



ЖУРНАЛ  
БЕЛОРУССКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

# ГЕОГРАФИЯ ГЕОЛОГИЯ

---

JOURNAL  
OF THE BELARUSIAN STATE UNIVERSITY

# GEOGRAPHY and GEOLOGY

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

Выходит один раз в полугодие

---

# 2

---

2021

МИНСК  
БГУ



## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

- Главный редактор** АНТИПОВА Е. А. – доктор географических наук, профессор, профессор кафедры экономической и социальной географии факультета географии и геоинформатики Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь.  
E-mail: antipova@bsu.by
- Заместитель главного редактора** КЛЕБАНОВИЧ Н. В. – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры почвоведения и геоинформационных систем факультета географии и геоинформатики Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь.  
E-mail: n\_klebanovich@inbox.ru
- Ответственный секретарь** ГАГИНА Н. В. – кандидат географических наук, доцент, заведующий кафедрой географической экологии факультета географии и геоинформатики Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь.  
E-mail: hahina@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.  
*Еловичева Я. К.* Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь.  
*Зуй В. И.* Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь.  
*Калицкий Т.* Институт географии Университета Яна Кохановского в Кельце, Кельце, Польша.  
*Катровский А. П.* Смоленский государственный университет, Смоленск, Россия.  
*Курлович Д. М.* Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь.  
*Маркс Л.* Варшавский университет, Варшава, Польша.  
*Мезенцев К. В.* Киевский национальный университет им. Тараса Шевченко, Киев, Украина.  
*Нюсупова Г. Н.* Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан.  
*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.  
*Сарменто Ж. К. В.* Университет Минью, Брага, Португалия.

## EDITORIAL BOARD

- Editor-in-chief** ANTIPOVA E. A., doctor of science (geography), full professor; professor at the department of economic and social geography of the faculty of geography and geoinformatics of the Belarusian State University, Minsk, Belarus.  
E-mail: antipova@bsu.by
- Deputy editor-in-chief** KLEBANOVICH N. V., doctor of science (agricultural sciences), full professor; professor at the department of soil science and land information systems of the faculty of geography and geoinformatics of the Belarusian State University, Minsk, Belarus.  
E-mail: n\_klebanovich@inbox.ru
- Executive secretary** HAHINA N. V., PhD (geography), docent; head of the department of geographical ecology of the faculty of geography and geoinformatics of the Belarusian State University, Minsk, Belarus.  
E-mail: hahina@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.  
*Yelovicheva Ya. K.* Belarusian State University, Minsk, Belarus.  
*Zui V. I.* Belarusian State University, Minsk, Belarus.  
*Kalicki T.* Institute of Geography of the Jan Kochanowski University in Kielce, Kielce, Poland.  
*Katrovskii A. P.* Smolensk State University, Smolensk, Russia.  
*Kurlovich D. M.* Belarusian State University, Minsk, Belarus.  
*Marks L.* University of Warsaw, Warsaw, Poland.  
*Mezentsev K. V.* Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine.  
*Nyusupova G. N.* al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan.  
*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.  
*Sarmento Zh. K. B.* University of Minho, Braga, Portugal.

УДК 91:001

## СДВИГИ В ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ И ТОВАРНОЙ СТРУКТУРЕ ПРОИЗВОДСТВА И МИРОВОГО ЭКСПОРТА ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ ПРОДУКЦИИ С РАЗЛИЧНОЙ СТЕПЕНЬЮ ИНТЕНСИВНОСТИ НИОКР

И. А. РОДИОНОВА<sup>1)</sup>, Е. А. АНТИПОВА<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Центральный научно-исследовательский институт «Электроника»,  
ул. Космонавта Волкова, 12, 127299, г. Москва, Россия

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

Индустриализация мирового хозяйства продолжает свое развитие не только за счет экономически развитых, но и за счет развивающихся стран. Это приводит к пространственной перегруппировке сил в архитектуре мировой промышленности на региональном и глобальном уровнях. Изменения прослеживаются как в производстве продукции высокотехнологичных отраслей, так и в торговле данным видом продукции. Цель исследования – охарактеризовать современные процессы в мировой обрабатывающей промышленности, показать изменяющуюся роль регионов в мировой индустрии и мировой торговле продукцией наукоемких и высокотехнологичных отраслей с разной степенью интенсивности научных исследований и опытно-конструкторских разработок (НИОКР), выявить значение нового региона-лидера, а также позиции Китая и других стран. В ходе исследования установлено устойчивое лидерство Азии в производстве и экспорте продукции высокотехнологичных отраслей с различной степенью интенсивности НИОКР. Показано, что в настоящее время Азия является лидером в первую очередь

---

### Образец цитирования:

Родионова ИА, Антипова ЕА. Сдвиги в географической и товарной структуре производства и мирового экспорта высокотехнологичной промышленной продукции с различной степенью интенсивности НИОКР. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология.* 2021; 2:3–17.  
<https://doi.org/10.33581/2521-6740-2021-2-3-17>

### For citation:

Rodionova IA, Antipova EA. Shifts in the geographical and commodity structure of production and world export of high-technology industrial products with different R&D intensity. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology.* 2021;2:3–17. Russian.  
<https://doi.org/10.33581/2521-6740-2021-2-3-17>

---

### Авторы:

**Ирина Александровна Родионова** – доктор географических наук, профессор; главный научный сотрудник.  
**Екатерина Анатольевна Антипова** – доктор географических наук, профессор; профессор кафедры экономической и социальной географии факультета географии и геоинформатики.

