фонда санаторно-курортных и оздоровительных организаций в расчете на 100 км<sup>2</sup> (243 места), а также обеспеченности на 100 местных жителей (18,4 места). Нарочанская курортно-рекреационная зона включает в себя 11 санаторно-курортных и оздоровительных организаций вместимостью около 3,5 тыс. койко-мест, которые ежегодно принимают около 100 тыс. туристов и экскурсантов (две трети потока составляют отдыхающие в здравницах). Основной ареал туристского освоения приходится на северо-западное побережье оз. Нарочь, где уровень рекреационных нагрузок на природные комплексы достигает предельных значений.

Реализация Государственной программы развития курортной зоны Нарочанского края на 2011–2015 гг. способствовала модернизации основной (в том числе транспортной и социальной) инфраструктуры курорта, а также ряда объектов санаторно-курортного профиля [4]. Однако до настоящего времени не решена проблема оптимизации территориальной структуры курортной зоны за счет создания

туристских комплексов на побережьях озер Мясстро, Мядель и Белое в целях переориентации потоков отдыхающих и снижения рекреационной нагрузки на оз. Нарочь. Отсутствует четкая стратегия развития курорта «Нарочь», эффективная структура управления и координации его функционирования на принципах государственно-частного партнерства, не развиты механизмы сотрудничества между разрозненными здравницами, принадлежащими различным ведомствам. В условиях отсутствия налоговых льгот для субъектов агроэкотуризма в пределах курортной зоны массовая аренда частного жилья в летний сезон требует более продуманного нормативно-правового регулирования. Таким образом, необходимо разработать и реализовать оптимальные меры, направленные на развитие курорта и его территориальное планирование.

Курорт «Ждановичи» имеет данный статус более 30 лет, однако наличие санаторных объектов не привело к глубокому преобразованию поселка Ждановичи (в отличие от поселка Нарочь), поскольку они развивались на соседних свободных территориях. Курортное обслуживание испытывает конкуренцию в использовании ценных природно-рекреационных ландшафтов со стороны производственной, селитебной, транспортной функций поселка, а также различных форм кратковременного пригородного отдыха. Незначительные площади, отведенные под курорт, не соответствуют сформировавшейся вдоль побережья Заславского водохранилища сети учреждений оздоровительного и лечебного туризма (свыше 15 объектов). Современная суммарная емкость специализированных средств размещения (включая гостиничную базу), расположенных в районе водохранилища, составляет 3,7 тыс. мест, из них 1,9 тыс. приходится на санаторно-курортные организации, среди которых крупнейшими являются санаторий «Криница» и ДРОЦ «Ждановичи». По информации УП «БелНИИП градостроительства», к настоящему времени разработан генеральный план развития рекреационных территорий, прилегающих к Заславскому водохранилищу, который с учетом функционального зонирования позволит сохранить курортный статус за наиболее ценными угодьями для дальнейшего развития.

Таким образом, в Минской области под воздействием социально-экономических, демографических и экологических факторов расширяется емкость, трансформируется функциональная структура и усиливается территориальная концентрация санаторно-курортного обслуживания. Возрастает роль курортов в развитии отрасли в регионе. Активно внедряются рыночные механизмы и наращивается экспортный потенциал санаторно-курортного комплекса при сохранении социального вектора в развитии данного направления туризма с учетом параметров спроса.

### Агротуризм

Достаточно новым и перспективным направлением туристической индустрии является агротуризм, ориентированный на использование природно-рекреационного потенциала сельской местности для создания и предложения туристского продукта потребителю.

Агротуризм предполагает пакет услуг – от размещения в сельском доме, экскурсий и питания до активного участия в деревенской жизни. С географической точки зрения это туризм за пределами городской черты на территории с низкой плотностью населения.

В соответствии с законом Республики Беларусь «О туризме» и Национальной программой развития туризма Республики Беларусь агротуризм определен как одно из наиболее приоритетных направлений, призванное в максимальной степени задействовать природный и человеческий потенциал белорусской деревни на благо ее жителей, всех граждан страны и зарубежных гостей.

Сельский туризм не только способствует удовлетворению быстрорастущего спроса населения страны и столичного региона на туристские услуги, но и придает импульс развитию сельской местности за счет появления нового специфического сектора экономики. Создание условий для отдыха, обеспечение туристов экологически чистыми, натуральными продуктами сельского хозяйства, развитие комплекса культурно-досуговых мероприятий, знакомство с местными традициями и достопримечательностями – все это содействует повышению уровня жизни в сельской местности и возрождению национальной культуры [5].

Активизация спроса на отдых вдали от городской суеты стимулирует увеличение предложений в этом сравнительно молодом сегменте туристского рынка. И хотя первые современные агроусадьбы в Беларуси появились только в 2003 г., их количество к 2014 г. превысило 2 тыс. Особенно высокие темпы были характерны для начального периода формирования сети агроусадоб: ежегодные средние темпы роста с 2006 по 2010 г. составляли более 100 %. За период с 2010 по 2015 г. количество агроусадоб увеличилось более чем в 1,5 раза и достигло 2263 единиц. Такая динамика свидетельствует о положительных тенденциях в развитии агротуризма в Республике Беларусь.

Рост популярности агротуризма способствует усовершенствованию и созданию современной рекреационной инфраструктуры в сельской местности. По причине социально-демографической и экономической

ситуации в городах число тех, кто стремится полноценно отдохнуть, постоянно увеличивается. При этом особую актуальность приобретают виды туризма, основанные на природном потенциале, в том числе агро-туризм.

Услугами агроэкотуризма в 2015 г. воспользовались 294,3 тыс. человек, что в 2,5 раза больше, чем в 2010 г. Граждане Республики Беларусь в общем числе агроэкотуристов составили 88,1 % [2]. Развитие данного направления способствует расширению возможностей восстановления работоспособности населения и находит свое отражение в постоянном задействовании для рекреационной деятельности новых территорий.

Агротуристов привлекают преимущественно природно-климатические особенности территории нашей республики. Беларусь – равнинная страна, богатая водными ресурсами в виде многочисленных рек и озер, а также живописными лесными ландшафтами. Культурно-исторические достопримечательности также выступают в качестве одного из мотивов для внутренних и иностранных туристов, посещающих сельские усадьбы нашей страны [6]. При этом число агроусадьб в столичном регионе постоянно возрастает (табл. 3).

Таблица 3

Динамика развития агроусадьб по областям Республики Беларусь с 2006 по 2015 г.

Table 3

The dynamics of the farmsteads development in the areas of the Republic of Belarus in 2006–2015

| Область                    | Год       |             |             |             |             |             |
|----------------------------|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                            | 2006      | 2010        | 2011        | 2012        | 2013        | 2015        |
| Брестская                  | 4         | 151         | 178         | 199         | 253         | 346         |
| Витебская                  | 5         | 322         | 359         | 401         | 449         | 605         |
| Гомельская                 | 5         | 131         | 332         | 358         | 289         | 196         |
| Гродненская                | 11        | 180         | 185         | 229         | 246         | 303         |
| Минская                    | 7         | 255         | 304         | 412         | 482         | 592         |
| Могилёвская                | 2         | 208         | 218         | 176         | 162         | 216         |
| <b>Республика Беларусь</b> | <b>34</b> | <b>1247</b> | <b>1576</b> | <b>1775</b> | <b>1881</b> | <b>2263</b> |

Примечание. Составлено авторами на основе [2].

По плотности агроусадьб на единицу площади в стране лидируют две области – Минская и Витебская (1,5 ед. на 100 км<sup>2</sup>). Наименьшая плотность агроусадьбных хозяйств характерна для Гомельской (0,5 ед. на 100 км<sup>2</sup>) и Могилёвской (0,7 ед. на 100 км<sup>2</sup>) областей. Данный факт можно объяснить последствиями чернобыльской катастрофы – в отдельных районах сложилась неблагоприятная ситуация для развития агротуризма.

Агроусадьбы распределяются по территории Минской области неравномерно. На первом месте по плотности находится Минский район (4,5 ед. на 100 км<sup>2</sup>), что обусловлено его выгодным транспортным положением и близостью к столице. Высокие позиции также имеет Мядельский район (3,5 ед. на 100 км<sup>2</sup>), на территории которого располагаются Национальный парк «Нарочанский», озера Нарочь, Мясро, Свирь и др. Большую плотность агроусадьбных хозяйств, характерную для Логойского района, можно объяснить прежде всего выгодным рекреационно-географическим положением и развитой туристской инфраструктурой. Привлекательными центрами туризма в этом районе являются горнолыжный спортивно-оздоровительный комплекс «Логойск», республиканский горнолыжный центр «Силичи» и лыжно-биатлонная спортивная база отдыха «Заячья поляна».

Наблюдаются значительные диспропорции в удельном весе агроусадьб некоторых административных районов относительно их суммарного количества в области. Так, более половины из них (50,6 %) сосредоточены в трех районах: Минском (22,1 %), Мядельском (18,1 %) и Логойском (10,4 %)<sup>1</sup>. В то же время их доля в общей площади области составляет лишь 15,6 %, а в общей численности населения региона – 19,4 %. Еще 20 % суммарного количества агроусадьб сосредоточено в довольно густонаселенных Борисовском, Солигорском и Слуцком районах. Общая численность населения в них превышает 30 % всего числа жителей столичного региона.

Несмотря на то что агротуризм ориентируется преимущественно на организацию отдыха на природе, территориально агроусадьбы столичного региона концентрируются вблизи крупных городов и туристских центров.

<sup>1</sup>Список агроусадьб в разрезе региона // Минский областной исполнительный комитет : сайт. URL: [www.minsk-region.gov.by/](http://www.minsk-region.gov.by/) (дата обращения: 18.11.2016).



Одним из важнейших индикаторов развития агротуризма в Минской области является показатель обеспеченности населения агроусадебным фондом (количество койко-мест в расчете на 1000 жителей). На основании его анализа и обеспеченности им населения можно сделать вывод о том, что в регионе существуют диспропорции в развитии агротуризма, которые хорошо видны на рис. 1.

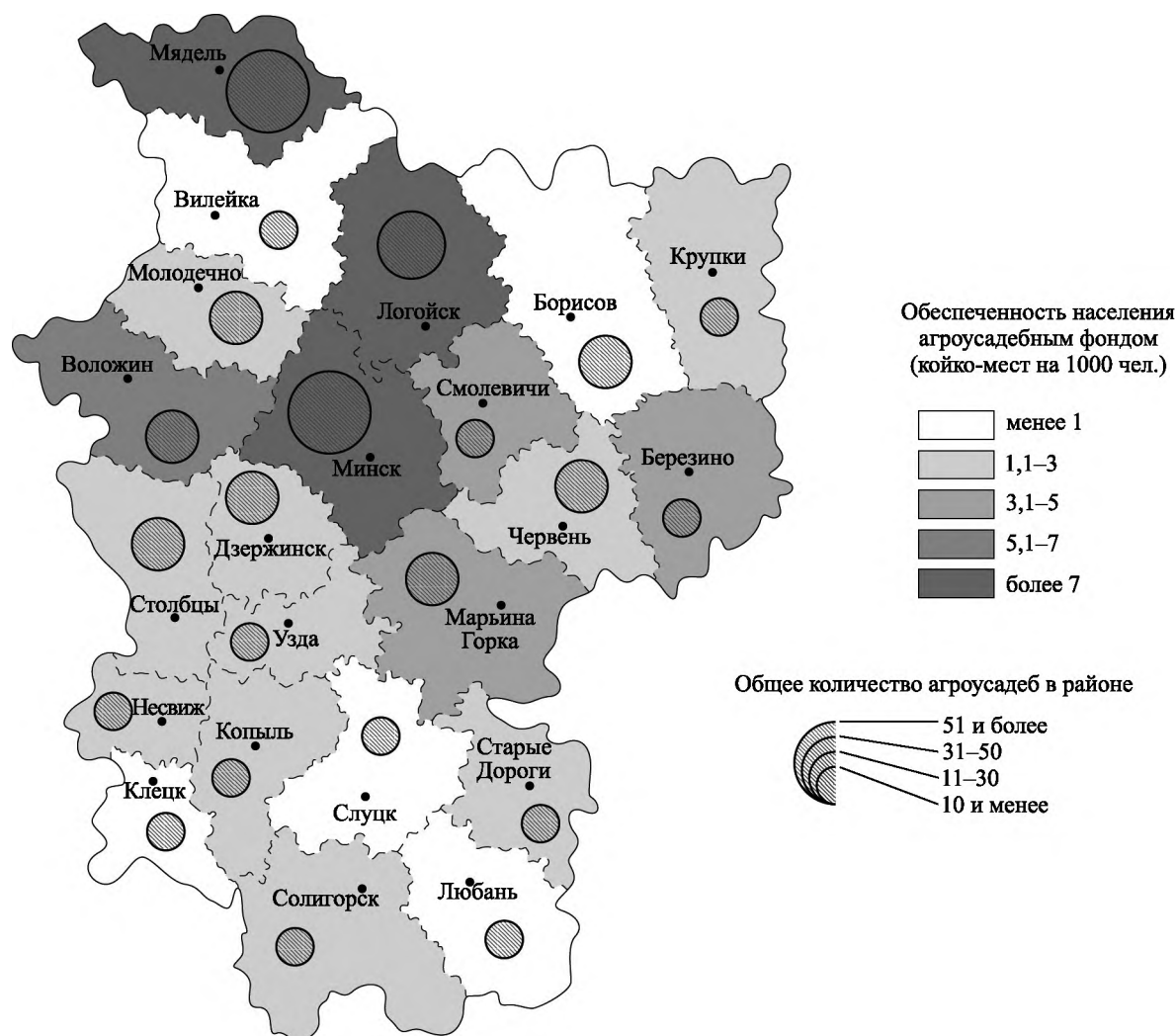


Рис. 1. Развитие агротуризма в Минской области  
Fig. 1. The development of agro-tourism in Minsk region

По уровню развития агротуризма в Минской области можно выделить пять групп районов. К первой группе относятся районы с очень высокой обеспеченностью агроусадебным фондом (более 7 койко-мест на 1000 чел.): Мядельский (20), Логойский (11) и Минский (7,7). Во вторую группу с высокой обеспеченностью (6,6) вошел лишь один район области – Воложинский. В нем размещается 33 агроусадеб, услугами которых в 2014 г. воспользовались 13 481 человек, из них 1633 человека (12 %) – иностранные граждане. Третью группу составляют районы со средним показателем обеспеченности (от 3 до 5 койко-мест на 1000 чел.). В нее входят три района области: Березинский, Пуховичский и Смолевичский. В четвертой группе насчитывается девять районов с низким уровнем обеспеченности агроусадебным фондом (от 1 до 3 койко-мест на 1000 чел.). Наконец, очень низкий показатель (менее 1 койко-места на 1000 чел.) демонстрируют шесть районов столичного региона (см. рис. 1).

Таким образом, в Минской области создана сеть агроусадеб, при этом шесть общественных советов, сформированных в Борисовском, Воложинском, Логойском, Молодечненском, Мядельском и Смолевичском районах, координируют деятельность в сфере агротуризма. Однако туристско-рекреационный потенциал административных районов используется не в полном объеме. Развитие агротуризма в регионе должно быть ориентировано на использование природных, культурных, этноисторических и иных ресурсов сельской местности для создания комплексного туристского продукта.



## Рекреация и туризм в садово-огородных товариществах

Одним из наиболее динамично развивающихся сегментов загородного отдыха в Республике Беларусь являются садово-огородные товарищества, которые становятся новыми элементами расселения. Это некоммерческие объединения граждан, учрежденные на добровольных началах для содействия ее членам в решении общих социально-хозяйственных задач ведения садоводства, огородничества или дачного хозяйства. Проследить динамику численности СОТ достаточно сложно, поскольку последние нередко распадаются либо объединяются, изменяя свою площадь и количество участников.

Судя по оценкам экспертов в сфере недвижимости, в настоящее время от 50 до 60 % взрослого населения г. Минска имеют земельные участки в пригороде, в том числе на территориях садоводческих товариществ. И для многих из них наличие такого участка является хорошей альтернативой индивидуальному дому в коттеджном поселке.

Чтобы лучше разобраться в природе нормативного действия СОТ, стоит обратить внимание на законодательное отличие дачного участка в садовом кооперативе от участка в коттеджной застройке. Основное отличие состоит прежде всего в целевом использовании земли: для дачного участка главным являются садоводство и огородничество с сезонным проживанием, для коттеджной застройки – строительство и обслуживание жилого дома.

Наиболее активно садоводческие товарищества начали развиваться с середины 1960-х – начала 1970-х гг. Земли под строительство загородных домов выделяли и раньше, но в ограниченном количестве. Как правило, под садоводческие товарищества отдавали территории, изначально малоприспособленные для выращивания плодовых деревьев и овощных культур. Часто это были низины и болотные места или просеки под линиями электропередачи, пустыри вблизи деревень, мелколесье. Согласно соответствующим постановлениям минимальные размеры участков составляли 6, а в ряде мест и 4–5 соток. Могло быть и больше – до 12 соток, в зависимости от решения местных властей.

Минская область – безусловный лидер в стране по численности и развитию СОТ, что проявляется прежде всего в росте загородного строительства, связанном с реализацией новых жилищных стандартов наиболее состоятельными слоями населения. По количеству организованных СОТ и уровню цен на землю Минский регион выделяется среди остальных. На данный момент здесь сосредоточена большая часть садоводческих товариществ Беларуси (34 %), а также наибольшее количество семей садоводов (36 %). При этом удельный вес Минской области более чем вдвое превышает долю любой из других областей страны.

На начало 2011 г. в Минской области насчитывалось 1360 СОТ<sup>1</sup>. Рассматривая динамику увеличения их численности за период с 1991 по 2011 г., следует отметить, что общее количество СОТ за 20 лет возросло почти в 2,8 раза. При этом наиболее высокие темпы роста показал Минский район (в 4,3 раза). Следующие значимые по количеству товариществ районы – Дзержинский, Молодечненский, Пуховичский и Смолевичский – повысили свои показатели в среднем в 2,5 раза (табл. 4).

Таблица 4

Динамика численности садово-огородных товариществ Минской области с 1991 по 2011 г.

Table 4

Changes in the number of garden associations in Minsk region during the period of 1991–2011

| Район       | По состоянию на  |                     |                  |                     |                  |                     |
|-------------|------------------|---------------------|------------------|---------------------|------------------|---------------------|
|             | 1 января 1991 г. |                     | 1 января 2003 г. |                     | 1 января 2011 г. |                     |
|             | Общее число СОТ  | В % от общего числа | Общее число СОТ  | В % от общего числа | Общее число СОТ  | В % от общего числа |
| Березенский | 5                | 1,0                 | 5                | 3,4                 | 12               | 0,9                 |
| Борисовский | 33               | 6,8                 | 5                | 3,4                 | 65               | 4,8                 |
| Вилейский   | 0                | 0                   | 7                | 4,7                 | 3                | 0,2                 |
| Воложинский | 27               | 5,5                 | 2                | 1,3                 | 88               | 6,5                 |

<sup>1</sup>Землеустроительная служба // Минский областной исполнительный комитет : сайт. URL: [www.minsk-region.gov.by/ru/zemelnye-uchastki](http://www.minsk-region.gov.by/ru/zemelnye-uchastki) (дата обращения: 20.11.2016).

Окончание табл. 4  
Ending table 4

| Район                   | По состоянию на  |                     |                  |                     |                  |                     |
|-------------------------|------------------|---------------------|------------------|---------------------|------------------|---------------------|
|                         | 1 января 1991 г. |                     | 1 января 2003 г. |                     | 1 января 2011 г. |                     |
|                         | Общее число СОТ  | В % от общего числа | Общее число СОТ  | В % от общего числа | Общее число СОТ  | В % от общего числа |
| Дзержинский             | 53               | 10,9                | 3                | 2,0                 | 110              | 8,1                 |
| Клецкий                 | 0                | 0                   | –                | –                   | 1                | 0,1                 |
| Копыльский              | 0                | 0                   | 0                | 0                   | 0                | 0                   |
| Крупский                | 1                | 0,2                 | –                | –                   | 6                | 0,4                 |
| Логойский               | 37               | 7,6                 | –                | –                   | 65               | 4,8                 |
| Любанский               | 0                | 0                   | 1                | 0,7                 | 1                | 0,1                 |
| Минский                 | 71               | 14,6                | 51               | 34,2                | 311              | 22,9                |
| Молодечненский          | 31               | 6,4                 | 2                | 1,3                 | 173              | 12,7                |
| Мядельский              | 2                | 0,4                 | 3                | 2,0                 | 2                | 0,1                 |
| Несвижский              | 19               | 3,9                 | 39               | 26,2                | 17               | 1,3                 |
| Пуховичский             | 71               | 14,6                | 8                | 5,4                 | 179              | 13,2                |
| Слуцкий                 | 1                | 0,2                 | 1                | 0,7                 | 6                | 0,4                 |
| Смолевичский            | 62               | 12,7                | 11               | 7,4                 | 150              | 11,0                |
| Солигорский             | 22               | 4,5                 | 1                | 0,7                 | 56               | 4,1                 |
| Стародорожский          | 7                | 1,4                 | 2                | 1,3                 | 8                | 0,6                 |
| Столбцовский            | 16               | 3,3                 | –                | –                   | 49               | 3,6                 |
| Узденский               | 12               | 2,5                 | 3                | 2,0                 | 32               | 2,4                 |
| Червенский              | 17               | 3,5                 | 5                | 3,4                 | 26               | 1,9                 |
| <b>Всего по области</b> | <b>487</b>       | <b>100</b>          | <b>149</b>       | <b>100</b>          | <b>1360</b>      | <b>100</b>          |

Примечание. Составлено авторами на основе информации землеустроительной службы Минского городского исполнительного комитета.

Из основных структурных сдвигов в численности товариществ можно выделить доминирующую позицию Минского района (23 % в 2011 г. против 14,6 % в 1991-м). В 1991 г. за Минским районом следовали Пуховичский и Смолевичский (по 12,7 %). В 2011 г. в лидирующую группу попал Молодечненский район (также 12,7 %). Существенно утратил свои позиции за рассматриваемый период Логойский район, где количество СОТ уменьшилось с 7,6 до 4,8 %.

К районам с малой численностью СОТ относятся Березинский, Вилейский, Клецкий, Крупский, Любанский, Слуцкий и Стародорожский. В Копыльском районе садовых товариществ нет вообще. В целом данные районы отличаются периферийностью по отношению к наиболее крупному городу столичного региона – Минску. В динамике численности районов с наименьшим удельным весом СОТ существенных сдвигов не наблюдалось.

В процессе изучения современной территориальной структуры СОТ и ее динамики был использован кластер-анализ, основанный на трех показателях: общем количестве СОТ в административном районе, численности семей садоводов и площади отведенных для пользования земель.

При проведении кластерного анализа был выбран иерархический агломеративный (объединительный) метод кластеризации – Joining (tree clustering) [7]. При этом предпочтение было отдано наиболее часто используемой мере сходства – евклидовой метрике [8; 9]. Кроме того, в процессе кластеризации был реализован метод полной связи – complete linkage (полное сцепление). Результаты анализа представлены в табл. 5 и на рис. 2.

Таблица 5

Структура кластеров садово-огородных товариществ, %

Table 5

Cluster structure of gardening partnerships, %

| Кластер | Год             |                              |                                          |                 |                              |                                          |                 |                              |                                          |
|---------|-----------------|------------------------------|------------------------------------------|-----------------|------------------------------|------------------------------------------|-----------------|------------------------------|------------------------------------------|
|         | 1991            |                              |                                          | 2003            |                              |                                          | 2011            |                              |                                          |
|         | Общее число СОТ | Количество садоводов (семей) | Площадь отведенных на пользование земель | Общее число СОТ | Количество садоводов (семей) | Площадь отведенных на пользование земель | Общее число СОТ | Количество садоводов (семей) | Площадь отведенных на пользование земель |
| I       | 41,9            | 43,5                         | 39,1                                     | 68,4            | 39,2                         | 46,1                                     | 47,0            | 53,4                         | 47,4                                     |
| II      | 41,6            | 47,4                         | 48,9                                     | 19,5            | 46,6                         | 42,3                                     | 31,4            | 34,0                         | 36,9                                     |
| III     | 14,5            | 11,2                         | 10,9                                     | 12,1            | 14,2                         | 11,6                                     | 21,3            | 12,4                         | 15,4                                     |
| IV      | 2,0             | 0,9                          | 0,8                                      | 0               | 0                            | 0                                        | 0,3             | 0,2                          | 0,3                                      |

Примечание. Составлено авторами на основе информации землеустроительной службы Минского городского исполнительного комитета.

В 1991 г. в I кластер вошли Минский, Пуховичский и Смолевичский районы. Во II кластер попали районы, суммарный удельный вес участия в садово-огороднической деятельности которых почти аналогичен предыдущему кластеру, однако роль каждого из них была значительно ниже. Это Дзержинский, Молодечненский, Логойский, Борисовский, Воложинский и Солигорский районы. В III кластер были включены районы, где формирование СОТ не получило широкого развития: Червенский, Столбцовский, Несвижский, Узденский и Стародорожский. Вместе с тем, учитывая географическое положение, расширение деятельности СОТ представляло здесь определенный интерес. В IV кластер вошли районы с наименьшими показателями площади, численности и общего количества СОТ: Березинский, Слуцкий, Мядельский и Крупский. К этому же кластеру были отнесены районы, где товарищества отсутствовали (Клецкий, Вилейский, Любанский и Копыльский).

В 2003 г. в I кластере были представлены те же районы, что и в 1991 г., и, кроме них, Солигорский район, выделившийся максимальной площадью отведенных земель. Во II кластер попали Дзержинский, Молодечненский, Логойский, Борисовский и Воложинский районы, а также перешедшие в него по сравнению с 1991 г. из III кластера Несвижский и Столбцовский районы. Наконец, III кластер образовали Червенский, Узденский, Стародорожский районы, а также перешедшие в эту группу Вилейский, Мядельский, Клецкий и Любанский районы. В IV кластер вошли Березинский, Слуцкий, Крупский и Копыльский районы.

В настоящее время состав всех кластеров совпадает с тем, который сформировался в 2003 г. В Минской области максимальной концентрацией СОТ (I кластер) по-прежнему отличаются четыре района (см. рис. 2), на которые приходится практически 50 % показателей, характеризующих развитие товариществ данного региона. В совокупности около трети показателей, касающихся СОТ, могут быть отнесены ко II кластеру.

Территориальная структура СОТ меняется из года в год, проходя определенные этапы в своем развитии. По оценкам специалистов, объем сделок в данном сегменте составляет всего 5–8 % общего объема рынка загородной недвижимости. В большинстве случаев в садоводческих товариществах продаж и покупкой домов и земельных участков люди занимаются самостоятельно, не прибегая к помощи риелторских фирм, работающих в конкретном районе.

Важной особенностью размещения СОТ Минской области является их близость к столице и транспортной инфраструктуре. Так, в зоне ближних и средних пригородов столицы (до 20 и 40 км от МКАД соответственно) расположено более трех четвертей всех товариществ (77 %), причем такая ситуация характерна практически для всех транспортных направлений, идущих от г. Минска. При постепенном исчерпании территориальных ресурсов вблизи города активизировалось образование товариществ на большей удаленности от МКАД. В перспективе ситуация существенно не изменится, поскольку принято решение о запрете создания СОТ в пригородной зоне г. Минска [10]. Преимущественно они будут формироваться за пределами Минской области, тем более что в середине 2013 г., по информации землеустроительной службы, на ее территории насчитывалось лишь более 3,7 тыс. свободных садовых участков.





Рис. 2. Географическая структура кластерного распространения районов Минской области по главным признакам СОТ:  
а – 1991 г.; б – 2011 г.

Fig. 2. Geographical structure of cluster distribution of the districts of Minsk region by the main features of gardening partnerships:  
a – 1991; b – 2011

Одним из важнейших трендов в территориальной избирательности размещения садовых товариществ Минского региона является их концентрация на западе области (свыше 70 % всего количества СОТ). Это обусловлено тем, что данное направление, прежде всего Молодечненское, представлено территориями, наиболее благоприятными с точки зрения развития транспортной инфраструктуры, рекреационного потенциала и экологической ситуации.

Таким образом, по всем исследуемым видам туристско-рекреационной деятельности столичный регион является ведущим в стране как по количеству отдыхающих и емкости специализированных средств

размещения, так и по динамике роста. Вместе с тем с учетом специфики ресурсного потенциала сложилась значительная дифференциация в степени развития туристских функций на уровне районов области. Особую роль в территориальной организации исследуемых видов туризма играет Минский район, обеспечивающий условия для загородного отдыха и оздоровления жителей столичной агломерации, а также Мядельский район, обладающий высоким рекреационно-ресурсным потенциалом и развитой туристской инфраструктурой. Ограниченная рекреационная емкость лидирующих районов диктует необходимость дальнейшей диверсификации территориальной структуры туристского предложения в регионе. Учитывая современные тенденции динамики туристско-рекреационных запросов жителей страны, возрастную структуру населения и уровень урбанизации, потребность в отдыхе вне городской среды будет устойчиво возрастать. В будущем туристско-рекреационное освоение данных районов должно основываться на принципах комплексности, экологичности, эффективности и рационального использования ресурсов, что необходимо принимать во внимание при перспективном планировании развития региона.

### Библиографические ссылки

1. Курорты и здравницы Беларуси : справ. изд. / под ред. Ю. М. Досина, И. И. Пирожника. Минск, 2008.
2. Туризм и туристические ресурсы в Республике Беларусь : стат. сб. // Нац. стат. комитет Респ. Беларусь. Минск, 2016.
3. Решетников Д., Решетникова А. Санаторно-курортное хозяйство Беларуси // Наука и инновации. 2013. № 7 (125). С. 24–28.
4. О выполнении мероприятий Государственной программы развития курортной зоны Нарочанского региона на 2011–2015 годы [Электронный ресурс]. URL: <http://www.myadel.minsk-region.by/ru/gosprogramma-ru/> (дата обращения: 15.11.2016).
5. Клицунова В. А., Борисенко Н. М., Аношко Я. И. Агрокотуризм. Минск, 2014.
6. Региональные тенденции и факторы развития агрокотуризма Брестской и Гродненской областей / Н. Б. Тупицына [и др.] ; под общ. ред. В. А. Шадркова, И. Н. Шаруха. Минск, 2015.
7. Антохонова И. В. Методы прогнозирования социально-экономических процессов. Улан-Удэ, 2004.
8. Боровиков В. П., Ивченко Г. И. Прогнозирование в системе Statistica в среде Windows. М., 2000.
9. Боровиков В. П. Программа STATISTICA для студентов и инженеров. М., 2001.
10. О мерах по упорядочению деятельности садоводческих товариществ : Указ Президента Республики Беларусь от 28 янв. 2008 г. № 50 : с изм. и доп. : текст по состоянию на 1 дек. 2010 г. Минск, 2010.

### References

1. Kurorty i zdavnitsy Belarusi : sprav. izd. Ed. by Y. M. Dosina, I. I. Pirozhnika. Minsk, 2008 (in Russ.).
2. Turizm i turisticheskie resursy v Respublike Belarus' [Tourism and tourist resource in the Republic of Belarus] : statistics digest. *Natl. Stat. Comm. of the Repub. of Belarus*. Minsk, 2016 (in Russ.).
3. Reshetnikov D., Reshetnikova A. Sanatorium-kurortnoe khozyaistvo Belarusi [Sanatorium-and-Spa Facilities of Belarus]. *Nauka i innov.* 2013. No. 7 (125). P. 24–28 (in Russ.).
4. O vypolnenii meropriyatiy Gosudarstvennoi programmy razvitiya kurortnoi zony Narochanskogo regiona na 2011–2015 gody [Electronic resource]. URL: <http://www.myadel.minsk-region.by/ru/gosprogramma-ru/> (date of access: 15.11.2016) (in Russ.).
5. Klitsunova V. A., Borisenko N. M., Anoshko Y. I. Agroekoturizm [Agroecotourism]. Minsk, 2014 (in Russ.).
6. Tupitsyna N. B., Tokarchuk O. V., Tokarchuk S. M., et al. Regional'nye tendentsii i faktory razvitiya agroekoturizma Brestskoi i Grodnenskoj oblastei [Regional tendencies and factors of development of rural tourism in Brest and Grodno regions]. Ed. by V. A. Shadrakova, I. N. Sharukho. Minsk, 2015 (in Russ.).
7. Antokhonova I. V. Metody prognozirovaniya sotsial'no-ekonomicheskikh protsessov [Methods of socio-economic processes forecasting]. Ulan-Ude, 2004 (in Russ.).
8. Borovikov V. P., Ivchenko G. I. Prognozirovanie v sisteme Statistica v srede Windows. Mosc., 2000 (in Russ.).
9. Borovikov V. P. Programma STATISTICA dlya studentov i inzhenerov. Mosc., 2001 (in Russ.).
10. O merakh po uporyadocheniyu deyatel'nosti sadovodcheskikh tovarishchestv : Ukaz of the President of the Republic of Belarus from 28 January 2008. No. 50 : s izm. i dop. : tekst po sostoyaniyu na 1 Dec. 2010. Minsk, 2010 (in Russ.).

Статья поступила в редколлегию 22.11.2016.  
Received by editorial board 22.11.2016.

ИНТЕРАКТИВНОЕ СОЗДАНИЕ ЦИФРОВЫХ ПРОИЗВОДНЫХ  
ТЕМАТИЧЕСКИХ КАРТ НА ОСНОВЕ СЛОЯ «ПОЧВЫ» ЗЕМЕЛЬНЫХ  
ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬН. В. КЛЕБАНОВИЧ<sup>1)</sup>, С. Н. ПРОКОПОВИЧ<sup>1)</sup>, А. А. САЗОНОВ<sup>1)</sup><sup>1)</sup>Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Республика Беларусь

Рассматривается возможность интерактивного автоматизированного создания тематических карт на основе слоя «почвы» земельных информационных систем Республики Беларусь. Для этого предложен модуль обработки тематической информации *Soil Analyst*, разработанный авторами в среде ArcGIS for Desktop 10.3. С помощью инструментов ГИС-анализа проведена пространственная и тематическая оценка созданных карт литологического строения, почвообразующих пород, картограмм содержания физической глины, нуждаемости почв в мелиорации, карт почвенного покрова в международной классификационной системе WRB. Доказывается, что сформированные цифровые тематические карты на совершенно новом организационно-пространственном уровне характеризуют почвенный покров исследуемой территории посредством совместного анализа больших групп параметров (рельеф, генезис и свойства почвообразующих пород, степень увлажнения, гранулометрический состав, морфометрические признаки, корреляционные особенности классификаций и т. д.) в их взаимосвязи, что очень важно для максимально полного описания почвенного покрова и отдельных компонентов ландшафта.

**Ключевые слова:** цифровая почвенная картография; тематические карты; земельные информационные системы; базы геоданных; ГИС-анализ.

INTERACTIVE CREATION OF DIGITAL DERIVATIVES THEMATIC MAPS  
OF THE BASE LAYER «SOIL» OF THE LAND INFORMATION SYSTEMS  
OF THE REPUBLIC OF BELARUSN. V. KLEBANOVICH<sup>a</sup>, S. N. PROKOPOVICH<sup>a</sup>, A. A. SAZONOV<sup>a</sup><sup>a</sup>Belarusian State University, Nezavisimosti avenue, 4, 220030, Minsk, Republic of Belarus

Corresponding author: prokopovichSN@bsu.by

The article discusses the possibility of interactive automated creation the thematic maps of the base layer «soil» of the land information systems of the Republic of Belarus. The authors proposed a processing module of thematic information *Soil Analyst* created in the environment of ArcGIS for Desktop 10.3. Performed spatial and thematic GIS-analysis created

**Образец цитирования:**

Клебанович Н. В., Прокопович С. Н., Сазонов А. А. Интерактивное создание цифровых производных тематических карт на основе слоя «почвы» земельных информационных систем Республики Беларусь // Журн. Белорус. гос. ун-та. География. Геология. 2017. № 1. С. 121–129.

**For citation:**

Klebanovich N. V., Prokopovich S. N., Sazonov A. A. Interactive creation of digital derivatives thematic maps of the base layer «soil» of the land information systems of the Republic of Belarus. *J. Belarus. State Univ. Geogr. Geol.* 2017. No. 1. P. 121–129 (in Russ.).

**Авторы:**

**Николай Васильевич Клебанович** – доктор сельскохозяйственных наук, доцент; заведующий кафедрой почвоведения и земельных информационных систем географического факультета.

**Сергей Николаевич Прокопович** – старший преподаватель кафедры почвоведения и земельных информационных систем географического факультета.

**Алексей Александрович Сазонов** – лаборант научно-исследовательской лаборатории экологии ландшафтов географического факультета.

**Authors:**

**Nikolai Klebanovich**, doctor of science (agriculture), docent; head of the department of soil science and land information systems, faculty of geography.

*n\_klebanovich@inbox.ru*

**Sergey Prokopovich**, senior lecturer at the department of soil science and land information systems, faculty of geography.

*prokopovichSN@bsu.by*

**Aliaksei Sazonov**, assistant at the scientific research laboratory of landscape ecology, faculty of geography.

*alexey.sazonov@gmail.com*

lithology maps, maps of parent rocks, cartograms of physical clay content, maps of soils means to reclamation, soil maps in the international classification WRB system. Created by the authors digital thematic maps on a completely new organizational and spatial level determine the soil cover of the research area based on a joint analysis of large groups of parameters (parameters of the relief, the genesis and nature of the pedogenesis, the degree of humidification, size distribution of the soil, morphometric characteristics, the correlation characteristics of the classifications is interconnected, which is very important for the complete characterization of a soil as a whole, and the individual components of the landscape in particular.

**Key words:** digital soil mapping; thematic maps; land information systems; geodatabases; GIS analysis.

## Введение

На современном уровне развития цифровой почвенной картографии (ЦПК) технологические и информационные процессы создания и использования карт, обеспечивающие запросно-ответный режим работы, необходимо автоматизировать на основе баз геоданных (БГД) [1]. Это требует наличия в БГД пространственной и атрибутивной информации, которая может формироваться как из созданных цифровых источников, так и из оцифрованных традиционных.

Специфика визуализации географической информации и создания производных карт на основе БГД обусловлена тесной связью электронной карты и базы данных, а также возможностью непосредственного доступа к инструментам ГИС-анализа и формирования пространственных и атрибутивных запросов к БГД. При проектировании и составлении производных цифровых карт важно обеспечить наглядность изображения, его метричность, необходимую для визуального анализа, а также связь с исходной моделью в БГД для выполнения математически точного пространственного ГИС-анализа.

Главное преимущество ГИС-технологий по сравнению с традиционными методиками почвенного картографирования заключается в применении совместного анализа больших групп параметров (рельеф, генезис и характер почвообразующих пород, степень увлажнения, гранулометрический состав, морфометрические признаки, корреляционные особенности классификаций и т. д.) в их взаимосвязи, что очень важно для максимально полного описания почвенного покрова и отдельных компонентов ландшафта.

## Материал и методика исследования

Основой для создания тематических карт является слой «почвы» земельно-информационной системы (ЗИС) административных районов Беларуси, представляющий собой полигональный класс пространственных объектов БГД с семантической информацией (атрибутивной таблицей).

Для автоматизации процесса создания производных почвенных карт в среде ArcGIS for Desktop 10.3 авторами разработан модуль *Soil Analyst* (рис. 1).

С помощью модуля *Soil Analyst* в цифровой среде становится возможным интерактивное создание следующих тематических карт с минимальным влиянием человеческого фактора:

- 1) литологическое строение почвенного покрова агроландшафтов;
- 2) почвообразующие породы агроландшафтов;
- 3) содержание физической глины;
- 4) нуждаемость почв в мелиорации;
- 5) почвы в международной классификационной системе WRB.

Достоинством полученных карт является их большая по сравнению с аналоговыми почвенными картами наглядность, поскольку для каждой характеристики почвенного покрова создается собственное изображение.

Для корректной работы модуля необходимо наличие четырех атрибутивных полей (табл. 1), отражающих легенду почвенной карты в соответствии с кодами номенклатурного списка почв Беларуси [2]. Кроме того, обязательна геометрическая, топологическая и атрибутивная корректность используемых для анализа данных.