### Authors:

**Irina A. Rodionova**, doctor of science (geography), full professor; chief researcher.  
[iarodionova@mail.ru](mailto:iarodionova@mail.ru)  
**Ekaterina A. Antipova**, doctor of science (geography), full professor; professor at the department of economic and social geography, faculty of geography and geoinformatics.  
[antipovaekaterina@gmail.com](mailto:antipovaekaterina@gmail.com)  
<https://orcid.org/0000-0001-7862-5500>



за счет промышленного развития Китая, удельный вес которого в производстве изделий мировой обрабатывающей промышленности составляет около 30 %. При этом доля Китая в обрабатывающей промышленности Азиатского региона (современного лидера мировой индустрии) уже превышает 50 % (как и в торговле промышленной продукцией стран данного региона). В экспорте всех групп высокотехнологичных товаров с разной степенью интенсивности НИОКР, в том числе в экспорте высокотехнологичных товаров с наиболее высокой интенсивностью НИОКР, Китай вышел на 1-е место (23 и 20 % мирового экспорта соответственно). Также Китай лидирует в производстве (26 %) и экспорте (12 %) высокотехнологичной продукции со средневысокой интенсивностью НИОКР. Выявлено усиление позиции Азиатского региона в мировой индустрии и мировой торговле наукоемкой и высокотехнологичной продукцией во второй декаде XXI в.

**Ключевые слова:** региональные сдвиги; мировая индустрия; обрабатывающая промышленность; наукоемкое и высокотехнологичное производство; наукоемкие и высокотехнологичные отрасли с наиболее интенсивным использованием НИОКР; отрасли со средневысокой интенсивностью НИОКР.

## SHIFTS IN THE GEOGRAPHICAL AND COMMODITY STRUCTURE OF PRODUCTION AND WORLD EXPORT OF HIGH-TECHNOLOGY INDUSTRIAL PRODUCTS WITH DIFFERENT R & D INTENSITY

I. A. RODIONOVA<sup>a</sup>, E. A. ANTIPOVA<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Central Research Institute «Electronics», 12 Kosmonavta Volkova Street, Moscow 127299, Russia

<sup>b</sup>Belarusian State University, 4 Niezaliežnasci Avenue, Minsk 220030, Belarus

Corresponding author: E. A. Antipova (antipovaekaterina@gmail.com)

The industrialisation of the world economy continues to develop not only at the expense of economically developed, but also at the expense of developing countries. This leads to a spatial regrouping of forces in the architecture of world industry at the regional and global levels. Changes can be traced both in production and in trade in products of high-technology industries. The purpose of the study is to characterise modern processes in the global manufacturing industry, to show the changing role of regions in the world industry and world trade in products of knowledge- and technology-intensive (KTI) industries with varying degrees of research and development (R & D) intensity, to identify the role of a new leading region, as well as the positions of China and other countries. In the course of the research, Asia's stable leadership in the production and export of products of high-technology industries with varying degrees of R & D intensity was established. It is shown that at present the Asia region is the leader, first of all, due to the industrial development of China, the share of which is about 30 % in the production of products of the world manufacturing industry. At the same time, the share of China in the manufacturing industry of the Asian region (the modern leader of the world industry) exceeds 50 % (as well as in the trade in industrial products of the countries of this region) already. China came out on top in the export of all groups of high-technology goods with varying degrees of R & D intensity, including in the export of high-technology goods with high R & D intensive (23 and 20 % of world exports, respectively). China is the leader in the production (26 %) and export (12 %) of high-technology goods with medium-high R & D intensity also. The strengthening of the position of the Asian region in the world industry and world trade of knowledge- and technology-intensive goods in the second decade of the 21<sup>st</sup> century is revealed.

**Keywords:** regional changes; world industry; manufacturing; knowledge- and technology-intensive (KTI) industries; high R & D intensive industries; medium-high R & D intensive industries.

### Введение

В настоящее время определяющей чертой развития мировой индустрии стало существенное увеличение в ее структуре доли наукоемких производств. Технологии передового цифрового производства в промышленности открывают огромный потенциал для экономического роста и достижения целей принятой ООН Повестки дня в области устойчивого развития на период до 2030 г. Развитие новейших технологий и их внедрение в производство способствовали усилению специализации стран на выпуске не только готовых изделий, но и их компонентов. При этом пространственное перераспределение индустриального потенциала в глобальном масштабе вызвало перемены в структуре международной торговли. Изменились и направления экспортно-импортных потоков при обмене промышленной продукцией.

Иными словами, географическое исследование вопросов размещения промышленного производства и торговли промышленными товарами приобретает особое значение вследствие глобальной реструкту-



ризации всех экономических систем на локальном, региональном и глобальном уровнях. Репрезентативный международный анализ трендов мирового развития, сдвигов в пространственной организации производственных мощностей в мире, а также сдвигов в географической и товарной структуре мировой торговли промышленной продукцией (в том числе высокотехнологичной) предоставляют регулярные доклады ЮНИДО. Эксперты сопоставляют конкурентоспособность государств в мировой индустрии (Competitive industrial performance report, 2020). Открытая база данных ЮНИДО по промышленному развитию (UNIDO Industrial statistics database, 2020) способствует многоаспектному изучению современных экономических процессов.

Несмотря на то что в последние годы в России и Беларуси публикуется большое количество работ, посвященных процессам, происходящим в мировой индустрии, остается еще много неисследованных полей. Произошло изменение самой классификации наукоемких и высокотехнологичных отраслей (*knowledge- and technology-intensive* (КТИ) *industries*) (далее – КТИ-отрасли). Так, уже невозможно отделить производство от отраслей, которые сегодня принято относить к сфере услуг (например, программное обеспечение, IT-услуги). Интенсивность применения знаний и технологий в промышленных отраслях, в свою очередь, измеряется разными способами: путем сравнения показателей занятости в той или иной отрасли по уровню квалификации рабочей силы; посредством выделения доли высококвалифицированных работников; через оценивание интенсивности использования научных исследований и опытно-конструкторских разработок (НИОКР) (*research and development, R & D*). В Национальном научном фонде США представлена новая классификация наукоемких отраслей, в которой выделяются: 1) отрасли с наиболее высокой интенсивностью НИОКР (*high R & D intensive industries*); 2) отрасли со средневысокой интенсивностью НИОКР (*medium-high R & D intensive industries*). При этом интенсивность НИОКР характеризует соотношение затрат на НИОКР и добавленной стоимости выпускаемой продукции в отраслях [1].

Целью данного исследования является пространственный анализ развития КТИ-отраслей с разным уровнем интенсивности НИОКР в мире за 2003–2018 гг.

В более ранних работах авторами анализировались данные о выпуске продукции обрабатывающей промышленности в целом, в том числе продукции разного уровня технологичности (от низко- до высокотехнологичной), по принятой ранее классификации отраслей [2–4]. Так, характеризуя динамику процесса, мы констатировали тот факт, что США, Япония и многие страны ЕС всегда находились (и в настоящее время находятся) в числе лидеров мировой индустрии. Однако с начала 1980-х гг. азиатские новые индустриальные страны (НИС) первой волны, а чуть позже и Китай стали активно развивать высокотехнологичное производство. Нарастая темпы роста производства, специализируясь на выпуске продукции в данной сфере, эти страны постоянно увеличивали объемы экспорта и импорта наукоемких товаров и услуг.

Наиболее заметные изменения в товарообороте высокотехнологичной продукции (*high-tech*, НТ) произошли в Китае. Выполненный ранее анализ данных ЮНИДО показал, что экспорт НТ-продукции из Китая за 1985–2005 гг. увеличился более чем в 75 раз (в стоимостных показателях в постоянных ценах 2000 г.) – с 5,8 до 440,0 млрд долл. США. Таким образом, Китай занял 1-е место по экспорту НТ-продукции в 2005 г. (19,5 % мирового показателя). Для сравнения: за аналогичный период в США данный показатель увеличился примерно в 5 раз (с 52 до 250 млрд долл. США), в Японии – в 4,5 раза (с 47,5 до 205,0 млрд долл. США). Импорт НТ-продукции в Китай за рассматриваемый период возрос более чем в 31 раз (1-е место по импорту НТ-продукции в 2005 г. (17 % мирового показателя)). При этом доля США в мировом импорте НТ-продукции в 1985–2005 гг. снизилась с 23 до 12 %, Японии – с 21 до 9 %, стран ЕС – с 19 до 11 %, Германии – с 11,5 до 7,0 %. И уже вплотную за группой лидеров в 2005 г. следовали Тайвань, Республика Корея, Сингапур, Малайзия, зачастую опережая многие европейские страны. Этому процессу способствовало не только перенесение производств из развитых стран в развивающиеся за счет географической стратегии деятельности крупнейших транснациональных корпораций (ТНК), но и стремительное развитие индустрии, в том числе наукоемкой промышленности, в азиатских НИС, Китае и некоторых других развивающихся странах. Иными словами, отдельные развивающиеся страны превратились в активных игроков на мировом рынке высокотехнологичной продукции, и их показатели в производстве промышленных товаров и экспорте высокотехнологичной продукции продолжали расти в условиях глобализации, транснационализации и цифровизации мировой экономики [5–7].

Крупнейшие ТНК мира по-прежнему создают дочерние предприятия, филиалы и научные лаборатории не только в странах базирования своих штаб-квартир, но и далеко за их пределами, в том числе в развивающихся странах. Объемы продаж 500 крупнейших ТНК мира в 2019 г. достигли 33,3 трлн долл. США. Производственные мощности этих ТНК размещены в 32 государствах, а суммарная численность занятого на их предприятиях населения составляет примерно 70 млн человек. По данным американского журнала *Fortune*, только в рейтинге 100 крупнейших ТНК мира находятся свыше 20 китайских корпораций.



Среди лидеров по объемам продаж (вслед за американской корпорацией *Walmart*) разместились сразу три китайские корпорации (*Sinopec Group, State Grid, China National Petroleum Corporation*). Наряду с этим по числу расположенных штаб-квартир 100 крупнейших ТНК мира Пекин уже опередил Токио, Лондон, Нью-Йорк<sup>1</sup>.

В целом развитие высоких технологий изменяет структуру мирового рынка, в котором отражаются приоритеты научно-технической политики разных стран.