Таблица 1

Характеристика необходимых исходных атрибутивных полей

Table 1

Characteristics of the necessary original attribute fields

| Имя поля | Формат поля | Семантика поля                                  |
|----------|-------------|-------------------------------------------------|
| Kod 1    | Str 3       | Классификационная принадлежность почвы          |
| Kod 2    | Str 1       | Генезис почвообразующих пород                   |
| Kod 3    | Str 2       | Гранулометрический или ботанический состав почв |
| Kod 4    | Str 2       | Характер подстилки                              |



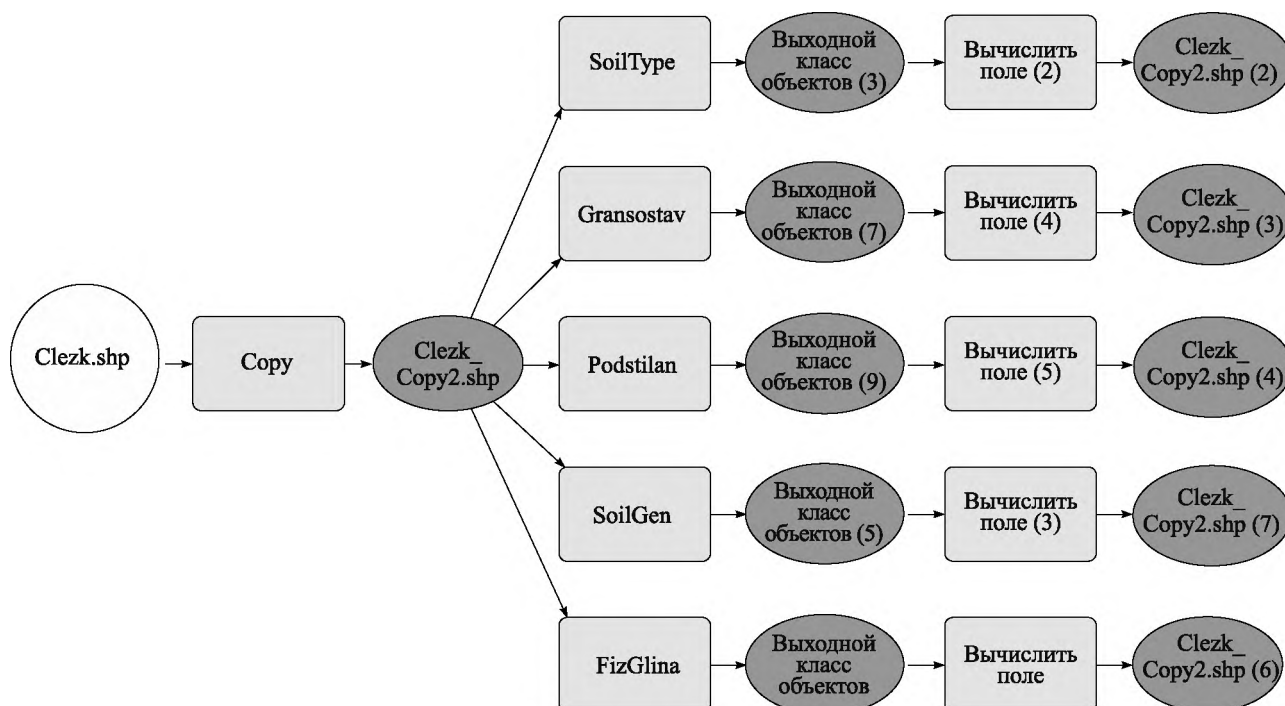


Рис. 1. Блок-схема технологического модуля *Soil Analyst*  
Fig. 1. Block diagram of the technological module of *Soil Analyst*

Данным требованиям полностью удовлетворяет слой «почвы» ЗИС Республики Беларусь [3], однако могут быть использованы любые цифровые почвенные карты, которые имеют соответствующие элементы полей.

При создании карты пользователь может выбрать набор создаваемых атрибутивных полей. Результатом работы модуля становятся следующие поля в исходном классе пространственных объектов (табл. 2).

Результирующие атрибутивные поля модуля *Soil Analyst*

Таблица 2

Table 2

Converted attribute field module *Soil Analyst*

| Имя поля   | Формат поля | Семантика поля                                 |
|------------|-------------|------------------------------------------------|
| Gransostav | Text        | Гранулометрический состав                      |
| Podstilan  | Text        | Литологическое строение                        |
| FizGlina   | Text        | Процентное содержание физической глины         |
| Pochvogen  | Text        | Почвообразующие породы                         |
| WRB        | Text        | Классификация почв в международной системе WRB |
| WRB_Group  |             |                                                |
| WRB_Suff   |             |                                                |
| WRB_Ruptic |             |                                                |
| WRB_Full   |             |                                                |

### Результаты исследования и их обсуждение

Для практического применения разработанного модуля и создания производных тематических карт был использован слой «почвы» ЗИС Клецкого, Пуховичского и Червенского районов Минской области Беларуси.

**Литологическая неоднородность** почвенного профиля имеет большое значение с агрономической точки зрения, главным образом с позиций поведения почвенной влаги и распределения микро- и макроэлементов [4]. На традиционных почвенных картах литологическая неоднородность (подстиление) показывается с помощью различных видов штриховок почвенных контуров, которые являются сложными для восприятия, – например, в случае если необходимо принять агрономическое решение в пределах конкретного поля, всего сельскохозяйственного производственного кооператива или района.

Анализ карт литологического строения агроландшафтов, созданных по полю Kod 4 слоя «почвы» ЗИС, показал, что, несмотря на относительную простоту почвенного покрова данных территорий и почти полное попадание в одну физико-географическую провинцию, большинство почв развиваются на двухчленных (литологически и гранулометрически разных) почвообразующих породах. Доля почв с однородным строением в трех районах не превышает 3 %. Наиболее сложным трехчленным строением почв отличаются агроландшафты Червенского района, где на их долю приходится 25 % территории, в основном в восточной части, хотя в географическом плане эти земли относятся к Центрально-Березинской равнине, считающейся довольно однородной с точки зрения литологии и почвенного покрова.

Данный факт свидетельствует о высокой доле субъективизма при очерчивании границ физико-географических районов и округов, а также указывает на необходимость учитывать при оценке морфометрических показателей не только горизонтальную, но и вертикальную неоднородность почвенного покрова.

По сложности контурной организации литологической неоднородности агроландшафтов изучаемые районы можно расположить в следующем порядке: Клецкий (средний размер литологически однородного контура – 183 га), Пуховичский (47 га) и Червенский (28 га).

**Почвообразующие породы** играют важную роль в формировании почв. Они являются частью твердой фазы почвы и определяют ее исходные текстурные, минеральные, химические, физико-химические, физико-механические, водно-воздушные и другие параметры [4].

На традиционных почвенных картах Беларуси почвообразующие породы фактически не показываются качественным фоном (за исключением дополнительных штриховок), а полностью выносятся в текстовую часть легенды. Авторские карты почвообразующих пород агроландшафтов (рис. 2) создавались по полю Kod 2 слоя «почвы» ЗИС и впервые представлены в цифровом виде в масштабе 1 : 10 000. ГИС-анализ созданных карт также указывает на значительные отличия и пестроту почвообразующих пород разного генезиса и возраста всех трех районов.

Почвенный покров Клецкого района в большей степени развивается на лессовидных породах (более 45 %). По данному району проходит граница двух физико-географических провинций – Западно-Белорусской и Предполесской. Копыльская гряда на карте физико-географического районирования Беларуси занимает северную часть Клецкого района, однако на карте почвообразующих пород отчетливо прослеживается граница, включающая как северную, так и северо-восточную и восточную части района.

На картах Пуховичского и Червенского районов почвенный покров в основном развивается на водно-ледниковых отложениях (45 и 70 % соответственно), что в целом отражает физико-географические особенности Предполесской провинции. Следует отметить высокую долю лессовидных отложений в Пуховичском районе (почти 30 %) и его отчетливое деление на северную (с доминированием лессовидных) и южную (с доминированием водно-ледниковых и органогенных пород) части, что также доказывает некорректное проведение границы между Западно-Белорусской и Предполесской провинциями.

По сложности контурной организации почвообразующих пород районы располагаются следующим образом: Клецкий (средний размер однородного контура почвообразующих пород – 68 га), Пуховичский (24 га) и Червенский (22 га).

**Гранулометрический состав** во многом определяет интенсивность и характер почвообразовательных процессов, физические и химические свойства почв, условия обработки, дозы удобрений, сроки сельскохозяйственных работ. Велико его влияние на формирование генетического профиля почвы [5].

На традиционных почвенных картах Беларуси гранулометрический состав (содержание физической глины) – единственный морфологический признак, который находит свое отражение в визуализации почвенной информации (способ качественного фона). Тем не менее даже с учетом классификационных аспектов выбора цветового оформления почвенных карт эксперту-географу сложно в пределах всей карты оценить гранулометрический состав минеральной части почвенного покрова и сопоставить его с литологической неоднородностью и почвообразующими породами.

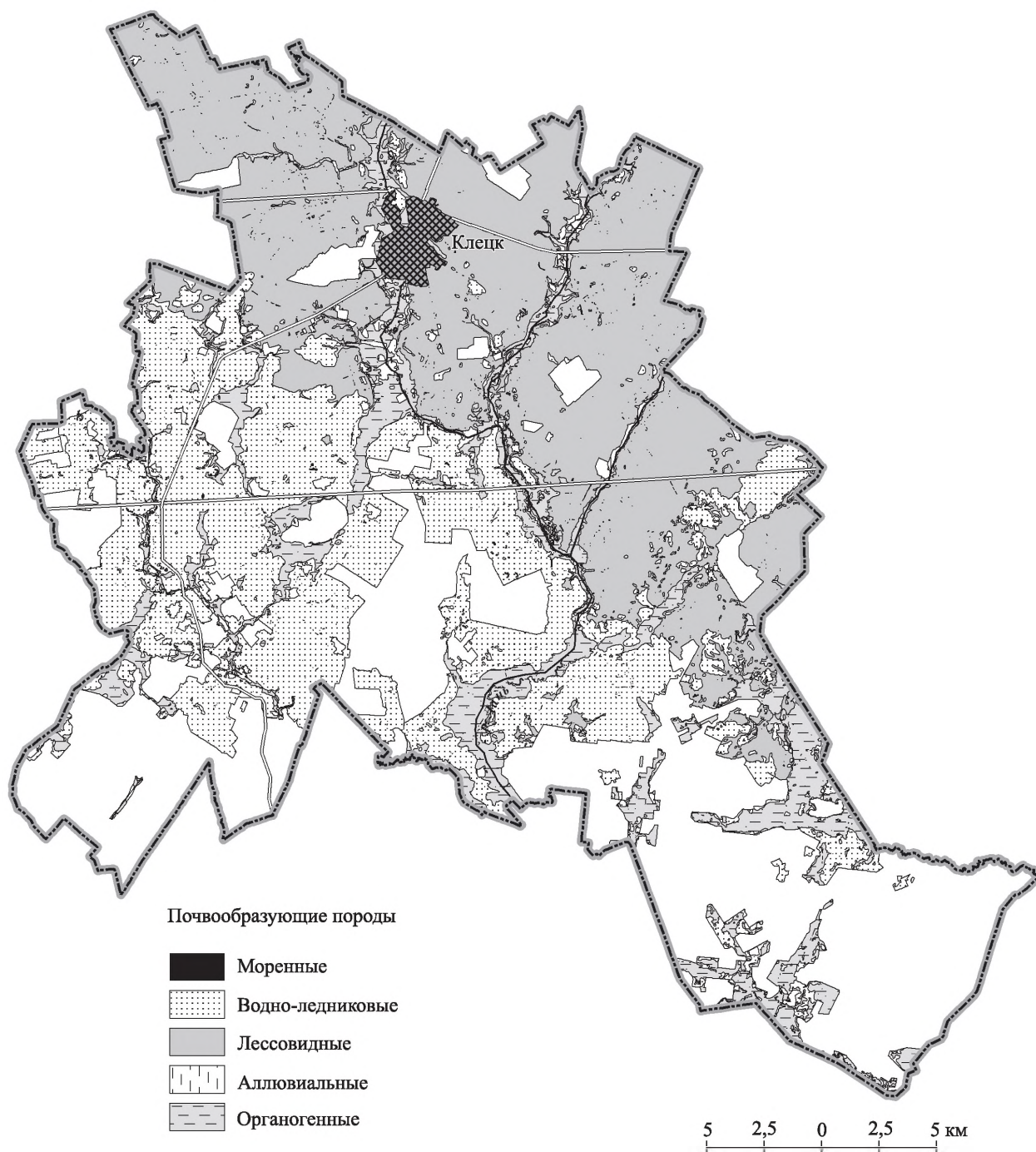


Рис. 2. Пример созданной на основе авторского модуля обработки данных *Soil Analyst* карты Клецкого района «Почвообразующие породы» (белым цветом обозначены территории государственного лесного фонда)

Fig. 2. Example of created based on the author's data processing module *Soil Analyst* «Maps of parent rocks» Kletsk district (white colour denotes the territory of the state forest fund)

Картограммы содержания физической глины агроландшафтов создавались по полю Код 3 слоя «почвы» ЗИС и впервые представлены в цифровом виде в масштабе 1 : 10 000. ГИС-анализ созданных картограмм также указывает на значительную пестроту в пределах даже однородных контуров почвообразующих пород. Зачастую данные картограммы и объясняют выбор проведения границ при физико-и почвенно-географическом районировании.

Во всех трех районах в почвенном покрове агроландшафтов доминирует градация содержания физической глины – от 15 до 20 %. Доля песчаных почв в Клецком, Червенском и Пуховичском районах



не превышает 5, 10 и 15 % соответственно. Созданные картограммы в значительной степени отличаются от статистических данных, приведенных на аналоговых почвенных картах Клецкого и Червенского районов. Например, доля суглинистых почв агроландшафтов Клецкого района не соответствует действительности и неоправданно увеличена на 13 %, а доля связносупесчаных почв агроландшафтов Червенского района на 11 %.

По сложности контурной организации картограммы содержания физической глины можно расставить в следующем порядке: Клецкий (средний размер контура с одинаковым содержанием физической глины – 39 га), Пуховичский (20 га) и Червенский (15 га) районы.

**Карты нуждаемости почв в мелиорации.** На территории Беларуси наиболее распространена гидротехническая (осушительная и осушительно-увлажнительная) мелиорация. С помощью традиционных почвенных карт географ-почвовед может определить потребность в мелиоративных мероприятиях лишь косвенно – по преобладанию качественного фона цветов почв полу- и гидроморфного ряда, а также по дополнительной штриховке, характеризующей степень увлажнения. По этой причине использование таких карт в целях оценки необходимости в мелиоративных работах представляется излишне трудоемким. Созданные цифровые карты нуждаемости почв в мелиорации с учетом территориального аспекта наглядно демонстрируют то, что почвенный покров трех районов испытывает потребность в мелиоративных приемах. Таким образом, большинство почв агроландшафтов всех трех районов в той или иной степени нуждаются в мелиорации.

По сложности контурной организации почв агроландшафтов, которые нуждаются в мелиорации, районы можно расположить в следующем порядке: Клецкий (средний размер однородного контура – 30,5 га), Пуховичский (11 га) и Червенский (8,6 га).

Общая площадь почв с высокой степенью нуждаемости в мелиорации достигает 13 % в Клецком районе, 17 % – в Червенском и 22 % – в Пуховичском, однако преобладают почвы со средним и слабым уровнем.

**Почвы в международной классификационной системе WRB.** Глобализация и мировые экологические проблемы требуют гармонизации и корреляции технических языков, в том числе применительно к почве.

Являясь всеобъемлющей классификационной системой, WRB позволяет согласовывать с ней национальные классификации и включает в себя два блока: реферативную базу, ограниченную первым уровнем, состоящим из 32 реферативных почвенных групп, и классификационную систему, сформированную комбинациями серий квалификаторов-приставок и квалификаторов-суффиксов, добавляемых к названию реферативной группы, благодаря чему можно очень точно охарактеризовать и классифицировать индивидуальные почвенные профили. Группы выделяются по ведущему почвообразовательному процессу, приводящему к развитию характерных признаков. Исключение составляют особые материнские породы, свойства которых имеют определяющее значение для некоторых групп почв. На втором уровне почвы разделяются по признакам дополнительного к основному почвообразовательному процессу, который заметно трансформировал главные почвенные свойства. В ряде случаев на этом уровне учитываются практически значимые почвенные характеристики [6].

Методология корреляции номенклатуры почв достаточно субъективна и зависит от используемых почвоведом подходов, собственно почв (объектов корреляции), таксономического уровня коррелируемых почв, а также может приводить к различным результатам, не всегда однозначным и предсказуемым. Трудности корреляции являются следствием свойств объектов (почвенных тел, их континуальности и сложности) и подходов к этому процессу.

В целом корреляция таксонов национальной классификации с WRB оказалась вполне удовлетворительной. Она позволяет составлять средне- и крупномасштабные карты территории Беларуси с использованием классификационных подходов WRB и традиционных карт. Можно констатировать уменьшение степени детализации при составлении карт в системе WRB. Гипотетически генерализация существенно снизится при проведении крупномасштабного почвенного картографирования непосредственно в WRB [6].

Единственным картографическим материалом, на котором отображен почвенный покров территории Беларуси в международной системе WRB, является карта почв Восточной Европы, представленная в атласе почв Европы. Простой взгляд на нее не оставляет сомнений в ее недостаточной точности, поскольку на ней выделено только четыре почвенных таксона, при этом более 80 % территории занято одним таксоном – альбелювисолями (ретисолями с 2014 г.), к тому же картографирование реализовано лишь на уровне реферативных групп, без суффиксов и префиксов.

Карты почвенных покровов агроландшафтов Клецкого (рис. 3), Червенского и Пуховичского районов создавались на основе корреляции атрибутивной таблицы слоя «почвы» ЗИС локального уровня и международной реферативной базы почв WRB согласно разработанной авторами табл. 3.



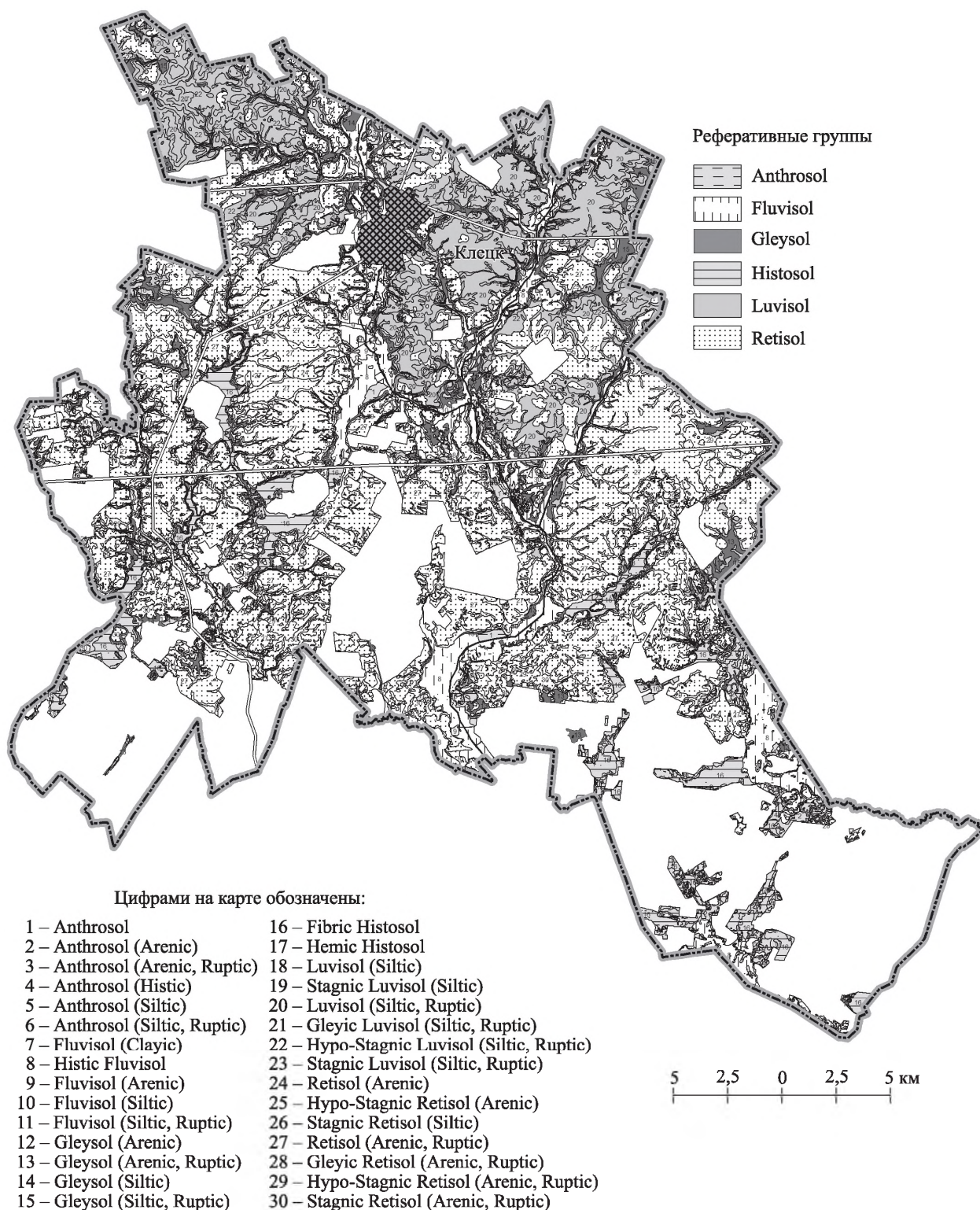


Рис. 3. Пример созданной на основе авторского модуля обработки данных *Soil Analyst* карты Клецкого района «Почвы в международной системе WRB» (белым цветом обозначены территории государственного лесного фонда)

Fig. 3. Example of created based on the author's data processing module *Soil Analyst* «Maps of soils in the international system WRB» Kletsk district (white colour denotes the territory of the state forest fund)

Созданные карты могут быть использованы в международных научных исследованиях, а также в стратегических и инвестиционных целях.

Таблица 3

Корреляция номенклатурного списка почв Беларуси и международной реферативной базы почв WRB

Table 3

Correlation of nomenclature list Belarus soils and soils of international World reference base for soil resources WRB

| Тип почв                                      | Реферативная группа                          | Номер рода согласно [2]  | Имя поля          |                                                           |                           |
|-----------------------------------------------|----------------------------------------------|--------------------------|-------------------|-----------------------------------------------------------|---------------------------|
|                                               |                                              |                          | Kod 1             | Kod 3                                                     | Kod 4                     |
| Дерново-карбонатные                           | Leptosol (LP)                                | 1–24                     | LP                | 1, 9 – clayic; 2–4 – siltic; 5–8 – arenic; 10–37 – histic | 2–4, 6–11, 13–15 – Ruptic |
| Бурые лесные                                  | Cambisol (CM)                                | 25, 26                   | CM                |                                                           |                           |
| Дерново-подзолистые                           | Retisol (RT)                                 | 27–61 (arenic)           | RT                |                                                           |                           |
|                                               | Luvisol (LV)                                 | 27–61 (siltic, clayic)   | LV                |                                                           |                           |
| Подзолистые                                   | Podzol (PZ)                                  | 62–70                    | PZ                |                                                           |                           |
| Подзолистые заболоченные                      | Podzol (PZ)                                  | 71–81                    | Gleyic PZ         |                                                           |                           |
| Дерново-подзолистые заболоченные              | Retisol (RT)                                 | 82–98 (arenic)           | Hypo-Stagnic RT   |                                                           |                           |
|                                               |                                              | 99–118 (arenic)          | Stagnic RT        |                                                           |                           |
|                                               |                                              | 119–139 (siltic, clayic) | Gleyic RT         |                                                           |                           |
|                                               | Luvisol (LV)                                 | 82–98 (siltic, clayic)   | Hypo-Stagnic LV   |                                                           |                           |
|                                               |                                              | 99–118 (siltic, clayic)  | Stagnic LV        |                                                           |                           |
|                                               |                                              | 119–139 (siltic, clayic) | Gleyic LV         |                                                           |                           |
| Болотно-подзолистые                           | Podzol (PZ)                                  | 140–148                  | Gleyic, Histic PZ |                                                           |                           |
| Дерновые заболоченные                         | Gleysol (GL), Umbrisol (UM)                  | 149–245                  | GL, UM            |                                                           |                           |
| Торфяно-болотные низинные                     | Histosol (HS)                                | 246–265                  | Hemic HS          |                                                           |                           |
| Торфяно-болотные верховые                     | Histosol (HS)                                | 266–275                  | Fibric HS         |                                                           |                           |
| Аллювиальные дерновые и дерновые заболоченные | Fluvisol (FL)                                | 276–306                  | Gleyic FL         |                                                           |                           |
| Аллювиальные болотные                         | Fluvisol (FL)                                | 307–370                  | Histic FL         |                                                           |                           |
| Антропогенно-преобразованные                  | Anthrosol (AT), Regosol (RG), Technosol (TC) | 371–494                  | AT, RG, TC        |                                                           |                           |

Таким образом, почвенный покров агроландшафтов рассматриваемых районов в международной системе в масштабе 1 : 10 000 представлен семью реферативными группами со значительным доминированием ретисолов (в первую очередь в результате попадания в одну группу дерново-подзолистых и дерново-подзолистых заболоченных почв). В целом в системе WRB значительную классификационную генерализацию претерпел относительно однородный почвенный покров Клецкого района, где средний размер контура приближается к 19 га, т. е. превышает ценз отбора для карты масштаба 1 : 50 000. Более сложный почвенный покров Червенского и Пуховичского районов детально представлен в системе WRB (средний размер контура – не более 7 га), т. е. карты данных районов, кроме научной составляющей, имеют также прикладное (производственное) значение.

### Выводы

Основное преимущество ГИС-технологий по сравнению с традиционными методиками почвенного картографирования заключается в применении совместного анализа больших групп параметров (рельеф, генезис и характер почвообразующих пород, степень увлажнения, гранулометрический состав, морфометрические признаки, корреляционные особенности классификаций и т. д.) в их взаимосвязи, что очень важно для максимально полного описания почвенного покрова и отдельных компонентов ландшафта. Визуализация всех вышеперечисленных параметров и характеристик в виде цифровых карт на основе БГД выполняется оперативно, с соблюдением математической точности исходного слоя и возможностью любых пространственных ГИС-операций, таких как наложение, вырезание, переклассификация, суммирование, слияние и т. д.

Цифровые производные карты, созданные с помощью авторского модуля обработки данных *Soil Analyst* на совершенно новом организационно-пространственном уровне, характеризуют почвенный покров исследуемой территории как относительно сложный и неоднородный, несмотря на то что все три района почти полностью расположены в одной физико-географической провинции. Полученные подобным образом данные в перспективе позволят уточнить границы физико-географических районов и округов, а также пересмотреть подходы к расчетам коэффициентов неоднородности почвенного покрова, традиционно принятым в почвоведении, на основании которых в масштабе 1:10 000 исследуемая территория попадает в категорию слабо неоднородных, а в масштабе 1:50 000 относится к однородным, что противоречит пространственному разнообразию параметров почвенного покрова на созданных тематических картах.

### Библиографические ссылки

1. Клебанович Н. В., Прокопович С. Н., Чаюк И. А. Интерактивная генерализация в среде ArcGIS как основной способ создания цифровых разномасштабных почвенных карт // *Земля Беларуси*. 2015. № 2. С. 42–47.
2. Номенклатурный список почв Беларуси (для целей крупномасштабного картографирования). Минск, 2003.
3. Земельно-информационная система Республики Беларусь. Порядок создания. ТКП 055-2006 (03150). Минск, 2006.
4. Клебанович Н. В. Почвоведение и земельные ресурсы. Минск, 2013.
5. Морфология почв / Н. В. Клебанович [и др.]. Минск, 2015.
6. Клебанович Н. В., Прокопович С. Н., Харламова Е. В. Опыт составления почвенных карт Беларуси в международной системе WRB // *Земля Беларуси*. 2011. № 2. С. 41–47.

### References

1. Klebanovich N. V., Prokopovich S. N., Chayuk I. A. Interaktivnaya generalizatsiya v srede ArcGIS kak osnovnoi sposob sozdaniya tsifrovyykh raznomasshtabnykh pochvennykh kart [Interactive generalization based on ArcGIS as the main way to create digital different scales of soil maps]. *Zemlja Belarusi*. 2015. No. 2. P. 42–47 (in Russ.).
2. Nomenklaturnyi spisok pochv Belarusi (dlya tselei krupnomasshtabnogo kartografirovaniya) [Designator list of soil Republic of Belarus (for large-scale mapping purposes)]. Minsk, 2003 (in Russ.).
3. Zemel'no-informatsionnaya sistema Respubliki Belarus'. Poryadok sozdaniya. TKP 055-2006 (03150) [The land information system of Belarus. The order of creation. TKP 055-2006 (03150)]. Minsk, 2006 (in Russ.).
4. Klebanovich N. V. Pochvovedenie i zemel'nye resursy [Soil and land resources]. Minsk, 2013 (in Russ.).
5. Klebanovich N. V., Karpichenko A. A., Pullmanovskaya V. A., et al. Morfologiya pochv [The morphology of the soil]. Minsk, 2015 (in Russ.).
6. Klebanovich N. V., Prokopovich S. N., Kharlamova E. V. Opyt sostavleniya pochvennykh kart Belarusi v mezhdunarodnoi sisteme WRB [Experience of creation soil maps of Belarus in the international system WRB]. *Zemlja Belarusi*. 2011. No. 2. P. 41–47 (in Russ.).

Статья поступила в редколлегию 22.11.2016.  
Received by editorial board 22.11.2016.



## ТЕХНОГЕННЫЕ ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИЕ АНОМАЛИИ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ОТХОДОВ ХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

О. В. ШЕРШНЁВ<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Гомельский государственный университет им. Франциска Скорины,  
ул. Советская, 104, 246019, г. Гомель, Республика Беларусь

Проведена оценка воздействия твердых отходов Гомельского химического завода на химический состав подземных вод. Проанализирована роль контролируемых макрокомпонентов, представленных  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{NH}_4^+$  и  $\text{Cl}^-$ , в формировании загрязнения подземных вод. Впервые рассмотрены особенности распространения тяжелых металлов (Cu, Zn, Cr, Co, Pb, Cd, As, Hg) в подземных водах на территории размещения отходов фосфогипса. Установлен уровень техногенных гидрогеохимических аномалий элементов-загрязнителей, а также их пространственная дифференциация по площади и в геологическом разрезе. Выделены участки с различными геохимическими условиями по основным направлениям потоков подземных вод, в пределах которых возможно формирование определенных типов геохимических барьеров, приводящих к снижению контрастности гидрогеохимических аномалий.

**Ключевые слова:** отходы производства; подземные воды; загрязнение; гидрогеохимические аномалии.

## TECHNOGENIC HYDROGEOCHEMICAL ANOMALIES WITHIN THE INFLUENCE AREA OF INDUSTRIAL CHEMICAL DUMPS

O. V. SHERSHNYOV<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Francisk Skorina Gomel State University, Sovetskaya street, 104, 256019, Gomel, Republic of Belarus

The paper assesses a technogenic effect on groundwater chemical structure, produced by dumps of Gomel Chemical Plant. The role of controlled macrocomponents, presented by  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{NH}_4^+$  and  $\text{Cl}^-$ , which influence groundwater pollution is analyzed. For the first time the features of the distribution of heavy metals (Cu, Zn, Cr, Co, Pb, Cd, As, Hg) in the groundwater within the phosphogypsum dumps are considered. The levels of technogenic geochemical anomalies of elements-pollutants and their spatial differentiation and in the geological profile are found. Areas with different geochemical features on the main paths of groundwater flow are determined. Within these areas there is a possibility for some types of geochemical barriers, which may reduce the contrasts of hydrogeochemical anomalies.

**Key words:** industrial wastes; groundwater; contamination; hydrogeochemical anomalies.

На территории Республики Беларусь объем накопленных отходов производства на объектах хранения достигает 1015 млн т. Наибольшее их количество находится в пределах крупных промышленных объектов [1–5]. Как правило, на таких землях формируются локальные техногенные гидрогеохимические аномалии.

---

### Образец цитирования:

Шершнёв О. В. Техногенные гидрогеохимические аномалии в зоне влияния отходов химического производства // Журн. Белорус. гос. ун-та. География. Геология. 2017. № 1. С. 130–136.

### For citation:

Shershnyov O. V. Technogenic hydrogeochemical anomalies within the influence area of industrial chemical dumps. *J. Belarus. State Univ. Geogr. Geol.* 2017. No. 1. P. 130–136 (in Russ.).

---

### Автор:

Олег Владимирович Шершнёв – кандидат географических наук, доцент, доцент кафедры социально-гуманитарных дисциплин Института повышения квалификации и переподготовки кадров.

### Author:

Oleg Shershnyov, PhD (geography), docent; associate professor at the department of social and humanitarian disciplines, Institute of skills development and staff retraining.  
[gomelgeo@yandex.ru](mailto:gomelgeo@yandex.ru)

Несмотря на множество научных исследований по оценке такого влияния, для некоторых объектов все еще отсутствуют данные о распространении определенных элементов-загрязнителей в подземных водах. К их числу относится территория ОАО «Гомельский химический завод» (ГХЗ), за 50-летний период функционирования которого накопилось около 18 млн т неутилизированных твердых отходов фосфогипса, размещенных на площади 91 га. Завод специализируется на производстве минеральных удобрений (азотно-фосфорно-калийные, аммофос, суперфосфат), серной и фосфорной кислот и т. д. В качестве твердых отходов производства фосфорных удобрений ежегодно образуется до 650–800 тыс. т фосфогипса [6]. В зоне влияния промышленной площадки и территории размещения отходов фосфогипса контроль за состоянием подземных вод осуществляется посредством их мониторинга. Созданная сеть мониторинга и проведенные научные исследования обеспечили возможность систематической оценки воздействия твердых отходов ГХЗ на состояние подземных вод [7–10].

Постепенно, за счет ввода новых скважин, также развивалась режимная сеть мониторинга. За период с 2005 по 2012 г. для полноты наблюдения за уровнями и химическим составом подземных вод в нее были включены 12 скважин на различных водоносных горизонтах. В связи с этим обновляемая информация требует своевременного анализа и интерпретации. Однако, несмотря на длительный период исследований, касающихся оценки загрязнения подземных вод в районе ГХЗ, данные по распространению в них тяжелых металлов отсутствуют.

Цель настоящего исследования – установить особенности распространения контролируемых элементов-загрязнителей в зоне влияния неутилизированных отходов фосфогипса Гомельского химического завода.

Исходными данными послужили результаты химического анализа, полученные в рамках локального гидрогеохимического мониторинга подземных вод за период с 2010 по 2015 г. В качестве индикаторов загрязнения подземных вод проанализированы следующие химические элементы и соединения:  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Cu}$ ,  $\text{Zn}$ ,  $\text{Cr}$  (общ.),  $\text{Co}$ ,  $\text{Pb}$ ,  $\text{Cd}$ ,  $\text{As}$ ,  $\text{Hg}$ .

### Характеристика объекта исследования

Объектом исследования являлись водоносные горизонты, испытывающие техногенное воздействие в зоне влияния неутилизированных отходов фосфогипса ГХЗ. Они приурочены к четвертичным (грунтовой и березинско-днепровский (подморенный) водоносные горизонты) и палеогеновым (палеогеновый водоносный горизонт) отложениям, залегающим на глубине от 2 до 35 м.

Грунтовой безнапорный водоносный горизонт мощностью 0,5–10,0 м распространен в средне-верхнеплейстоценовых, голоценовых и современных техногенных отложениях, образованных песчаными, супесчаными и суглинистыми породами, и залегает на глубине от 0,23 до 2,67 м. Питание горизонта осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков, перетока из нижележащих горизонтов в зонах разгрузки напорных вод, а также отжатия жидкого компонента отвалов фосфогипса. Водоносный горизонт дренируется ближайшими водотоками и искусственными водоемами. Грунтовые воды имеют северо-западное и юго-западное направления потока.

Нижне-среднеплейстоценовый (подморенный) напорный водоносный горизонт средней мощностью 9 м сложен мелко- и среднезернистыми песками, местами глинистыми. Глубина его залегания, как правило, составляет 13–15 м. Пьезометрические уровни устанавливаются на глубине от 0,81 м выше поверхности земли до глубины 5,78 м. Питание водоносного горизонта осуществляется за счет атмосферных осадков в пределах водоразделов и заметно возрастает в местах расположения «гидрогеологических окон» в морене. Движение подземных вод происходит в северо-западном и юго-западном направлениях. Реки и мелиоративные каналы являются участками разгрузки водоносного горизонта.

Палеогеновый напорный водоносный горизонт представлен разномерными песками (преимущественно мелкозернистыми) мощностью около 17 м. Глубина залегания водоносного горизонта составляет 30–35 м, пьезометрические уровни которого существенно изменяются от глубины 7,44 м, достигая 0,73 м над поверхностью земли. Питание горизонта происходит путем перетекания вод из вышележащих отложений, а дренирование осуществляется ближайшими водотоками. Направление потока подземных вод ориентировано в южном и юго-западном направлениях.

Водоносные горизонты разделены двумя регионально выдержанными водоупорами. Первый из них представлен моренными супесчано-суглинистыми отложениями, разделяющими грунтовой и подморенный водоносные горизонты. Второй водоупор сложен алевроитами, глинами и суглинками, разделяющими подморенный и палеогеновый водоносные горизонты.

Общий механизм поступления загрязняющих веществ в подземные воды обусловлен инфильтрацией атмосферных осадков в грунтовой водоносный горизонт и дальнейшим продвижением загрязнений в межпластовые водоносные горизонты на участках нисходящей фильтрации. Поступление

загрязняющих веществ в подземные воды с поверхности возможно двумя путями. Первый заключается в их переносе воздушным способом в виде аэрозолей или с пылевым облаком и выпадении с атмосферными осадками либо оседании на земную поверхность с последующей инфильтрацией в грунтовые воды.

Загрязняющими компонентами, переносимыми воздушным путем в виде аэрозолей или с пылевым облаком, являются сернистый ангидрид, серная кислота, тетрафторид кремния, фториды, аммиак, аммофос, пылевые частицы, которые могут рассеиваться на расстояние от 2 до 10 км преимущественно в северном и восточном направлениях [9]. В последние годы распространение пылевого загрязнения с отвалов, по-видимому, существенно сократилось, поскольку их отсыпка по канатной дороге не ведется. Старые отвалы уплотнились и укрепились за счет появления на их склонах растительности.

Второй путь поступления загрязняющих веществ в подземные воды связан с инфильтрационным проникновением в них отжимаемого из отвалов раствора, обладающего сильноокислой реакцией среды и минерализацией до 50 г/дм<sup>3</sup> [5–7].

Анализ распределения элементов-загрязнителей в подземных водах представлен по кустам скважин, расположенным в соответствии с требованиями, изложенными в [11, п. 7.9]: в пределах источника загрязнения – зона отвалов (куст А) и зона ближней периферии, прилегающая к отвалам фосфогипса (куст Б); ниже по потоку подземных вод на расстоянии не далее границы санитарно-защитной зоны по основным направлениям потока подземных вод – северо-западному (куст В) и юго-западному (куст Г); вне зоны влияния источника загрязнения на расстоянии одной ширины санитарно-защитной зоны (в юго-восточном направлении) вверх по потоку подземных вод от источника воздействия – фоновый куст скважин (куст Д) (рис. 1).

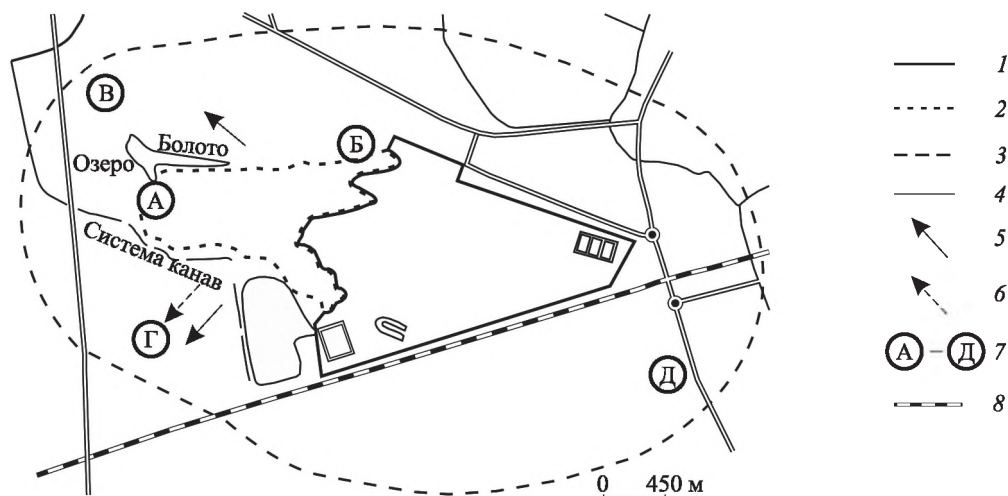


Рис. 1. Схема расположения кустов скважин на территории исследования:  
1 – промышленная площадка ГХЗ; 2 – контуры отвалов фосфогипса; 3 – граница санитарно-защитной зоны;  
4 – водные объекты; 5 – направление потока грунтового и подморенного водоносных горизонтов; 6 – направление потока палеогенового водоносного горизонта; 7 – кусты скважин; 8 – железная дорога

Fig. 1. The scheme of location of well clusters at the study area:  
1 – industrial site area of the GCP; 2 – outline of the phosphogypsum dumps; 3 – sanitary protection zone;  
4 – water bodies; 5 – groundwater and submorainic aquifer flow; 6 – Paleogene aquifer flow; 7 – well clusters; 8 – railway

Для оценки степени контрастности содержаний элементов-загрязнителей в подземных водах определены коэффициенты контрастности  $K_k$ , которые характеризуются коэффициентом концентрации  $K_c$ , рассчитанным как отношение среднего содержания элемента в исследуемом объекте к его среднему фоновому содержанию по формуле

$$K_k = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{C_{\phi}},$$

где  $C_i$  – обнаруженная концентрация  $i$ -го элемента в пробе, мг/дм<sup>3</sup>;  $C_{\phi}$  – фоновая концентрация этого элемента, мг/дм<sup>3</sup>.

Фоновые концентрации элементов для исследуемых водоносных горизонтов приняты по результатам опробования фоновых кустов скважин Д.



Форма записи коэффициента контрастности представляет собой дробь, перед которой пишется цифра, характеризующая его величину. В числителе дроби указываются индексы компонентов, составляющие 25 и более процентов величины  $K_k$ . В знаменателе – индексы компонентов, составляющие 25–5 % величины  $K_k$ . За дробью фиксируются компоненты, которые в сумме  $K_k$  имеют менее 5 %, но обладают собственным  $K_c$  более 1. В зависимости от величины  $K_k$  судят о степени контрастности гидрогеохимического ореола (табл. 1) [12].

Таблица 1

Подразделение гидрогеохимических ореолов по степени контрастности

Table 1

Classification of hydrogeochemical halos according to the degree of contrast

| Степень контрастности | Весьма слабая | Слабая | Средняя | Значительная | Весьма значительная | Исключительно высокая |
|-----------------------|---------------|--------|---------|--------------|---------------------|-----------------------|
| По одному компоненту  | 2–3           | 3–5    | 5–10    | 10–25        | 25–50               | >50                   |
| По сумме компонентов  | 2–5           | 5–15   | 15–30   | 30–100       | 100–300             | >300                  |

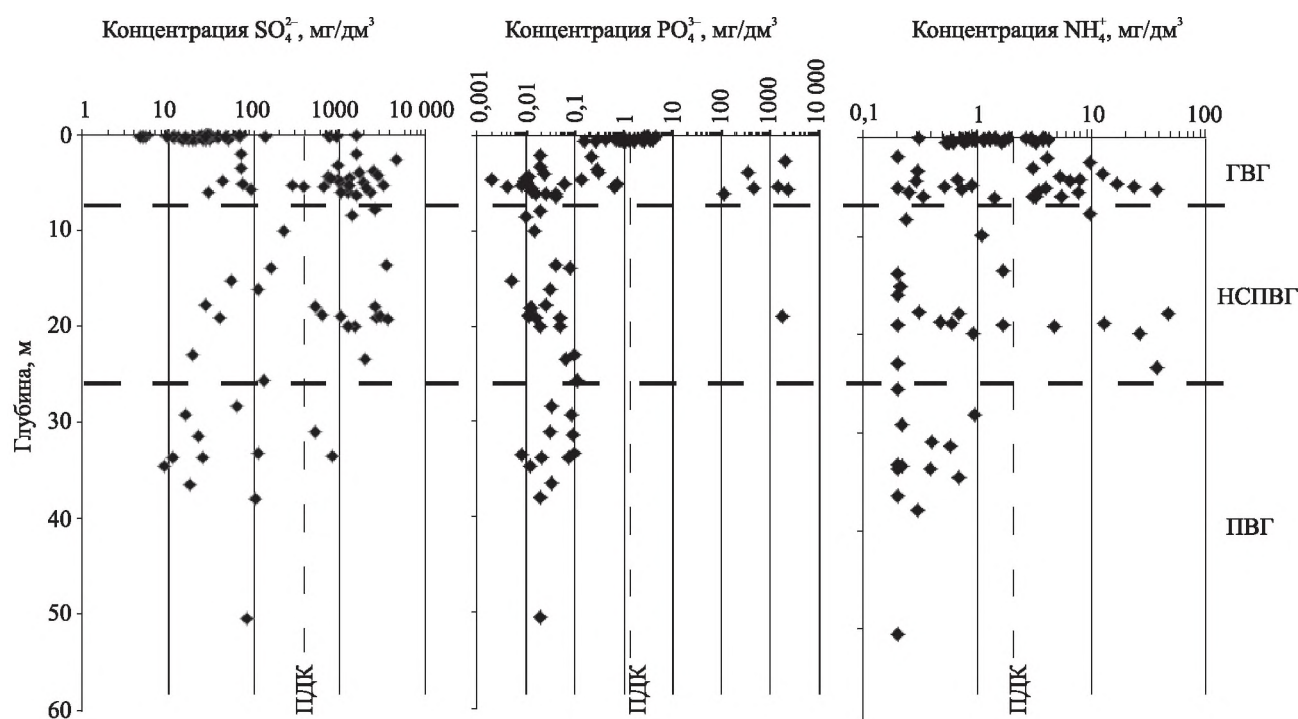


Рис. 2. Распределение загрязняющих веществ в зонах аэрации и водоносных горизонтов:  
ГВГ – грунтовый; НСПВГ – нижне-среднеплейстоценовый; ПВГ – палеогеновый

Fig 2. The distribution of pollutants in the unsaturated zone and aquifers:  
GWA – groundwater; LMPA – lower to middle Pleistocene; PA – Paleogene

## Результаты исследования и их обсуждение

Из рис. 2 видно, что максимальные концентрации загрязняющих веществ относятся к зоне аэрации, грунтовым водам и нижне-среднеплейстоценовому (подморенному) водоносному горизонту.

Весьма значительная и исключительно высокая контрастность макрокомпонентов-загрязнителей в водоносных горизонтах приурочена к зоне отвалов (куст А) и их ближней периферии (куст Б) (табл. 2). При этом наибольшая трансформация природного химического состава произошла в грунтовом водоносном горизонте. Грунтовые воды здесь имеют сульфатно-фосфатный или фосфатно-сульфатный натриевый состав, а содержание сухого остатка в них достигает 8–20 г/дм<sup>3</sup>.

Таблица 2

Коэффициенты контрастности макрокомпонентов-загрязнителей

Table 2

Contrast ratios of macro-pollutants

| Водоносный горизонт | Коэффициент контрастности                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Грунтовый           | $\text{Куст А: } K_{\text{к}} 73116 \frac{\text{PO}_4 99}{-} \text{SO}_4 0,08 \text{NH}_4 0,03 \text{Cl} 0,002;$ $\text{куст Б: } K_{\text{к}} 21 \frac{\text{SO}_4 58 \text{NH}_4 36}{\text{Cl} 5}; \text{ куст В: } K_{\text{к}} 4 \frac{\text{Cl} 62}{-}; \text{ куст Г: } K_{\text{к}} 8 \frac{\text{SO}_4 64}{\text{NH}_4 17 \text{Cl} 17}$                                 |
| Подморенный         | $\text{Куст А: } K_{\text{к}} 74 \frac{\text{SO}_4 83}{\text{NH}_4 9 \text{Cl} 18}; \text{ куст Б: } K_{\text{к}} 50 \frac{\text{SO}_4 54 \text{Cl} 30}{\text{NH}_4 15};$ $\text{куст В: } K_{\text{к}} 13 \frac{\text{Cl} 61}{\text{SO}_4 16 \text{PO}_4 13 \text{NH}_4 10}; \text{ куст Г: } K_{\text{к}} 9 \frac{\text{PO}_4 53}{\text{SO}_4 20 \text{Cl} 15 \text{NH}_4 12}$ |
| Палеогеновый        | $\text{Куст А: } K_{\text{к}} 4 \frac{\text{SO}_4 31 \text{NH}_4 29}{-}; \text{ куст Б: } K_{\text{к}} 45 \frac{\text{SO}_4 53}{\text{Cl} 18} \text{NH}_4 4;$ $\text{куст В: } K_{\text{к}} 21 \frac{\text{Cl} 62 \text{SO}_4 30}{-}; \text{ куст Г: } K_{\text{к}} 8 \frac{\text{SO}_4 48 \text{Cl} 28}{\text{NH}_4 17}$                                                        |

В грунтовых водах зоны отвалов формирование техногенной гидрогеохимической аномалии в первую очередь обусловлено исключительно высокими концентрациями фосфора фосфатного, превышающими фон в десятки тысяч раз и снижающимися до фоновых значений по мере удаления к периферии. Это определяется низкой миграционной способностью данного элемента, который поглощается корневой системой растений и органикой и связывается в иллювиальном горизонте химическими реакциями [8; 13]. В зоне ближней периферии отвалов (куст Б) превалирует загрязнение сульфатами и азотом аммонийным. Грунтовые воды дальней периферии (кусты В и Г) характеризуются весьма слабой и слабой контрастностью анализируемых компонентов – их абсолютные величины существенно ниже предельно допустимой концентрации.

В подморенном водоносном горизонте областью весьма значительной контрастности макроэлементов-загрязнителей по-прежнему являются зона отвалов (куст А) и их ближняя периферия (куст Б). Основная причина формирования гидрогеохимической аномалии – весьма значительная и исключительно высокая концентрация  $\text{SO}_4^{2-}$ . Как и в грунтовом водоносном горизонте в направлении дальней периферии движения вод подморенного горизонта, контрастность макроэлементов-загрязнителей существенно снижается, отмечаются лишь слабые отклонения от фоновых значений.

В палеогеновом водоносном горизонте наибольшая контрастность элементов, вызванная весьма значительным превышением концентрации  $\text{SO}_4^{2-}$  над его фоновым содержанием, отмечается в зоне ближней периферии отвалов (куст Б). Обнаруженное здесь сульфатное загрязнение, очевидно, обусловлено сложной гидравлической циркуляцией подземных вод (нисходяще-латеральным движением), изменчивостью проницаемости геологического разреза (увеличением опесчаненности отдельных участков разреза), а также длительностью процесса загрязнения (около 30 лет) на данном участке складирования отвалов фосфогипса. Для остальных кустов скважин анализируемые макрокомпоненты-загрязнители, как правило, характеризуются слабыми и средними отклонениями от фона.

Исключительно высокая контрастность тяжелых металлов приурочена к центральной части отвалов фосфогипса (куст А):

$$\text{куст А: } K_{\text{к}} 1895 \frac{\text{Cu} 83}{\text{Cd} 8 \text{Co} 7} \text{Cr} 1 \text{Zn} 0,5 \text{As} 0,08 \text{Pb} 0,07; \text{ куст Б: } K_{\text{к}} 19 \frac{\text{Cu} 61}{\text{Zn} 9 \text{Co} 8};$$

$$\text{куст В: } K_{\text{к}} 8 \frac{\text{Cu} 26}{\text{Zn} 17}; \text{ куст Г: } K_{\text{к}} 11 \frac{\text{Zn} 45}{\text{Cu} 12}.$$

Основная роль в формировании аномалии принадлежит меди, а также кадмию и кобальту, концентрации которых превышают фоновые более чем в 100 раз. На участке ближней периферии (куст Б) контрастность в содержании элементов снижается до значительной. За период наблюдений лишь для

Cu отмечаются периодические отклонения от фона. Его концентрации изменяются от минимальных значений до величин, превышающих фон более чем в 10 раз. В зоне дальней периферии (кусты В и Г) наблюдаются только единичные случаи значительного отклонения от фона для Zn, которые не позволяют говорить о выраженной тенденции роста элемента.

В водах подморенного и палеогенового горизонтов для всех кустов скважин наблюдается слабая контрастность по сумме компонентов ( $K_k$  составляет 6–10). Концентрации элементов находятся на уровне порога чувствительности метода определения и не превышают значения фона, а некоторые из них (Cu, Zn и Cr) ощутимо ниже фоновых ( $K_c$  составляет 0,2–0,5).

В пределах территории исследования по основным направлениям потока грунтовых вод распространены участки с достаточно разнообразными геохимическими условиями, когда наряду с кислородной обстановкой встречаются глеевая и сероводородная. По величине водородного показателя обстановка грунтовых вод в пределах санитарно-защитной зоны изменяется от сильноокислой и кислой в центральной части отвалов и на отдельных участках промышленной площадки до слабоокислой и слабощелочной на остальной территории. Величина окислительно-восстановительного потенциала ( $Eh$ ) грунтовых вод преимущественно составляет 150–350 мВ, достигая 300–350 мВ в центральной части отвалов. В пределах северной, западной и южной границ отвалов расположены техногенные объекты, которые могут оказывать существенное влияние на условия миграции загрязняющих компонентов, образуя геохимические барьеры.

Юго-западную часть отвалов оконтуривает система каналов, являющихся приемниками поверхностных техногенных вод из отвалов. Песчаный состав грунтов, незначительная глубина залегания грунтовых вод (0,5–1,5 м) и сильноокислая среда (рН составляет 2,0–2,6) создают в их пределах условия для формирования испарительного геохимического барьера ( $F1$ ). В результате на данных участках на глубине до 1 м произошло формирование гипсового горизонта мощностью от 0,1 до 0,3 м и более [13].

Озеро и болото граничат с отвалами в северо-западной части и являются приемниками поверхностного стока. В анаэробных условиях донных отложений озера создаются благоприятные условия для распространения сульфатвосстанавливающих бактерий. Продуцирование сероводорода в верхней части отложений на территории озера обуславливает формирование сероводородного геохимического барьера ( $B1$ ,  $B2$ ). Встречающиеся в отложениях озера горизонты с высокой глинистостью и содержанием органики выступают в качестве сорбционного барьера ( $G1$ ,  $G2$  при  $Eh = 200...400$ ;  $G5$ ,  $G6$  при  $Eh = 9...200$ ). Тростниковое болото может рассматриваться как природный буфер, в котором процессы илоосаждения и торфообразования создают условия для формирования восстановительного глеевого геохимического барьера ( $C1$ ,  $C2$ ).

К северу от озера в условиях неглубокого залегания подземных вод (0,5–1,0 м) создаются условия для формирования испарительного барьера ( $F1$ ,  $F2$ ). При инфильтрации сильноокислых и кислых загрязненных вод в глеевую обстановку нижней части почвенного профиля может возникать глеевый барьер ( $C1$ ,  $C2$ ), а при их поступлении в нейтральную и слабоокислую обстановки луговых почв – щелочной глеевый барьер ( $D5$ ,  $D6$ ).

Выделенные типы геохимических барьеров и их пространственное положение по основным направлениям потоков грунтовых вод, вероятно, обеспечивают сокращение латеральной миграции преимущественно тяжелых металлов. Супесчано-суглинистые отложения, разделяющие грунтовый и подморенный водоносные горизонты, по-видимому, образуют сорбционный барьер ( $G1$ ) и контролируют миграцию тяжелых металлов в подморенный горизонт.

### Выводы

В результате проведенного исследования установлено, что техногенный ореол исключительно высокой контрастности загрязняющих элементов локализован в пределах отвалов фосфогипса на площади около 91 га, где наблюдается устойчивое загрязнение подземных вод в результате инфильтрации отжимаемого из отвалов раствора. Основным загрязняющим макрокомпонентом водоносных горизонтов является сульфат-ион, доля которого в сухом остатке вод высокой степени загрязнения достигает 60–70 %.

Высокая степень загрязнения в пределах территории размещения отвалов фосфогипса образуется за счет азота аммонийного, а также фосфора фосфатного, концентрации которого превышают фоновые в тысячи раз. Существенным барьером на пути проникновения загрязнения в палеогеновый водоносный горизонт в зоне отвала фосфогипса являются алевроиты верхней части палеогеновой толщи, для которых характерны очень слабая проницаемость и, вероятно, высокая сорбционная способность.

Глубина распространения аномалий тяжелых металлов ограничивается трехметровой зоной залегания грунтовых вод. Латеральная и глубинная миграции тяжелых металлов контролируются окислительно-восстановительными и кислотнo-щелочными условиями вод, процессами растворения, осаждения, сорбции и др.

Определено, что аномалии элементов-загрязнителей становятся менее контрастными по основным направлениям потока грунтовых вод от периферии отвалов к границе санитарно-защитной зоны.



## Библиографические ссылки

1. Бачила С. С., Зайко С. М., Вашкевич Л. Ф. Мониторинг качества питьевых вод в Солигорском горнопромышленном районе : обзорная информация. Минск, 2004.
2. Экологические аспекты захоронения твердых коммунальных отходов на полигонах / Д. М. Ерошина [и др.]. Минск, 2010.
3. Ерошина Д. М., Демидов А. Л., Ходин В. В. Влияние на подземные воды полигонов промышленных отходов, расположенных в отработанных карьерах на территории Минской области // Природ. ресурсы. 2012. № 1. С. 58–68.
4. Лысухо Н. А., Ерошина Д. М. Отходы производства и потребления, их влияние на природную среду. Минск, 2011.
5. Хомич В. С., Какарека С. В., Кухарчик Т. И. Экогеохимия городских ландшафтов Беларуси. Минск, 2004.
6. Состояние природной среды Беларуси : экол. бюл. 2013 г. / под ред. В. Ф. Логинова. Минск, 2014.
7. Жогло В. Г., Акулевич А. Ф., Котсур В. В. Опыт ведения мониторинга подземных вод в зоне влияния Гомельского химзавода. Минск, 1997.
8. Котсур В. В. Гидрогеохимия зоны интенсивного водообмена территории Гомельского химического завода // Литосфера. 2000. № 13. С. 93–100.
9. Котсур В. В. Геохимия подземных вод зоны активного водообмена на территории влияния Гомельского химического завода : автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук : 25.00.09. Минск, 2004.
10. Шершнев О. В., Павловский А. И., Прилуцкий И. О. Оценка масштаба и степени загрязнения подземных вод на территории влияния Гомельского химического завода // Природ. ресурсы. 2013. № 1. С. 44–50.
11. Охрана окружающей среды и природопользование. Гидросфера. Правила размещения пунктов наблюдений за состоянием подземных вод для проведения локального мониторинга окружающей среды : ТКП 17.06–01–2007. Минск, 2007.
12. Кирюхин В. А. Прикладная гидрогеохимия. СПб., 2011.
13. Особенности формирования ландшафтно-геохимических барьеров в зоне влияния отходов химических производств (Гомельский химический завод) / А. П. Гусев [и др.] // Геоэкология. Инженер. геология. Гидрогеология. Геоэкология. 2013. № 2. С. 147–152.

## References

1. Bachila S. S., Zaiko S. M., Vashkevich L. F. Monitoring kachestva pit'evykh vod v Soligorskoy gornopromyshlennom raione: obzornaya informatsiya. Minsk, 2004 (in Russ.).
2. Eroshina D. M., Khodin V. V., Zubritskii V. S., et al. Ekologicheskie aspekty zakhoroneniya tverdykh kommunal'nykh otkhodov na poligonakh. Minsk, 2010 (in Russ.).
3. Eroshina D. M., Demidov A. L., Khodin V. V. Vliyanie na podzemnye vody poligonov promyshlennykh otkhodov, raspolozhennykh v otrabotannykh kar'erakh na territorii Minskoi oblasti [Influence of Industrial Waste Dumps Disposed in Abandoned Quarries on the Groundwater in the Territory of the Minsk Region]. *Prir. Resursy*. 2012. No. 1. P. 58–68 (in Russ.).
4. Lysukho N. A., Eroshina D. M. Otkhody proizvodstva i potrebleniya, ikh vliyanie na prirodnyuyu sredu. Minsk, 2011 (in Russ.).
5. Khomich V. S., Kakareka S. V., Kukharchik T. I. Ekogeokhimiya gorodskikh landshaftov Belarusi. Minsk, 2004 (in Russ.).
6. Sostoyanie prirodnoi sredy Belarusi : ekol. byul. 2013. Ed. by V. F. Loginov. Minsk, 2014 (in Russ.).
7. Zhoglo V. G., Akulevich A. F., Kotsur V. V. Opyt vedeniya monitoringa podzemnykh vod v zone vliyaniya Gomel'skogo khimzavoda. Minsk, 1997 (in Russ.).
8. Kotsur V. V. Gidrogeokhimiya zony intensivnogo vodoobmena territorii Gomel'skogo khimicheskogo zavoda [Hydrogeochemistry of the Intensive Water Exchange Zone Within the Gomel Chemical Plant Territory]. *Litosfera*. 2000. No. 13. P. 93–100 (in Russ.).
9. Kotsur V. V. Geokhimiya podzemnykh vod zony aktivnogo vodoobmena na territorii vliyaniya Gomel'skogo khimicheskogo zavoda : avtoref. dis. ... kand. geol.-mineral. nauk : 25.00.09. Minsk, 2004 (in Russ.).
10. Shershnev O. V., Pavlovskii A. I., Prilutskii I. O. Otsenka masshtaba i stepeni zagryazneniya podzemnykh vod na territorii vliyaniya Gomel'skogo khimicheskogo zavoda [Estimation of Scale and Extent of Contamination of Subterranean Water in the Influence Area of the Gomel Chemical Plant]. *Prir. Resursy*. 2013. No. 1. P. 44–50 (in Russ.).
11. Okhrana okruzhayushchei sredy i prirodoopol'zovanie. Gidrosfera. Pravila razmeshcheniya punktov nablyudenii za sostoyaniem podzemnykh vod dlya provedeniya lokal'nogo monitoringa okruzhayushchei sredy : TKP 17.06–01–2007. Minsk, 2007 (in Russ.).
12. Kiryukhin V. A. Prikladnaya gidrogeokhimiya. Saint Petersburg, 2011 (in Russ.).
13. Gusev A. P., Shershnev O. V., Pavlovskii A. I., et al. Osobennosti formirovaniya landshaftno-geokhimicheskikh bar'ero v zone vliyaniya otkhodov khimicheskikh proizvodstv (Gomel'skii khimicheskii zavod) [Specifics of Formation of Geochemical Barriers In the Zone Influenced by Industrial Chemical Dumps (Gomel Chemical Plant)]. *Geoekol. Inzhenernaya Geol. Gidrogeol. Geokriol*. 2013. No. 2. P. 147–152 (in Russ.).

Статья поступила в редколлегию 12.06.2016.  
Received by editorial board 12.06.2016.

УДК 551.79:561(476)

## ВОЗРАСТ И УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПОГРЕБЕННЫХ ПОЧВ В РАЗРЕЗЕ У Д. СТАЙКИ ПО ДАННЫМ ПАЛИНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Я. К. ЕЛОВИЧЕВА<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Белорусский государственный университет,  
пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Республика Беларусь

Представлены материалы условий залегания и палинологического изучения почвенных отложений в разрезе у д. Стайки (Могилёвское Поднепровье, Беларусь), возраст которых датируется голоценовым межледниковьем (1-я изотопная стадия). Охарактеризованы следующие компоненты: состав спектров по расчисткам 1 (фаза развития растительности – SA-1, 2, 3) и 2 (ранний голоцен: PB-1, BO-2; средний голоцен: AT-1, 2, 3; поздний голоцен: SB-1, 2; SA-1, 2, 3), свойства растительности палеоландшафта (сосновые леса с березой → сосновые леса с мезо- и термофильными породами → широколиственные (липовые, затем дубово-вязовые и грабовые леса, ольшаники) → ельники и сосняки с мезо- и термофильными породами → сосновые с елью и березой), особенности палинофлоры (редко встречаемые в оптимуме голоцена *Abies alba*, *Larix*, *Nymphaea alba*, *Salvinia natans*), динамика палеоводоема (русло реки в позднеледниковье и начале голоцена – от 13 900 до 10 000 л. н., зарастание русла в предоптимальное время – от 8400 до 8800 л. н., болотный режим в оптимуме голоцена – от 8000 до 5300 л. н., возобновление руслового потока с конца оптимума (AT-3-d) по начало SB – от 4700 до 5300 л. н. в устойчивом медленном режиме, а в более динамичном – в SB-1 – SB-2 (1600–4700 л. н.), развитие почвы в период SA-3 (1600 л. н. – современность)) и палеоклимата (прохладного и сухого, затем умеренно теплого и сухого в предоптимальное время, теплого и влажного в оптимуме голоцена, умеренно теплого и влажного, сменившегося умеренно теплым и сухим в постоптимальное время) выделенных этапов.

**Ключевые слова:** палинология; голоцен; растительность; погребенные почвы; климат; голоценовое межледниковье.

---

### Образец цитирования:

Еловичева Я. К. Возраст и условия формирования погребенных почв в разрезе у д. Стайки по данным палинологических исследований // Журн. Белорус. гос. ун-та. География. Геология. 2017. № 1. С. 137–145.

### For citation:

Yelovicheva Y. K. Age and conditions of the formation of the buried soils in the Stajki section by palynological studies. *J. Belarus. State Univ. Geogr. Geol.* 2017. No. 1. P. 137–145 (in Russ.).

---

### Автор:

**Ядвига Казимировна Еловичева** – доктор географических наук, профессор; заведующая кафедрой физической географии мира и образовательных технологий географического факультета.

### Author:

**Yadviga Yelovicheva**, doctor of science (geography), full professor; head of the department of physiography of the world and educational technologies, faculty of geography.  
[yelovicheva@bsu.by](mailto:yelovicheva@bsu.by)

## AGE AND CONDITIONS OF THE FORMATION OF THE BURIED SOILS IN THE STAJKI SECTION BY PALYNOLOGICAL STUDIES

Y. K. YELOVICHEVA<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Belarusian State University, Nezavisimosti avenue, 4, 220030, Minsk, Republic of Belarus

In the article are set forth materials of the palynological researches of the soil sediments in the section et the vil. Stajki (Mogilev Podniepr, Belarus), the age of which is dated Holocene interglacial (isotopic stage 1). Characterized spectra clearing composition 1 (phase SA-1, 2, 3) and 2 (early Holocene: PB-1, BO-2; Middle Holocene: AT-1, 2, 3; Late Holocene: SB-1, 2; SA-1, 2, 3), the character of the vegetation of paleolandscapes (pine forests with birch → pine forests with meso- and thermophilic breeds → broad-leaved forest (linden, oak-elm and then hornbeam and hornbeam forests, alder) → spruce and pine forests with meso- and thermophilic breeds → pine with spruce and birch), especially palynoflora (rare-seldom in the Holocene optimum *Abies alba*, *Larix*, *Nymphaea alba*, *Salvinia natans*), dynamics of palaeolake (the riverbed in the Late Glacial and early Holocene – 13 900–10 000 y. a., overgrown of riverbed in preoptimum time – 8400–8800 y. a., marsh regime in the Holocene optimum – 8000–5300 y. a., renewal of river flow from the end of optimum (AT-3-d) to the beginning SB – 4700–5300 y. a. in the steady slow mode, and in a more dynamic – in SB-1, SB-2 – 1600–4700 y. a., soil development in the SA-3 (1600 y. a. – present)) and paleoclimate (cool and dry, then moderately-warm and dry in preoptimum time, warm and humid in the Holocene optimum, moderately-warm and humid, the change of moderately-warm and dry in postoptimum time) of the selected stages.

**Key words:** palynology; Holocene; vegetation; buried soils; climate; Holocene interglaciation.

Особенности формирования погребенных почв в речных долинах представляют научный интерес с позиции истории их развития во времени и пространстве, а также специфики растительности окружающего ландшафта. На территории Беларуси такие исследования долгое время велись преимущественно с помощью геохимических методов, которые на современном этапе совмещаются с палинологическим анализом [1; 2].

Один из достаточно интересных разрезов погребенных почв в регионе выявлен летом 1995 г. в обнажении правого берега р. Днепр (Могилёвский район Могилёвской области), в 1 км на восток от центра д. Стайки, в 250 м выше по течению от парома, рядом с аккумуляторной станцией, на лугу, где, по описанию Т. Н. Белоусовой, расчисткой 2 вскрыты сверху вниз следующие слои (табл. 1).

Таблица 1

Описание геологического разреза у д. Стайки (расчистка 2)

Table 1

Description of the geological section at the vil. Stajki (clearing 2)

| Почвенный горизонт | Описание                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Глубина, м |
|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| A <sub>0</sub>     | Дернина темно-серая, рыхлая                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 0,0–0,12   |
| B <sub>нам.</sub>  | Песок неоднородно окрашенный, на буром фоне незначительные ржавые примазки железа, черные – марганца, с ярко выраженными признаками ожелезнения, комковатый, плотный, с корнями и остатками растений; переход в нижележащий слой четкий по окраске (преобладает окислительная среда – определение по цвету) | 0,12–0,30  |
| A <sub>2</sub>     | Суглинок темновато-серый, комковато-ореховатый, очень плотный, свежий, с корнями растений, преобладает восстановительная среда (определение по цвету), на сером фоне видны примазки железа; переход в нижележащий слой постепенный, нижняя граница волнистая                                                | 0,30–0,45  |
| T                  | Торф черный, сильно разложившийся, с остатками неразложившихся растений (корни деревьев) на глубине 0,75–0,83; 1,04–1,10 и 1,17–1,25 м; переход в нижележащий слой постепенный, нижняя граница волнистая                                                                                                    | 0,45–1,35  |
| Cg                 | Суглинок неоднородно окрашенный: на голубом фоне с бурыми пятнами ожелезнения, плотный, с ярко выраженным оглеением, с остатками корней растений на глубине 1,50–1,68 и 1,82–1,95 м; переход в нижележащий слой четкий по цвету и гранулометрическому составу                                               | 1,35–2,18  |
| D                  | Песок крупнозернистый, неоднородно окрашенный, на палеовом фоне с ржаво-бурными (глубина от 2,41 до 2,46 м) и серо-сизыми (на глубине от 2,33 до 2,41 м) прослоями, влажный, с преобладающей окислительной обстановкой                                                                                      | 2,18–2,55  |

Разрез палинологически изучен по 38 образцам, результаты представлены на палинологической диаграмме (рис. 1). Отложения нижней части разреза (песок и суглинок на глубине 1,56–2,55 м) не



содержали растительных микрофоссилий, а включали минеральные и угольные частицы, мозолистые тела, что свидетельствует о нестабильных условиях накопления осадков и переотложении органического материала. Вышележащая толща суглинка, торфа, песка и дневной почвы на глубине 0,0–1,56 м охарактеризована спорово-пыльцевыми спектрами, слагающими 12 палинокомплексов в соответствии с фазами развития растительности в районе исследований за время накопления осадков.

Палинокомплекс-1 выделен по двум образцам из слоя суглинка на глубине 1,35–1,56 м. Содержание растительных микрофоссилий в препаратах варьирует от 80 до 220 ед. В общем составе спектров преобладает пыльца древесных пород (48–61 %) и споровые (38–41 %) при небольшой роли пыльцы травянистых растений (1 %). Древесные породы представлены преимущественно *Pinus sylvestris* (77–88 %) наряду с участием *Betula sect. Albae* (5 %), а также мезо- (*Alnus* – 8 %) и термофильных (*Quercus robur* – 14 %, *Tilia cordata* – от 2 до 3 %, *Corylus avellana* – от 2 до 3 %) пород, последние из которых, скорее всего, не синхронны осадку. Среди травянистых растений обнаружены единичные представители *Chenopodiaceae* и *Artemisia*. Из споровых доминируют *Polypodiaceae* (94–96 %), присутствуют *Sphagnum* (1,5–4,0 %) и *Lycopodium clavatum* (1,5 %). Здесь же встречаются мозолистые тела и минеральные частицы, что отражает наличие переотложения. Палинокомплекс характеризует развитие сосновых лесов с примесью березы и обильным напочвенным ярусом из папоротников и плаунов в условиях прохладного и сухого климата на протяжении фазы РВ-1.

Палинокомплекс-2 охарактеризован по двум образцам из слоя торфа на глубине 1,25–1,35 м. Содержание растительных микрофоссилий в препаратах увеличилось до 154–770 ед. В общем составе спектров преимущество сохраняется за пылью древесных пород (58–65 %) и споровыми (41–35 %) при невысоких значениях пыльцы травянистых растений (1 %). Среди древесных пород абсолютного максимума достигла *Pinus sylvestris* (89–94 %), в меньших количествах присутствуют *Picea sect. Eupicea* (1 %), *Alnus* (1–6 %), *Quercus robur* (1–6 %), *Tilia cordata* (2–3 %), *Corylus avellana* (1 %). Из травянистых растений единичны находки *Artemisia*, среди споровых сохраняют господство *Polypodiaceae* (98 %) наряду с участием *Sphagnum* (2 %). Единичны мозолистые тела и минеральные частицы, свидетельствующие о возможном переотложении в этот временной интервал. Палинокомплекс характеризует существование умеренно теплого и сухого климата, способствовавшего распространению сосновых лесов с примесью мезо- и термофильных пород и обильным напочвенным ярусом из папоротников в течение фазы ВО-2.

Палинокомплекс-3 выделен по двум образцам из слоя торфа на глубине 1,15–1,25 м. Содержание растительных микрофоссилий в препаратах возросло до 286–1540 ед. В общем составе спектров абсолютный максимум принадлежит споровым (46–58 %), снизилось содержание пыльцы древесных пород (42–53 %), небольшую роль сохраняет пыльца травянистых растений (1 %). В группе древесных пород доминирует, но при меньшем количестве (61–68 %) *Pinus sylvestris*, повысилось содержание хвойных (*Picea sect. Eupicea* – от 3 до 5 %, *Larix*<sup>1</sup> – 2 %), мелколиственных (*Betula sect. Albae* – 4 %) и широколиственных (*Q. m.* + *Carpinus* от 10 до 18 %, в том числе *Quercus robur* – от 4 до 7 %, *Tilia cordata* – от 4 до 8 % (абс. максимум), *Ulmus laevis* – от 2 до 3 %), а также *Alnus* (1–6 %), *Corylus avellana* (1 %). Среди травянистых растений единичны *Asteraceae*, из споровых сохраняют свое преимущество *Polypodiaceae* (99 %), встречаются *Sphagnum* (1 %) и *Lycopodium clavatum* (1 %). Палинокомплекс характеризует существование теплого и влажного климата, в условиях которого были развиты широколиственные (с преобладанием липы) леса с примесью сосны, участием ольхи, ели, лиственницы, орешника и обильным напочвенным ярусом из папоротников и плаунов на протяжении климатического оптимума голоцена (фаза АТ-1).

Палинокомплекс-4 охарактеризован по четырем образцам из слоя торфа на глубине 0,95–1,15 м. Содержание растительных микрофоссилий в препаратах резко увеличилось и варьирует от 66 до 3800 ед. В общем составе спектров ведущая роль принадлежит пыльце древесных пород (82–96 %) при невысоких значениях споровых (2–15 %) и пыльце травянистых растений (2–3 %). Древесные породы представлены главным образом *Pinus sylvestris* (71–74 %), появилась *Abies alba* (2 %), величина *Picea sect. Eupicea* не превышает 0,6–5,0 %, значение *Betula sect. Albae* составляет от 1 до 4 %, повысилось содержание *Alnus* (8–21 %) и несколько сократилось содержание широколиственных пород (3–9 %, в том числе *Quercus robur* – от 1 до 7 %, *Tilia cordata* – от 0,7 до 1,0 %, *Ulmus laevis* – от 0,5 до 2 %), появились *Carpinus betulus* (0,5 %) и *Fagus* (0,5 %). Кустарниковые представлены *Corylus avellana* (0,5–2,0 %) и *Ligustrum* (0,5 %). Разнообразнее стал состав травянистых растений, преимущественно из числа водно-болотных (*Typha latifolia*, *Salvinia natans*, *Myriophyllum verticillatum*) и наземных (*Malvaceae*) представителей. Из споровых обнаружены *Polypodiaceae*, *Pterideae*, *Sphagnum*, *Lycopodium clavatum*. Весьма редко встречались мозолистые тела и минеральные частицы. Палинокомплекс характеризует развитие менее теплого и влажного климата, способствовавшего распространению сосново-широколиственных лесов с участием пихты, ели и ольхи в течение некоторого похолодания климата в оптимуме голоцена (фаза АТ-2).

Палинокомплекс-5 выделен по двум образцам из слоя торфа на глубине 0,85–0,95 м. Содержание растительных микрофоссилий в препаратах снизилось до 220–1936 ед. В общем составе спектров

<sup>1</sup>Здесь и далее полужирным курсивом обозначены редко встречаемые породы растений или экзоты.

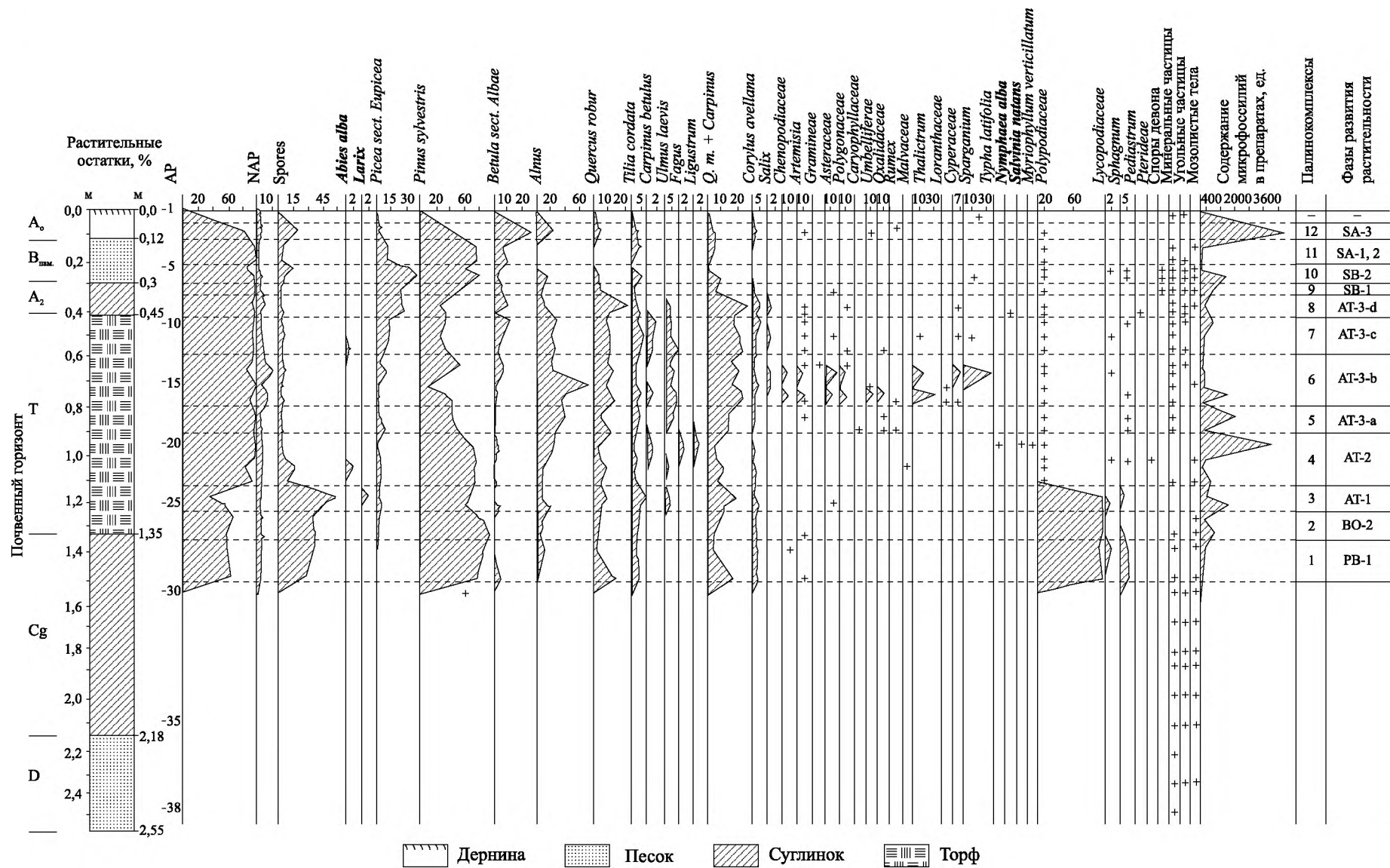


Рис. 1. Палинологическая диаграмма отложений в разрезе у д. Стайки (расчистка 2):  
PB – пребореальный; BO – бореальный; AT – атлантический; SB – суббореальный; SA – субатлантический периоды  
(анализ Я. К. Еловичевой по материалам Т. Н. Белоусовой)

Fig. 1. Palynological diagram of the deposits in the section near the vil. Stajki (clearing 2):  
PB – Preboreal; BO – Boreal; AT – Atlantic; SB – Subboreal; SA – Subatlantic  
(analysis by Y. K. Yelovicheva on the materials by T. N. Belousova)



абсолютных значений достигла пыльца древесных пород (95–98 %) наряду с небольшой ролью пыльцы травянистых растений (1,0–2,5 %) и споровых (1,0–2,5 %). Среди древесных пород преобладает *Pinus sylvestris*, хотя ее количество снизилось до 43–53 %. Увеличилось содержание *Picea sect. Eupicea* (4–8 %), *Alnus* (24–38 %), широколиственных пород (13 %, в том числе *Quercus robur* – от 4 до 10 %, *Tilia cordata* – от 2 до 3 %, *Ulmus laevis* – от 1 до 6 %), величина *Betula sect. Albae* уменьшилась до 1–4 %. Из кустарниковых постоянным присутствием отличается *Corylus avellana* (2 %). Травянистые растения представлены наземными формами обитания – *Artemisia*, *Caryophyllaceae*, *Oxalidaceae*, *Rumex*. Споровые слагаются *Polypodiaceae* и *Sphagnum*. Редко встречались минеральные частицы. Палинокомплекс характеризует существование теплого и влажного климата, способствовавшего развитию широколиственных (с преобладанием дуба и вяза) лесов с примесью сосны, участием ели, орешника, обильными ольшаниками на протяжении второй половины климатического оптимума голоцена (фаза АТ-3-а).

Палинокомплекс-6 охарактеризован по пяти образцам из слоя торфа на глубине 0,60–0,85 м. Содержание растительных микрофоссилий в препаратах снизилось до 176–1386 ед. В общем составе спектров доминирует пыльца древесных пород (85–96 %) при некотором увеличении роли пыльцы травянистых растений (5–11 %) и споровых (0,5–4,0 %). В группе древесных пород величина *Pinus sylvestris* составляет 10–53 %, *Picea sect. Eupicea* – от 2 до 9 %, повысилось содержание *Betula sect. Albae* (2–7 %), *Alnus* (20–68 %, абс. максимум) и широколиственных пород (15–23 %, в том числе *Quercus robur* – от 8 до 13 %, *Ulmus laevis* – от 4 до 8 %, *Tilia cordata* – от 2 до 4 %, *Carpinus betulus* – 0,6 %), а среди кустарниковых – *Corylus avellana* (1–4 %) и *Salix* (1 %). Травянистые растения слагаются наземными (*Thalictrum* – от 15 до 30 %, *Asteraceae* – от 10 до 15 %, *Artemisia*, *Chenopodiaceae* и *Polygonaceae* – от 7 до 10 %, *Umbelliferae* – 10 %, *Oxalidaceae* – 10 %, единично – *Rumex*, *Gramineae*, *Loranthaceae*) и водно-болотными (*Sparganiaceae* – 38 %, *Cyperaceae* – 7 %) формами обитания. Из споровых выявлены *Polypodiaceae*, *Sphagnum* и *Lycopodium clavatum*. Редко встречались минеральные частицы. Палинокомплекс характеризует развитие умеренно теплого и влажного климата, в условиях которого получили распространение широколиственные (преимущественно дубовые и вязовые) леса с сосной, участием ели и орешника, обильными ольшаниками, а также травянистые ассоциации открытых и водно-болотных мест обитаний в течение второй половины климатического оптимума голоцена (фаза АТ-3-б).