### Методика исследования

Информационной базой исследования, показатели которой были использованы для расчетов, выступили открытые данные международных организаций ЮНИДО [8–10], ЮНКТАД<sup>2</sup>, основным источником – статистические данные Национального научного фонда США<sup>3</sup>. Анализ проводился по показателям интенсивности развития КТИ-отраслей с разным уровнем интенсивности НИОКР, включая наиболее высокий и средневысокий, а также по показателям экспорта продукции этих отраслей в динамике с 2003 по 2018 г.

Для более глубокого понимания тенденций развития международной торговли высокотехнологичной продукцией первоначально анализировались данные о производстве продукции обрабатывающей промышленности (по показателю добавленной стоимости) по регионам и странам-лидерам в динамике с 2003 по 2019 г. с расчетом удельного веса регионов по промышленному экспорту.

Основное внимание было уделено авторским расчетам и анализу данных о структуре производства и структуре экспорта продукции двух групп КТИ-отраслей с разным уровнем интенсивности НИОКР.

Расчеты выполнялись по странам и по шести макрорегионам мира (Северная Америка (США, Канада и Мексика), Центральная и Южная Америка, Европа (включая страны СНГ), Азия, Африка, а также Австралия с Океанией). Сопоставление удельного веса регионов в мировом производстве и экспорте высокотехнологичной продукции проводилось за период 2003–2018 гг. При этом выделялись топ-10 стран мира и рассчитывалась их доля в мировом объеме производства продукции в каждой отрасли высокотехнологичного производства.

Основной научной гипотезой было подтверждение тенденции смены лидеров (в том числе среди регионов) в производстве и экспорте продукции КТИ-отраслей высокого и среднего уровня технологичности на основе характеристики темпов развития их производств и выявления тенденций развития данных отраслей.

### Результаты и их обсуждение

**Мировая и региональная динамика производства и экспорта продукции обрабатывающей промышленности и всех видов КТИ-отраслей с высокой интенсивностью НИОКР.** На первом этапе исследования были охарактеризованы позиции лидеров в мировом производстве продукции обрабатывающей промышленности начала XXI в.

Результаты анализа фиксируют стремительные темпы промышленного развития Китая: в последние годы он устойчиво занимает 1-е место в мире по объему производства продукции обрабатывающей промышленности (около 30 % мировых объемов в 2019 г.). За ним следуют прежний лидер США (примерно 20 % мирового показателя), Япония, Германия. На 5-й позиции в настоящее время находится Индия, на 6-й позиции – Республика Корея<sup>4</sup>. Стоит отметить, что концентрация производства в группе лидеров по-прежнему высока. На первые 3 страны приходится около 50 %, а на долю ведущих 15 индустриальных держав – почти 80 % общемирового выпуска продукции обрабатывающей промышленности (в стоимостных показателях в ценах 2015 г.)<sup>5</sup>.

Важно отметить, что данные о наиболее информативном, на наш взгляд, показателе уровня индустриального развития – валовой добавленной стоимости в обрабатывающей промышленности в расчете на душу населения – очень сильно различаются даже в странах – лидерах мировой индустрии (для сравнения: Германия – 8980 долл. США, Республика Корея – 8252, Япония – 7645, США – 6858, Китай – 2864, Индия – 315 долл. США в 2019 г.)<sup>6</sup> (рис. 1). Кроме всего прочего, это свидетельствует о том, какую продукцию производят страны – низко-, средне- или высокотехнологичную.

<sup>1</sup>Global 500 [Electronic resource]. URL: <https://fortune.com/global500/> (date of access: 07.02.2021).

<sup>2</sup>UNCTADstat [Electronic resource]. URL: <https://unctadstat.unctad.org/EN/> (date of access: 27.12.2020).

<sup>3</sup>Science & engineering indicators, 2018 [Electronic resource]. URL: <https://www.nsf.gov/statistics/2018/nsb20181/data/tables> (date of access: 27.12.2020).

<sup>4</sup>UNIDO Industrial statistics database, 2020 [Electronic resource]. URL: <https://stat.unido.org/database/MVA%202020,%20Manu> facturing (date of access: 20.01.2021).

<sup>5</sup>Ibid.

<sup>6</sup>Ibid.