Палинокомплекс-7 выделен по трем образцам из слоя торфа на глубине 0,45–0,60 м. Содержание растительных микрофоссилий в препаратах уменьшилось до 220–770 ед. В общем составе спектров повысилась роль пыльцы древесных пород (93–97 %) наряду со снижением количества пыльцы травянистых растений (1–4 %) и сохранением значений споровых (2–4 %). Среди древесных заметно снизилось содержание *Pinus sylvestris* (27–35 %), *Alnus* (20–28 %) за счет увеличения количества *Picea sect. Eupicea* (11–14 %), *Abies alba* (1 %), *Betula sect. Albae* (4–11 %), широколиственных пород (17–24 %, в том числе *Quercus robur* – от 8 до 10 %, *Ulmus laevis* – от 5 до 9 % (абс. максимум), *Tilia cordata* – от 3 до 6 %, *Carpinus betulus* – от 0,6 до 1,5 % (абс. максимум)), а среди кустарниковых – *Corylus avellana* (2–6 %, абс. максимум) и *Salix* (1 %). В группе наземных травянистых растений выявлены *Artemisia*, *Asteraceae*, *Polygonaceae*, *Umbelliferae*, *Oxalidaceae*, *Thalictrum*, а среди водно-болотных – *Sparganiaceae* и *Cyperaceae*. Споровые по-прежнему представлены *Polypodiaceae*, *Sphagnum* и *Lycopodium clavatum*. Встречаются угольные частицы и мозолистые тела. Палинокомплекс характеризует существование теплого и влажного климата, способствовавшего развитию широколиственных (с преобладанием дуба, вяза и граба) лесов с примесью сосны и участием пихты, березы, орешника, а также ельников и ольшаников на протяжении второй половины климатического оптимума голоцена (фаза АТ-3-с).

Палинокомплекс-8 охарактеризован по двум образцам из слоя суглинка на глубине 0,35–0,45 м. Содержание растительных микрофоссилий в препаратах не превышает 264–440 ед. В общем составе спектров пыльца древесных пород (93–95 %) преобладает над пыльцой травянистых растений (1–4 %) и споровыми (3–4 %). В группе древесных характерно увеличение *Picea sect. Eupicea* (25–29 %), широколиственных пород (18–27 % (абс. максимум), в том числе *Quercus robur* – от 10 до 21 % (абс. максимум), *Ulmus laevis* – от 2 до 4 %, *Tilia cordata* – от 2 до 4 %) наряду с сохранением большой роли *Pinus sylvestris* (28–33 %), прежних значений *Betula sect. Albae* (1–10 %), снижением количества *Alnus* (10–17 %). Здесь же уменьшилось содержание кустарниковых пород *Corylus avellana* (3–5 %), а величина *Salix* не превышает 1 %. Травянистые растения слагаются единичными *Artemisia*, *Polygonaceae*, *Umbelliferae*, *Cyperaceae*, *Nymphaea alba*. Из споровых постоянным присутствием отличались *Polypodiaceae*, выявлены водоросли *Pediastrum boryanum*. Встречались угольные и минеральные частицы, мозолистые тела. Палинокомплекс характеризует развитие теплого и влажного климата, способствовавшего распространению широколиственных (преимущественно дубовых) лесов с примесью сосны, участием орешника, ольхи, а также ельников в течение второй половины климатического оптимума голоцена (фаза АТ-3-д).

Палинокомплекс-9 выделен по одному образцу из слоя суглинка на глубине 0,30–0,35 м. Содержание растительных микрофоссилий в препаратах увеличилось до 528 ед. В общем составе спектров ведущее место по-прежнему сохраняет пыльца древесных пород (97 %) наряду с небольшими величинами

пыльцы травянистых растений (1 %) и споровых (2 %). Среди древесных пород отмечается нарастание роли *Pinus sylvestris* (56 %) при снижении количества прочих компонентов спектра: *Picea sect. Eupicea* (24 %), *Betula sect. Albae* (6 %), *Alnus* (9 %), широколиственных пород (5 %, в том числе *Quercus robur* – 4 %, *Tilia cordata* – 1 %), *Corylus avellana* (1 %). Травянистые растения представлены лишь *Asteraceae*, споровые – *Polypodiaceae*. Здесь же присутствуют споры девона, минеральные частицы и мозолистые тела. Палинокомплекс характеризует существование умеренно теплого и влажного климата, в условиях которого были развиты сосново-еловые леса с примесью широколиственных пород, ольхи на протяжении последующей постоптимальной фазы (SB-1).

Палинокомплекс-10 охарактеризован по двум образцам из слоя песка на глубине 0,20–0,30 м. Содержание растительных микрофоссилий в препаратах возросло от 22 до 1320 ед. В общем составе спектров увеличилось количество споровых (14 %) за счет снижения значений пыльцы древесных пород (86 %). Группе древесных свойствен абсолютный максимум *Picea sect. Eupicea* (33–40 %), увеличение содержания *Pinus sylvestris* (61–80 %), широколиственных пород (8 %, в том числе *Quercus robur* – 3 %, *Tilia cordata* – 5 %), *Alnus* (9 %) на фоне уменьшения значений *Betula sect. Albae* (4–5 %). Из травянистых растений обнаружены *Sparganiaceae*, из споровых – *Polypodiaceae*, *Lycopodium clavatum*, *Sphagnum*. Отмечены находки спор девона, угольных и минеральных частиц, мозолистых тел. Палинокомплекс характеризует развитие умеренно теплого и влажного климата, способствовавшего распространению ельников и сосновых лесов с участием мезо- и термофильных пород в течение постоптимальной фазы (SB-2).

Палинокомплекс-11 выделен по двум образцам из слоя песка на глубине 0,12–0,20 м. Содержание растительных микрофоссилий в препаратах снизилось до 44–88 ед. В общем составе спектров по-прежнему доминирует пыльца древесных пород (96–98 %, абс. максимум) при небольшом значении споровых (2–4 %). Среди древесных преобладает, но с несколько меньшим количеством *Pinus sylvestris* (77 %), заметно снизилось содержание *Picea sect. Eupicea* (11–12 %), широколиственных пород (*Tilia cordata* – 4 %) за счет увеличения количества *Betula sect. Albae* (7–10 %). Споровые слагаются *Polypodiaceae*. Выявлены угольные и минеральные частицы, мозолистые тела. Палинокомплекс характеризует существование умеренно теплого и сухого климата, в условиях которого получили развитие сосновые леса с участием ели и березы на протяжении постоптимальной фазы (SA-1–2).

Палинокомплекс-12 охарактеризован по двум образцам из слоя дернины на глубине 0,0–0,12 м. Содержание растительных микрофоссилий в препаратах резко возросло и достигло своего абсолютного максимума – 4620 ед. В общем составе спектров пыльца древесных пород (81 %) доминирует над пыльцой травянистых растений (1 %) и споровыми, величина которых возросла до 18 %. В группе древесных отмечается уменьшение значений *Pinus sylvestris* (47 %), *Picea sect. Eupicea* (0,5 %) за счет повышения содержания *Betula sect. Albae* (26 %, абс. максимум), *Alnus* (22 %), сохранения роли широколиственных пород (4 %, в том числе *Tilia cordata* – от 2 до 4 %, *Quercus robur* – 2 %). Величина *Corylus avellana* не превышает 1 %. Травянистые растения представлены находками *Artemisia*, *Umbelliferae*, *Sparganium*, споровые – *Polypodiaceae*. Встречались угольные и минеральные частицы. Палинокомплекс характеризует распространение умеренно прохладного и сухого климата, способствовавшего развитию березово-сосновых лесов с участием ольхи, широколиственных пород и напочвенным ярусом из папоротников в течение последующей фазы (SA-3).

Приведенный палинологический материал свидетельствует о том, что в расчистке 2 данного разреза отражена история накопления осадков в течение голоцена. Лишенные растительных микрофоссилий слои песка и суглинка в основании разреза, по-видимому, формировались в позднеледниковье и раннем голоцене (13 900–10 000 л. н.). Более определенно время накопления верхней части этого же суглинка (PB-1 – от 10 000 до 10 300 л. н.) и нижней части торфа (BO-2 – от 8400 до 8800 л. н.), отразивших переход динамичного речного русла в его заросшую болотную часть. Основная толща торфа свидетельствует о стабильных условиях болотного режима на протяжении климатического оптимума голоцена: AT-1 – AT-3-с (8000–5300 л. н.). Возрождение водного режима водоема и процесса седиментогенеза произошло в самом конце атлантического периода (AT-3-d) и завершилось в начале суббореального (SB-1-a – от 4700 до 5300 л. н.) в устойчивом медленном режиме, а в более динамичном – в SB-1 – SB-2 (1600–4700 л. н.). Последующее развитие почвенного горизонта охватило временной интервал SA-3 (1600 л. н. – современность).

Отличительной особенностью палинологической характеристики данного разреза на северо-востоке региона является присутствие в составе палинофлоры редко встречаемых *Abies alba* (AT-2, AT-3-с), *Larix* (AT-1) и представителей водной среды обитания – *Nymphaea alba* (AT-3-d) и *Salvinia natans* (AT-2); хорошо выраженный максимум широколиственных пород (до 27 %) во время климатического оптимума; отчетливо проявившийся внутриоптимальный интервал некоторого похолодания климата AT-2, отделяющий ранний атлантический период (AT-1) с преобладанием липы от позднего (AT-3) с доминированием дуба, вяза и граба; достаточно своеобразный интервал AT-3-b с увеличением роли



трав; четкий максимум березы (до 26 %) в субатлантический период (SA-3) вслед за максимумом сосны (SA-1-2), свидетельствующие о том, что макросукцессионный ряд палеофитоценозов этого разреза является завершенным, чего не показывают, например, диаграммы, отражающие состав озерных осадков. В этом отношении разрез у д. Стайки (расчистка 2) вносит существенный вклад в понимание палеогеографической обстановки постоптимального времени голоценового межледниковья.

Летом 1995 г. в обнажении правого берега р. Днепр, в 2 км на восток от д. Стайки (Могилёвский район Могилёвской области), в 250 м на юго-восток от паромы, на лугу высокой поймы, над урезом воды 5,5 м в расчистке 1, по описанию Т. Н. Белоусовой, сверху вниз вскрываются следующие отложения (табл. 2).

Таблица 2

## Описание геологического разреза у д. Стайки (расчистка 1)

Table 2

## Description of the geological section at the vil. Stajki (clearing 1)

| Почвенный горизонт                  | Описание                                                                                                                                                           | Глубина, м |
|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| A <sub>0</sub> –A <sub>1</sub>      | Дернина серая, рыхлая; пронизана корнями растений                                                                                                                  | 0,0–0,05   |
| A <sub>2</sub> B <sub>1</sub>       | Песок светло-серый, мелкозернистый, сухой, пронизан корнями растений; переход в нижележащий слой постепенный                                                       | 0,05–0,10  |
| A <sub>2</sub> B <sub>2</sub>       | Песок палево-серый, неоднородно окрашенный, комковатый, плотный, сухой, с пятнами ожелезнения по корням растений                                                   | 0,10–0,65  |
| A <sub>2</sub> B <sub>2</sub>       | Песок неоднородно окрашенный, преимущественно палево-серый, ореховатый, с марганцевыми и железистыми примазками, с более ярко выраженными признаками иллювирования | 0,65–0,77  |
| B <sub>1</sub>                      | Супесь неоднородно окрашенная, ореховатая, с обильными марганцево-железистыми примазками, плотная, свежая, влажнее вышележащего слоя                               | 0,77–0,90  |
| B <sub>2</sub>                      | Супесь серо-коричневая, более однородная, ореховатая, плотная; переход в нижележащий слой заметный по цвету                                                        | 0,90–1,16  |
| A <sub>1</sub> погр.                | Супесь темно-серая, гумусированная, комковато-зернистая, легко суглинистая, плотная, свежая; переход в нижележащий слой четкий по цвету                            | 1,16–1,45  |
| A <sub>1</sub> погр. B <sub>1</sub> | Супесь неоднородно окрашенная, преимущественно серо-бурая                                                                                                          | 1,45–1,61  |
| B <sub>1</sub> погр.                | Супесь неоднородно окрашенная, преимущественно палево-бурая                                                                                                        | 1,61–1,75  |
| B <sub>2</sub> погр.                | Супесь буровато-серая, неоднородно окрашенная, свежая, тяжелая                                                                                                     | 1,75–2,00  |
| C                                   | Супесь буровато-серая, неоднородно окрашенная, свежая, легкая                                                                                                      | 2,00–2,57  |
| Dg <sub>1</sub>                     | Суглинок бурый, с серыми пятнами оглеения, неоднородно окрашенный, с черными точечными марганцевыми примазками, тяжелый                                            | 2,57–3,62  |
| Dg <sub>2</sub>                     | Глина серо-голубая, тяжелая, однородная, оглеенная                                                                                                                 | 3,62–3,75  |
| Dg <sub>3</sub>                     | Суглинок буровато-серо-черный, неоднородно окрашенный                                                                                                              | 3,75–4,08  |
| Dg <sub>4</sub>                     | Супесь неоднородно окрашенная, буровато-серо-черная, с характерной сменной окислительно-восстановительных условий                                                  | 4,08–4,20  |
| Dg <sub>5</sub>                     | Супесь бурая, неоднородно окрашенная, на глубине 4,5–4,6 м – линза буровато-серого неоднородного суглинка                                                          | 4,20–4,80  |

Разрез изучен палинологически по 40 образцам, результаты представлены на диаграмме (рис. 2), на которой выделены четыре палинокомплекса в соответствии с составом спектров и характером растительности в зависимости от изменения климата. Нижняя часть разреза в виде слоев суглинка, супеси и глины на глубине 1,6–4,8 м не содержит растительных микрофоссилий, в препаратах постоянны угольные и минеральные частицы. Вышележащие слои суглинка, супеси и песка на глубине 0,3–1,6 м содержат единичные (от 2 до 10 зерен) пыльцу и споры (*Picea sect. Eupicea*, *Pinus sylvestris*, *Lycopodium clavatum*), грибы *Fungi*, а также минеральные и угольные частицы, мозолистые тела, споры девона (палинокомплекс-1). В слоях песка на глубине 0,2–0,3 м содержание растительных микрофоссилий варьирует от 8 до 16 ед., помимо *Picea sect. Eupicea*, *Pinus sylvestris*, *Lycopodium clavatum* выявлены также *Quercus robur*, *Tilia cordata*, *Chenopodiaceae*, *Eurotia ceratoides*, *Polypodiaceae*, а также споры девона, минеральные и угольные частицы, мозолистые тела (палинокомплекс-2).

Палинокомплекс-3 выделен по двум образцам из слоя песка на глубине 0,1–0,2 м. Содержание растительных микрофоссилий в препаратах достигло 44–88 ед. В общем составе спектров преобладают споровые (67–80 %) при невысоких значениях пыльцы древесных пород (20–28 %) и небольшой роли пыльцы

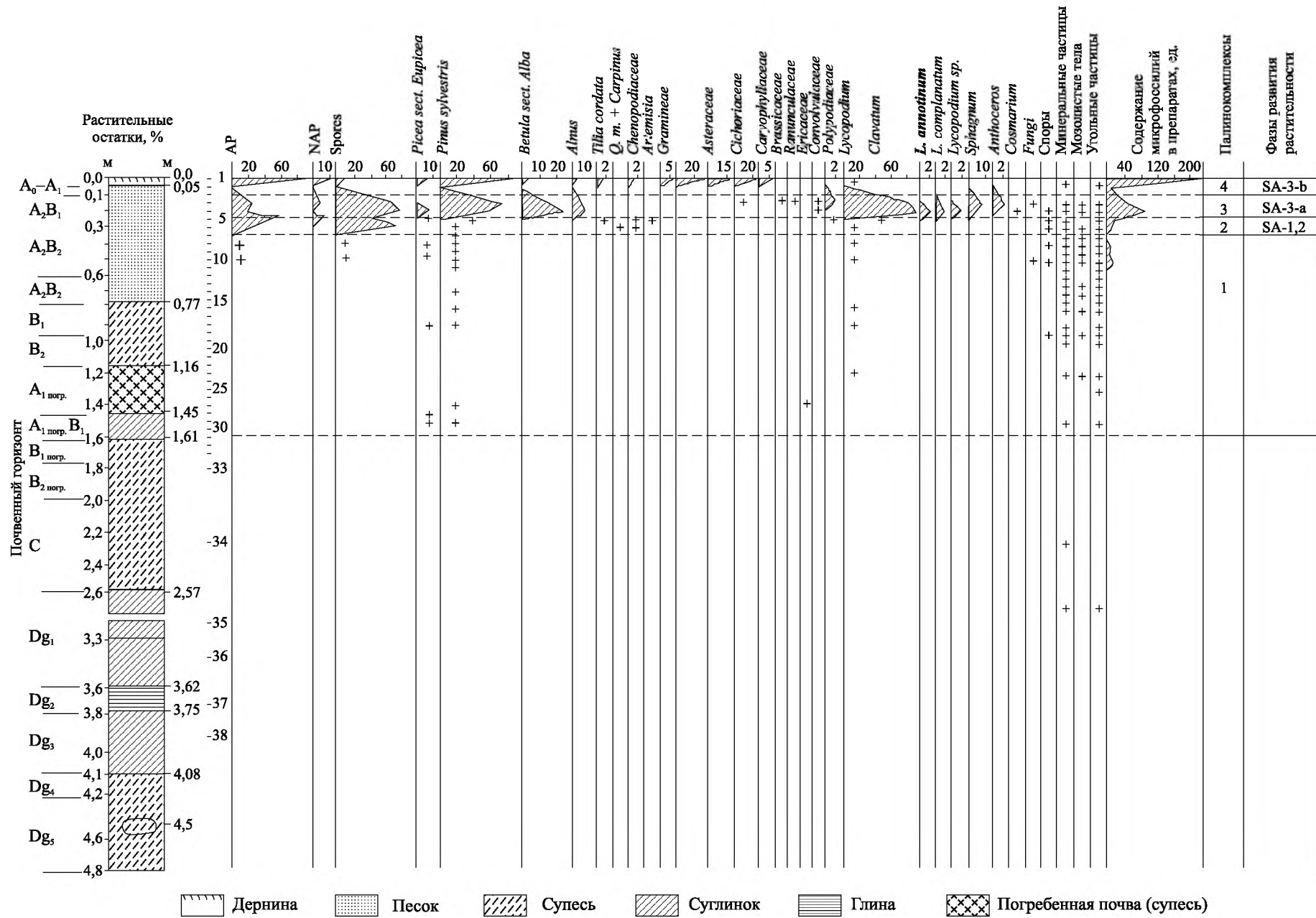


Рис. 2. Палинологическая диаграмма отложений в разрезе у д. Стайки (расчистка 1) (анализ Я. К. Еловичевой по материалам Т. Н. Белоусовой)  
 Fig. 2. Palynological diagram of the deposits in the section near the vil. Stajki (clearing 1) (analysis by Y. K. Yelovicheva on the materials by T. N. Belousova)

травянистых растений (5 %). Среди древесных господствует *Pinus sylvestris* (58–76 %), велико значение *Betula sect. Albae* (18–25 %, абс. максимум), выявлены также *Picea sect. Eupicea* (8 %), *Alnus* (6–8 %). Травянистые растения слагаются *Cichoriaceae*, *Brassicaceae*, *Ranunculaceae*, *Convolvulaceae*. Из споровых доминируют *Lycopodium clavatum* (87–91 %) на фоне участия папоротников *Polypodiaceae* (2 %), мхов *Sphagnum* (2–7 %), *Anthoceros* (3 %), плаунов *Lycopodium annotinum* (2 %), *L. complanatum* (2 %), *Lycopodium sp.* (2 %). Единичны находки грибов *Fungi* и водорослей *Cosmarium*. Палинокомплекс характеризует существование умеренно прохладного и сухого климата, способствовавшего распространению березово-сосновых лесов с участием ели, ольхи и обильным напочвенным ярусом из плаунов и папоротников в течение фазы SA-3-a.

Слой песка на глубине 0,05–0,1 м лишен растительных микрофоссилий.

Палинокомплекс-4 выделен по одному образцу из слоя песка на глубине 0,0–0,1 м. Содержание растительных микрофоссилий в препаратах повысилось до 220 ед. В общем составе спектров господство сохраняет пыльца древесных пород (83 %) на фоне увеличения роли пыльцы травянистых растений (10 %) и резкого снижения значений споровых (7 %). В группе древесных пород преобладающее значение по-прежнему принадлежит *Pinus sylvestris* (91 %, абс. максимум), снизилась роль *Picea sect. Eupicea* (6 %), *Betula sect. Albae* (1 %), *Alnus* (1 %), *Quercus robur* (1 %). Среди травянистых растений много *Gramineae* (36 %), *Cichoriaceae* (27 %), *Asteraceae* (18 %), меньше *Artemisia* (9 %) и *Caryophyllaceae* (9 %). Из споровых единичны *Lycopodium clavatum*, *Polypodiaceae*, *Sphagnum*. Постоянным присутствием отличаются минеральные и угольные частицы. Палинокомплекс характеризует развитие умеренно теплого и сухого климата, в условиях которого были распространены сосновые леса с участием термофильных пород и травянистые ассоциации открытых местообитаний на протяжении фазы SA-3-b.

Приведенные палинологические материалы из расчистки 1 разреза у д. Стайки свидетельствуют о том, что формирование верхней части слоя песка на глубине 0,0–0,20 м происходило в субатлантическое время голоцена – в течение последних 2500 лет. Палинокомплекс-3 данной диаграммы (см. рис. 2) соответствует палинокомплексу-12 из расчистки 2 того же разреза по синхронному максимуму березы, ольхи и споровых в общем составе спектров. Как и в расчистке 2, особую важность представляет максимум березы, отражающий наличие этой фазы в макросукцессионном ряду палеофитоценозов в постоптимальное время – в завершающую голоценовый межледниковый цикл фазу развития растительности (SA-3-a). Вместе с тем следующая за максимумом березы фаза сосны из дневной почвы (SA-3-b) уже может отражать как вариabельность климата и растительности финальных фаз межледниковья, так и интервал перехода к новому потеплению (оптимуму?). Это имеет важное значение в понимании трансформации климата современного этапа: если по новым палинологическим материалам голоцен является уже завершенным максимумом березы межледниковья, то изменение климата в сторону увеличения сухости и тепла в нынешнее время является закономерным природным процессом на пути перехода к последующему потеплению.

Антропогенное влияние на растительность в разрезе у д. Стайки проявилось лишь по данным расчистки 1 в увеличении роли в ландшафте травянистых растений до 10 %, слагаемых представителями наземных форм обитания – злаковыми, цикориевыми, астровыми, полынными, гвоздичными.

Таким образом, в изученном нами разрезе у д. Стайки погребенные слои почв на отдельных участках долины р. Днепр накопились в течение раннего (РВ), среднего (АТ) и позднего (SB) голоцена. Однако не во всех расчистках эти образования содержат захороненные растительные микрофоссилии, характеризующие развитие растительности плакоров, а также склонов и поймы речной долины. Тем не менее проявление общих закономерностей сукцессий растительного покрова в районе расчистки 2 у д. Стайки свидетельствуют об их сходстве в общей направленности с данными по исследованию донных осадков озер: (AP + Spores + *Pinus*) → (AP + Spores + *Pinus* + *Larix* + *Quercus* + *Tilia*) → (*Pinus* + *Abies* + *Q. m.*) → (*Pinus* + *Alnus* + *Quercus*) → (*Pinus* + *Alnus* + *Quercus* + *Ulmus*) → (*Pinus* + *Alnus* + *Quercus* + *Ulmus* + *Tilia* + *Carpinus*) → (*Picea* + *Pinus* + *Quercus* + *Corylus*) → *Pinus* → (*Betula* + *Alnus* + *Pinus*).

### Библиографические ссылки

1. Голоценовые палеопочвы речных долин Беларуси: геохимические аспекты исследования / В. А. Кузнецов [и др.]. Минск, 2004. Деп. БелИСА 13.04.2004, № Д-200432.
2. Голоцен Беларуси / Я. К. Еловичева [и др.]. Минск, 2004. Деп. БелИСА 10.08.2004, № Д-200482.

### References

1. Kuznetsov V. A., Petuchova N. N., Ryabova L. N., et al. Golotsenovy paleopochvy rechnykh dolin Belarusi: geokhimicheskie aspekty issledovaniya [Holocene palaeosoils of the river valleys of Belarus: geochemical aspects of research]. Minsk, 2004. Dep. in BellISA 13.04.2004, No. Д-200432 (in Russ.).
2. Yelovicheva Y. K., Yakushko O. P., Krutous E. A., et al. Golotsen Belarusi [Holocene of Belarus]. Minsk, 2004. Dep. in BellISA 10.08.2004, No. Д-200482 (in Russ.).

Статья поступила в редколлегию 22.11.2016.  
Received by editorial board 22.11.2016.



## ГЕОХИМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ СУБАКВАЛЬНЫХ СИСТЕМ: ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ

О. В. ЛУКАШЁВ<sup>1)</sup>, Н. В. ЖУКОВСКАЯ<sup>1)</sup>, Н. Г. ЛУКАШЁВА<sup>1)</sup>, В. В. САВЧЕНКО<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Белорусский государственный университет,

пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2)</sup>ООО «Неруд-проект», пр. Независимости, 169, 220114, г. Минск, Республика Беларусь

Рассмотрены общие закономерности миграции и концентрации микроэлементов в гидросфере и выведения их в литосферу при седиментогенезе. На примере сильно выраженной геохимической обстановки (крупный город на малой реке) изучены техногеохимические особенности аккумуляции микроэлементов в донных отложениях. Показаны эффективность и ограничения в применении метода нормирования содержания химических элементов по Fe для донных отложений рек. Установлено повышение доли подвижных форм микроэлементов в донных отложениях водохранилища речного типа. На основе многомерного статистического анализа выявлены естественные и техногенные ассоциации химических элементов.

**Ключевые слова:** донные отложения; химические элементы; геохимический мониторинг; техногенное загрязнение; коэффициент концентрации; ассоциации химических элементов.

## GEOCHEMICAL MONITORING OF SUBAQUEOUS SYSTEMS (THEORETICAL AND APPLIED ASPECTS)

O. V. LUKASHEV<sup>a</sup>, N. V. ZHUKOVSKAYA<sup>a</sup>, N. G. LUKASHEVA<sup>a</sup>, V. V. SAVCHENKO<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Belarusian State University, Nezavisimosti avenue, 4, 220030, Minsk, Republic of Belarus

<sup>b</sup>ООО «Nerud-project», Nezavisimosti avenue, 169, 220114, Minsk, Republic of Belarus

Corresponding author: 240660@mail.ru

The article has considered some general patterns of the trace elements migration and concentration in the hydrosphere and their removal in the lithosphere with sedimentation. Technological and geochemical features of trace elements accumulation in sediments have been studied by example of strongly expressed geochemical environment (city on a small river). The author has shown the effectiveness and limitations in applying the method of chemical elements normalization

### Образец цитирования:

Лукашёв О. В., Жуковская Н. В., Лукашёва Н. Г., Савченко В. В. Геохимический мониторинг субаквальных систем: теоретические и прикладные аспекты // Журн. Белорус. гос. ун-та. География. Геология. 2017. № 1. С. 146–170.

### For citation:

Lukashev O. V., Zhukovskaya N. V., Lukasheva N. G., Savchenko V. V. Geochemical monitoring of subaqueous systems (theoretical and applied aspects). *J. Belarus. State Univ. Geogr. Geol.* 2017. No. 1. P. 146–170 (in Russ.).

### Авторы:

**Олег Валентинович Лукашёв** – кандидат геолого-минералогических наук, доцент; доцент кафедры инженерной геологии и геофизики географического факультета.

**Наталья Викторовна Жуковская** – старший преподаватель кафедры почвоведения и земельных информационных систем географического факультета.

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

**Владимир Васильевич Савченко** – кандидат геолого-минералогических наук; заместитель директора по науке.

### Authors:

**Oleg Lukashev**, PhD (geology and mineralogy), docent; associate professor at the engineering geology and geophysics department, faculty of geography.

240660@mail.ru

**Natallia Zhukovskaya**, senior lecturer at the department of the soil sciences and land information systems, faculty of geography.

natazhuk@gmail.com

**Natallia Lukasheva**, laboratory assistant at the laboratory of landscape ecology, faculty of geography.

240660@mail.ru

**Vladimir Savchenko**, PhD (geology and mineralogy); deputy director for science.

savchenko@tut.by

on Fe in the river bottom sediments. The fraction increase of trace elements mobile forms in the bottom sediments of a river type reservoir has been determined. The author has revealed natural and anthropogenic trace elements associations in the bottom sediments by using multivariate statistical analysis.

**Key words:** bottom sediment; chemical elements; geochemical monitoring; technogenic contamination; concentration coefficient; chemical elements associations.

*К 110-летию со дня рождения  
основоположника белорусской геохимии,  
академика К. И. Лукашёва (1907–1987)*

## Введение

Геохимический мониторинг субаквальных систем различного уровня требует четкого понимания основных закономерностей миграции и концентрации химических элементов в гидросфере и процессов их выведения в сопредельные среды (в первую очередь в литосферу в виде донных отложений при седиментогенезе). В настоящей статье дается обобщенная характеристика поведения микроэлементов в гидросфере в условиях глобального рассеяния, а также на примере Беларуси рассматриваются отдельные аспекты геохимического мониторинга речных систем в условиях сильно выраженной техно-геохимической обстановки.

## Мировой океан и речные воды (основные закономерности)

Среди растворенных в морской воде химических элементов только 12 имеют концентрацию свыше 1 мг/дм<sup>3</sup> (Cl, Na, Mg, S, Ca, K, Br, C, Sr, B, Si, F). Их соотношение (как и большинства других) на различных участках акватории Мирового океана сохраняется приблизительно постоянным, что объясняется законом Форчхаммера (1865): «...количество различных элементов в морской воде не пропорционально тому количеству элементов, которое реки приносят в море, а обратно пропорционально той лёгкости, с которой элементы в морской воде переходят в нерастворимое состояние при химических или биохимических реакциях» [1]. Подобный подход позволяет упрощенно рассматривать химический состав Мирового океана (в рамках школьной задачи о непереполняющемся бассейне), в котором постоянство состава достигается за счет равенства прихода и выведения химических элементов. Из данных, приведенных в табл. 1, следует, что элементы, определяющие основной солевой состав морской воды, имеют большие сроки их выведения в донные отложения (от  $n \cdot 10^4$  до  $n \cdot 10^8$  лет – выделены полужирным шрифтом).

Таблица 1

Время пребывания химических элементов в морской воде (составлено по [2])

Table 1

The residence time of the chemical elements in seawater (compiled on [2])

| Время, кол-во лет                       | Элемент                                                           |
|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| <i><b><math>n \cdot 10^8</math></b></i> | <b>Cl, Br</b>                                                     |
| <i><b><math>n \cdot 10^7</math></b></i> | <b>B, Na, Mg</b>                                                  |
| $n \cdot 10^6$                          | Li, <b>K</b> , Rb, <b>Sr</b> , Ra, U                              |
| $n \cdot 10^5$                          | <b>F</b> , P, <b>Ca</b> , As, Mo, J, Cs, W, Au                    |
| $n \cdot 10^4$                          | <b>Si</b> , Sc, Ti, V, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Se, Ag, Ba, Hg, Bi |
| $n \cdot 10^3$                          | Cr, Sb, Tm                                                        |
| $n \cdot 10^2$                          | Al, Fe, Nb, La, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Dy, Ho, Er, Yb, Lu, Pb, Th    |
| $n \cdot 10^1$                          | Ce                                                                |

Различия в извлечении микроэлементов из морской воды, по-видимому, в целом определяются разными величинами коэффициента седиментационной концентрации  $K_c$ , рассчитываемого как отношение концентрации элемента в осадках к его концентрации в сумме растворимых солей морской воды (табл. 2).

Общее представление о направленности перераспределения элементов между континентами и океаном дает также сопоставление соответствующих концентраций в сумме солей и гранитном слое (табл. 3).

Степень трансформации состава растворенных микроэлементов при переходе речных вод в морские может быть оценена различными способами: как соотношение абсолютных содержаний; соотношение

содержаний в сумме солей; соотношение нормированных по Fe концентраций (коэффициент обогащения) [3]. Последние два подхода представлены в табл. 4. Следует обратить внимание на то, что при резком уменьшении доли растворенных микроэлементов в сумме солей их относительная концентрация, по данным расчета коэффициента обогащения, для морских вод существенно возрастает. Исключение составляют Sc, Zr, Th и другие элементы, осаждающиеся в периферийной зоне Мирового океана [4].

Таблица 2

Концентрация химических элементов в донных отложениях океана  
(составлено по [3])

Table 2

Chemical elements concentrations in oceanic sediments (compiled on [3])

| $K_c$                            | Элемент                             |
|----------------------------------|-------------------------------------|
| <i>Небиогенные глинистые илы</i> |                                     |
| $n \cdot 10^5$                   | Nb < Ti < Zr < Y < Mn < Th, Sc      |
| $n \cdot 10^4$                   | Cu < Cr < Ni < Ga < Co < Pb         |
| $n \cdot 10^3$                   | Ge < Zn < V < Sn < Ba               |
| $n \cdot 10^2$                   | Sb < Cd < As < Cs                   |
| $n \cdot 10^1$                   | Li < U < Rb < F < Ag < Se < Mo < Hg |
| $n$                              | B                                   |
| $n \cdot 10^{-1}$                | Sr                                  |
| $n \cdot 10^{-2}$                | Br                                  |
| $n \cdot 10^{-3}$                | J                                   |
| <i>Биогенные карбонатные илы</i> |                                     |
| $n \cdot 10^4$                   | Zr < Nb < Ga < Ti < Sc < Mn < Th    |
| $n \cdot 10^3$                   | Cu < Cr < Ni < Co < Pb              |
| $n \cdot 10^2$                   | Ge < Zn < Ba < Sn < V               |
| $n \cdot 10^1$                   | Cd < As < F < Sb < Cs < Se          |
| $n$                              | Li < Rb < U, Ag, Sr < Hg            |
| $n \cdot 10^{-1}$                | Mo < B                              |
| $n \cdot 10^{-2}$                | J < Br                              |

Таблица 3

Соотношение концентраций элементов в сумме солей Мирового океана  
и гранитном слое (составлено по [4])

Table 3

Elements concentrations ratios in the sum of the World Ocean salts  
and the granite layer (compiled on [4])

| Коэффициент концентрации, кол-во раз | Элемент                             |
|--------------------------------------|-------------------------------------|
| $n \cdot 10^2$                       | Br                                  |
| $n \cdot 10^1$                       | B                                   |
| $n$                                  | Sr < J                              |
| $n \cdot 10^{-1}$                    | Hg < Li < Mo < Au                   |
| $n \cdot 10^{-2}$                    | Cd, Se < U < As < Sb < F < Ag       |
| $n \cdot 10^{-3}$                    | Cu < Co, Ga, Pb < Ge < Rb < Cs < Zn |
| $n \cdot 10^{-4}$                    | Cr < Sn, Bi < Ni < V < Ba           |
| $n \cdot 10^{-5}$                    | Y < Mn                              |
| $n \cdot 10^{-6}$                    | Sc < Zr < Be < Nb < Ti              |
| $n \cdot 10^{-7}$                    | Ce < Th                             |



Таблица 4

**Трансформация состава растворенных микроэлементов при переходе речных вод  
в морские (составлено по [4] с дополнениями)**

Table 4

**Transformation of dissolved trace elements composition during evolution of river waters into the sea ones  
(compiled on [4] with additions)**

| Элемент | Концентрация<br>в сумме солей, мг/кг |           | Соотношение Б/А,<br>кол-во раз | Коэффициенты обогащения<br>(нормирование по Fe) |             | Соотношение В/Г,<br>кол-во раз |
|---------|--------------------------------------|-----------|--------------------------------|-------------------------------------------------|-------------|--------------------------------|
|         | Реки (А)                             | Океан (Б) |                                | Реки (В)                                        | Океан (Г)   |                                |
| F       | 750                                  | 37,1      | 0,049 5                        | 65                                              | 19 100      | 294                            |
| Sr      | 667                                  | 231       | 0,346                          | 18,8                                            | 372 000     | 19 787                         |
| Zn      | 167                                  | 0,14      | 0,000 838                      | 21,4                                            | 1050        | 49,1                           |
| Br      | 167                                  | 1923      | 11,5                           | 492                                             | 324 000 000 | 658 537                        |
| B       | 83                                   | 127       | 1,53                           | 53,6                                            | 4 670 000   | 87 127                         |
| Mn      | 83                                   | 0,011     | 0,000 133                      | 0,8                                             | 6,3         | 7,88                           |
| Cu      | 58                                   | 0,025     | 0,000 431                      | 16,4                                            | 426         | 26,0                           |
| J       | 41                                   | 1,8       | 0,043 9                        | 538                                             | 1 340 000   | 2491                           |
| Ti      | 25                                   | 0,029     | 0,001 16                       | 0,1                                             | 3,2         | 32                             |
| Zr      | 22                                   | 0,000 70  | 0,000 031 8                    | 0,8                                             | 1,6         | 2,0                            |
| Li      | 17                                   | 4,9       | 0,288                          | 3,6                                             | 60 200      | 16 722                         |
| Ni      | 17                                   | 0,014     | 0,000 824                      | 4,2                                             | 208         | 49,5                           |
| As      | 17                                   | 0,074     | 0,004 35                       | 56                                              | 14 300      | 255,4                          |
| Cr      | 8,3                                  | 0,005 7   | 0,000 687                      | 1,6                                             | 62,8        | 39,3                           |
| Mo      | 8,3                                  | 0,29      | 0,034 9                        | 41,7                                            | 81 700      | 1959                           |
| Sb      | 8,3                                  | 0,009 4   | 0,001 13                       | 250                                             | 16 100      | 64,4                           |
| Pb      | 8,3                                  | 0,000 86  | 0,000 104                      | 3,4                                             | 20          | 5,88                           |
| V       | 7,5                                  | 0,054     | 0,007 2                        | 0,6                                             | 267         | 445                            |
| Y       | 5,8                                  | 0,000 37  | 0,000 063 8                    | 1                                               | 3,8         | 3,8                            |
| Sn      | 4,2                                  | 0,000 57  | 0,000 136                      | 10                                              | 78,7        | 7,87                           |
| U       | 4,2                                  | 0,094     | 0,022 4                        | 10                                              | 13 500      | 1350                           |
| Co      | 2,5                                  | 0,000 86  | 0,000 344                      | 2,2                                             | 44          | 20                             |
| Ag      | 2,5                                  | 0,002 9   | 0,001 16                       | 346                                             | 22 300      | 64,5                           |
| Se      | 1,7                                  | 0,002 6   | 0,001 53                       | 76,9                                            | 6670        | 86,7                           |
| Cd      | 1,7                                  | 0,003 1   | 0,001 82                       | 68,2                                            | 7270        | 107                            |
| Th      | 0,83                                 | 0,000 011 | 0,000 013 3                    | 0,4                                             | 0,3         | 0,75                           |
| Hg      | 0,58                                 | 0,004 3   | 0,007 41                       | 110                                             | 48 400      | 440                            |
| Sc      | 0,30                                 | 0,000 028 | 0,000 093 3                    | 0,2                                             | 0,9         | 4,5                            |

Примечание. В данном случае производились следующие пересчеты: рассчитывалось отношение концентраций конкретного элемента и Fe в земной коре; затем определялось отношение концентраций этих же элементов в речной или морской воде; полученное отношение делится на первое, вычисленное для земной коры [3].

### Геохимический мониторинг в условиях техногенного загрязнения рек

Глобальные закономерности, кратко охарактеризованные выше, существенно нарушаются на конкретных локальных участках, испытывающих влияние сильно выраженных техногенных процессов. Рассмотрим подобное явление на примере г. Минска и р. Свислочи (техногеохимическая обстановка крупный город – малая река).

Техногенное загрязнение донных отложений р. Свислочи металлами в разные годы изучалось в работах [5–19]. Большой ретроспективный интерес в данном аспекте представляют результаты практически одномоментного опробования донных отложений р. Свислочи на всей протяженности ниже г. Минска, выполненного 26–28 августа 1987 г. О. В. Лукашёвым и В. В. Савченко. Полученные данные были дополнены материалами опробования донных отложений реки выше и на территории г. Минска летом того же года и в полном варианте публикуются впервые. Следует отметить, что вторая половина 1980-х гг. – эпоха максимального техногенного загрязнения р. Свислочи, существенно снизившегося в начале 1990-х.

До проведения рассматриваемых исследований авторы располагали только единичными данными определения содержания Cr и Ni в водах р. Свислочи (табл. 5), относившимися к 1983 г. (получены в лаборатории геохимии гипергенеза Института геохимии и геофизики АН БССР). Несмотря на известную статистическую необоснованность этих результатов, которые следует рассматривать только в качестве «моментальной фотографии» геохимического состояния рек на период отбора пробы, они однозначно позволяли выявить решающую роль сбросов Минской станции аэрации в загрязнении р. Свислочи металлами техногенного происхождения.

Таблица 5

Содержание растворенных Cr и Ni в водах р. Свислочи в 1983 и 1987 гг., мкг/дм<sup>3</sup>

Table 5

Dissolved Cr and Ni contents in the Svisloch River waters in 1983 and 1987, µg/dm<sup>3</sup>

| Населенный пункт, место (номер пробы) | Cr  | Ni  |
|---------------------------------------|-----|-----|
| <i>1983 г.</i>                        |     |     |
| Заславль (1)                          | 0,8 | 0,5 |
| Заславль (2)                          | 2,6 | –   |
| <i>1987 г.</i>                        |     |     |
| Впадение в вдхр. Заславское           | 1,2 | 1,5 |
| Вдхр. Заславское, 500 м до плотины    | 1,8 | 1,1 |
| Вдхр. Чижевка, верховье               | 3,9 | 4   |
| Вдхр. Чижевка, средняя часть          | 3,3 | 4   |
| Вдхр. Чижевка, 500 м до плотины       | 6   | 10  |
| Вдхр. Чижевка, 400 м до плотины       | 3   | 3   |
| 200 м выше Минской станции аэрации    | 2,1 | 4   |
| Канал от Минской станции аэрации      | 14  | 100 |
| 200 м ниже Минской станции аэрации    | 4   | 100 |
| <i>1983 г.</i>                        |     |     |
| Королищевичи (1)                      | 100 | 4,7 |
| Королищевичи (2)                      | 9   | 5   |
| Дукора (1)                            | 100 | 9   |
| Дукора (2)                            | 60  | 15  |
| Дукора (3)                            | 9,5 | 9   |
| Пуховичи (1)                          | 100 | 15  |
| Пуховичи (2)                          | 100 | 14  |
| Пуховичи (3)                          | 0,1 | 1   |
| Сосновый                              | 0,1 | 4   |
| Лापичи (1)                            | 100 | 12  |
| Лापичи (2)                            | 40  | 13  |
| Вязье (1)                             | 15  | 10  |
| Вязье (2)                             | 15  | 12  |
| Вязье (3)                             | 2,5 | 12  |

В дальнейшем (1987–1989) вопрос загрязнения вод р. Свислочи рядом металлов (Be, Ti, Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, Y, Ag, Yb, Pb) изучался в работе [6] при помощи фосфат-целлюлозных искусственных сорбентов. Благодаря значительно большему периоду осреднения (фактически задаваемому самими исследователями) были получены надежные интегральные оценки содержания металлов в речной воде, в целом подтвердившие ранее сделанные выводы (табл. 6).

Таблица 6

Содержание Cr и Ni в водах р. Свислочи, мкг/дм<sup>3</sup>, и на фосфат-целлюлозных сорбентах, мг/кг  
(составлено по [6])

Table 6

Cr and Ni contents in the Svisloch River waters (μg/dm<sup>3</sup>) and on the phosphate-cellulose sorbents (mg/kg)  
(compiled on [6])

| Место отбора                       | Cr/Cr <sub>сорбент</sub> | Ni/Ni <sub>сорбент</sub> |
|------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <i>1987 г.</i>                     |                          |                          |
| Впадение в вдхр. Заславское        | 1,2/10                   | 1,5/10                   |
| Вдхр. Заславское, 500 м до плотины | 1,8/11                   | 1,1/–                    |
| Вдхр. Чижевка, верховье            | 3,9/10                   | 4/13                     |
| Вдхр. Чижевка, средняя часть       | 3,3/15                   | 4/14                     |
| Вдхр. Чижевка, 500 м до плотины    | 6/8,5                    | 10/10                    |
| Вдхр. Чижевка, 400 м до плотины    | 3/9,5                    | 3/11                     |
| 200 м выше Минской станции аэрации | 2,1/13                   | 4/12                     |
| Канал от Минской станции аэрации   | 14/450                   | 100/600                  |
| 200 м ниже Минской станции аэрации | 4/85                     | 100/120                  |
| <i>1989 г.</i>                     |                          |                          |
| Вдхр. Осиповичское                 | не опр./38               | не опр./210              |
| Вдхр. Осиповичское                 | не опр./20               | не опр./140              |
| Вдхр. Осиповичское, 500 м от ГЭС   | не опр./14               | не опр./190              |

Примечание. Не опр. – не определялось.

Опробование донных отложений р. Свислочи в 1987 г. производилось на следующих 7 основных участках (рис. 1): I – от северной окраины г. Минска до вдхр. Комсомольское озеро; II – от вдхр. Комсомольское озеро до вдхр. Чижевское; III – от вдхр. Чижевское до впадения в р. Свислочь стоков Минской станции аэрации; IV – от Минской станции аэрации вниз по течению 5 км; V – от д. Михановичи до устья р. Волмы; VI – от устья р. Титовки до вдхр. Осиповичское; VII – от вдхр. Осиповичское до р. Березины.

Всего было отобрано и проанализировано нейтронно-активационным методом 72 пробы (ПО «Латв-геология», г. Рига, аналитик Я. Д. Федоренко), из которых после отбраковки при статистических расчетах формировались выборки различного объема (61–64 и более проб). Примененный метод анализа позволил определить содержание 27 химических элементов (табл. 7). При интерпретации данных основное внимание О. В. Лукашэвым было обращено на взаимовлияние элементов группы Fe – Cr, Mn, Fe, Co, Ni, причем Cr и Ni рассматривались в качестве преимущественно техногенных, а Mn, Fe, Co, органическое вещество (ОВ) – естественных компонентов донных отложений [7–13]<sup>1</sup>. Возможен и другой подход: исследование геохимических свойств наилок – специфических аллювиальных образований, формирующихся в руслах равнинных рек в результате осаждения на отмелях тонкодисперсного материала ОВ, – что было сделано для ряда рек Беларуси в работе [17].

Полученные данные систематизированы в табл. 8. Сопоставление концентраций Cr и Ni в водах и донных отложениях р. Свислочи (табл. 5, 6 и 8) свидетельствует о пространственном совпадении зон их максимального техногенного загрязнения, что, по-видимому, позволяет рассматривать речные отложения также в качестве вторичного источника загрязнения вод этими металлами.

Падение среднего содержания Cr и Ni в донных отложениях участков IV–VI, расположенных ниже сброса сточных вод Минской станции аэрации, в целом соответствует традиционному представлению о потоке рассеяния вещества от точечного источника. Однако на основании подобной модели невозможно объяснить тот факт, что максимальные концентрации Cr (2740 мг/кг) и Ni (430 мг/кг) были отмечены не у станции аэрации, а на расстоянии 25 км ниже по течению от нее, а также концентрации этих элементов в размере 1800 и 370 мг/кг соответственно регистрировались в 50 км ниже станции (участок V).

За данным противоречием кроется распространенная методическая ошибка – априорное приписывание объекту опробования естественного происхождения (в нашем случае донным отложениям) набора каких-либо неизменных, чуть ли не «стандартизованных» характеристик (как правило, в данный

<sup>1</sup>В интерпретации данных также участвовал Д. Л. Творонович-Севрук.



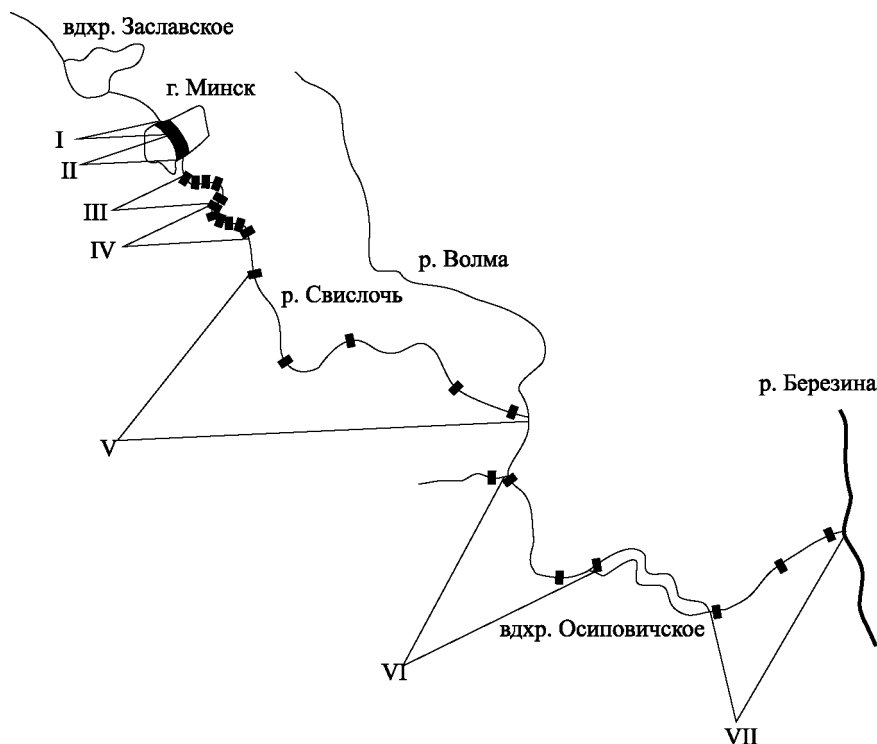


Рис. 1. Опробование донных отложений р. Свислочи (26–28 августа 1987 г.):

I–VII – участки опробования; ■ – места опробования

Fig. 1. Sampling locations of the Svisloch River bottom sediments (26–28 August 1987):

I–VII – sampling sections; ■ – sampling sites

момент непосредственно не изучаемых), которые, как подразумевается, практически будто бы вообще не меняются. Фактически исследователь изучает распределение в донных отложениях концентраций какого-либо элемента металла, не обращая внимания на соответствующую вариацию содержания ОВ и гидроксидов Fe – основных агентов, определяющих аккумулятивные свойства этих отложений по отношению к изучаемому металлу.

Таблица 7

Содержание элементов в донных отложениях р. Свислочи в 1987 г. и рек Европы в целом, мг/кг сухого вещества (составлено по [20])

Table 7

Trace elements contents in the Svisloch River bottom sediments in 1987 and Europe on the whole, mg/kg dry matter (compiled on [20])

| Элемент | Река Свислочь |                            | Реки Европы |                            |
|---------|---------------|----------------------------|-------------|----------------------------|
|         | $\bar{x}$     | минимальное – максимальное | $\bar{x}$   | минимальное – максимальное |
| Na, %   | 0,390         | 0,20–0,59                  | 0,355       | < 0,079–1,62               |
| K, %    | 1,23          | 0,36–2,51                  | 0,834       | 0,012–2,40                 |
| Ca, %   | 0,94          | 0,21–3,08                  | 1,66        | 0,057–39,8                 |
| Sc      | 3,01          | 0,93–6,9                   | –           | –                          |
| Cr      | 73,9          | 9,9–2735                   | 92,8        | < 3,0–3320                 |
| Mn      | 286,1         | 73–1052                    | 868         | < 77,5–18 359              |
| Fe, %   | 1,00          | 0,27–3,47                  | 1,25        | 0,038 5–7,3                |
| Co      | 2,8           | 0,99–14,4                  | 11,2        | < 2,0–216                  |
| Ni      | 12,5          | 1,4–427                    | 21          | 1–1406                     |
| Zn      | 40,0          | < 7–1 066                  | 71          | 4–13 900                   |
| As      | 1,8           | 0,48–11,4                  | 10,1        | < 1,0–241                  |
| Se      | 0,017         | 0,0049–0,051               | –           | –                          |

Окончание табл. 7  
Ending table 7

| Элемент | Река Свислочь |                            | Реки Европы |                            |
|---------|---------------|----------------------------|-------------|----------------------------|
|         | x             | минимальное – максимальное | x           | минимальное – максимальное |
| Br      | 1,77          | 0,01–40,5                  | –           | –                          |
| Zr      | 166           | 24–980                     | 519         | 1,0–9940                   |
| Nb      | 11,3          | 2,6–42                     | 36,6        | 1,1–524                    |
| Mo      | 0,35          | < 0,1–2,45                 | 1,34        | 0,12–117                   |
| Ag      | 0,35          | 0,03–0,92                  | –           | –                          |
| Cd      | 0,45          | 0,16–1,39                  | 0,53        | < 0,02–43,1                |
| Sb      | 0,41          | 0,04–4,1                   | 1,07        | 20,0–34,1                  |
| Cs      | 0,90          | 0,36–2,7                   | –           | < 1,0–68                   |
| Ba      | 376           | 4,84–999                   | 417         | 8–5000                     |
| La      | 13,6          | 15,3–40                    | 41,0        | 1,3–553                    |
| W       | 0,96          | 0,1–23,5                   | 2,12        | < 0,05–123                 |
| Ce      | 24,8          | 9,8–85                     | 83          | 2,20–1080                  |
| Yb      | 0,44          | 0,1–1,1                    | 3,09        | 0,1–42,8                   |
| Th      | 3,54          | 1,0–7,4                    | 13,9        | < 1,0–253                  |
| U       | 1,33          | 0,52–3,2                   | 3,73        | < 1,0–98,0                 |

Вместе с тем о какой стабильности аккумулятивных свойств донных отложений по отношению к тем или иным микроэлементам может идти речь, если содержание упомянутых выше важнейших макрокомпонентов зачастую варьирует от пробы к пробе в 10–15 раз.

Значительную роль в данной ситуации играют также и факторы сугубо практического порядка: в большинстве случаев финансы и сроки проводимых исследований не позволяют осуществлять опробование и аналитические работы в объемах (количество проб), необходимых с точки зрения статистической достоверности получаемых результатов. Эффект недостаточно представительного опробования обычно проявляется следующим образом: например, на одном участке в основном были отобраны сильнозаиленные или ожезненные пески, тогда как на другом при всем желании исследователя в отведенное графиком работы время обнаружить их не удалось. Естественно, что при равном загрязнении речной воды (или вообще его отсутствии) в первом случае будут получены более высокие показатели концентрации элементов и сделаны соответствующие, скорее всего, некорректные выводы.

Таблица 8

Содержание элементов в донных отложениях р. Свислочи по участкам, мг/кг сухого вещества

Table 8

Trace elements contents in the Svisloch River bottom sediments on sections, mg/kg dry matter

| Элемент | Номер участка (число проб) |        |          |         |        |        |         |
|---------|----------------------------|--------|----------|---------|--------|--------|---------|
|         | I (16)                     | II (6) | III (12) | IV (13) | V (10) | VI (6) | VII (9) |
| Na, %   | 0,40                       | 0,33   | 0,459    | 0,42    | 0,34   | 0,39   | 0,33    |
| K, %    | 1,35                       | 1,46   | 1,46     | 0,90    | 1,04   | 1,18   | 1,15    |
| Ca, %   | 0,80                       | 0,83   | 1,41     | 1,19    | 1,17   | 0,99   | 0,82    |
| Sc      | 2,31                       | 2,63   | 3,68     | 3,36    | 4,03   | 2,6    | 1,75    |
| Cr      | 20,8                       | 15,5   | 75,9     | 334     | 358    | 220    | 27,6    |
| Mn      | 192                        | 291    | 574      | 366     | 421    | 271    | 175     |
| Fe, %   | 0,73                       | 0,92   | 1,55     | 1,48    | 1,80   | 1,24   | 0,53    |
| Co      | 1,85                       | 1,73   | 4,49     | 5,1     | 4,93   | 2,79   | 1,10    |
| Ni      | 4,46                       | 3,28   | 15,0     | 83      | 89     | 40     | 5,0     |
| Zn      | 22,0                       | 9,2    | 72,3     | 120     | 146    | 81     | 12      |

Окончание табл. 8  
Ending table 8

| Элемент | Номер участка (число проб) |        |          |         |        |        |         |
|---------|----------------------------|--------|----------|---------|--------|--------|---------|
|         | I (16)                     | II (6) | III (12) | IV (13) | V (10) | VI (6) | VII (9) |
| As      | 1,32                       | 1,87   | 2,82     | 2,58    | 1,97   | 2,10   | 1,10    |
| Se      | 0,011                      | 0,011  | 0,023    | 0,026   | 0,030  | 0,022  | 0,011   |
| Br      | 1,05                       | 0,86   | 14,0     | 8,87    | 1,35   | 0,77   | 0,2     |
| Zr      | 154                        | 129    | 261      | 152     | 206    | 212    | 171     |
| Nb      | 8,6                        | 7,7    | 16,6     | 13,6    | 18,1   | 13,5   | 9,1     |
| Mo      | –                          | –      | 0,21     | 0,45    | 0,19   | 0,14   | 0,07    |
| Ag      | 0,29                       | 0,27   | 0,35     | 0,33    | 0,36   | 0,42   | 0,35    |
| Cd      | 0,43                       | 0,41   | 0,41     | 0,64    | 0,52   | 0,41   | 0,40    |
| Sb      | 0,24                       | 0,21   | 0,35     | 1,57    | 1,76   | 0,45   | 0,16    |
| Cs      | 0,73                       | 0,60   | 1,31     | 1,13    | 1,43   | 0,90   | 0,63    |
| Ba      | 288                        | 285    | 377      | 413     | 513    | 414    | 275     |
| La      | 12,0                       | 15,2   | 18,3     | 18,0    | 14,8   | 11,7   | 9,36    |
| W       | 0,36                       | 0,20   | 2,4      | 4,04    | 1,98   | 1,08   | 0,46    |
| Ce      | 21,2                       | 20,8   | 28,9     | 29,2    | 37,8   | 30,0   | 17,5    |
| Yb      | 0,32                       | 0,59   | 0,40     | 0,30    | 0,82   | 0,42   | 0,34    |
| Th      | 2,72                       | 2,75   | 4,16     | 3,58    | 5,03   | 3,53   | 2,49    |
| U       | 1,18                       | 1,18   | 1,74     | 1,83    | 1,27   | 1,09   | 1,10    |

В целях лучшего понимания данного вопроса рассмотрим со статистической точки зрения геохимическую ситуацию, существовавшую на р. Свислочи в момент опробования ее донных отложений в августе 1987 г.

Из табл. 9 следует, что валовые концентрации как техногенных (Cr, Ni), так и всех естественных компонентов (Mn, Fe, Co, органическое вещество) донных отложений р. Свислочи в сильной степени (коэффициент корреляции Пирсона  $r > 0,7$ ) положительно коррелируют друг с другом. Исключение составляют средние корреляции ( $r$  – от 0,5 до 0,7) Mn с OB, Cr и Ni.

Поскольку практически все рассматриваемые компоненты донных отложений р. Свислочи статистически связаны между собой, целесообразно привести расчеты частных коэффициентов 1-го порядка (табл. 10), позволяющих исключить (элиминировать) влияние третьего фактора, – например, рассмотреть корреляцию Cr и OB без влияния фактора Fe, также связанного с органическим веществом, и так далее по стандартной формуле  $r_{xy(z)} = (r_{xy} - r_{yz} \cdot r_{xz}) / \sqrt{(1 - r_{yz}^2)(1 - r_{xz}^2)}$  [21].

Таблица 9

Статистические связи между компонентами химического состава донных отложений р. Свислочи в 1987 г.  
( $p < 0,0001$ ,  $n$  – от 61 до 64)

Table 9

Pearson correlation coefficients between chemical composition components of the Svisloch River bottom sediments in 1987  
( $p < 0,0001$ ,  $n$  – from 61 to 64)

| Химические элементы            |        |        |        |        | Компонент |
|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|-----------|
| Mn                             | Cr     | Fe     | Co     | Ni     |           |
| Коэффициент корреляции Пирсона |        |        |        |        |           |
| +0,689                         | +0,833 | +0,862 | +0,900 | +0,827 |           |
|                                | +0,582 | +0,863 | +0,791 | +0,581 | Mn        |
|                                |        | +0,732 | +0,812 | +0,981 | Cr        |
|                                |        |        | +0,939 | +0,760 | Fe        |
|                                |        |        |        | +0,831 | Co        |

Таблица 10

Частные коэффициенты корреляции 1-го порядка содержания компонентов  
донных отложений р. Свислочи в 1987 г. ( $p < 0,0001$ ,  $n = 61$ )

Table 10

Partial correlation coefficients between the components contents of the Svisloch River  
bottom sediments in 1987 ( $p < 0,0001$ ,  $n = 61$ )

| Взаимосвязь компонентов | Элиминируемый фактор | $r_{xy(z)}$ |
|-------------------------|----------------------|-------------|
| Cr – Fe                 | ОВ                   | +0,077      |
| Cr – ОВ                 | Fe                   | +0,559      |
| Ni – Fe                 | ОВ                   | +0,165      |
| Ni – ОВ                 | Fe                   | +0,523      |
| Mn – Fe                 | ОВ                   | +0,733      |
| Mn – ОВ                 | Fe                   | –0,215      |
| Co – Fe                 | ОВ                   | +0,736      |
| Co – ОВ                 | Fe                   | +0,523      |
| Ni – Cr                 | ОВ                   | +0,534      |
| Ni – Cr                 | Fe                   | +0,959      |

Геохимическое значение приведенных статистических взаимосвязей может быть сформулировано следующим образом:

1) содержащееся в донных отложениях р. Свислочи ОВ (0,0–60 %) вне зависимости от локализации точки опробования и степени техногенного давления соответственно заметно влияет на аккумуляцию этими отложениями как техногенных (Cr, Ni), так и естественных (Fe, Co) компонентов;

2) соединения Fe, независимо от локализации точки опробования, существенно воздействуют на аккумуляцию естественных (Mn, Co) компонентов, тогда как аккумуляция техногенных Cr и Ni для всей выборки проб по реке в целом не обусловлена фактором Fe;

3) аккумуляция донными отложениями рассматриваемых техногенных компонентов (Cr и Ni) статистически связана в пределах всей р. Свислочи в очень высокой степени ( $r$  составляет +0,981), что, по-видимому, определяется их одновременным (параллельным) поступлением из одного основного техногенного источника (Минская станция аэрации) и сходными особенностями процессов аккумуляции (связь с ОВ).

Данный вопрос по отношению к Cr рассматривался в [8; 9]. Поскольку этот элемент является одним из основных металлов – загрязнителей вод и отложений р. Свислочи, остановимся на этой проблеме несколько подробнее.

Были предложены шесть механизмов аккумуляции Cr в донных отложениях рек.

1. *Динамический* – вне зависимости от природы загрязнения Cr взвешенного или влекомого материала рек изменение условий движения речного потока обуславливает возможность осаждения частиц и накопление элемента в донных отложениях.

2. *Сорбционный* – сорбенты: а) глинистые минералы и ОВ; б) гидроксиды Fe. В первом случае сорбируются катионные формы, во втором – анионные. Первоначально Cr может сорбироваться на взвешях.

3. *Щелочной гидролитический* – поступление кислых, обогащенных  $Cr^{3+}$  промышленных стоков в слабобокислую или нейтральную обстановку с последующим выпадением в осадок  $Cr(OH)_3$ . В чистом виде, вероятно, редок. Более типичны сорбция коллоидов  $Cr(OH)_3$  на отрицательно заряженных сорбентах и совместное соосаждение с коллоидами  $Fe(OH)_3$  при коагуляции в случае отсутствия больших количеств растворенных органических веществ.

4. *Восстановительный* – поступление промышленных стоков, содержащих  $Cr^{6+}$ , в восстановительную обстановку (недостаток кислорода, наличие  $H_2S$ , ОВ и т. д.). Образование труднорастворимых соединений  $Cr^{3+}$  с последующим выпадением в осадок или сорбцией на взвешенном материале.

5. *Комплексообразование с фульвокислотами* и последующее осаждение гидроксид-фульватов в результате разрушения высокомолекулярных гидрофильных комплексов или снижения их подвижности при pH, равном 6–8.

6. *Флокуляция коллоидов Fe (Cr) с гуминовыми кислотами* и последующей коагуляцией. При взаимодействии коллоидов гидроксидов Fe (Cr) с гуминовыми кислотами на поверхности флокул формируется слой отрицательно заряженных карбоксильных групп. Дальнейшая нейтрализация заряда



макрокатионами приводит к коагуляции органоминеральных частиц. Вероятно, в компенсации заряда могут участвовать и положительно заряженные гидроксиды Сг.

Таким образом, фиксация Сг в донных отложениях в каких-то определенных пропорциях связана с глинистыми минералами, соединениями Fe и ОВ. Постадийные вытяжки (последовательное извлечение из образца водорастворимой, адсорбированной, органической, оксидно-гидроксидной форм нахождения Сг), выполненные для проб из различных стран мира, показали, что в естественных условиях геохимической миграции Сг основное значение имеют *прочносвязанная* (в качестве изоморфной примеси в кристаллической решетке минералов) и *оксидно-гидроксидная* (фактор Fe) формы во *взвесах* и *оксидно-гидроксидная* (фактор Fe), *органическая* (фактор ОВ) и *прочносвязанная* формы в *донных отложениях*. В условиях техногенного загрязнения наблюдается интенсивный рост долевого участия *оксидно-гидроксидной* и *органической* форм нахождения Сг во *взвесах* и *органической* (что и было выявлено статистически) формы в *донных отложениях* при заметном снижении доли прочих форм. Иными словами, в техногенных обстановках лесной зоны умеренного климата основными механизмами аккумуляции элемента в современных речных отложениях являются 3–6-й, тогда как роль 2-го (сорбция) представляется второстепенной.

Для повышения точности оценки степени загрязнения речных систем Сг и другими элементами следовало бы использовать по возможности простой метод (или прием), позволяющий учитывать различие исследуемых проб по содержанию в них макрокомпонентов – ОВ, соединений Fe и других и сглаживать выбросы отдельных значений (см. рис. 1, участок V), связанных не столько со степенью техногенного давления на участке опробования, сколько со спецификой макросостава конкретных проб донных отложений.

Попутно отметим, что метод постадийных вытяжек [22] ввиду своей трудоемкости для массовых экспрессных анализов, к сожалению, явно не пригоден. В связи с этим для случая техногенного загрязнения р. Свислочи Сг и Ni была сделана попытка разграничения действия факторов Fe и ОВ [8; 9; 19]. Основная идея предложенного приема заключается в том, что, хотя для всей выборки данных валового содержания Сг и Ni в речных отложениях роль фактора Fe незначительна (см. табл. 10), для проб с содержанием органического вещества ниже некоторого предела (в данном случае установлено путем последовательного исключения из выборки максимальных значений) она может играть заметную роль. Нормализовав далее содержание Сг и Ni в этих пробах по Fe (т. е. рассчитав отношение Cr/Fe и Ni/Fe, например, 1/10 000 г), можно учесть влияние макросостава образцов (фактора Fe) на аккумуляцию данных элементов (табл. 11).

Таблица 11

Статистические взаимосвязи между величинами коэффициентов Cr/Fe, Ni/Fe, Co/Fe, Mn/Fe и содержанием ОВ и Fe в донных отложениях р. Свислочи в 1987 г.

Table 11

Pearson correlation coefficients between the Cr/Fe, Ni/Fe, Co/Fe, Mn/Fe ratios and the organic matter and Fe contents in the Svisloch River bottom sediments in 1987

| Cr/Fe                                                                           | Ni/Fe         | Co/Fe         | Mn/Fe         | Компонент |
|---------------------------------------------------------------------------------|---------------|---------------|---------------|-----------|
| <i>n</i> = 61                                                                   |               |               |               |           |
| <b>+0,786</b>                                                                   | <b>+0,731</b> | <i>+0,297</i> | <i>–0,125</i> | ОВ        |
| <b>+0,672</b>                                                                   | <b>+0,636</b> | <i>+0,154</i> | <i>–0,022</i> | Fe        |
| После отбраковки проб с содержанием органического вещества >10 %, <i>n</i> = 51 |               |               |               |           |
| <b>+0,592</b>                                                                   | <b>+0,584</b> | <i>+0,126</i> | <i>–0,076</i> | ОВ        |
| <b>+0,573</b>                                                                   | <b>+0,525</b> | <i>–0,049</i> | <i>0,022</i>  | Fe        |

Примечание. Полуужирный шрифт –  $p < 0,0001$ ; курсив –  $p < 0,02$ .

Таким образом, предлагается: а) исключать из рассмотрения пробы, содержащие ОВ в количестве более 10 %<sup>1</sup>; б) для оставшихся в выборке проб рассчитывать величину отношения Cr/Fe и Ni/Fe (1/10 000 г), используемую при оценке загрязнения (фактически выделяются образцы донных

<sup>1</sup>Аналогичные статистические расчеты, выполненные для прочих изучавшихся элементов, показывают, что исключение проб с содержанием ОВ более 10 % следует производить также для Sc, Zr, Nb, Mo, Ag, Sb, W, Yb, Th, U (табл. 12).

отложений с преимущественным действием *щелочного гидролитического* механизма аккумуляции Cr и Ni [8; 9]). Для Mn и Co этого делать не следует, так как нормализованные по Fe содержания этих элементов от фактора ОВ не зависят.

Рассмотрим, как изменятся наши оценки геохимической ситуации, существовавшей на р. Свислочи в 1987 г., при переходе от традиционной методики оценки уровня загрязнения донных отложений (выбор фоновой площадки, определение среднего значения содержания изучаемого элемента на фоновой площадке и на загрязненных, расчет коэффициентов концентрации – отношения среднего содержания на загрязненных участках к фоновому, в данном случае – участок I) к предлагаемой (табл. 12, рис. 2–5).

Сразу же обращает на себя внимание «сглаживающий» эффект предлагаемых расчетов, заметно снижающих случайности, возможно, недостаточно полного опробования. В первую очередь это проявляется для Mn и Co – элементов, рассматриваемых нами в качестве естественных компонентов донных отложений р. Свислочи (рис. 4 и 5). Исходя из традиционного подхода, следовало бы говорить о «загрязнении» отложений Mn на участке III (от вдхр. Чижовское до Минской станции аэрации) и Co на участках III–V (от вдхр. Чижовское до устья р. Волмы), что на самом деле скорее объяснимо повышенным содержанием Fe (естественный фактор, влияющий на аккумуляцию этих элементов) в отложениях участков III–VI (см. табл. 8).

Аналогичное, но менее выраженное «сглаживание» наблюдается и для техногенных Cr и Ni (см. рис. 2 и 3). Исходя из данных опробования 1987 г., можно утверждать (естественно, применительно к тому периоду): 1) донные отложения р. Свислочи на участке II (центральная и промышленная части г. Минска) относительно слабо загрязнялись Cr и Ni; 2) вдхр. Чижовское выступало в качестве незначительно выраженного отстойника – очистителя речных вод (уч. III); 3) ниже Минской станции аэрации вплоть до вдхр. Осиповичское (уч. IV–VI) существовала зона сплошного относительно равномерного техногенного загрязнения донных отложений Cr и Ni; 4) вдхр. Осиповичское служило следующим, более крупным и эффективным отстойником-очистителем.

Таблица 12

Распределение среднего содержания элементов и коэффициентов их концентрации  
в донных отложениях р. Свислочи

Table 12

Distribution of trace elements average contents and their concentration coefficients  
in the Svisloch River bottom sediments

| Наименование показателя | Участок |      |      |      |      |      |      |
|-------------------------|---------|------|------|------|------|------|------|
|                         | I       | II   | III  | IV   | V    | VI   | VII  |
| Sc                      |         |      |      |      |      |      |      |
| Sc, мг/кг               | 2,31    | 2,63 | 3,68 | 3,36 | 4,03 | 2,6  | 1,75 |
| $Sc_x/Sc_I$             | 1       | 1,14 | 1,59 | 1,45 | 1,74 | 1,13 | 0,76 |
| $Sc/Fe_{(<10\%)}$       | 3,26    | 2,90 | 2,56 | 2,66 | 2,75 | 2,01 | 3,40 |
| $(Sc/Fe)_x/(Sc/Fe)_I$   | 1       | 0,89 | 0,79 | 0,82 | 0,84 | 0,62 | 1,04 |
| Cr                      |         |      |      |      |      |      |      |
| Cr, мг/кг               | 20,8    | 15,5 | 75,9 | 334  | 358  | 220  | 27,6 |
| $Cr_x/Cr_I$             | 1       | 0,7  | 3,6  | 16,1 | 17,2 | 10,6 | 1,3  |
| $Cr/Fe_{(<10\%)}$       | 30      | 16,4 | 75,7 | 191  | 210  | 136  | 44   |
| $(Cr/Fe)_x/(Cr/Fe)_I$   | 1       | 0,6  | 2,5  | 6,4  | 7,0  | 4,5  | 1,5  |
| Mn                      |         |      |      |      |      |      |      |
| Mn, мг/кг               | 192     | 291  | 574  | 366  | 421  | 271  | 175  |
| $Mn_x/Mn_I$             | 1       | 1,52 | 2,99 | 1,91 | 2,19 | 1,41 | 0,91 |
| Mn/Fe                   | 269     | 310  | 353  | 249  | 280  | 246  | 342  |
| $(Mn/Fe)_x/(Mn/Fe)_I$   | 1       | 1,15 | 1,31 | 0,93 | 1,04 | 0,91 | 1,27 |
| Co                      |         |      |      |      |      |      |      |
| Co, мг/кг               | 1,85    | 1,73 | 4,49 | 5,1  | 4,93 | 2,79 | 1,10 |
| $Co_x/Co_I$             | 1       | 0,94 | 2,43 | 2,76 | 2,66 | 1,51 | 0,59 |

| Наименование показателя             | Участок |       |       |       |       |       |       |
|-------------------------------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                     | I       | II    | III   | IV    | V     | VI    | VII   |
| Co/Fe                               | 2,9     | 3,5   | 3,2   | 2,6   | 2,9   | 2,5   | 2,2   |
| $(\text{Co/Fe})_x/(\text{Co/Fe})_I$ | 1       | 1,21  | 1,10  | 0,90  | 1,00  | 0,86  | 0,76  |
| Ni                                  |         |       |       |       |       |       |       |
| Ni, мг/кг                           | 4,46    | 3,28  | 15,0  | 83    | 89    | 40    | 5,0   |
| $\text{Ni}_x/\text{Ni}_I$           | 1       | 0,74  | 3,36  | 18,61 | 19,96 | 8,97  | 1,12  |
| $\text{Ni/Fe}_{(<10\%)}$            | 6,7     | 4,3   | 11,7  | 43    | 56    | 30,5  | 11,9  |
| $(\text{Ni/Fe})_x/(\text{Ni/Fe})_I$ | 1       | 0,64  | 1,75  | 6,42  | 8,36  | 4,55  | 1,78  |
| Zn                                  |         |       |       |       |       |       |       |
| Zn, мг/кг                           | 22,0    | 9,2   | 72,3  | 120   | 146   | 81    | 12    |
| $\text{Zn}_x/\text{Zn}_I$           | 1       | 0,42  | 3,29  | 5,45  | 6,64  | 3,68  | 0,55  |
| Zn/Fe                               | 55,4    | 90,0  | 132   | 68,9  | 21,4  | 25,0  | 10,6  |
| $(\text{Zn/Fe})_x/(\text{Zn/Fe})_I$ | 1       | 1,62  | 2,38  | 1,24  | 0,39  | 0,45  | 0,19  |
| As                                  |         |       |       |       |       |       |       |
| As, мг/кг                           | 1,32    | 1,87  | 2,82  | 2,58  | 1,97  | 2,10  | 1,10  |
| $\text{As}_x/\text{As}_I$           | 1       | 1,42  | 2,14  | 1,95  | 1,49  | 1,59  | 0,83  |
| As/Fe                               | 1,68    | 1,87  | 1,94  | 2,17  | 1,28  | 1,67  | 2,06  |
| $(\text{As/Fe})_x/(\text{As/Fe})_I$ | 1       | 1,11  | 1,15  | 1,29  | 0,76  | 0,99  | 1,23  |
| Se                                  |         |       |       |       |       |       |       |
| Se, мг/кг                           | 0,011   | 0,011 | 0,023 | 0,026 | 0,030 | 0,022 | 0,011 |
| $\text{Se}_x/\text{Se}_I$           | 1       | 1,00  | 2,09  | 2,36  | 2,73  | 2,00  | 1,00  |
| Se/Fe                               | 0,015   | 0,018 | 0,018 | 0,017 | 0,022 | 0,017 | 0,013 |
| $(\text{Se/Fe})_x/(\text{Se/Fe})_I$ | 1       | 1,20  | 1,20  | 1,13  | 1,47  | 1,13  | 0,87  |
| Br                                  |         |       |       |       |       |       |       |
| Br, мг/кг                           | 1,05    | 0,86  | 14,0  | 8,87  | 1,35  | 0,77  | 0,2   |
| $\text{Br}_x/\text{Br}_I$           | 1       | 0,82  | 13,33 | 8,45  | 1,29  | 0,73  | 0,19  |
| Br/Fe                               | 1,69    | 1,02  | 8,84  | 8,18  | 0,87  | 0,55  | 0,53  |
| $(\text{Br/Fe})_x/(\text{Br/Fe})_I$ | 1       | 0,60  | 5,23  | 4,84  | 0,51  | 0,33  | 0,31  |
| Zr                                  |         |       |       |       |       |       |       |
| Zr, мг/кг                           | 154     | 129   | 261   | 152   | 206   | 212   | 171   |
| $\text{Zr}_x/\text{Zr}_I$           | 1       | 0,84  | 1,69  | 0,99  | 1,34  | 1,38  | 1,11  |
| $\text{Zr/Fe}_{(<10\%)}$            | 198     | 138   | 224   | 136   | 138   | 202   | 333   |
| $(\text{Zr/Fe})_x/(\text{Zr/Fe})_I$ | 1       | 0,70  | 1,13  | 0,69  | 0,70  | 1,02  | 1,68  |
| Nb                                  |         |       |       |       |       |       |       |
| Nb, мг/кг                           | 8,6     | 7,7   | 16,6  | 13,6  | 18,1  | 13,5  | 9,1   |
| $\text{Nb}_x/\text{Nb}_I$           | 1       | 0,90  | 1,93  | 1,58  | 2,10  | 1,57  | 1,06  |
| $\text{Nb/Fe}_{(<10\%)}$            | 10,6    | 8,3   | 14,2  | 11,2  | 13,8  | 11,1  | 17,8  |
| $(\text{Nb/Fe})_x/(\text{Nb/Fe})_I$ | 1       | 0,78  | 1,34  | 1,06  | 1,30  | 1,05  | 1,68  |
| Ag                                  |         |       |       |       |       |       |       |
| Ag, мг/кг                           | 0,29    | 0,27  | 0,35  | 0,33  | 0,36  | 0,42  | 0,35  |
| $\text{Ag}_x/\text{Ag}_I$           | 1       | 0,93  | 1,21  | 1,14  | 1,24  | 1,45  | 1,21  |
| $\text{Ag/Fe}_{(<10\%)}$            | 0,43    | 0,26  | 0,26  | 0,21  | 0,28  | 0,34  | 0,65  |