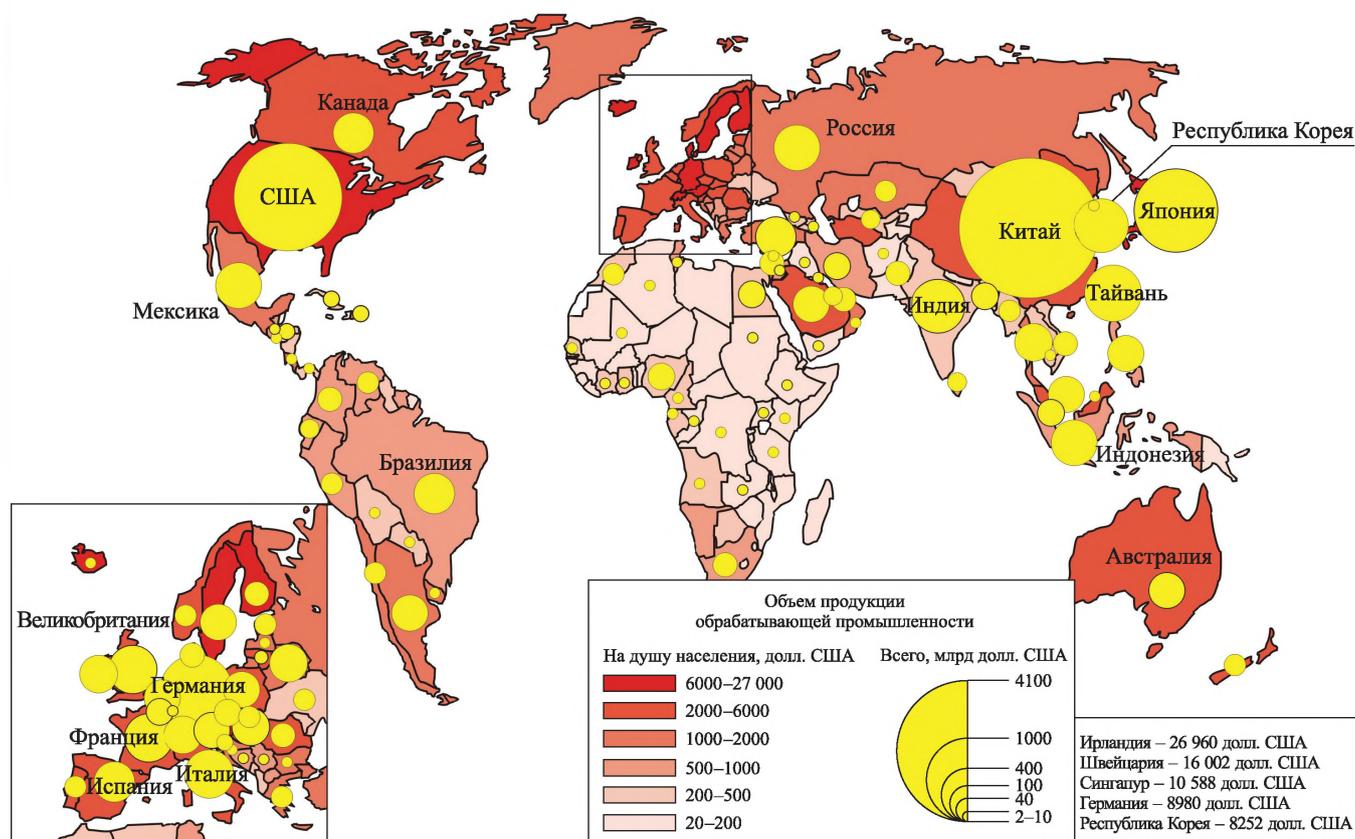


Рис. 1. Объем производства обрабатывающей промышленности в мире в 2020 г. (составлено по данным ЮНИДО<sup>7</sup>)

Fig. 1. Manufacturing industry production in the world in 2020 (compiled by the data of UNIDO<sup>8</sup>)

Выполненные расчеты отражают сдвиги в позициях регионов в мировой обрабатывающей промышленности (табл. 1).

Анализ региональной структуры в динамике позволил установить, что при росте стоимостных показателей выпуска продукции обрабатывающих отраслей во всех регионах мира удельный вес Азии значительно увеличился (с 33,8 до 51,9 %).

Таблица 1

Доля регионов в мировом производстве продукции обрабатывающей промышленности в 2003–2019 гг.%, %

Table 1

The share of regions by manufacturing industry production, manufacturing value added in the world in 2003–2019, %

Регион	Год				
	2003	2007	2011	2015	2019
Северная Америка	27,1	25,5	21,9	20,3	19,0
Центральная и Южная Америка	5,7	5,7	5,5	4,6	3,6
Европа	30,2	28,2	25,3	23,5	22,8
Азия	33,8	37,7	44,4	48,7	51,9
Африка	1,8	1,8	1,9	2,0	2,0
Австралия и Океания	1,3	1,1	1,0	0,8	0,7

\*Расчитано в постоянных ценах 2015 г. по данным ЮНИДО<sup>8</sup>.

<sup>7</sup>UNIDO Industrial statistics database, 2020...

<sup>8</sup>Ibid.



Если в 2003 г. на три региона мира – Азию, Европу и Северную Америку – приходилось примерно по 30 % мирового производства, то в 2019 г. безусловным регионом-лидером стала Азия (свыше 50 % мирового производства товаров обрабатывающей промышленности). Как было отмечено выше, в первую очередь это произошло за счет неимоверно быстрого развития Китая и роста объемов промышленного производства в данной стране. Доля Китая в промышленном потенциале Азии составляет около 60 %.

Таким образом, наблюдается кардинальный сдвиг в мировой структуре производства продукции обрабатывающей промышленности в течение XXI в., т. е. менее чем за 20 лет.

Наряду с ростом объемов производства продукции обрабатывающей промышленности страны Азиатского региона наращивали объемы ее экспорта (табл. 2).

Таблица 2

Доля регионов в мировом товарном экспорте продукции обрабатывающей промышленности в 2003–2019 гг., %

Table 2

The share of regions by export of manufacturing industry production in the world in 2003–2019, %

Регион	Год				
	2003	2007	2011	2015	2019
Северная Америка	16,0	13,9	12,3	13,3	12,3
Центральная и Южная Америка	1,5	1,6	1,5	1,2	1,0
Европа	43,6	41,2	39,7	35,5	37,4
Азия	27,3	29,1	33,5	35,1	35,1
Африка	1,9	2,4	2,9	3,1	2,6
Австралия и Океания	1,6	1,6	1,7	1,6	1,6

Примечание. Составлено по данным ЮНКТАД<sup>9</sup>.