Продолжение табл. 12  
Extension table 12

| Наименование показателя | Участок |      |      |       |      |      |      |
|-------------------------|---------|------|------|-------|------|------|------|
|                         | I       | II   | III  | IV    | V    | VI   | VII  |
| $(Ag/Fe)_x/(Ag/Fe)_I$   | 1       | 0,60 | 0,60 | 0,49  | 0,65 | 0,79 | 1,51 |
| Cd                      |         |      |      |       |      |      |      |
| Cd, мг/кг               | 0,43    | 0,41 | 0,41 | 0,64  | 0,52 | 0,41 | 0,40 |
| $Cd_x/Cd_I$             | 1       | 0,95 | 0,95 | 1,49  | 1,21 | 0,95 | 0,93 |
| Cd/Fe                   | 0,63    | 0,50 | 0,36 | 0,42  | 0,34 | 0,32 | 0,83 |
| $(Cd/Fe)_x/(Cd/Fe)_I$   | 1       | 0,79 | 0,57 | 0,67  | 0,54 | 0,51 | 1,32 |
| Sb                      |         |      |      |       |      |      |      |
| Sb, мг/кг               | 0,24    | 0,21 | 0,35 | 1,57  | 1,76 | 0,45 | 0,16 |
| $Sb_x/Sb_I$             | 1       | 0,88 | 1,46 | 6,54  | 7,33 | 1,88 | 0,67 |
| $Sb/Fe_{(<10\%)}$       | 0,38    | 0,20 | 0,26 | 0,88  | 0,59 | 0,33 | 0,34 |
| $(Sb/Fe)_x/(Sb/Fe)_I$   | 1       | 0,53 | 0,68 | 2,32  | 1,55 | 0,87 | 0,89 |
| Cs                      |         |      |      |       |      |      |      |
| Cs, мг/кг               | 0,73    | 0,60 | 1,31 | 1,13  | 1,43 | 0,90 | 0,63 |
| $Cs_x/Cs_I$             | 1       | 0,82 | 1,79 | 1,55  | 1,96 | 1,23 | 0,86 |
| Cs/Fe                   | 0,99    | 0,71 | 0,85 | 0,84  | 0,84 | 0,75 | 0,99 |
| $(Cs/Fe)_x/(Cs/Fe)_I$   | 1       | 0,72 | 0,86 | 0,85  | 0,85 | 0,76 | 1,00 |
| Ba                      |         |      |      |       |      |      |      |
| Ba, мг/кг               | 288     | 285  | 377  | 413   | 513  | 414  | 275  |
| $Ba_x/Ba_I$             | 1       | 0,99 | 1,31 | 1,43  | 1,78 | 1,44 | 0,95 |
| Ba/Fe                   | 403     | 305  | 317  | 333   | 389  | 343  | 538  |
| $(Ba/Fe)_x/(Ba/Fe)_I$   | 1       | 0,76 | 0,79 | 0,83  | 0,97 | 0,85 | 1,33 |
| La                      |         |      |      |       |      |      |      |
| La, мг/кг               | 12,0    | 15,2 | 18,3 | 18,0  | 14,8 | 11,7 | 9,36 |
| $La_x/La_I$             | 1       | 1,27 | 1,53 | 1,50  | 1,23 | 0,98 | 0,78 |
| La/Fe                   | 16,9    | 17,9 | 12,7 | 12,6  | 9,55 | 10,4 | 18,2 |
| $(La/Fe)_x/(La/Fe)_I$   | 1       | 1,06 | 0,75 | 0,75  | 0,57 | 0,62 | 1,08 |
| W                       |         |      |      |       |      |      |      |
| W, мг/кг                | 0,36    | 0,20 | 2,4  | 4,04  | 1,98 | 1,08 | 0,46 |
| $W_x/W_I$               | 1       | 0,56 | 6,67 | 11,22 | 5,50 | 3,00 | 1,28 |
| $W/Fe_{(<10\%)}$        | 0,55    | 0,20 | 1,32 | 1,83  | 1,14 | 0,72 | 0,60 |
| $(W/Fe)_x/(W/Fe)_I$     | 1       | 0,36 | 2,40 | 3,33  | 2,07 | 1,31 | 1,09 |
| Ce                      |         |      |      |       |      |      |      |
| Ce, мг/кг               | 21,2    | 20,8 | 28,9 | 29,2  | 37,8 | 30,0 | 17,5 |
| $Ce_x/Ce_I$             | 1       | 0,98 | 1,36 | 1,38  | 1,78 | 1,42 | 0,83 |
| Ce/Fe                   | 26,6    | 24,9 | 20,4 | 21,7  | 24,5 | 26,6 | 33,4 |
| $(Ce/Fe)_x/(Ce/Fe)_I$   | 1       | 0,94 | 0,77 | 0,82  | 0,92 | 1,00 | 1,26 |
| Yb                      |         |      |      |       |      |      |      |
| Yb, мг/кг               | 0,32    | 0,59 | 0,40 | 0,30  | 0,82 | 0,42 | 0,34 |
| $Yb_x/Yb_I$             | 1       | 1,84 | 1,25 | 0,94  | 2,56 | 1,31 | 1,06 |
| $Yb/Fe_{(<10\%)}$       | 0,43    | 0,62 | 0,30 | 0,26  | 0,68 | 0,32 | 0,67 |
| $(Yb/Fe)_x/(Yb/Fe)_I$   | 1       | 1,44 | 0,70 | 0,60  | 1,58 | 0,74 | 1,56 |



| Наименование показателя | Участок |      |      |      |      |      |      |
|-------------------------|---------|------|------|------|------|------|------|
|                         | I       | II   | III  | IV   | V    | VI   | VII  |
| Th                      |         |      |      |      |      |      |      |
| Th, мг/кг               | 2,72    | 2,75 | 4,16 | 3,58 | 5,03 | 3,53 | 2,49 |
| $Th_x/Th_l$             | 1       | 1,01 | 1,53 | 1,32 | 1,85 | 1,30 | 0,92 |
| $Th/Fe_{(<10\%)}$       | 3,33    | 2,87 | 3,16 | 3,03 | 3,63 | 3,35 | 4,47 |
| $(Th/Fe)_x/(Th/Fe)_l$   | 1       | 0,86 | 0,95 | 0,91 | 1,09 | 1,01 | 1,34 |
| U                       |         |      |      |      |      |      |      |
| U, мг/кг                | 1,18    | 1,18 | 1,74 | 1,83 | 1,27 | 1,09 | 1,10 |
| $U_x/Th_l$              | 1       | 1,00 | 1,47 | 1,55 | 1,08 | 0,92 | 0,93 |
| $U/Fe_{(<10\%)}$        | 1,63    | 1,32 | 1,36 | 1,43 | 0,92 | 1,1  | 2,3  |
| $(U/Fe)_x/(U/Fe)_l$     | 1       | 0,81 | 0,83 | 0,88 | 0,56 | 0,67 | 1,41 |

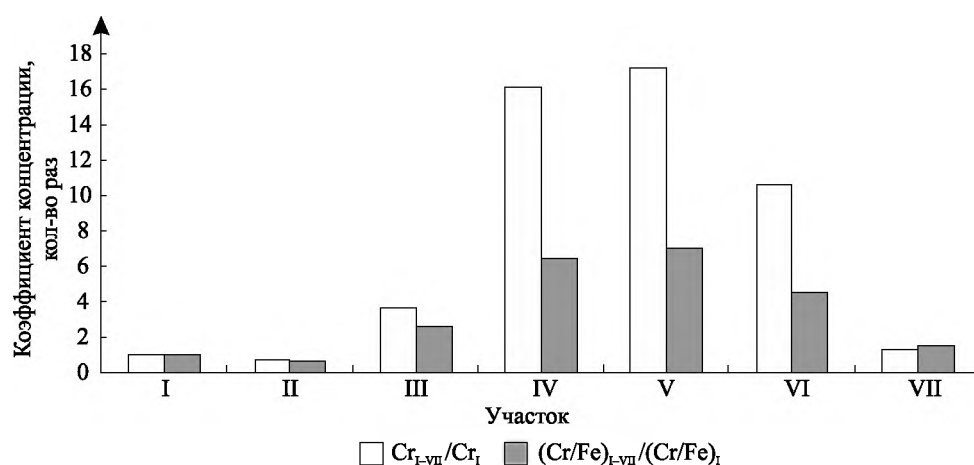


Рис. 2. Коэффициенты концентрации Cr в донных отложениях на участках I–VII р. Свислочи (1987), рассчитанные по традиционной (□) и предлагаемой (■) методикам

Fig. 2. Cr concentration coefficients in bottom sediments of the Svisloch River sections I–VII (1987), calculated by the traditional (□) and proposed (■) methods

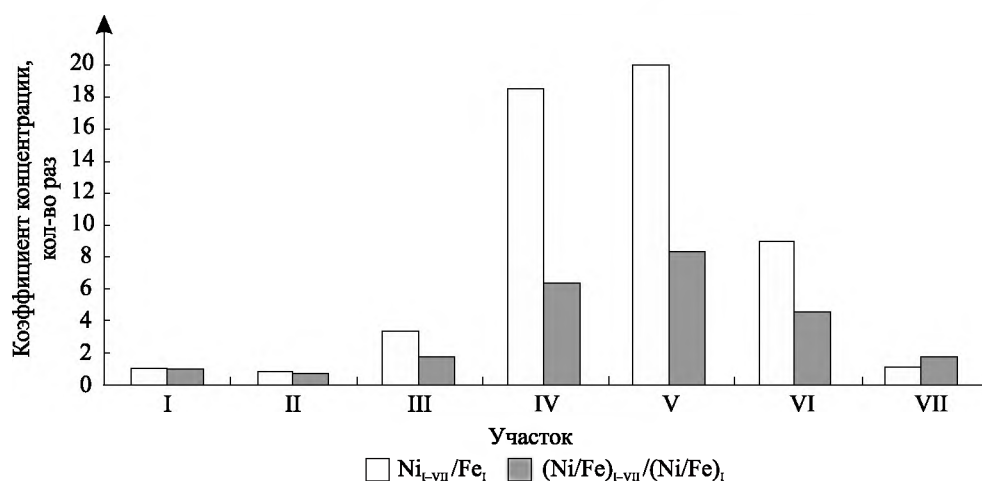


Рис. 3. Коэффициенты концентрации Ni в донных отложениях участков I–VII р. Свислочи (1987), рассчитанные по традиционной (□) и предлагаемой (■) методикам

Fig. 3. Ni concentration coefficients in bottom sediments of the Svisloch River sections I–VII (1987), calculated by the traditional (□) and proposed (■) methods

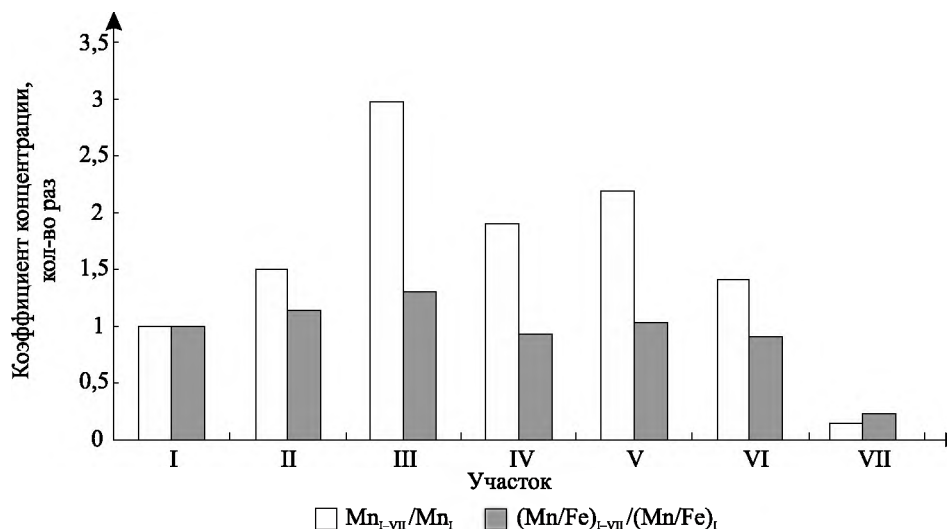


Рис. 4. Коэффициенты концентрации Mn в донных отложениях участков I–VII р. Свислочи (1987), рассчитанные по традиционной (□) и предлагаемой (■) методикам  
Fig. 4. Mn concentration coefficients in bottom sediments of the Svisloch River sections I–VII (1987), calculated by the traditional (□) and proposed (■) methods

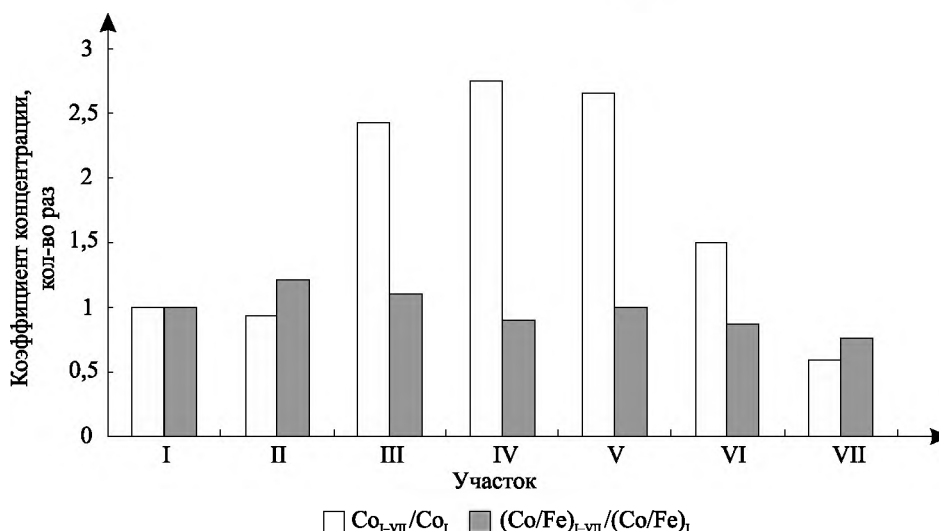


Рис. 5. Коэффициенты концентрации Co в донных отложениях участков I–VII р. Свислочи (1987), рассчитанные по традиционной (□) и предлагаемой (■) методикам  
Fig. 5. Co concentration coefficients in bottom sediments of the Svisloch River sections I–VII (1987), calculated by the traditional (□) and proposed (■) methods

В рамках проводимого авторами изучения ассоциаций химических элементов в компонентах ландшафтов Беларуси было выполнено соответствующее исследование рассматриваемых донных отложений (без вдхр. Осиповичское). Ассоциации химических элементов выделялись с помощью факторного анализа методом главных компонент с последующим варимакс-вращением (табл. 13, рис. 6 и 7). Пригодность данных для факторного анализа подтверждается высоким значением критерия Кайзера – Мейера – Олкина (КМО = 0,908) и теста сферичности Бартлетта ( $\chi^2 = 1868$ ;  $df = 190$ ;  $p < 0,000 n$ ). В результате факторного анализа выделены две главные компоненты (два фактора) с собственными значениями больше 1, на долю которых приходится 77 % общей дисперсии (см. табл. 13).

Фактор 1 определяет 66 % общей дисперсии и описывает варьирование большинства исследуемых химических элементов: Ca, U, Zr, Sc, Th, Ag, Nb, As, La, Mn, Fe. Фактор определяет природную составляющую в содержании химических элементов.

Фактор 2 описывает лишь 11 % варьирования всей системы и ассоциируется с Ni, Cr, Zn, W, Sb, Co, Se. Второй фактор интерпретирован как антропогенный. Содержание элементов данной ассоциации в значительной степени увеличивается в пределах III–VI участков.

Содержание Fe, Cs, Ce, Cd в равной степени определяется природными и антропогенными факторами.

Таблица 13

Факторные нагрузки двух главных компонент химических элементов в донных отложениях р. Свислочи в 1987 г.

Table 13

Principal component loadings of trace elements in the Svisloch River bottom sediments in 1987

| Фактор | Химические элементы |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------|---------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|        | Ca                  | U    | Zr   | Sc   | Th   | Ag   | Nb   | As   | La   | Mn   | Fe   | Cd   | Ni   | Cr   | Zn   | W    | Sb   | Co   | Se   | Cs   | Ce   |
| 1      | 0,85                | 0,84 | 0,81 | 0,80 | 0,80 | 0,77 | 0,77 | 0,75 | 0,71 | 0,71 | 0,69 | 0,43 | —    | —    | —    | 0,26 | 0,28 | 0,48 | 0,43 | 0,62 | 0,63 |
| 2      | 0,37                | 0,31 | —    | 0,45 | 0,31 | —    | 0,37 | 0,41 | 0,52 | 0,5  | 0,66 | 0,38 | 0,94 | 0,93 | 0,88 | 0,87 | 0,86 | 0,81 | 0,66 | 0,65 | 0,64 |

Примечание. Полужирным шрифтом выделены ведущие компоненты для каждой переменной; нагрузки, не являющиеся статистически значимыми, опущены.

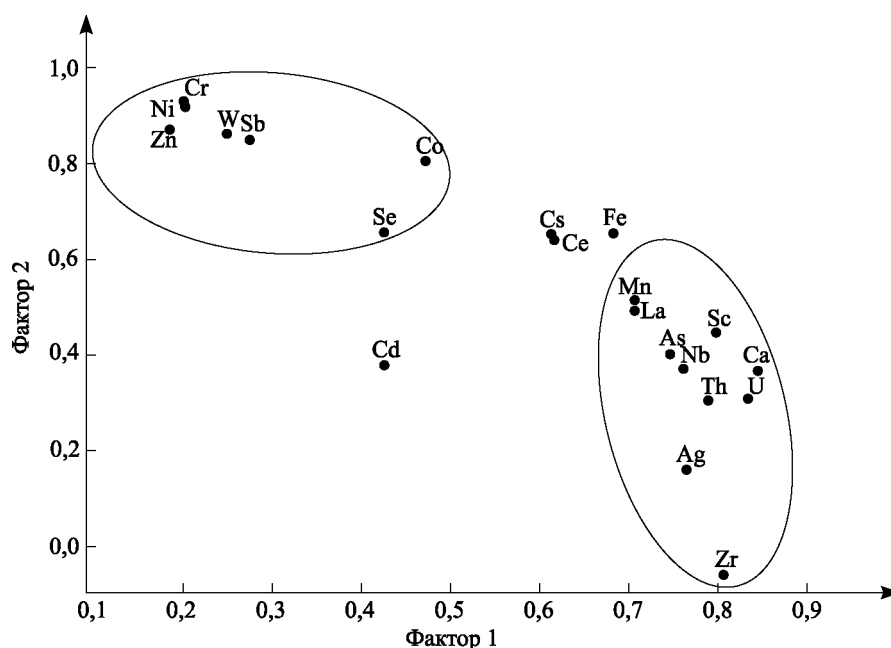


Рис. 6. График факторных нагрузок в проекции на плоскость факторного пространства, задаваемого осями факторов 1 и 2  
Fig. 6. Principal component analysis loading plot for trace elements in the Svisloch River bottom sediments

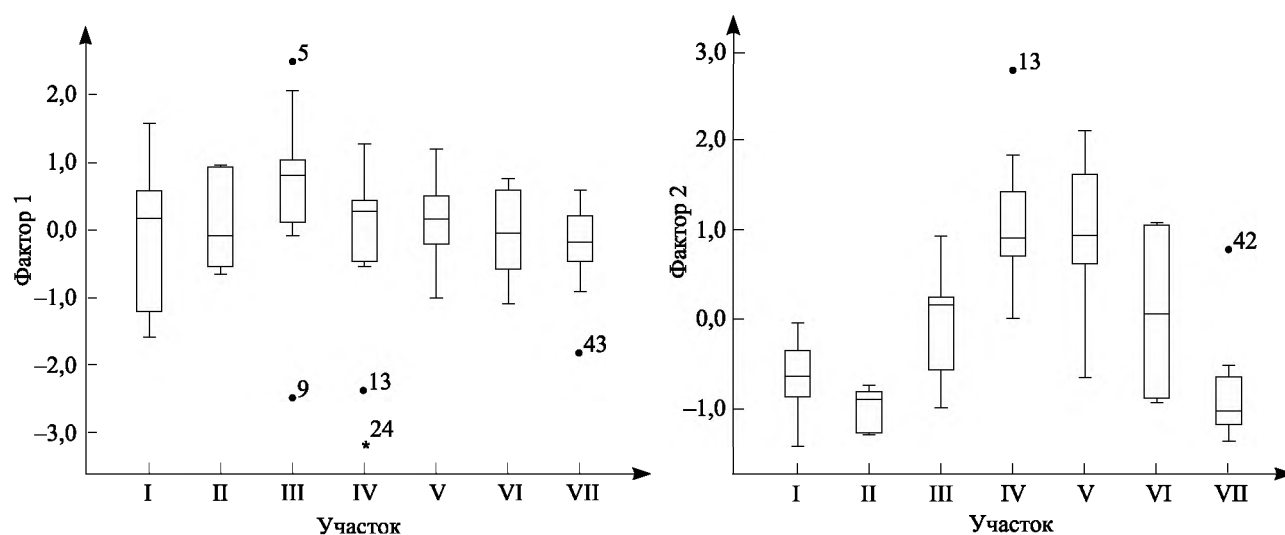


Рис. 7. Варьирование выделенных факторов в пределах участков р. Свислочи  
Fig. 7. Variation of the identified factors within the Svisloch River sections

### Геохимический мониторинг в условиях техногенного загрязнения речных водохранилищ

Геохимические условия расположенного на р. Свислочи вдхр. Осиповичское существенно отличаются от таковых для остальной части реки (рис. 8). Вследствие значительного техногенного загрязнения оно неоднократно исследовалось (последний раз детально – в 2004 г.) [5; 11; 12; 16].

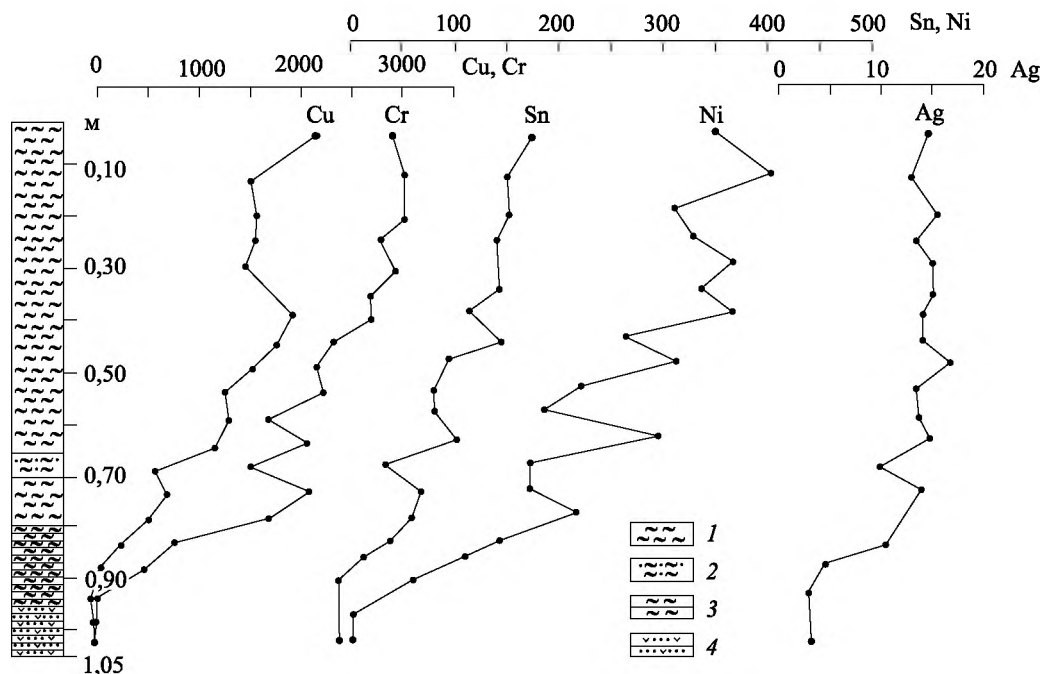


Рис. 8. Распределение Cr, Ni, Cu, Ag, Sn в толще донных отложений  
вдхр. Осиповичское, мг/кг (составлено по [16]):

1 – техногенный ил; 2 – техногенный опесчаненный ил; 3 – глинистый ил; 4 – глина опесчаненная ожезненная

Fig. 8. Distribution of Cr, Ni, Cu, Ag and Sn in sediments thickness of Osipovich Reservoir, mg/kg (complined on [16]):

1 – technogenic silt; 2 – technogenic gritty silt; 3 – clayey silt; 4 – gritty ferruginous clay

Осиповичское водохранилище – один из относительно крупных искусственных водоемов Беларуси (по площади занимает 20-е место), создано в 1953 г. в Осиповичском районе Могилёвской области в результате подпора плотиной Осиповичской ГЭС вод р. Свислочи на расстоянии 43,6 км от ее впадения в р. Березину. Площадь водохранилища – 11,87 км<sup>2</sup>, длина – 23,7 км, ширина на среднем участке – от 200 до 300 м, на нижнем – от 800 до 1200 м. Максимальная глубина водоема – 8,5 м, средняя – 1,5 м. Полный объем водохранилища при нормальном подпорном уровне (НПУ), равном 149,50 м, – 17,50 млн м<sup>3</sup> [23–25].

Водохранилище было предназначено для выработки электроэнергии на Осиповичской ГЭС (2250 кВт), водообеспечения прудов рыбного хозяйства «Свислочь» (площадь прудов 3,82 км<sup>2</sup>), Осиповичского картонно-рубероидного завода (в 1969 г.), регулирования стока нижней части р. Свислочи для лесосплава и др. [23; 24].

Следует отметить, что, согласно имеющейся классификации [26], все ныне существующие водохранилища Беларуси в подавляющем большинстве должны быть отнесены к малым и очень малым. Вместе с тем в рамках Беларуси рассматриваемый водоем может классифицироваться как небольшое водохранилище (при объеме  $W$  и площади водного зеркала  $F$ , приведенных к НПУ: средние:  $W$  – от 500 до 100 млн м<sup>3</sup>,  $F$  – от 100 до 25 км<sup>2</sup>; небольшие:  $W$  – от 100 до 10 млн м<sup>3</sup>,  $F$  – от 25 до 3 км<sup>2</sup>; малые:  $W$  – <10 млн м<sup>3</sup>,  $F$  – < 3 км<sup>2</sup> [23]).

По ряду морфологических признаков в пределах Беларуси выделяются три типа водохранилищ: 1) поозерский; 2) центральных водораздельных возвышенностей и прилегающих равнин; 3) полесский [23]. Осиповичское водохранилище относится ко второму типу, для которого характерны: а) вытянутая форма с приплотинным расширением; б) высокие (до 10 м) берега, отличающиеся сложным геологическим строением (флювиогляциальные, моренные и другие отложения); в) преимущественно речные водохранилища.

По соотношению морфометрических и гидрологических показателей водохранилища Беларуси подразделяются на пять гидроморфологических типов: малые мелководные; малые и небольшие неглубокие; средние сложные (долинные); среднеглубокие; глубокие (озерные и озерно-речные) [23].



Малые мелководные водохранилища (к которым по данной классификации относится вдхр. Осиповичское), характерные для водораздельных областей, отличаются средними глубинами ( $< 2$  м) и высоким показателем удельных затоплений ( $> 0,5 \text{ м}^2/\text{м}^3$ ). Соотношение глубоководной и мелководной частей ложа  $< 1$ . Малые средние глубины и большое количество мелководий в сочетании с высоким показателем удельных затоплений благоприятствуют здесь развитию водной растительности, ускоряют процессы накопления ОБ, способствуют быстрому зарастанию ложа и деградации водоема [25].

В проведенных нами исследованиях донных отложений вдхр. Осиповичское (2004) основное внимание было уделено условно-подвижным формам Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Cd и Pb (вытяжка HCl в концентрации 1 моль/л с атомно-абсорбционным окончанием) (табл. 14). Статистическая обработка данных показывает, что практически между всеми изученными компонентами существуют тесные корреляционные связи (табл. 15), причем содержание условно-подвижных форм металлов статистически достоверно связано с содержанием органического вещества в пробе ( $r$  составляет от +0,810 до 0,944,  $p < 0,0001$ ) вне зависимости от локализации точки опробования. Отсюда, по-видимому, следует вывод, что в настоящее время вдхр. Осиповичское достаточно равномерно и повсеместно загрязнено условно-подвижными формами техногенных Cr, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb. При этом фиксируемый в том или ином случае уровень техногенного загрязнения напрямую зависит от случайностей опробования – присутствуют или нет в рассматриваемой выборке образцы донных отложений с высоким содержанием ОБ. Пространственное распределение величины суммы условно-подвижных форм техногенных металлов в донных отложениях водохранилища показано на рис. 9, из которого следует, что максимальные значения данного показателя характерны в настоящее время для всей акватории водохранилища.

Таблица 14

Статистические характеристики содержания условно-подвижных форм элементов в донных отложениях вдхр. Осиповичское, мг/кг ( $n = 24$ )

Table 14

Descriptive statistics of mobile forms trace elements concentrations in Osipovich Reservoir bottom sediments, mg/kg ( $n = 24$ )

| Элемент | $x$ (lim)             | $\sigma_x$ | $s_x$ |
|---------|-----------------------|------------|-------|
| ОБ, %   | 16,3 (2,9–42,8)       | 12,2       | 2,48  |
| Cr      | 209 (4,6–598)         | 189        | 38,5  |
| Mn      | 1 126 (80–3 300)      | 973        | 199   |
| Fe, %   | 2,56 (0,26–5,19)      | 1,90       | 0,389 |
| Ni      | 41,0 (2,1–110)        | 30,1       | 6,15  |
| Cu      | 117 (1,9–321)         | 110        | 22,4  |
| Zn      | 364 (16–886)          | 302        | 61,6  |
| Cd      | 2,17 ( $< 0,02$ –4,9) | 1,71       | 0,350 |
| Pb      | 18,3 (0,76–49)        | 14,9       | 3,05  |

Примечание.  $x$  (lim) – Средняя (пределы колебания);  $\sigma_x$  – стандартное отклонение;  $s_x$  – ошибка среднего.

Таблица 15

Коэффициенты корреляции между органическим веществом и условно-подвижными формами металлов в донных отложениях вдхр. Осиповичское ( $p < 0,0001$ ,  $n = 28$ )

Table 15

Pearson correlation coefficients between organic matter and the mobile forms of trace elements concentrations in Osipovich Reservoir bottom sediments ( $p < 0,0001$ ,  $n = 28$ )

| Cr     | Mn     | Fe     | Ni     | Cu     | Zn     | Cd     | Pb     | Компонент |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------|
| +0,821 | +0,880 | +0,932 | +0,944 | +0,810 | +0,854 | +0,903 | +0,868 | ОБ        |
|        | +0,900 | +0,926 | +0,812 | +0,985 | +0,984 | +0,951 | +0,979 | Cr        |
|        |        | +0,950 | +0,848 | +0,925 | +0,881 | +0,924 | +0,913 | Mn        |
|        |        |        | +0,934 | +0,937 | +0,952 | +0,974 | +0,948 | Fe        |
|        |        |        |        | +0,815 | +0,861 | +0,937 | +0,855 | Ni        |
|        |        |        |        |        | +0,973 | +0,960 | +0,959 | Cu        |
|        |        |        |        |        |        | +0,964 | +0,978 | Zn        |
|        |        |        |        |        |        |        | +0,978 | Cd        |

**Валовое содержание.** Как указывалось выше, первое подробное изучение степени техногенного загрязнения донных отложений водохранилищ р. Свислочи металлами было выполнено в конце 1980-х – начале 1990-х гг. В. В. Савченко (табл. 16). Приводимые им данные свидетельствуют о существенном загрязнении вдхр. Осиповичское (по сравнению с фоновым вдхр. Заславское) Cr, Ni, Cu, Sn, Pb и другими элементами и преимущественном загрязнении верховья водоема по сравнению с приплотинным участком. Вместе с тем следует отметить, что последний вывод относится к началу 1990-х гг. и результатами выполненного в 2004 г. опробования не подтверждается.

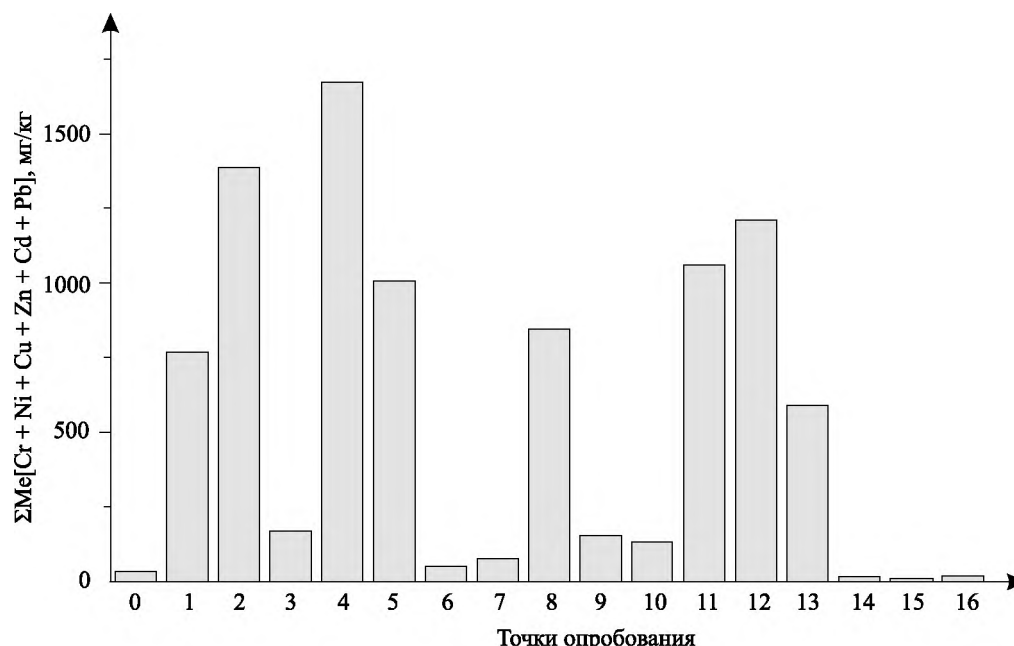


Рис. 9. Распределение суммы условно-подвижных форм техногенных металлов в донных отложениях вдхр. Осиповичское, мг/кг:

расположение точек опробования: 0 – д. Цель; 1 – непосредственно выше моста автотрассы Минск – Бобруйск; 3 – 1 км ниже т. 2; 4 – д. Озерище; 5 – 0,8 км ниже т. 4 (параллельно не опробовалась); 6 – 2 км ниже т. 4; 7 – 2 км ниже т. 6; 8 – 1 км выше д. Зборск; 9 – 0,1 км ниже д. Зборск; 10 – 0,1 км ниже д. Верейцы; 11 – 1,9 км ниже т. 10; 12 – 2 км ниже т. 11; 13 – 0,08 км выше плотины ГЭС; 14 – 0,09 км ниже плотины ГЭС; 15 – мост у д. Липень; 16 – д. Устиж

Fig 9. Location of sampling sites:

0 – vil. Tsel; 1 – directly above the highway bridge Minsk – Bobruisk; 3 – 1 km downstream s. 2; 4 – vil. Ozerishche; 5 – 0,8 km downstream s. 4; 6 – 2 km downstream s. 4; 7 – 2 km downstream s. 6; 8 – 1 km above vil. Zborsk; 9 – 0,1 km downstream vil. Zborsk; 10 – 0,1 km downstream vil. Vereytsy; 11 – 1,9 km downstream s. 10; 12 – 2 km downstream s. 11; 13 – 0,08 km above hydroelectric dam; 14 – 0,09 km downstream hydroelectric dam; 15 – bridge near the vil. Lipen; 16 – vil. Ustizh

Таблица 16

**Валовое содержание металлов в донных отложениях (илах) водохранилищ р. Свислочи, мг/кг**  
(составлено по [16] с добавлением)

Table 16

**Trace elements total contents in bottom sediments (silts) of the Svisloch' reservoirs, mg/kg**  
(compiled on [16] with addition)

| Элемент | Заславское (n = 20),<br>1980-е гг. | Осиповичское      |                 |                  |                  |
|---------|------------------------------------|-------------------|-----------------|------------------|------------------|
|         |                                    | Начало 1990-х гг. |                 |                  | 2004 г.          |
|         |                                    | Верховье (n = 27) | Низовье (n = 7) | В целом (n = 34) | В целом (n = 14) |
| Be      | 0,6                                | 1,0               | 0,8             | 0,96             | 0,86             |
| Ti      | 1600                               | 2000              | 1800            | 1960             | 2020             |
| V       | 34                                 | 93                | 63              | 87               | 31               |
| Cr      | 23                                 | 2 800             | 910             | 2410             | 490              |
| Mn      | 770                                | 1800              | 1900            | 1820             | 1780             |
| Co      | 6,2                                | 8,8               | 8,7             | 8,8              | 7,5              |

| Элемент | Заславское ( $n = 20$ ),<br>1980-е гг. | Осиповичское          |                     |                      |                      |
|---------|----------------------------------------|-----------------------|---------------------|----------------------|----------------------|
|         |                                        | Начало 1990-х гг.     |                     |                      | 2004 г.              |
|         |                                        | Верховье ( $n = 27$ ) | Низовье ( $n = 7$ ) | В целом ( $n = 34$ ) | В целом ( $n = 14$ ) |
| Ni      | 15                                     | 560                   | 330                 | 510                  | 120                  |
| Cu      | 18                                     | 1400                  | 410                 | 1200                 | 185                  |
| Y       | 17                                     | 27                    | 32                  | 28                   | 12                   |
| Zr      | 230                                    | 260                   | 350                 | 280                  | 240                  |
| Ag      | н. о.                                  | 19                    | 6,9                 | 17                   | 1,4                  |
| Sn      | н. о.                                  | 140                   | 29                  | 120                  | 11                   |
| Ba      | 300                                    | 970                   | 720                 | 920                  | 340                  |
| Yb      | 1,7                                    | 2,5                   | 3,0                 | 2,6                  | 1,0                  |
| Pb      | 19                                     | 86                    | 46                  | 78                   | 36                   |

Нами также было проведено определение валового содержания (методом эмиссионного спектрального анализа, ЭСА) ряда элементов в донных отложениях вдхр. Осиповичское, имеющих с точки зрения техногенного загрязнения как первостепенное (Cr, Ni, Cu, Pb), так и второстепенное значение. Как и для условно-подвижных форм изученных металлов (см. выше), для валовой концентрации отдельных элементов (Be, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Ag, Sn, Pb) в той или иной степени проявляется роль содержания в пробе органического вещества ( $n = 28$ ,  $Fe - r = +0,935$ ,  $Ni - r = +0,860$ ,  $Mn - r = +0,858$ ,  $Cu - r = +0,804$ ,  $V - r = +0,774$ ,  $Cr - r = +0,736$ ,  $Pb - r = +0,734$ ,  $p < 0,0001$ ;  $Co - r = +0,620$ ,  $Ag - r = +0,654$ ,  $p < 0,001$ ;  $Be - r = +0,532$ ,  $Sn - r = +0,505$ ,  $p < 0,01$ ). Аккумуляция Ti, Sr, Y, Zr, Ba, Yb с ОВ донных отложений, по нашим данным, не связана ( $r = |0,069 - 0,366|$ ,  $p > 0,05$ ). Отсюда закономерно следует вывод, аналогичный вышеприведенному для условно-подвижных форм: в настоящее время вдхр. Осиповичское достаточно равномерно и повсеместно загрязнено техногенными Cr, Ni, Cu, Pb (валовое содержание). При этом фиксируемый в том или ином случае уровень техногенного загрязнения напрямую зависит от случайностей опробования – присутствуют или нет в рассматриваемой выборке образцы донных отложений с высоким содержанием органического вещества.

Статистические характеристики валового содержания металлов в донных отложениях вдхр. Осиповичское без дифференциации их по литологическому составу (пески, илы) представлены в табл. 17.

Таблица 17

Статистические характеристики валового содержания металлов в донных отложениях вдхр. Осиповичское, мг/кг ( $n = 24$ )

Table 17

Descriptive statistics of trace elements total contents in Osipovich Reservoir bottom sediments, mg/kg ( $n = 24$ )

| Элемент | $x$ (lim)        | $\sigma_x$ | $s_x$ |
|---------|------------------|------------|-------|
| ОВ, %   | 16,3 (2,9–42,8)  | 12,2       | 2,48  |
| Be      | 0,71 (0,5–1,3)   | 0,24       | 0,05  |
| Ti      | 1 935 (450–4300) | 903        | 184   |
| V       | 22,4 (5–58)      | 15,1       | 3,1   |
| Cr      | 306 (10–1000)    | 283        | 57,8  |
| Mn      | 1 216 (240–3300) | 937        | 191   |
| Fe, %   | 2,74 (0,72–5,2)  | 1,73       | 0,353 |
| Co      | 5,83 (1,9–18)    | 3,97       | 0,810 |
| Ni      | 82,6 (12–230)    | 59,9       | 12,2  |
| Cu      | 120 (8,5–320)    | 107        | 21,8  |
| Sr      | 120 (100–220)    | 33,7       | 6,88  |
| Y       | 10,6 (5–25)      | 4,22       | 0,861 |
| Zr      | 309 (90–860)     | 206        | 42,1  |

Окончание табл. 17  
Ending table 17

| Элемент | $x(\text{lim})$  | $\sigma_x$ | $s_x$ |
|---------|------------------|------------|-------|
| Ag      | 0,987 (0,35–2,7) | 0,696      | 0,142 |
| Sn      | 8,24 (5–25)      | 5,38       | 1,10  |
| Ba      | 342 (210–500)    | 67,3       | 13,7  |
| Yb      | 0,964 (0,5–1,9)  | 0,295      | 0,060 |
| Pb      | 26,1 (8,6–69)    | 18,3       | 3,73  |

Средние показатели валового содержания ряда элементов непосредственно в илах ( $n = 14$ ), опробованных в 2004 г., включены в сводную табл. 16.

При рассмотрении данных табл. 16, характеризующих содержание металлов в илах водохранилища в начале 1990-х гг. и в 2004 г., сразу обращает на себя внимание следующая закономерность: 1) средняя выборочная концентрация элементов естественного происхождения – Be, Ti, Mn, Co, Zr – за прошедшее время практически не изменилась (полученные показатели отличаются не более чем в 1,2 раза и, по-видимому, подтверждают сопоставимость двух разновременных опробований); 2) средняя концентрация техногенных элементов заметно снизилась (V – в 2,8, Cr – в 4,9, Ni – в 4,3, Cu – в 6,5 раза, Ag – в 12, Sn – в 11 раз и Pb – в 2,2 раза), что может быть связано с уменьшением поступления данных веществ с водами р. Свислочи от Минской станции аэрации по сравнению с началом 1990-х гг.

Ориентировочные данные, позволяющие судить о *долевом участии условно-подвижных форм металлов* ( $C_{\text{усл-подв}}$ ) в валовом их содержании ( $C_{\text{вал}}$ ) для проб донных отложений вдхр. Осиповичское и р. Свислочи, представлены в табл. 18. Эти результаты следует рассматривать как оценочные, поскольку содержание условно-подвижных форм и валового содержания металлов определялось различными методами (атомно-абсорбционного анализа, ААА, и ЭСА), часто имеющими сильную невязку. Тем не менее заметно, что образцы, характеризующиеся высоким содержанием ОБ, как правило, показывают очень большое долевое участие условно-подвижных форм (в табл. 18 обозначено полужирным шрифтом как **1,00**). Подобные пробы встречаются на всей акватории водохранилища.

Таблица 18

Долевое участие (соотношение) условно-подвижных форм элементов донных отложений  
вдхр. Осиповичское в валовом их содержании ( $C_{\text{усл-подв}}/C_{\text{вал}}$ )

Table 18

The proportion of mobile forms trace elements in Osipovichi Reservoir sediments from their total contents ( $C_{\text{mobile}}/C_{\text{total}}$ )

| Номер пробы<br>(место) | ОБ, % | Cr          | Mn          | Fe          | Ni          | Cu          | Pb          |
|------------------------|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 0 (П)                  | 2,9   | 0,588       | 0,354       | 0,446       | 0,276       | 0,386       | 0,358       |
| 1 (П)                  | 23,8  | <b>1,00</b> | <b>1,00</b> | <b>1,00</b> | 0,758       | <b>1,00</b> | <b>1,00</b> |
| 1 (Ц)                  | 15,2  | 0,709       | <b>1,00</b> | <b>1,00</b> | 0,513       | 0,653       | 0,831       |
| 1 (Л)                  | 29,0  | <b>1,00</b> | <b>1,00</b> | <b>1,00</b> | <b>1,00</b> | <b>1,00</b> | <b>1,00</b> |
| 2 (П)                  | 27,6  | 0,688       | <b>1,00</b> | <b>1,00</b> | 0,569       | <b>1,00</b> | <b>1,00</b> |
| 2 (Ц)                  | 16,7  | 0,771       | <b>1,00</b> | <b>1,00</b> | 0,635       | <b>1,00</b> | <b>1,00</b> |
| 2 (Л)                  | 25,7  | <b>1,00</b> | <b>1,00</b> | <b>1,00</b> | 0,674       | <b>1,00</b> | <b>1,00</b> |
| 3 (Ц)                  | 14,5  | 0,057       | <b>1,00</b> | 0,53        | 0,331       | 0,547       | 0,744       |
| 4 (Ц)                  | 30,7  | 0,778       | <b>1,00</b> | <b>1,00</b> | 0,349       | <b>1,00</b> | 0,626       |
| 5 (ПСТ)                | 43,5  | 0,798       | 0,368       | <b>1,00</b> | 0,047       | 0,130       | 0,92        |
| 6 (Ц)                  | 2,9   | 0,758       | 0,463       | 0,667       | 0,40        | 0,379       | 0,122       |
| 7 (Ц)                  | 2,9   | 0,967       | 0,36        | 0,475       | 0,407       | 0,275       | 0,180       |
| 8 (Ц)                  | 2,9   | 0,46        | 0,267       | 0,323       | 0,117       | 0,221       | 0,084       |
| 8 (Л)                  | 23,3  | 0,464       | <b>1,00</b> | <b>1,00</b> | 0,342       | <b>1,00</b> | 0,436       |
| 9 (П)                  | 5,4   | 0,877       | 0,925       | 0,979       | 0,618       | <b>1,00</b> | 0,598       |
| 9 (Ц)                  | 6,3   | <b>1,00</b> | 0,545       | 0,76        | 0,313       | <b>1,00</b> | 0,398       |



Окончание табл. 18  
Ending table 18

| Номер пробы<br>(место) | ОВ, % | Cr          | Mn          | Fe          | Ni    | Cu          | Pb          |
|------------------------|-------|-------------|-------------|-------------|-------|-------------|-------------|
| 9 (Л)                  | 4,5   | 0,589       | 0,226       | 0,327       | 0,181 | 0,713       | 0,151       |
| 10 (Ц)                 | 4,1   | <b>1,00</b> | 0,775       | 0,679       | 0,383 | <b>1,00</b> | 0,24        |
| 11 (Ц)                 | 19,0  | 0,626       | <b>1,00</b> | <b>1,00</b> | 0,529 | <b>1,00</b> | 0,556       |
| 12 (П)                 | 30,8  | <b>1,00</b> | <b>1,00</b> | <b>1,00</b> | 0,939 | <b>1,00</b> | <b>1,00</b> |
| 12 (Ц)                 | 38,4  | <b>1,00</b> | <b>1,00</b> | <b>1,00</b> | 0,644 | <b>1,00</b> | <b>1,00</b> |
| 12 (Л)                 | 42,8  | 0,685       | <b>1,00</b> | <b>1,00</b> | 0,481 | <b>1,00</b> | 0,901       |
| 13 (П)                 | 24,4  | 0,527       | 0,824       | <b>1,00</b> | 0,459 | <b>1,00</b> | 0,719       |
| 13 (Ц)                 | 6,4   | 0,688       | 0,85        | 0,604       | 0,379 | 0,944       | 0,451       |
| 13 (Л)                 | 12,3  | 0,625       | 0,859       | <b>1,00</b> | 0,372 | 0,968       | 0,564       |
| 14 (П)                 | 2,9   | 0,329       | 0,564       | 0,408       | 0,18  | 0,269       | 0,242       |
| 15 (П)                 | 2,9   | 0,167       | 0,256       | 0,311       | 0,189 | 0,11        | 0,020       |
| 16 (П)                 | 2,9   | 0,349       | 0,293       | 0,323       | 0,18  | 0,291       | 0,148       |

Примечания. 1. Расположение точек отбора проб приведено на рис. 9. 2. П – правый берег; Л – левый берег; Ц – центр; Ст – старица.

Были также изучены ассоциации химических элементов в донных отложениях вдхр. Осиповичское (табл. 19) [12]. В результате факторного анализа выделены 3 главных фактора (компоненты), объясняющие 85 % общей дисперсии.

Таблица 19

**Значения факторных нагрузок главных компонент химических элементов  
в донных отложениях вдхр. Осиповичское в 2004 г.**

Table 19

**Principal component loadings of trace elements  
in Osipovich Reservoir bottom sediments in 2004**

| Элемент  | Фактор |       |       |
|----------|--------|-------|-------|
|          | 1      | 2     | 3     |
| Cu       | 0,955  | –     | –     |
| Pb       | 0,953  | –     | –     |
| Fe       | 0,939  | –     | –     |
| Cr       | 0,938  | –     | –     |
| Ni       | 0,922  | –     | –     |
| V        | 0,909  | –     | –     |
| Mn       | 0,892  | –     | –     |
| Ag       | 0,843  | –     | –     |
| Co       | 0,748  | –     | –     |
| Be       | 0,690  | 0,554 | –     |
| Y        | –      | 0,927 | –     |
| Yb       | –      | 0,894 | –     |
| Ti       | –      | –     | 0,910 |
| Zr       | –      | –     | 0,854 |
| Ba       | –      | –     | 0,505 |
| Вклад, % | 58     | 14    | 13    |

Примечания. 1. Представлены только значимые факторные нагрузки при  $p < 0,01$ .  
2. Полужирным шрифтом выделены ведущие компоненты для каждой переменной.

С фактором 1, описывающим 58 % общей дисперсии, положительно связано содержание большинства изученных химических элементов – Cu, Pb, Fe, Cr, Ni, V, Mn, Ag, Co, Be, отдельные из которых в данной геохимической обстановке имеют явное техногенное происхождение (стоки г. Минска). Установлена сильная прямая зависимость содержания элементов данной ассоциации от содержания органического вещества ( $r = 0,9$ ,  $p < 0,001$ ).

Фактор 2 (14 % общей дисперсии) отражает поведение Y и Yb (весьма характерная естественная парагенетическая ассоциация элементов).

Фактор 3 (13 % общей дисперсии) характеризуется высокими нагрузками Ti, Zr, Ba (еще одна характерная естественная ассоциация элементов).

Поскольку практически все элементы первой ассоциации связаны как с ОБ донных отложений (Be, Co в средней степени ( $r$  составляет от 0,50 до 0,60); V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Ag, Pb в сильной ( $r$  составляет от 0,75 до 0,87)), так и с Fe (Co в средней степени ( $r = 0,56$ ); Be, V, Cr, Mn, Ni, Cu, Ag, Pb в сильной ( $r$  составляет от 0,73 до 0,91)), целесообразно рассчитывать частные коэффициенты корреляции, позволяющие уточнить, содержанием какого макрокомпонента (ОБ или Fe) при прочих равных условиях в первую очередь обусловлены концентрации исследуемых химических элементов. Выполненные расчеты показали, что фиксируемое содержание Ni в донных отложениях в современной техногеохимической обстановке вдхр. Осиповичское во многом определяется соответствующей концентрацией ОБ ( $r = +0,6$ ), тогда как Be, V, Cr, Mn, Cu, Ag, Pb – концентрацией Fe ( $r$  составляет от +0,6 до 0,8).

### Заключение

Таким образом, рассмотрение различных аспектов геохимического мониторинга суббассейновых систем разного уровня показывает, что в данной области существует ряд направлений, представляющих большой теоретический и практический интерес. Переход от глобального уровня изучения миграции/концентрации микроэлементов к региональному (локальному) требует разработки простых детальных приемов оценки уровня техногенного загрязнения донных отложений, учитывающих специфику их макросостава. Один из таких приемов, основанный на нормировании содержания микроэлементов по Fe (на примере Cr, Ni, Mn, Co), был подробно описан в настоящей статье применительно к трансбассейновой системе (донные отложения р. Свислочи).

### Библиографические ссылки

1. Forchhammer G. On the composition of sea-water in the different parts of the ocean // Philos. Transact. of the Royal Society of London. 1865. Vol. 155. P. 203–262.
2. Шонф Т. Палеоокеанология. М., 1982.
3. Сугавара К. Миграция элементов в гидросфере и атмосфере // Химия земной коры : в 2 т. М., 1964. Т. 2. С. 469–478.
4. Добровольский В. В. География микроэлементов. Глобальное рассеяние. М., 1983.
5. Лукашѐв В. К., Антоненко Л. И., Савченко В. В. Микроэлементы в донных отложениях водохранилищ // Докл. АН БССР. 1989. Т. 33, № 5. С. 458–460.
6. Лукашѐв В. К. Искусственные сорбенты в прикладной и экспериментальной геохимии. Минск, 1992.
7. Лукашѐв О. В. Распределение хрома в водах и донных отложениях р. Свислочи // Проблемы рационального использования и охраны природной среды : тез. докл. конф. (Минск, 10–12 апр. 1990). Минск, 1990. С. 92.
8. Лукашѐв О. В. К вопросу об индикационных свойствах донных отложений (основные закономерности аккумуляции хрома) // Геохимия техногенеза : тез. докл. II Всесоюз. совещ. (Минск, 2–4 апр. 1991). Минск, 1991. С. 158–161.
9. Лукашѐв О. В. Геохимия хрома в зоне гипергенеза (на примере Белоруссии и смежных территорий). Минск, 1993.
10. Tyronovich-Sevruk D. L., Lukashev O. V., Savchenko V. V. Methodological aspects of geochemical monitoring of river deposits // 6<sup>th</sup> Int. Symp. & Exhib. on Environmental Contamination in Central & Eastern Europe and the Commonwealth of Independent States : pap. (Prague, 1–4 Sept. 2003). Prague, 2003 (CD-ROM, file 402).
11. Оценка техногенного загрязнения донных отложений Осиповичского водохранилища металлами / О. В. Лукашѐв [и др.] // Природные ресурсы. 2007. № 3. С. 74–79.
12. Геохимические ассоциации элементов в донных отложениях Осиповичского водохранилища / О. В. Лукашѐв [и др.] // Мониторинг окружающей среды : материалы II Междунар. науч.-практ. конф. : в 2 ч. (Брест, 25–27 сент. 2013 г.). Брест, 2013. Ч. 1. С. 37–39.
13. Содержание химических элементов в современных донных отложениях рек Беларуси (техногеохимический аспект) / О. В. Лукашѐв [и др.] // Природопользование. 2015. Вып. 27. С. 109–117.
14. Савченко В. В. Техногенный поток рассеяния р. Свислочи // Докл. АН Беларуси. 1992. Т. 36, № 1. С. 67–71.
15. Трансформация донных осадков рек при техногенном воздействии / В. В. Савченко [и др.] // Докл. АН Беларуси. 1993. Т. 37, № 6. С. 99–103.
16. Савченко В. В. Микроэлементы в илах водохранилищ р. Свислочи // Водные ресурсы. 1996. Т. 23, № 4. С. 444–447.
17. Савченко В. В. Донный наилот рек: генезис, минералого-геохимический состав, индикация загрязнения // Водные ресурсы. 1998. Т. 25, № 2. С. 199–205.
18. Савченко В. В., Гурч Е. П., Головатый С. Е. Техногеохимические исследования аллювиальных осадков в Беларуси: состояние и проблемы // Природные ресурсы. 1999. № 4. С. 60–71.

19. Творонович-Севрук Д. Л. Закономерности распределения элементов группы железа в современных аллювиальных отложениях Беларуси. Минск, 2013.
20. Geochemical Atlas of Europe. Part 1 : Background information, methodology and maps [Electronic resource]. Geological Survey of Finland, 2005. URL: <http://www.gtk.fi/publ/foregsatlas/> (date of access: 03.10.2016).
21. Венецкий И. Г., Кильдешев Г. С. Теория вероятностей и математическая статистика. М., 1975.
22. Кузнецов В. А., Шимко Г. А. Метод постадийных вытяжек при геохимических исследованиях. Минск, 1990.
23. Водохранилища Белоруссии: природные особенности и взаимодействие с окружающей средой / под ред. В. М. Широкова. Минск, 1991.
24. Беларуская савецкая энцыклапедыя : у 12 т. Мінск, 1969. Т. 1.
25. Белорусская Советская Социалистическая Республика : энциклопедия. Минск, 1978.
26. Матарзин Ю. М., Богословский Б. Б., Машкевич И. К. Специфика водохранилищ и их морфометрия. Пермь, 1977.

## References

1. Forchhammer G. On the composition of sea-water in the different parts of the ocean. *Philos. Transact. of the Royal Society of London*. 1865. Vol. 155. P. 203–262.
2. Shopf T. Paleooceanology. Mosc., 1982 (in Russ.).
3. Sugavara K. Migratsiya elementov v gidrosfere i atmosphere. *Khimiya zemnoi kory* : in 2 vol. Mosc., 1964. Vol. 2. P. 469–478 (in Russ.).
4. Dobrovolskii V. V. Geografiya mikroelementov. Global'noe rasseyanie. Mosc., 1983 (in Russ.).
5. Lukashev V. K., Antonenko L. I., Savchenko V. V. Mikroelementy v donnykh otlozheniyakh vodokhranilishch [Trace elements in bottom sediments of water reservoirs]. *Doklady AN BSSR*. 1989. Vol. 33, No. 5. P. 458–460 (in Russ.).
6. Lukashev V. K. Iskusstvennye sorbenty v prikladnoi i eksperimental'noi geokhimii. Minsk, 1992 (in Russ.).
7. Lukashev O. V. Raspreделение khroma v vodakh i donnykh otlozheniyakh r. Svisloch' [Cr distribution in waters and bottom sediments of the river Svisloch]. *Problemy ratsional'nogo ispol'zovaniya i okhrany prirodnoi sredy* : tez. dokl. konf. (Minsk, 10–12 Apr. 1990). Minsk, 1990. P. 92 (in Russ.).
8. Lukashev O. V. K voprosu ob indikatsionnykh svoistvakh donnykh otlozhenii (osnovnye zakonomernosti akumulatsii khroma) [Concerning some indicator properties of bottom sediments (the main regularities of Cr accumulation)]. *Geokhimiya tekhnogeneza* : tez. dokl. II Vsesoyuz. soveshch. (Minsk, 2–4 Apr. 1991). Minsk, 1991. P. 158–161 (in Russ.).
9. Lukashev O. V. Geokhimiya khroma v zone gipergeneza (na primere Belorussii i svezhnykh territorii). Minsk, 1993 (in Russ.).
10. Tvoronovich-Sevruck D. L., Lukashev O. V., Savchenko V. V. Methodological aspects of geochemical monitoring of river deposits. *6<sup>th</sup> Int. Symp. & Exhib. on Environmental "Contamination in Central & Eastern Europe and the Commonwealth of Independent States"*. Prague, 2003. (CD-ROM, file 402).
11. Lukashev O. V., Tvoronovich-Sevruck D. L., Savchenko S. V., et al. Otsenka tekhnogenogo zagryazneniya donnykh otlozhenii Osipovichskogo vodokhranilishcha metallami [Pollution assessment of Osipovich reservoir bottom sediments with metals]. *Prirodnye resursy*. 2007. No. 3. P. 74–79 (in Russ.).
12. Lukashev O. V., Zhukovskaya N. V., Lukasheva N. G., et al. Geokhimicheskie assotsiatsii elementov v donnykh otlozheniyakh Osipovichskogo vodokhranilishcha. *Monitoring okruzhayushchei sredy* : materialy II Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. : in 2 vol. (Brest, 25–27 Sept. 2013). Brest, 2013. Vol. 1. P. 37–39 (in Russ.).
13. Lukashev O. V., Zhukovskaya N. V., Lukasheva N. G., et al. Soderzhanie khimicheskikh elementov v sovremennykh donnykh otlozheniyakh rek Belarusi (tekhnogeokhimicheskii aspekt) [The trace elements contents in modern bottom sediments of the Belarusian rivers (technological and geochemical aspects)]. *Prirodopol'zovanie*. 2015. Vol. 27. P. 109–117 (in Russ.).
14. Savchenko V. V. Tekhnogennyi potok rasseyaniya r. Svisloch' [Anthropogenic leakage fluxes of the river Svisloch]. *Doklady AN BSSR*. 1992. Vol. 36, No. 1. P. 67–71 (in Russ.).
15. Savchenko V. V., Shimanovich S. L., Murashko L. I., et al. Transformatsiya donnykh osadkov rek pri tekhnogennom vozdeistvii [Anthropogenic impact on the transformation of rivers bottom sediments]. *Doklady AN BSSR*. 1993. Vol. 37, No. 6. P. 99–103 (in Russ.).
16. Savchenko V. V. Mikroelementy v ilakh vodokhranilishch r. Svislochi [Trace elements in silts of the river Svisloch water reservoirs]. *Vodnye resursy*. 1996. Vol. 23, No. 4. P. 444–447 (in Russ.).
17. Savchenko V. V. Donnyi nailok rek: genezis, mineralogo-geokhimicheskii sostav, indikatsiya zagryazneniya [River bottom silt: Genesis, mineralogical and geochemical composition, indication of contamination]. *Vodnye resursy*. 1998. Vol. 25, No. 2. P. 199–205 (in Russ.).
18. Savchenko V. V., Gurch E. P., Golovatyj S. E. Tekhnogeokhimicheskie issledovaniya allyuvial'nykh osadkov v Belarusi: sostoyanie i problem [Technological and geochemical research of alluvial sediments in Belarus: status and challenges]. *Prirodnye Resursy*. 1999. No. 4. P. 60–71 (in Russ.).
19. Tvoronovich-Sevruck D. L. Zakonomernosti raspredeleniya elementov grupy zheleza v sovremennykh allyuvial'nykh otlozheniyakh Belarusi. Minsk, 2013 (in Russ.).
20. Geochemical Atlas of Europe. Part 1 : Background information, methodology and maps [Electronic resource]. *Geological Survey of Finland*, 2005. URL: <http://www.gtk.fi/publ/foregsatlas/> (date of access: 03.10.2016).
21. Venetskii I. G., Kil'dyshev G. S. Teoriya veroyatnostei i matematicheskaya statistika. Mosc., 1975 (in Russ.).
22. Kuznetsov V. A., Shimko G. A. Metod postadiinykh vytyazhek pri geokhimicheskikh issledovaniyakh. Minsk, 1990 (in Russ.).
23. Vodokhranilishcha Belorussii: prirodnye osobennosti i vzaimodeistvie s okruzhayushchei sredoi. Ed. by V. M. Shirokova. Minsk, 1991 (in Russ.).
24. Belaruskaya savetskaya entsyklopedyya : in 12 vol. Minsk, 1969. Vol. 1 (in Russ.).
25. Belorusskaya Sovetskaya Sotsialisticheskaya Respublika : entsiklopediya. Minsk, 1978 (in Russ.).
26. Matarzin Y. M., Bogoslovskii B. B., Matskevich I. K. Spetsifika vodokhranilishch i ikh morfometriya. Perm', 1977 (in Russ.).

Статья поступила в редколлегию 22.11.2016.  
Received by editorial board 22.11.2016.

UDC 550.36+622.24+550.832.6

## HEAT EFFLUX ESTIMATION DURING A BOREHOLE DRILLING

V. I. ZUI<sup>a</sup>, Y. G. GRIBIK<sup>b</sup>, A. L. SUSLENKO<sup>c</sup><sup>a</sup>Belarusian State University, Nezavisimosti avenue, 4, 220030, Minsk, Republic of Belarus<sup>b</sup>Institute for Nature Management, National Academy of Sciences of Belarus,  
F. Skoriny street, 10, 220114, Minsk, Republic of Belarus<sup>c</sup>Republican Unitary Enterprise «Scientific-Production Center for Geology»,  
Proletarskaya street, 77, 247760, Mozyr, Republic of Belarus

Corresponding author: zui@bsu.by

A field experiment to estimate the withdrawal of heat by a circulating mud was described on the basis of the borehole «Novo-Korenevskaya-13» located within the Pripyat Trough (Belarus) which was in a drilling process. A rock fragmentation process is accompanied by a heat release. Drilling of deep wells is fulfilled using a drilling mud (usually a clay mud). It cools the tool which frays and crushes rocks at the well bottom as well as removes detritus from a wellbore to the ground surface. The paper is devoted to calculation of the heat efflux by circulating drilling fluid during this well drilling. It was shown that this mud, circulating along the wellbore, evacuates to the ground surface not only detritus but provides the heat efflux as well. The experiment included the temperature monitoring of the drilling mud pumped into a drill string and its outflow from the well. We discuss the heat power delivered to the ground surface. It was confirmed that the heat efflux by the circulating fluid in a wellbore could attain hundreds of kilowatts or even slightly exceed 1 MW<sub>m</sub> depending on the drilling depth, drillable rock types and the natural rock temperature at the considered depth. An assessment of heat withdrawal in the process of deep borehole drilling during oil exploration works within the Pripyat Trough represents both a scientific and practical interest. The heat release during the drilling process could be used for practical purposes.

**Key words:** borehole; borehole drilling; drilling mud; underground heat; borehole heat exchanger.

**Acknowledgements.** Authors acknowledge PhD M. D. Parkhomov for his help with calculations of the thermal power efflux from the drilled well «Novo-Korenevskaya-13» as well as for measurements of the volumetric heat capacity of a drilling mud sample.

## ОЦЕНКА ВЫНОСА ТЕПЛА ПРИ БУРЕНИИ СКВАЖИНЫ

В. И. ЗУЙ<sup>1)</sup>, Я. Г. ГРИБИК<sup>2)</sup>, А. Л. СУСЛЕНКО<sup>3)</sup><sup>1)</sup>Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Республика Беларусь<sup>2)</sup>Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси,  
ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Республика Беларусь<sup>3)</sup>РУП «Научно-производственный центр по геологии»,  
ул. Пролетарская, 77, 247760, г. Мозырь, Республика Беларусь

Описан полевой эксперимент по выносу тепла циркулирующим буровым раствором на базе скважины «Ново-Корневская-13» Припятского прогиба (Беларусь). Доказывается, что буровой раствор, циркулирующий по стволу скважины, не только выносит на земную поверхность обломки разрушенной горной породы, но и обе-

**Образец цитирования:**

Зуй В. И., Грибик Я. Г., Сусленко А. Л. Оценка выноса тепла при бурении скважины // Журн. Белорус. гос. ун-та. География. Геология. 2017. № 1. С. 171–179.

**For citation:**

Zui V. I., Gribik Y. G., Suslenko A. L. Heat efflux estimation during a borehole drilling. *J. Belarus. State Univ. Geogr. Geol.* 2017. No. 1. P. 171–179.

**Авторы:**

**Владимир Игнатьевич Зуй** – доктор геолого-минералогических наук, профессор, доцент кафедры инженерной геологии и геофизики географического факультета.

**Ярослав Гаврилович Грибик** – кандидат геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией геотектоники и геофизики.

**Александр Лукич Сусленко** – главный геолог Мозырской нефтеразведочной экспедиции глубокого бурения.

**Authors:**

**Vladimir Zui**, doctor of science (geology and mineralogy), full professor, associate professor at the department of engineering geology and geophysics, faculty of geography.

zui@bsu.by

**Yaroslav Gribik**, PhD (geology and mineralogy), head of the tectonics and geophysics laboratory.

yaroslavgribik@tut.by

**Aleksandr Suslenko**, chief geologist of the Mozyr Oil Exploration Expedition on Deep Drilling.

mozgeo@tut.by



спечивает вынос тепла. Исследование включало в себя мониторинг температуры бурового раствора: сначала – закачиваемого в бурильную колонну, затем – на выходе из скважины. Представлены расчеты выноса тепла циркулирующим буровым раствором в процессе бурения скважины. Оценивается тепловая мощность, доставляемая на земную поверхность. Подтверждено, что она может достигать сотен киловатт или даже незначительно превышать 1 МВт в зависимости от глубины бурения, типа разбуhrиваемых пород и их естественной температуры на рассматриваемой глубине. Показано, что оценка выноса тепла в процессе бурения глубокой нефтепоисковой скважины в пределах Припятского прогиба представляет как научный, так и практический интерес. Тепло, выделяющееся при бурении скважин, может быть использовано для практических нужд.

**Ключевые слова:** скважина; бурение скважины; буровой раствор; подземное тепло; скважинный теплообменник.

**Благодарность.** Авторы благодарят кандидата геолого-минералогических наук М. Д. Пархомова за помощь в проведении расчетов выноса тепла циркулирующим буровым раствором в процессе бурения скважины «Ново-Корневская-13» Припятского прогиба (Беларусь), а также за измерения объемной теплоемкости образца бурового раствора.

## Introduction

An idea to use underground heat resources more than once was suggested in individual publications since the very beginning of geothermal investigations in Belarus (the end of fifties and early sixties of the past century). Neither detail nor preliminary estimates of geothermal potential in the country was done except the general statement of the idea, based on the practice of foreign countries.

For instance as far back as in 1959 the idea was put forward to use thermal waters of the Narovlya borehole [1], in particular using the natural flow of oil to recover a heat and produce the electricity from installed vertical turbine at its mouth. It is known that in general the period of natural well flowing has rather short duration followed by the operating cycle using in most cases sucker-rod pumps.

No justification of economic efficiency, technologic methods of the recovery, a life cycle of the turbine at the fountain regime of the well, as well as estimates how much electricity could be produced and how to put the axe in the helve related to the problem of very high mineralization of brines contained in productive horizons were discussed.

From geothermal point of view the well in the process of its drilling represents a borehole heat exchanger, created by a drilling string put into the circular hole, formed by the drilling tool in the process of its rotation and deepening the wellbore. The drilling process is accompanied by simultaneous pumping the drilling mud under pressure (usually a clay mud) into a drilling string. This fluid is used to cool the drill bit heated in the process of disintegration (fraying) of rocks at the well bottom. It also evacuates detritus from a wellbore to the ground surface during the drilling with a mud circulation in the wellbore, which is necessary to prevent the steel sticking by the accumulating detritus.

The temperature of rocks increases in the process of deepening the borehole. In result the circulating mud along the wellbore not only ensures the lifting of cuttings of crushed rocks to the ground surface but also provides the heat efflux. It results in the fluid temperature increasing at the wellbore mouth relatively to its temperature pumped into the drilling string both due to growing temperature of drilled rocks at the well bottom and due to the additional heat produced by the drill bit itself originating from the disintegration of rocks.

The temperature at the well bottom in deep holes of the Pripyat Trough varies in a wide range approximately from 30–50 to 115–140 °C depending on geologic conditions. In this respect the location of the considered borehole within the trough plays an essential role. For instance, the temperature at comparable depths within the northern most warmed zone almost two times exceeds its values in the western and southern parts of this geologic unit.

Dozens of deep barren wells were drilled within the Pripyat Trough at studied structures outside the oil-water contacts which were later abandoned. They could be re-opened, repaired and used for a natural heat recovery [2]. Such an experiment to create the borehole heat exchanger was fulfilled in the deep abandoned well Berezinskaya-1, drilled at the end of sixties of the last century in the course of an oil exploration. It was plugged later. This experiment confirmed a possibility of the well utilization to create a borehole heat exchanger for recovery of the geothermal energy [3]. A task to produce the electricity then was not considered.

Drilling of deep boreholes is not practiced for scientific purposes to learn the recoverable resources of geothermal energy from hot horizons of the platform cover. We considered the possibility to study the heat efflux by drilling mud circulating in the drilled borehole which not only evacuated to the ground surface detritus but simultaneously provides the heat energy efflux. The drilling mud temperature data in the process of the borehole drilling is a primary source allowing estimating the heat efflux from the hole.

## Exploratory procedure and source data

*Testing technique.* A test subject of the investigation was the deep borehole «Novo-Korenevskaya-13» located in the northern part of the Pripyat Trough. It was in the drilling process at the moment when the experiment was undertaken.

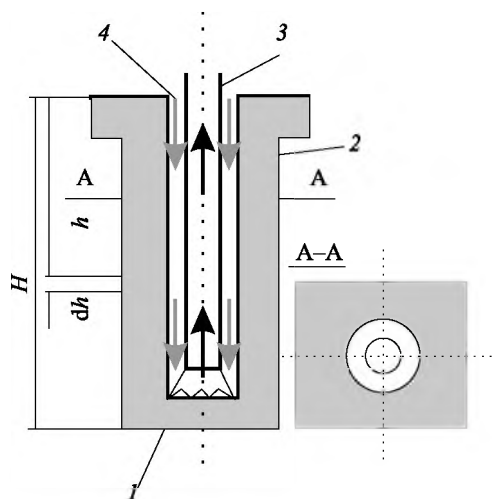


Fig. 1. Circulation diagram in a borehole heat exchanger [5 modified]:

1 – rocks; 2 – wellbore wall; 3 – drilling string;  
4 – direction of a drilling mud circulation (could be reversed);  $H$  – total hole depth;  $h$  – current depth;  
 $dh$  – depth increment

The test technique included: 1) temperature monitoring of the drilling mud in the process the borehole drilling. The well actually represented a borehole heat exchanger where the drilling fluid was pumped into the annular space (hole clearance) in between the drilling string and walls with its outflow from the drilling string of the drilled wellbore taking into account its withdrawal rate (fig. 1). From geothermal point of view it is possible in general to consider the reverse direction of the mud circulation in such borehole heat exchangers. This part of the field work was organized by the Mozyr Oil Exploration Expedition of the Republican Unitary Enterprise «Belgeologiya» in December of 2008; 2) laboratory analytical works to process results, received in the course of the field experiment.

The final test objective was to estimate the heat efflux in the drilling process of the deep borehole «Novo-Korenevskaya-13» by means of the mud temperature monitoring at its input and output of the circulation loop in a drilled borehole (see fig. 1).

Previous investigations show that the central and southern zones of the Pripyat Trough are characterized by lower heat flow and temperature values at same depths as compared with the northern and northeastern parts of the structure. Similar tendency of the geothermal field intensity in the central, southern and western parts of the trough as compared to its northern zone is also reflected in temperature distribution maps. Discussed results show a high

degree of the differentiation of the field geothermal parameters all over the Pripyat Trough territory [4].

In general case the heat removal from deep-seated rocks is usually realized by pumping out of mineral waters or brines contained in their pore space. A rapid grows of the mineralization with depth is a typical feature of underground fluids in deep horizons of the Pripyat Trough. For instance, it exceeds  $200\text{--}300\text{ g/dm}^3$  everywhere in the inter-salt deposits. It reaches up to  $400\text{--}420\text{ g/dm}^3$  in deep-seated sediments of the sub-salt complex. Pumping out of such brines from boreholes leads in their pressure and temperature reductions which results in a precipitation of salt crystals from brines and their sedimentation at walls of brine-raising pipes and shut-off-and-regulating elements which gradually plugs them.

## Execution environment during field works

The heat removal from deep horizons of the platform cover within the Pripyat Trough could be fulfilled both by pumping out of warm brines and by creating borehole heat exchangers. The heat efflux with pumped out brines from productive horizons takes place in the first case. But these brines must be returned into underground horizons after their cooling due to high salinity. The heat in the second case is removed by means of a different fluid like fresh water or drilling mud circulating through the borehole heat exchanger where a hydraulic connection of the circulating fluid in the heat exchanger to underground horizons typically is small or absent. This approach also permits to remove the heat from impermeable rocks which don't contain fluids. For instance such as hot rocks of the crystalline basement, layers of rock salts, as well as other impermeable sediments could belong to them.

Situations with pumping out of highly mineralized brines for the terrestrial heat removal have a limited extent. For example, a warm brine with dissolved chemicals around  $70\text{ g/dm}^3$  and the temperature of  $39\text{ }^{\circ}\text{C}$  at outlets of two producing wells at the Klaipeda geothermal station, Lithuania is pumped out and supplied to feed four absorption heat pumps. It was returned to the underground horizon after heat removal by heat pumps with the projected temperature of  $11\text{ }^{\circ}\text{C}$ . A heat output at the moment of its commissioning was  $35\text{ MW}_{\text{th}}$  (of which geothermal part was  $13.6\text{ MW}_{\text{th}}$ ) [6]. After a few years of its exploitation an intake capacity of two absorption wells was reduced. The analysis showed that at the temperature of  $11\text{ }^{\circ}\text{C}$  crystals of gypsum were precipitating and gradually mudding adjoining bottom hole regions of absorption wells. It resulted in decreasing of their productivity. After the problem was understood, the temperature of injected brines was increased to  $18\text{ }^{\circ}\text{C}$

at which the gypsum doesn't precipitate of the brine and now the station operates only during the heating season. It resulted in the reduction of its heat power more than two times [6].

Another example of geothermal brines utilization is the geothermal station «Neustadt Glewe» located in between Berlin and Hamburg towns in Germany. Concentrated brines with the mineralization of 220 g/dm<sup>3</sup> are pumped out from a productive horizon. Their geothermal energy is recovered partly to support the temperature of a fluid returned to the original horizon around 50 °C to prevent the precipitation of salt crystals from brines. In addition a small binary-cycle installation to produce electricity was also put into operation at this station. Its electric power is 230 kW<sub>e</sub> [7].

The second method of a heat removal, mentioned above, uses the scheme of a heat exchanger (annular tube system) at which into a casing pipe put without a filter till the well bottom, another water-raising pipe assembled, for instance of a tubing string. Fresh water is pumped into the annular space which reaches the well bottom and then it returns inside a water-raising pipe to the ground surface. Being warmed by the heat from rocks and raising inside the central pipe, it provides the heat efflux to the well mouth, which supplies this heat to the primary circulating contour of a heat pump. The reverse circulation scheme in the borehole heat exchanger is also acceptable.

### Geothermal measurements in the Novo-Korenevskaya-13 borehole

The well was in a drilling process before the beginning of the experiment. Its drilling was stopped at the currents well bottom of 2895 m and during 7.5 days there was no a drilling mud circulation. Then the thermogram was recorded along the whole wellbore. It allowed calculating the geothermal gradient distribution. Results of the temperature measurements are shown in table 1. The average geothermal gradient within the depth interval of 550–2895 m was 13.4 mK/m.

Table 1

Temperature distribution along the wellbore of the Novo-Korenevskaya-13 borehole

| Depth, m | Temperature, °C | Depth, m | Temperature, °C | Depth, m | Temperature, °C | Depth, m | Temperature, °C |
|----------|-----------------|----------|-----------------|----------|-----------------|----------|-----------------|
| 50       | 9.38            | 800      | 25.1            | 1550     | 33.57           | 2300     | 43.11           |
| 100      | 13.93           | 850      | 26.41           | 1600     | 34.07           | 2350     | 43.58           |
| 150      | 16.1            | 900      | 27.27           | 1650     | 34.58           | 2400     | 43.92           |
| 200      | 17.04           | 950      | 27.32           | 1700     | 35.07           | 2450     | 44.23           |
| 250      | 17.18           | 1000     | 27.84           | 1750     | 35.82           | 2500     | 44.27           |
| 300      | 17.21           | 1050     | 28.31           | 1800     | 36.34           | 2550     | 45.2            |
| 350      | 18.57           | 1100     | 28.92           | 1850     | 37.11           | 2600     | 45.9            |
| 400      | 19.08           | 1150     | 29.84           | 1900     | 38.28           | 2650     | 46.25           |
| 450      | 19.08           | 1200     | 30.4            | 1950     | 39.09           | 2700     | 46.2            |
| 500      | 19.62           | 1250     | 30.75           | 2000     | 40.06           | 2750     | 46.89           |
| 550      | 20.34           | 1300     | 31.1            | 2050     | 40.9            | 2800     | 49.02           |
| 600      | 21.54           | 1350     | 31.73           | 2100     | 41.16           | 2850     | 49.63           |
| 650      | 22.43           | 1400     | 32.2            | 2150     | 41.75           | 2895     | 51.75           |
| 700      | 23.34           | 1450     | 32.55           | 2200     | 42.12           | –        | –               |
| 750      | 24.34           | 1500     | 33.12           | 2250     | 42.58           | –        | –               |

The thermogram recorded after 7.5 days of a quiescent mode of the well is shown in fig. 2. The diagram shape demonstrates that the quiescent time of the drill hole was not enough to buildup the thermal field of surrounding the wellbore rocks distorted by the drilling process after the drilling was stopped during 7.5 days only. For instance the curve itself is not smooth enough, there are wavy peaks not typical for other boreholes drilled within the same crustal block.

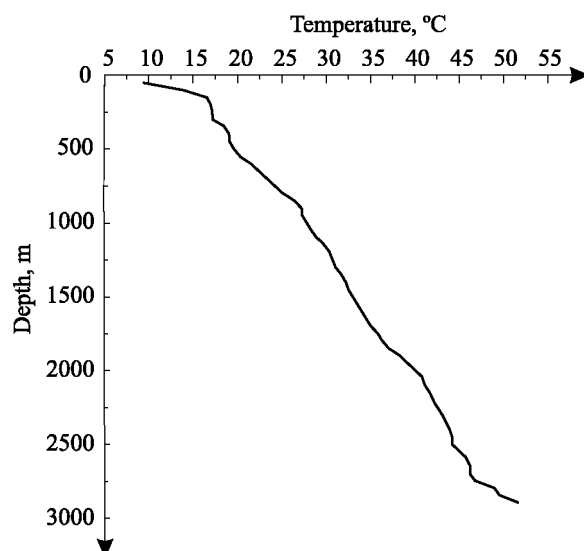


Fig. 2. Thermogram of the Novo-Korenevskaya-13 borehole after 7.5 days of a quiescent mode

A convolution of the diagram both in its upper and lower parts is an attribute typical for the thermal equilibrium absence between the wellbore and surrounding rocks. The thermogram extrapolation to the ground surface corresponds around 14–15 °C but it should approach approximately to the mean annual temperature of the local place which is 9–10 °C. In result it also confirms the fact that the thermal equilibrium in the borehole disturbed by the circulating drilling mud was not reached yet (fig. 2).

### Results of the field experiment

The drilling process includes a number of alternate drilling and round-trips to lift the drill core or a well shutdown to fulfill borehole logging. A test to estimate the heat efflux from the Novo-Korenevskaya-13 well was fulfilled in the period from 22<sup>nd</sup> till 24<sup>th</sup> December, 2008. Periodic temperature measurements were organized at the inflow of a drill mud into the drilling string and its outflow from the borehole during the process of its circulation in the borehole (table 2). A special meter to record the circulation velocity of a drilling fluid was not used. Instead of it we accepted the discharge parameter from the pump delivery which was 18 dm<sup>3</sup>/s. The air temperature was varying from –3 till –5 °C. At the night time the drilling was stopped and a round-trip was fulfilled. The depth to the well bottom of the drilled hole was changed during the experiment time from 2790 to 2800.5 m. The maximal temperature of the drilling mud at its outflow from the annular space reached 28.5 °C and the temperature of the fluid pumped into the drilling string was 3–5 °C.

Table 2

Temperature variation of the drilling mud at the inflow into the drilling string and its outflow from the well

| Data       | Time, h and min  | Drilling mud temperature at its inflow into the well, °C | Drilling mud temperature at its outflow from the well, °C | Current well bottom, m |
|------------|------------------|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------|
| 22.12.2008 | 19 <sup>00</sup> | 3                                                        | 20                                                        | 2790                   |
|            | 20 <sup>00</sup> | 3                                                        | 25                                                        | 2790.4                 |
|            | 21 <sup>00</sup> | 5                                                        | 27                                                        | 2790.8                 |
|            | 22 <sup>00</sup> | 5                                                        | 27.5                                                      | 2791.4                 |
|            | 23 <sup>00</sup> | 5.5                                                      | 27.5                                                      | 2791.6                 |
|            | 24 <sup>00</sup> | 5.5                                                      | 27.5                                                      | 2792                   |
| 23.12.2008 | 1 <sup>00</sup>  | 5.5                                                      | 27.5                                                      | 2792.5                 |
|            | 2 <sup>00</sup>  | 5.5                                                      | 27.5                                                      | 2793                   |
|            | 3 <sup>00</sup>  | 5.5                                                      | 27.5                                                      | 2793.6                 |
|            | 5 <sup>00</sup>  | 5.5                                                      | 27.5                                                      | 2794                   |
|            | 7 <sup>00</sup>  | 5                                                        | 28                                                        | 2795                   |
|            | 9 <sup>00</sup>  | 5                                                        | 28                                                        | 2796                   |



Ending table 2

| Data              | Time, h and min  | Drilling mud temperature at its inflow into the well, °C | Drilling mud temperature at its outflow from the well, °C | Current well bottom, m |
|-------------------|------------------|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------|
| <i>Round-trip</i> |                  |                                                          |                                                           |                        |
| 24.12.2008        | 1 <sup>00</sup>  | 5                                                        | 12                                                        | 2798                   |
|                   | 2 <sup>00</sup>  | 5.5                                                      | 23                                                        | 2798.5                 |
|                   | 4 <sup>00</sup>  | 5.5                                                      | 27                                                        | 2799                   |
|                   | 6 <sup>00</sup>  | 6                                                        | 27.5                                                      | 2799.5                 |
|                   | 8 <sup>00</sup>  | 5.5                                                      | 28                                                        | 2800                   |
|                   | 10 <sup>00</sup> | 5                                                        | 28.5                                                      | 2800.5                 |

As it was mentioned, the process of the borehole deepening includes alternating actions on its drilling and interruption to lift core samples, organize borehole logging, round-trip operations, etc. The temperature variation diagrams at the inflow of the drilling mud into the drilling string and its outflow from the annular space is shown in fig. 3.