Уже в начале XXI в. отмечается несколько другая расстановка сил на мировой арене. Наряду с традиционно высокой долей Европы в мировом экспорте продукции обрабатывающей промышленности (более 40 % мирового показателя) с учетом внутрирегиональной европейской торговли прослеживается явный прогресс Азиатского региона в данной сфере (свыше 30 %). К 2020 г. на мировом рынке экспорта продукции обрабатывающей промышленности сформировались два центра – европейский и азиатский – с примерно паритетными позициями (более 35 % мирового показателя).

В целом географическая структура производства и экспорта продукции обрабатывающей промышленности мира в XXI в. характеризуется высокой концентрацией.

Есть ли сходства или принципиальные различия в региональной структуре процессов, происходящих в сфере мирового производства продукции КТИ-отраслей, и чем это объясняется? Пространственно-временной анализ объема производства, экспорта и импорта всех видов продукции наукоемких и высокотехнологичных отраслей представлен во второй части нашего исследования. Согласно новой классификации Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) наукоемкие виды производств (отрасли) разделены по показателю интенсивности НИОКР. В общую группу КТИ-отраслей с интенсивным использованием НИОКР включены пять отраслей с наиболее высокой и семь отраслей со средневысокой интенсивностью НИОКР. Объемы добавленной стоимости и доля данных видов производств в мировом ВВП представлены в табл. 3.

Расчеты мировой структуры КТИ-отраслей промышленности показали следующее. В мировой индустрии соотношение объемов производства продукции отраслей с наиболее высокой интенсивностью НИОКР и отраслей со средневысокой интенсивностью НИОКР составляет 34 : 64. Но в отдельных регионах и странах мира соотношение этих секторов несколько иное. Есть страны (в том числе азиатские НИС первой и второй волны), у которых отмечено либо паритетное соотношение, либо преобладание выпуска продукции КТИ-отраслей с наиболее высокой интенсивностью НИОКР.

<sup>9</sup>UNCTADstat...



Таблица 3

**Добавленная стоимость и доля в мировом ВВП КТИ-отраслей  
с интенсивным использованием НИОКР в 2018 г.**

Table 3

**Value added and the share of KTI industries with R & D intensity  
in world GDP in 2018**

Отрасли (виды производств)	Добавленная стоимость, млрд долл. США	Доля в мировом ВВП, %
Все КТИ-отрасли	9020,7	11,1
<i>А. Отрасли (виды производств) с наиболее высокой интенсивностью НИОКР</i>	3241,8	4,0
Авиакосмическое производство	243,1	0,3
Производство компьютерной, электронной и высокоточной оптической продукции	1185,9	1,5
Фармацевтика	698,7	0,9
Услуги в области научных исследований и разработок (R & D)	652,5	0,8
Производство программного обеспечения	461,6	0,6
<i>Б. Отрасли (виды производств) со средневысокой интенсивностью НИОКР (без производства медицинского и стоматологического инструмента)</i>	5778,9	7,1
Химическое производство (исключая фармацевтику)	1026,5	1,3
Производство электрического оборудования	655,7	0,8
IT-услуги	1621,8	2,0
Производство прочих машин и оборудования	1195,2	1,5
Производство транспортных средств	1109,7	1,4
Производство железнодорожной и военной техники	119,9	0,1
Производство оружия и боеприпасов	50,1	0,1

Примечание. Составлено по [1].

Так, например, в США, Франции, Дании и России это соотношение составляет 45 : 55, в Швейцарии и Израиле – почти 60 : 40, в Сингапуре, на Тайване и во Вьетнаме – 60 : 40, тогда как в Китае и Индии – 30 : 70.

Региональная структура производства высокотехнологичной продукции представлена в табл. 4. Как и в производстве продукции всей обрабатывающей промышленности мира, в 2003 г. в выпуске наукоемких и высокотехнологичных товаров наблюдаются почти равные доли трех регионов – Северной Америки, Европы и Азии (около 30 % мирового производства). При этом за анализируемый период аналогично региональным трендам производства всей обрабатывающей промышленности произошло снижение доли Северной Америки (с 34 до 28 %) и Европы (с 32 до 24 %).

Таблица 4

**Доля регионов в мировом производстве всех видов продукции КТИ-отраслей  
с интенсивным использованием НИОКР в 2003–2018 гг., %**

Table 4

**The share of regions by all types of KTI industries production with R & D intensity  
in the world in 2003–2018, %**

Регион	Год				
	2003	2007	2011	2015	2018
Северная Америка	33,5	28,7	25,6	27,9	27,7
Центральная и Южная Америка	1,9	3,1	4,1	2,8	2,3



Окончание табл. 4  
Ending table 4

Регион	Год				
	2003	2007	2011	2015	2018
Европа	31,8	33,8	28,9	25,3	24,4
Азия	31,0	32,3	38,9	42,0	43,7
Африка	0,7	0,9	1,0	1,0	0,9
Австралия и Океания	1,1	1,2	1,5	1,0	1,0

Примечание. Составлено по данным Национального научного фонда США<sup>10</sup>.

На этом фоне отмечается прорыв в производстве данного вида продукции в Азии, на долю которой в настоящее время приходится почти 44 % мирового производства. Среди азиатских стран выделяются три лидера – Китай, Япония и Республика Корея. Суммарно на них приходится около 80 % азиатского показателя производства (или 35 % мирового показателя).

Расчеты и анализ экспорта продукции КТИ-отраслей в динамике по регионам мира (табл. 5) свидетельствуют о формировании в начале XXI в. двух центров – европейского и азиатского, на долю которых приходилось около 80 % мирового экспорта.