The drilling fluid temperature pumped into the borehole was changed during the experiment from 3 to 5.5 °C and it varied at the outflow from 20 to 28.5 °C. After 2 h of the drilling process the mud circulation, its temperature at the outflow from the annular space was stabilized and varied in a narrow interval of 27–28 °C. After 14 h from of the experiment beginning of 23<sup>rd</sup> December 2008 the drilling was stopped and round-trip operations were started at night time (1<sup>00</sup>). Temperature measurements were not fulfilled during this period of time. The drilling fluid temperature at 1<sup>00</sup> (24.12.2008) dropped to 12 °C, which is shown by a negative peak at the upper curve. After the drilling mud circulation was resumed, the temperature returned to its previous values of 27–28 °C rather soon when the fluid temperature pumped into the drilling string was remaining practically same 5–6 °C. This standing period in the well drilling was not taken into account in calculations of the thermal power efflux from the borehole.

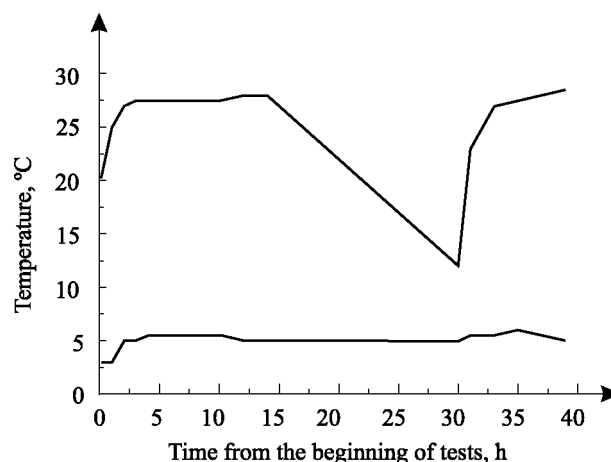


Fig. 3. Temperature variation diagrams at the inflow of the drilling mud into the drilling string (lower curve) and its outflow from the annular space (upper curve)

### Heat efflux during the well drilling

Heat efflux at the time interval  $i$  between two temperature readings from thermometers for the drilling mud inflow into a borehole and its outflow  $Q_i$  [J] is a product of a volumetric heat capacity  $C_p$  [J/(m<sup>3</sup>·K)], multiplied by the drilling mud volume  $V_i$  [m<sup>3</sup>/s], pumped through the borehole heat exchanger (BHE) during the time unit,  $\Delta T_i$  [K] – is the temperature difference between its values at the inflow of the fluid into the BHE and its outflow,  $t_i$  [s] – the pumping time interval.

$$Q_i = C_p \cdot \Delta T_i \cdot V_i \cdot t_i. \quad (1)$$

General heat efflux of the heat exchanger [J] during the test time  $t$  will be:

$$Q = \sum_{i=1}^n Q_i = \sum_{i=1}^n (C_p \cdot \Delta T_i \cdot V_i \cdot t_i). \quad (2)$$

A specific heat capacity of a drilling mud was not measured during the well drilling. It is known that a heavy spar (barite) was used for weighting of the drilling mud. During calculations a simplified assumption was accepted that fresh water was circulating through the drilling string instead of a real drilling fluid, afterwards we shall apply a correction for a volumetric heat capacity of the clay drilling mud, it differs of the heat capacity of the fresh water.

The specific heat capacity of fresh water depends insignificantly of temperature [8] (fig. 4). Its minimal values at the fresh water density of 1000 kg/m<sup>3</sup> is in the range of 30–50 °C and at a room temperature it is  $4.18 \cdot 10^6$  J/(m<sup>3</sup>·°C).

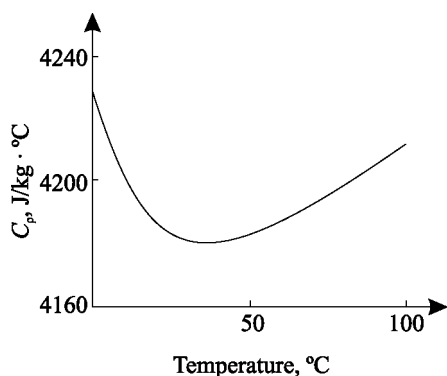


Fig. 4. Relationship of the specific heat of water from temperature

As indicated, during our experiment the fluid temperature at the outflow from the BHE reached 27–28,5 °C. From fig. 4 it follows that for the considered temperature range we can accept the value of  $C_p = 4,18 \cdot 10^6$  [J/(m<sup>3</sup> · °C)].

Results of calculations using relationships (1) and (2) are shown in table 3. Temperature values at the input of the borehole heat exchanger for each time interval are accepted as an arithmetic mean from their values at the beginning and the end of the considered time interval. The same approach was also used to determine the mean temperature at the fluid outflow from the drilled borehole.

It was assumed that the volumetric heat capacity of the fluid remains constant  $C_p = 4,18 \cdot 10^6$  [J/(m<sup>3</sup> · °C)] during the experiment. Calculations were fulfilled for the first 14 hours since the beginning of the temperature registration during a process of continuing drilling of the borehole and the permanent rate of the hole washing by the drilling fluid equal to 18 dm<sup>3</sup>/s.

Table 3

Estimation of the efflux of thermal power by drilling fluid during the well drilling process at  $C_p = 4,18 \cdot 10^6$  [J/(m<sup>3</sup> · °C)]

| Time intervals, $i$                                                                                                          | Drilling mud temperature, °C |                   | $\Delta T$ , °C | Pumping rate, m <sup>3</sup> /s                                                | Interval duration, s | $Q_i$ , J      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|-------------------|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------|----------------------|----------------|
|                                                                                                                              | At the BHE input             | At the BHE output |                 |                                                                                |                      |                |
| Drilling operations 22 <sup>nd</sup> December, 2008 at the fluid pumping rate 18 dm <sup>3</sup> /s (64,8 m <sup>3</sup> /h) |                              |                   |                 |                                                                                |                      |                |
| 1 (19 <sup>00</sup> – 20 <sup>00</sup> )                                                                                     | 3.0                          | 22.5              | 19.5            | 0.018                                                                          | 3600                 | 5 281 848 000  |
| 2 (20 <sup>00</sup> – 21 <sup>00</sup> )                                                                                     | 4.0                          | 26.0              | 22.0            | 0.018                                                                          | 3600                 | 5 959 008 000  |
| 3 (21 <sup>00</sup> – 22 <sup>00</sup> )                                                                                     | 5.0                          | 27.25             | 22.25           | 0.018                                                                          | 3600                 | 6 026 724 000  |
| 4 (22 <sup>00</sup> – 23 <sup>00</sup> )                                                                                     | 5.25                         | 27.5              | 22.25           | 0.018                                                                          | 3600                 | 6 026 724 000  |
| 5 (23 <sup>00</sup> – 24 <sup>00</sup> )                                                                                     | 5.5                          | 27.5              | 22.0            | 0.018                                                                          | 3600                 | 5 959 008 000  |
| Drilling operations 23 <sup>rd</sup> December, 2008 at the fluid pumping rate 18 dm <sup>3</sup> /s (64,8 m <sup>3</sup> /h) |                              |                   |                 |                                                                                |                      |                |
| 6 (0 <sup>00</sup> – 1 <sup>00</sup> )                                                                                       | 5.5                          | 27.5              | 22.0            | 0.018                                                                          | 3600                 | 5 959 008 000  |
| 7 (1 <sup>00</sup> – 2 <sup>00</sup> )                                                                                       | 5.5                          | 27.5              | 22.0            | 0.018                                                                          | 3600                 | 5 959 008 000  |
| 8 (2 <sup>00</sup> – 3 <sup>00</sup> )                                                                                       | 5.5                          | 27.5              | 22.0            | 0.018                                                                          | 3600                 | 5 959 008 000  |
| 9 (3 <sup>00</sup> – 5 <sup>00</sup> )                                                                                       | 5.5                          | 27.5              | 22.0            | 0.018                                                                          | 7200                 | 11 918 016 000 |
| 10 (5 <sup>00</sup> – 7 <sup>00</sup> )                                                                                      | 5.25                         | 28.0              | 22.75           | 0.018                                                                          | 7200                 | 12 324 312 000 |
| 11 (7 <sup>00</sup> – 9 <sup>00</sup> )                                                                                      | 5.0                          | 28.0              | 23.0            | 0.018                                                                          | 7200                 | 12 459 744 000 |
| Total                                                                                                                        |                              |                   |                 |                                                                                | 50400                | 83 832 408 000 |
| Average heat power of the heat exchanger                                                                                     |                              |                   |                 | 83 832 408 000 : 50 400 = 1 663 341.43 [J/s] =<br>= 1, 66 [MW <sub>th</sub> ]. |                      |                |

### Brief analysis of the operation of a borehole heat exchanger

A heat exchange between the rock massif and the wellbore has a complex character due to a number of factors: rock stratification of different mineralogical-and-lithologic section exposed by the well, different thermal and hydrodynamic properties (porosity, filtration factor, permeability, etc.), temperature and geothermal gradient for each depth interval, wellbore geometry, casing pipe and flow tubing designs, rate of the drilling fluid pumping, etc. Sometimes it is rather difficult to take all them into account.

A real borehole trajectory has the deviation both from the vertical and azimuth. Consequently, the wellbore represents a mine working described in three dimensions. In general case the analytical solution for heat transfer processes in such objects are absent. In general the problem is described by three dimensional partial differential equations. Their solution is possible by rather complex analytic expressions only for individual tasks under a number of simplifications.

The transitional regime takes place during a borehole drilling at which at least two mechanisms of heat transfer exist simultaneously. The prevailing mechanism is a convective one in the wellbore due to a drilling mud circulation. At the same time a conductive heat flow takes place into the wellbore from surrounding rocks

or vice versa. When exposing the formation intervals of permeable rocks the problem is complicating by lateral convective heat exchange between the formation fluid and the wellbore due to the inflow of formation liquids into the well, or a drilling mud filtration into porous or fractured reservoirs in separate intervals of geologic section.

As it was shown in table 3, the heat power produced by a borehole heat exchanger, was calculated under the condition of a fresh water circulation inside it, which exceeds  $1.66 \text{ MW}_{\text{th}}$  with the flow rate of  $18 \text{ dm}^3/\text{s}$  ( $64.8 \text{ m}^3/\text{h}$ ). In addition it is necessary to mention that the contribution to heat recovery takes place due to three main components: 1) heat transfer by conduction into the wellbore from impermeable warm rocks and by conduction and convection from porous rocks; 2) heat generation produced by drill bit resulted from disintegration of rocks at the well bottom hole; 3) heat produced by a friction of the rotating drilling string at walls of the wellbore.

It is necessary to consider the calculated results on the heat efflux from the borehole in drilling only as a possible upper limit of the heat efflux from the BHE. Drilling mud sampling was not done during the time of the experiment and its volumetric capacity was not measured. Later a drilling fluid sample was taken from the different drilled borehole «Shatilki-15» with similar fluid density, but without using barite for weighting of the drilling mud. Laboratory measurements, fulfilled by PhD M. D. Parkhomov, showed that its volumetric heat capacity comprises 0.9 of the respective value for fresh water. It allowed applying a correction to the calculated heat power –  $1.66 \text{ MW}_{\text{th}}$ . Then the corrected value comprised  $1.66 \cdot 0.9 = 1.49 \text{ MW}_{\text{th}}$ . It is assumed that taking into account of the barite influence could result in subsequent reduction of this heat power value to approximately  $1.2\text{--}1.3 \text{ MW}_{\text{th}}$ .

Results received during the experiment are in a good agreement with data of Russian researchers which used two or three times lower fluid circulation rates [9] when testing the Medyaginskaya well (heat power was  $190 \text{ kW}_{\text{th}}$  at the pumping rate of  $23 \text{ m}^3/\text{h}$ ), the Danilovskaya-11 borehole (heat power was  $290 \text{ kW}_{\text{th}}$  at the circulation rate of  $23 \text{ m}^3/\text{h}$ ) as well as the Tymauzskaya well –  $600 \text{ kW}_{\text{th}}$  at the rate of  $33 \text{ m}^3/\text{h}$ ). When increasing the circulation rate to  $64.8 \text{ m}^3/\text{h}$ , which we had in the experiment, the heat power could reach or slightly exceed  $1 \text{ MW}_{\text{th}}$ . Then it will be purely comparable with the data received for the Novo-Korenevskaya-13 borehole. On the other hand, the authors in their paper [9] indicate that, when using a thermal insulating tubing, the heat power can also approach to  $1 \text{ MW}_{\text{th}}$ .

A field experiment was organized earlier in Belarus to create a borehole heat exchanger on the basis of the abandoned well Berezinskaya-1 located in the northern zone of the Pripyat Trough at the bank of the Berezina River [3]. Its wellbore was accessible till the depth of 1849 m, where the temperature raised to  $55^\circ\text{C}$ . Several tests were undertaken with different pumping rates through the borehole heat exchanger. A closed loop was used where fresh water was circulating through the BHE into a high-capacity tank vessel and returned again into the BHE. Other tests were organized where an open loop for water circulation was used (river – BHE – river). It was shown that when pumping the river water the thermal power of the BHE was approaching to  $100 \text{ kW}_{\text{th}}$  at much lower flow rate of  $5\text{--}10 \text{ m}^3/\text{h}$ . The inner pipe of the BHE in this test had no thermal insulation [3].

A number of other factors, which is difficult to take into account when drilling a well, influence a heat exchange within it such as periodic interruptions in drilling due to technology of these operations followed by resumed drilling mud circulation; heat exchange between circulating fluid in opposite directions inside the central pipe and in the annular space, as well as the surrounding the wellbore rocks of cased or uncased hole; its eccentricity, caused by features of a drilling string behavior in rocks, which results in its thermal contact with wellbore walls at separate intervals of the depth; variable heat dissipation along the wellbore walls and the drilling string; variable value along the depth of a heat transfer from rocks to the drilling mud due to design features of the well; pulling of drill string leads to the drilling mud agitation, which disturbs the temperature equilibrium inside the well; annular water circulation entering a well from exposed by drilling water-bearing layers, as well as other exothermal and endothermal processes. These processes lead to alternate directions of the heat flow between rocks and the drilling mud at different depth intervals.

The thermal power depends to different extent on a number of accountable factors in calculations such as: fluid temperature values at the input and output of the borehole heat exchanger, its pumping rate through the drilled well, as well as the circulation direction inside it (pumping into a central pipe, or into the annular space formed by the drilling string and the wellbore walls). The assessment of a heat production component resulted from the drilling string friction on walls of a wellbore leading in an increasing of the total thermal power, delivered by the drilling mud to the ground surface, is complicated due to variability of the actual wellbore geometry, hence the variable parameters of the string friction on walls within each of layers comprising the geologic section. The approaches for assessment of these components of the heat efflux require a separate thermal field consideration for each of drilled wells [10]. According to available information the final recovery of the geothermal state of rocks disturbed by drilling will require the period, exceeding 10–20 times the real drilling time [11].

## Conclusions

The practical use of geothermal energy from interiors is based on the heat recovery from a rock massif or underground waters as a natural heat carrier. Temperature of sediments is the main key parameter which influences the resources of geothermal energy. An extraction of geothermal energy by means of pumping out of hot brines is complicated due to their high mineralization.

Results of the field experiment on heat efflux from the real drilled well «Novo-Korenevskaya-13» during the circulation of a drilling mud were processed and discussed in the paper. It was shown that the estimated thermal power of the BHE could exceed  $1 \text{ MW}_{\text{th}}$  at the pumping rate of  $18 \text{ dm}^3/\text{s}$  ( $64.8 \text{ m}^3/\text{h}$ ).

In principle it was shown a real possibility to recover the ground heat and its utilization by creating a geothermal installation on the basis of heat exchangers in those deep boreholes within the territory of the Pripyat Trough which didn't confirm the discovery of oil-fields. Produced heat could be used for heating and warm water supply for different consumers or used for other technologic processes.

## Библиографические ссылки

1. Богомолов Г. В. Некоторые данные о геотермических условиях территории Белорусской ССР и прилегающих районов // Проблемы геотермии и практического использования тепла Земли : тр. Первого Всесоюзного совещ. по геотермал. исслед. (Москва, март 1956 г.) : в 2 т. / редкол.: В. И. Влодавец [и др.]. М., 1959. Т. 1. С. 240–243.
2. Подземные «котельные» / В. И. Зуй [и др.] // Народ. хоз-во Белоруссии. 1987. № 6. С. 13.
3. Зуй В. И., Грибик Я. Г., Сусленко А. Л. Опытные работы по созданию теплообменника в скважине Березинская-1 Припятского прогиба // Проблемы региональной геологии Беларуси : IV университет. геолог. чтения, посв. 15-летию кафедры динамич. геологии БГУ (Минск, 2–3 апр. 2010 г.). Минск, 2010. С. 69–70.
4. Зуй В. И. Тепловое поле платформенного чехла Беларуси. Минск, 2013.
5. Kujawa T., Nowak W. Thermal calculations of geothermal heat utilizing one-well systems with both injection and production // Proc. of the World Geotherm. Cong. 2000 (Kyushu – Tohoku, Japan, May 28 – June 10, 2000). Kyushu – Tohoku, 2000. P. 3483–3488.
6. Geothermal Energy Use in Lithuania / F. Zinevicius // Proc. of the World Geotherm. Congr. 2015 (Melbourne, Australia, 19–25 April, 2015). P. 1–11 (CD-ROM).
7. Sanner B. Geothermal Power Generation // Renewable Energy Europe : Europ. Geotherm. Energy. Counc. (Madrid, June 26–28, 2007). Brussels, 2007. P. 1–12.
8. Кошкин Н. И., Ширкевич М. Г. Справочник по элементарной физике. М., 1976.
9. Калинин М. И., Баранов А. В. Метод расчета глубинных теплообменников для односкважинной технологии геотермального теплоснабжения // Разведка и охрана недр. 2003. № 6. С. 53–60.
10. Проселков Ю. М. Теплопередача в скважинах. М., 1975.
11. Щербань А. Н., Черняк В. П. Прогноз и регулирование теплового режима при бурении глубоких скважин. М., 1974.

## References

1. Bogomolov G. V. Nekotorye dannye o geotermicheskikh usloviyakh territorii Belorusskoi SSR i prilegayushchikh raionov [Certain data on geothermal conditions within the territory of the Belarusian SSR and adjoining regions]. *Problemy geotermii i prakticheskogo ispolzovaniya tepla Zemli* : tr. Pervogo Vsesoyuznogo soveshch. po geoterm. issled. (Moscow, March, 1956) : in 2 vol. Mosc., 1959. Vol. 1. P. 240–243 (in Russ.).
2. Zui V. I., Tsalko P. B., Atroshchenko P. P., et al. Podzemnye «kotel'nye» [Underground «boiler-houses»]. *Nar. khoz-vo Beloruss.* 1987. No. 6. P. 13 (in Russ.).
3. Zui V. I., Gribik Y. G., Suslenko A. L. Opytnye raboty po sozdaniyu teploobmennika v skvazhine Berezinskaya-1 Pripyatskogo progiba [Experimental works on the creation of a heat exchanger in the Berezinskaya-1 well of the Pripyat Trough]. *Problemy regional'noi geologii Belarusi* : IV univ. geol. chteniya, posvyashchennye 15-letiyu kafedr. din. geol. BGU. (Minsk, 2–3 April, 2010). Minsk, 2010. P. 69–70 (in Russ.).
4. Zui V. I. Teplovoye pole platformennogo chekhla Belarusi [Geothermal field of the platform cover of Belarus]. Minsk, 2013 (in Russ.).
5. Kujawa T., Nowak W. Thermal calculations of geothermal heat utilizing one-well systems with both injection and production. *Proc. of the World Geotherm. Congr. 2000* (Kyushu – Tohoku, Japan, 28 May – 10 June, 2000). Kyushu – Tohoku, 2000. P. 3483–3488.
6. Zinevicius F., Sliupa S., Mazintas A., et al. Geothermal Energy Use in Lithuania. *Proc. of the World Geotherm. Congr. 2015* (Melbourne, Australia, 19–25 April, 2015). P. 1–11 (CD-ROM).
7. Sanner B. Geothermal Power Generation. *Renewable Energy Europe*: Eur. Geotherm. Energ. Counc. (Madrid, 26–28 June, 2007). Brussels, 2007. P. 1–12.
8. Koshkin N. I., Shirkevich M. G. Spravochnik po elementarnoi fizike [Handbook on Elementary Physics.] Mosc., 1976 (in Russ.).
9. Kalinin M. I., Baranov A. V. Metod rascheta glubinykh teploobmennikov dlya odnoskvazhinnoi tekhnologii geotermal'nogo teplosnabzheniya [Method to calculate deep heat exchangers for one-well technology of geothermal heat supply]. *Razved. i okhr. nedr.* 2003. No. 6. P. 53–60 (in Russ.).
10. Proselkov Y. M. Teploperedacha v skvazhinakh [Heat transfer in boreholes]. Mosc., 1975 (in Russ.).
11. Shcherban' A. N., Chernyak V. P. Prognoz i regulirovanie teplovogo rezhima pri burenii glubokikh skvazhin [Prognosis and management of thermal regime during drilling of deep boreholes]. Mosc., 1974 (in Russ.).



### **МЕЖВУЗОВСКИЙ СЕМИНАР «СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ В XXI ВЕКЕ: РЕГИОНАЛЬНОЕ РАЗВИТИЕ», ПОСВЯЩЕННЫЙ 125-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ ПРОФЕССОРА А. А. СМОЛИЧА**

### **INTERUNIVERSITY SEMINAR «SOCIAL AND ECONOMIC GEOGRAPHY OF THE XXI CENTURY: REGIONAL DEVELOPMENT» DEVOTED TO THE 125<sup>th</sup> ANNIVERSARY FROM PROFESSOR A. A. SMOLICH BIRTH**

На географическом факультете Белорусского государственного университета 17–18 ноября 2016 г. состоялся межвузовский семинар «Социально-экономическая география в XXI веке: региональное развитие», посвященный 125-летию со дня рождения профессора А. А. Смолича.

В торжественном открытии семинара приняли участие председатель оргкомитета, декан географического факультета БГУ доктор географических наук Д. Л. Иванов; сопредседатель, заведующая кафедрой экономической географии зарубежных стран БГУ доктор географических наук, профес-

сор Е. А. Антипова; сопредседатель, заведующий кафедрой экономической географии Беларуси и государств Содружества БГУ кандидат географических наук, доцент Г. З. Озем; заведующая Литературным музеем Максима Богдановича М. М. Запартыко.

Работа первого дня семинара включала в себя пленарное, а также секционные заседания по следующим темам: «Научное наследие А. А. Смолича»; «Демографическое развитие и социально-демографические риски регионов и стран в условиях глобализации»; «Геоэкологические аспекты



стратегии устойчивого развития»; «Современные структурные и территориальные сдвиги в развитии мирового хозяйства и туризма»; «Инновационные факторы социально-экономического развития Беларуси и ее регионов»; «Природно-ресурсный потенциал регионов и стран как фактор устойчивого развития».

К межвузовскому семинару было приурочено торжественное открытие мемориального кабинета экономической географии Беларуси имени профессора А. А. Смолича (ул. Ленинградская, 16, к. 203), где присутствует биографическая информация, размещаются работы ученого, а также установлено современное оборудование. Сотрудники кафедры экономической географии Беларуси и государств Содружества подготовили стенд с фотоматериалами семьи, рабочими тетрадями, документами и письмами А. А. Смолича, который был собран по материалам фонда Литературного музея Максима

Богдановича при непосредственной помощи заведующей музеем М. М. Запартыко.

Во время второго дня состоялась учебная экскурсия на тему «Развитие местной промышленности в регионах Беларуси: прошлое, реалии и перспективы» (маршрут по центральной Беларуси).

В семинаре приняли участие более 40 докладчиков из ведущих университетов и научно-исследовательских институтов Беларуси, а также из Смоленского университета искусств и Смоленского государственного университета.

Научные результаты были опубликованы в сборнике рефератов семинара. Все участники мероприятия получили сертификаты об участии.

*Е. А. Антипова,*  
доктор географических наук, профессор

*Г. З. Озем,*  
кандидат географических наук

---

---

# РЕЦЕНЗИИ

---

## REVIEWS

---

---

**Метаморфозы в пространственной организации мировой экономики в начале XXI века** / под ред. проф. И. А. Родионовой. М., 2016. 296 с.

**Metamorphosis in the spatial organization of the world economy at the beginning of the XXI century** / ed. by prof. I. A. Rodionova. Mosc., 2016. 296 p.

Начало XXI в. в развитии мирового хозяйства характеризуется рядом черт, обладающих трансформационными свойствами. Это обусловлено комплексом как глобальных, так и локальных факторов. Под их влиянием изменяется не только сложившаяся пространственная картина мировой экономики, но и ее отраслевая структура, формируется глобальный экономический ландшафт нынешнего века. Ответить на очередные вызовы социально-экономического развития человечества и создать новый географический образ мировой экономики призвана монография «Метаморфозы в пространственной организации мировой экономики в начале XXI века», изданная под редакцией профессора кафедры региональной экономики и географии Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет дружбы народов» (Москва) доктора географических наук, профессора И. А. Родионовой.

Монография состоит из четырех глав. В первой из них рассматриваются основные тренды развития глобального экономического ландшафта. К числу главных вопросов, которые авторы затрагивают в этой главе, следует отнести асимметрии и вызовы глобального развития, модели пространственного развития и формирования локальных систем промышленного типа, приоритеты географических исследований современной организации мирового хозяйства, факторы территориальной неравномерности распространения информационно-коммуникационных технологий, перекосы социально-экономического развития в различных странах и подходы к оценке бедности, а также ряд других.

Вторая глава затрагивает вопросы пространственных векторов мирового индустриального развития. Научный интерес вызывают разделы, посвященные изменениям в пространственной организации производства высокотехнологичных отраслей промышленности в различных регионах, трендам развития и пространственным сдвигам в электроэнергетике стран Европы, анализу территориальной цельности мирового алмазно-бриллиантового комплекса, преобразованиям в сфере фармацевтической промышленности в европейском регионе.

Особую значимость в условиях глобализации приобретают исследования структурных изменений, произошедших на постсоветском пространстве, которым посвящена третья глава монографии. Авторы поднимают такие актуальные вопросы, как эволюция форм пространственной организации экономической деятельности и инновационного развития в России, смена функций и проблемы развития трансграничных регионов, анализ освоения Русского Севера и др. Ряд статей посвящены вопросам социально-демографического развития Казахстана, оценке уровня экономического развития и конкурентоспособности его регионов.

В заключительной главе представлены три работы известных ученых из России, Польши и Казахстана, исследовавших роли и функции городов в новом геоэкономическом пространстве.

В подготовке монографии приняли участие ученые и экономикогеографы из ведущих учреждений высшего образования и научно-исследовательских институтов России, Казахстана, Беларуси и Польши.

Монография имеет высокую степень научной новизны, поскольку ее разделы формируют новые теоретико-методологические подходы и актуальный географический образ мировой экономики XXI в. Наряду с этим содержание данной работы не позволяет оставаться в стороне от практико-ориентированных проблем территориального планирования России и ее регионов, развития

процессов кластеризации и современных форм территориальной организации инновационных видов экономической деятельности.

Научная монография предназначена для широкого круга читателей, в числе которых специалисты в области глобальной экономики и мирового хозяйства. Материалы монографии будут чрезвычайно полезны социологам, экономикогеографам, политологам, научным работникам и представителям бизнес-сектора, а также могут быть задействованы в учебном процессе учреждений высшего образования.

Белорусская школа социально-экономической географии выражает слова глубокой признательно-

сти и благодарности российским авторам, и прежде всего профессору И. А. Родионовой, за возможность представить результаты своей научно-исследовательской деятельности в монографии и использовать оригинальные исследования в области мировой экономики в учебном процессе в Республике Беларусь, что позволит повысить уровень экономико-географической культуры в нашей стране.

*Е. А. Антипова,*  
доктор географических наук, профессор

*К. К. Красовский,*  
доктор географических наук, профессор



## АННОТАЦИИ ДЕПОНИРОВАННЫХ В БГУ РАБОТ INDICATIVE ABSTRACTS OF THE PAPER DEPOSITED AT BSU

*УДК 91:378.016(476)(06)+91(476)(092)Рылюк Г.Я.(06)*

**Вклад Г. Я. Рылюка в развитие географических наук: (к 80-летию со дня рождения)** [Электронный ресурс] : материалы унив. науч. чтений (Минск, 1 окт. 2016 г.) / под ред. Я. К. Еловичевой ; БГУ. Электрон. текстовые дан. Минск, 2016. 37 с. : фото. Библиогр.: с. 9–12. Режим доступа: <http://elib.bsu.by/handle/123456789/158812>. Загл. с экрана. Деп. 17.10.2016, № 007017102016.

Сборник материалов университетских научных чтений включает основные даты жизни и деятельности, выступления на юбилейных чтениях в честь 80-летия со дня рождения профессора, кандидата географических наук Георгия Яковлевича Рылюка. Приводится список научных работ и учебных пособий юбиляра, справочных материалов Г. Я. Рылюка, отображающих его вклад в развитие методики преподавания географии в средней и высшей школе, становление и развитие научного направления «Топонимика» в регионе. Дается серия исторических фотографий по проведению чтений.

*УДК 91:378.016(476)(06)+91(476)(092)Жучкевич В.А.(06)*

**Развитие идей профессора В. А. Жучкевича в системе географического образования и топонимических исследованиях Беларуси: (к 100-летию со дня рождения)** [Электронный ресурс] : материалы унив. науч. чтений (Минск, 16 марта 2016 г.) / под ред. Я. К. Еловичевой ; БГУ. Электрон. текстовые дан. Минск, 2016. 66 с. : фото. Библиогр.: с. 12–16. Режим доступа: <http://elib.bsu.by/handle/123456789/158812>. Загл. с экрана. Деп. 17.10.2016, № 007117102016.

Материалы университетских научных чтений включают основные даты жизни и деятельности, выступления на юбилейных чтениях в честь 100-летия со дня рождения профессора, доктора географических наук Вадима Андреевича Жучкевича. Приводится список научных работ и учебных пособий юбиляра, справочных материалов В. А. Жучкевича, отражающих его вклад в развитие методики преподавания географии в средней и высшей школе, становление и развитие научного направления «Топонимика» в регионе.

Дается серия исторических фотографий по проведению чтений.

*УДК 91:004(082)*

**ГИС-технологии в науках о Земле** [Электронный ресурс] : материалы конкурса ГИС-проектов студентов и аспирантов УВО Респ. Беларусь, провед. в рамках празднования Междунар. дня ГИС – 2016 (Минск, 16 нояб. 2016 г.) / редкол.: Д. М. Курлович (отв. ред.) [и др.] ; БГУ. Электрон. текстовые дан. Минск, 2016. 143 с. : ил. Библиогр. в конце отд. ст. Режим доступа: <http://elib.bsu.by/handle/123456789/162999>. Загл. с экрана. Деп. 15.12.2016, № 009415122016.

Представлены научные работы, принимавшие участие в конкурсе ГИС-проектов студентов и аспирантов УВО Республики Беларусь, проведенном в рамках празднования Международного дня ГИС – 2016

на географическом факультете Белорусского государственного университета. Сборник представляет интерес для широкого круга специалистов по геоинформационным технологиям, географов, гидрометеорологов, экологов, геологов, студентов географических и геологических специальностей.

*УДК 623.41(06)*

**Развитие и модернизация артиллерийского вооружения и боевого применения на основе современных требований** [Электронный ресурс] : межвуз. науч.-практ. семинар (Минск, 26 окт. 2016 г.) : сб. тез. докл. / редкол.: А. Ф. Рудник (отв. ред.) [и др.] ; М-во обороны Респ. Беларусь, БГУ. Электрон. текстовые дан. Минск, 2016. 100 с. Режим доступа: <http://elib.bsu.by/handle/123456789/163112>. Загл. с экрана. Деп. 15.12.2016, № 009515122016.

В сборник вошли тезисы докладов межвузовского научно-практического семинара, организованного военным факультетом Белорусского государственного университета, на тему «Развитие и модернизация артиллерийского вооружения и боевого применения на основе современных требований».

## СОДЕРЖАНИЕ

### ГЕОГРАФИЯ

|                                                                                                                                                                                                        |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Скачкова А. С., Курлович Д. М.</i> Природно-антропогенные ландшафты Белорусской возвышенной провинции: классификация, пространственная структура, районирование.....                                | 3   |
| <i>Власов Б. П., Самойленко В. М., Гриценкова Н. Д.</i> Антропогенные изменения экосистемы озера Болойсо и пути ее восстановления.....                                                                 | 14  |
| <i>Новик А. А.</i> Пространственно-временная корреляция изменения озерных уровней региона Балтийских Поозерий в позднеледниковье и голоцене .....                                                      | 26  |
| <i>Антипова Е. А., Трифонова З. А.</i> Региональные различия масштабов демографического старения Беларуси и России .....                                                                               | 36  |
| <i>Снежко С. И., Ободовский А. Г., Лопух П. С.</i> Долгосрочный прогноз стока горных и равнинных рек для оценки их гидроэнергетического потенциала (на примере Украинских Карпат и Беларуси) .....     | 50  |
| <i>Крейденко Т. Ф., Родионова И. А., Богачев И. И.</i> Кластеризация в России: динамика и региональная специфика развития.....                                                                         | 62  |
| <i>Полевой А. Н., Микитюк А. Ю.</i> Оценка эмиссии парниковых газов из органических почв .....                                                                                                         | 71  |
| <i>Давыденко О. В., Лопух П. С.</i> Влияние погодных условий на колебания урожайности картофеля и сахарной свеклы в Республике Беларусь.....                                                           | 79  |
| <i>Загорец В. С., Загорец И. В.</i> Основные направления трансформации современного мирового миграционного пространства и место Беларуси в нем .....                                                   | 89  |
| <i>Марцинкевич Г. И., Счастливая И. И.</i> Закономерности и тенденции формирования полифункциональной структуры городских ландшафтов Беларуси.....                                                     | 99  |
| <i>Зайцев В. М., Решетникова А. Н., Трифонова И. К.</i> Территориальная организация туризма и рекреации в столичном регионе Республики Беларусь.....                                                   | 109 |
| <i>Клебанович Н. В., Прокопович С. Н., Сазонов А. А.</i> Интерактивное создание цифровых производных тематических карт на основе слоя «почвы» земельных информационных систем Республики Беларусь..... | 121 |
| <i>Шеринёв О. В.</i> Техногенные гидрогеохимические аномалии в зоне влияния отходов химического производства .....                                                                                     | 130 |

### ГЕОЛОГИЯ

|                                                                                                                                                              |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Еловичева Я. К.</i> Возраст и условия формирования погребенных почв в разрезе у д. Стайки по данным палинологических исследований .....                   | 137 |
| <i>Лукашѣв О. В., Жуковская Н. В., Лукашѣва Н. Г., Савченко В. В.</i> Геохимический мониторинг субаквальных систем: теоретические и прикладные аспекты ..... | 146 |
| <i>Зуй В. И., Грибик Я. Г., Сусленко А. Л.</i> Оценка выноса тепла при бурении скважины .....                                                                | 171 |

### ХРОНИКА, ИНФОРМАЦИЯ

|                                                                                                                                                                  |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Межвузовский семинар «Социально-экономическая география в XXI веке: региональное развитие», посвященный 125-летию со дня рождения профессора А. А. Смолича ..... | 180 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

### РЕЦЕНЗИИ

|                                                                                     |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Метаморфозы в пространственной организации мировой экономики в начале XXI века..... | 182 |
| Аннотации депонированных в БГУ работ .....                                          | 184 |

## CONTENTS

### GEOGRAPHY

|                                                                                                                                                                                                                |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Skachkova A. S., Kurlovich D. M.</i> Natural-anthropogenic landscapes of Belarusian elevated province: classification, spatial structure, zoning.....                                                       | 3   |
| <i>Vlasov B. P., Samoilenka V. M., Hryshchankava N. D.</i> Anthropogenic changes of the Boloys Lake ecosystem and ways of its restoration.....                                                                 | 14  |
| <i>Novik A. A.</i> Space-time correlation development of the lake levels change during the late glacial and holocene of the Baltic Lake Districts.....                                                         | 26  |
| <i>Antipova E. A., Trifonova Z. A.</i> Regional differences of the demographic ageing scale of Belarus and Russia.....                                                                                         | 36  |
| <i>Snizhko S. I., Obodovskij A. G., Lopuch P. S.</i> Long-term forecast of mountain and lowland rivers runoff for assessment their hydropower potential (on the example of Ukrainian Carpaty and Belarus)..... | 50  |
| <i>Krejdenko T. F., Rodionova I. A., Bogachev I. I.</i> The process of clustering in Russia: dynamics and regional features of development.....                                                                | 62  |
| <i>Polevoy A. N., Myktyiuk A. Y.</i> Assessment of greenhouse gas emissions from organic soils.....                                                                                                            | 71  |
| <i>Davydenko O. V., Lopuch P. S.</i> Influence of weather conditions on productivity fluctuations of potatoes and sugar beet in Republic of Belarus.....                                                       | 79  |
| <i>Zaharets U. S., Zaharets I. V.</i> The main directions of transformation of modern global migration space and the place of Belarus in it.....                                                               | 89  |
| <i>Martsinkevich G. I., Shchasnaya I. I.</i> Regularities and tendencies of forming of multifunctional structure of urban landscapes in Belarus.....                                                           | 99  |
| <i>Zaitsau U. M., Reshetnikova A. N., Tryfanava I. K.</i> Territorial organization of tourism and recreation of metropolitan area of the Republic of Belarus.....                                              | 109 |
| <i>Klebanovich N. V., Prokopovich S. N., Sazonov A. A.</i> Interactive creation of digital derivatives thematic maps of the base layer «soil» of the land information systems of the Republic of Belarus.....  | 121 |
| <i>Shershnyov O. V.</i> Technogenic hydrogeochemical anomalies within the influence area of industrial chemical dumps.....                                                                                     | 130 |

### GEOLOGY

|                                                                                                                                                                |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Yelovicheva Y. K.</i> Age and conditions of the formation of the buried soils in the Stajki section by palynological studies.....                           | 137 |
| <i>Lukashev O. V., Zhukovskaya N. V., Lukasheva N. G., Savchenko V. V.</i> Geochemical monitoring of subaqueous systems (theoretical and applied aspects)..... | 146 |
| <i>Zui V. I., Gribik Y. G., Suslenko A. L.</i> Heat efflux estimation during a borehole drilling.....                                                          | 171 |

### CHRONICLE, INFORMATION

|                                                                                                                                                                                       |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Interuniversity seminar «Social and economic geography of the XXI century: regional development» devoted to the 125 <sup>th</sup> anniversary from professor A. A. Smolich birth..... | 180 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

### REVIEWS

|                                                                                                         |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Metamorphosis in the spatial organization of the world economy at the beginning of the XXI century..... | 182 |
| Indicative abstracts of the paper deposited at BSU.....                                                 | 184 |



*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» (РИНЦ).*

**Журнал Белорусского  
государственного университета. География. Геология.  
№ 1. 2017**

Учредитель:  
Белорусский государственный университет

Юридический адрес: пр. Независимости, 4,  
220030, Минск.  
Почтовый адрес: ул. Кальварийская, 9, каб. 636, 637,  
220004, Минск.  
Тел. 259-70-74, 259-70-75.  
E-mail: vestnikbsu@mail.ru  
vestnikbsu@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).

Редакторы *О. Л. Диброва, Е. В. Павлова*  
Технические редакторы *Ю. А. Тарайковская,*  
*В. В. Кильдишева*  
Корректоры *Л. А. Меркуль, М. А. Подголина*

Подписано в печать 20.03.2017.  
Тираж 125 экз. Заказ 89.

Республиканское унитарное предприятие  
«Издательский центр Белорусского  
государственного университета».  
ЛП № 02330/117 от 14.04.2014.  
Ул. Красноармейская, 6, 220030, Минск.

© БГУ, 2017

**Journal  
of the Belarusian State University. Geography and Geology.  
No. 1. 2017**

Founder:  
Belarusian State University

Registered address: Nezavisimosti ave., 4, 220030, Minsk.  
Correspondence address: Kal'variiskaya str., 9, office 636, 637,  
220004, Minsk.  
Tel. 259-70-74, 259-70-75.  
E-mail: vestnikbsu@mail.ru  
vestnikbsu@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).

Editors *O. L. Dibrova, E. V. Pavlova*  
Technical editors *Y. A. Taraikouskaya, V. V. Kil'disheva*  
Proofreaders *L. A. Merkul', M. A. Podgolina*

Signed print 20.03.2017.  
Edition 125 copies. Order number 89.

Publishing Center of BSU.  
License for publishing No. 02330/117, 14 April, 2014.  
Krasnoarmeiskaya str., 6, 220030, Minsk.

© BSU, 2017