Таблица 5

Доля регионов в мировом экспорте продукции КТИ-отраслей  
с интенсивным использованием НИОКР в 2003–2018 гг., %

Table 5

The share of regions by export of KTI industries production  
with R & D intensity in the world in 2003–2018, %

Регион	Год				
	2003	2007	2011	2015	2018
Северная Америка	18,5	16,4	14,7	16,1	14,8
Центральная и Южная Америка	1,0	1,2	1,3	1,1	1,0
Европа	49,3	48,4	45,3	42,6	42,7
Азия	30,8	33,6	38,3	39,9	41,2
Австралия и Океания	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3

Примечание. Составлено по данным Национального научного фонда США<sup>11</sup>.

Четко фиксируется снижение экспорта продукции данных высокотехнологичных отраслей в период мирового финансово-экономического кризиса 2008–2009 гг. Следует отметить, что и в импорте наблюдается схожая картина. Заметен рост доли Азии (с 27 до 36 %) при некотором сокращении удельного веса Северной Америки и Европы. Хотя Европа по-прежнему остается лидером в мировом экспорте и импорте высокотехнологичной продукции (с учетом внутрирегиональной торговли в ЕС – 42,7 % по экспорту и 37,5 % по импорту), но к ней вплотную приближается Азия (41,2 % по экспорту и 36,4 % по импорту в 2018 г.).

В целом в настоящее время наблюдается устойчивость региональной структуры экспорта данной продукции при увеличении удельного веса Азии и снижении удельного веса Европы. Однако географическая концентрация экспорта продукции КТИ-отраслей остается чрезвычайно высокой (более 85 % по-прежнему приходится на два региона – Азию и Европу).

Таким образом, анализ динамики производства продукции обрабатывающей промышленности и всех видов КТИ-отраслей с высокой интенсивностью НИОКР, а также экспорта продукции обрабатывающей промышленности и исследуемых отраслей по регионам показывает совпадение трендов, интенсивный рост и устойчиво доминирующую позицию Азии при сохранении веса Европы в XXI в. (табл. 6).

<sup>10</sup>The state of U.S. science and engineering, 2020 [Electronic resource]. URL: <https://nces.nsf.gov/indicators> (date of access: 27.12.2020).

<sup>11</sup>Ibid.



Таблица 6

**Динамика мировых центров производства продукции обрабатывающей промышленности, продукции и экспорта всех видов КТИ-отраслей с высокой интенсивностью НИОКР**

Table 6

**The dynamics of world centers of manufacturing industry production, production and export of all types of KTI industries with high R & D intensity**

Показатели	Регион-центр и его доля в мировой структуре, %	
	2003	2018/2019
Производство продукции обрабатывающей промышленности	Азия (33,8) – Европа (30,2)	Азия (51,9)
Экспорт продукции обрабатывающей промышленности	Европа (43,6)	Европа (37,4) – Азия (35,1)
Производство продукции всех видов наукоемких и высокотехнологичных отраслей с высокой интенсивностью НИОКР	Европа (31,8)	Азия (43,7)
Экспорт продукции всех видов наукоемких и высокотехнологичных отраслей с высокой интенсивностью НИОКР	Европа (49,3)	Европа (42,7) – Азия (41,2)

Сопоставление приведенных выше расчетов, отражающих динамику удельного веса регионов в товарном экспорте, мировом производстве и экспорте продукции наукоемких и высокотехнологичных отраслей с интенсивным использованием НИОКР, однозначно показывает рост доли и значения Азиатского региона при снижении значения Северной Америки и Европы. Страны Азиатского региона сегодня не только производят наукоемкую и высокотехнологичную продукцию, но и успешно экспортируют ее в другие регионы мира. Анализ данных по странам фиксирует следующее. Китай имеет положительный баланс в торговле этим видом продукции (больше продает, чем покупает) и является мировым лидером в экспорте (16 % в 2018 г.; для сравнения: 6 % в 2003 г.). За Китаем следуют Германия (12 %), США (9 %), Япония (6 %), Республика Корея, Франция, Мексика, Сингапур (рис. 2). США имеют отрицательный баланс в торговле и сократили свою долю в экспорте с 13 до 9 %. В то же время среди азиатских стран (помимо Китая) положительный баланс в торговле высокотехнологичной продукцией имеют Япония, Республика Корея, Сингапур, Тайвань, Малайзия, Таиланд и даже Филиппины и Вьетнам<sup>12</sup>.

**Мировая и региональная динамика производства продукции высокотехнологичных отраслей с наиболее высокой интенсивностью НИОКР.** Анализ показал смену региона-лидера в производстве продукции высокотехнологичных отраслей с наиболее высокой интенсивностью НИОКР. Если в 2003 г. таковым являлась Северная Америка (40 %), то в 2018 г. определился новый центр – Азия (39 %). Данный регион сначала переместился с 3-й на 2-ю позицию, опередив после финансово-экономического кризиса 2008–2009 гг. Европу, а уже с 2010 г. – на 1-ю позицию, обойдя и Северную Америку (табл. 7).

Расчеты вновь показали, что на долю трех лидеров Азиатского региона (Китай, Япония и Республика Корея) приходилось 75 % азиатского показателя (или 28 % мирового производства НТ-индустрии). Но лидером на глобальном уровне по-прежнему остаются США (32 %). Далее, быстрыми темпами наращивая производство, следует Китай (более 20 %), за ним идут Япония (4 %), Германия, Республика Корея, Франция, Тайвань<sup>13</sup>.

Очень интересную картину дает сопоставление отраслевой структуры входящих в данную группу производств (табл. 8). Так, в структуре высокотехнологичного производства США преобладают три отрасли: производство компьютеров, электронной и высокоточной оптической продукции; издание компьютерного программного обеспечения; производство фармацевтической продукции. В Китае и Японии выделяются производство компьютеров, электронной и высокоточной оптической продукции, производство фармацевтической продукции и услуги в области НИОКР. В структуре высокотехнологичной индустрии Республики Кореи и Тайваня явно видно преобладание одной отрасли – производства компьютеров, электронной и высокоточной оптической продукции. В Ирландии отмечено преобладание производства фармацевтической продукции и т. д. (см. табл. 8).

<sup>12</sup>The state of U. S. science and engineering, 2020...

<sup>13</sup>Ibid.

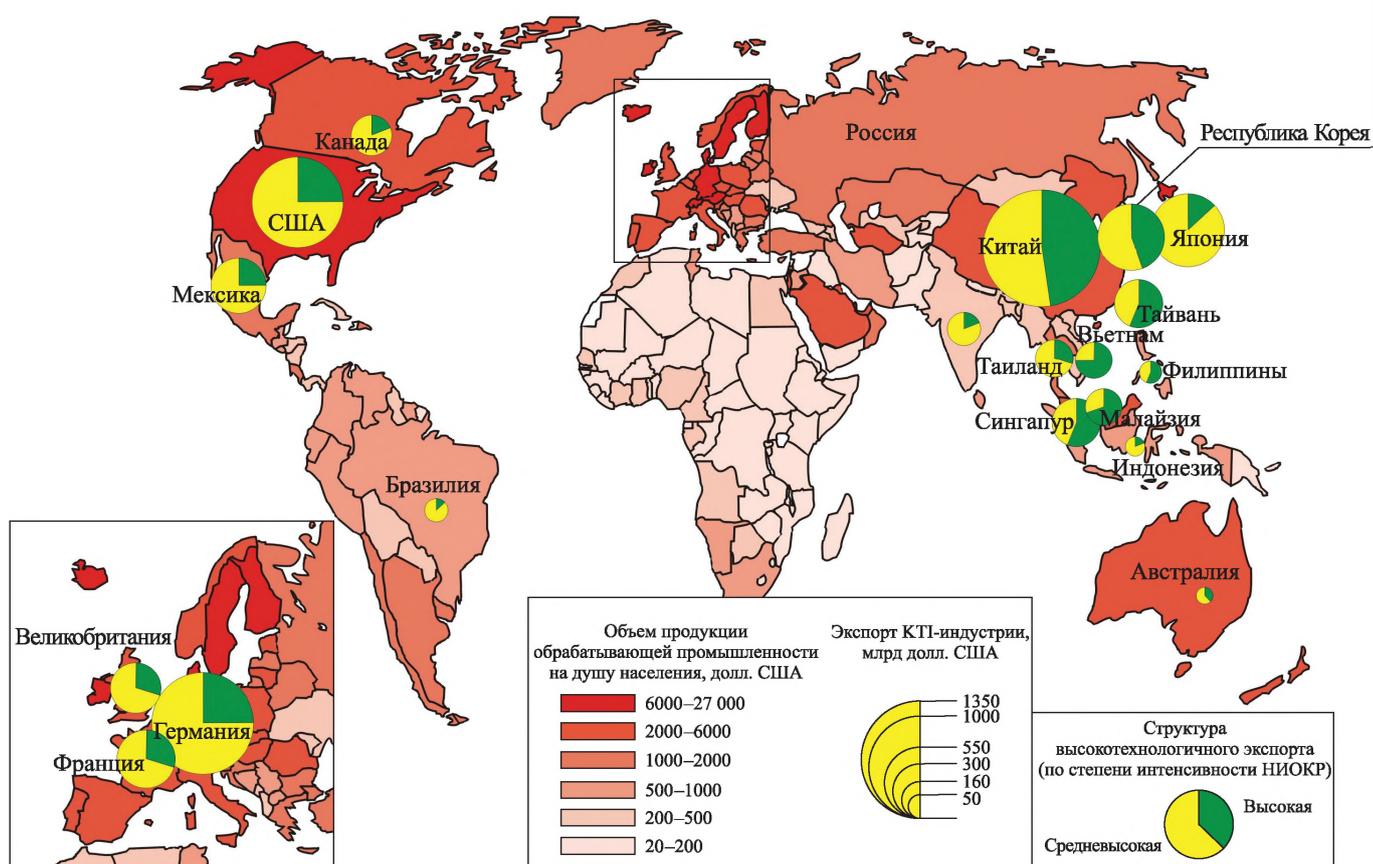


Рис. 2. Обрабатывающая промышленность и высокотехнологичный экспорт стран мира в 2019 г. (составлено по данным ЮНИДО<sup>14</sup> и Национального научного фонда США<sup>15</sup>)

Fig. 2. Manufacturing industry and high-tech export of the countries of the world in 2019 (compiled by the date of the UNIDO and National Science Foundation)

Таблица 7

**Доля регионов в мировом производстве продукции КТИ-отраслей с наиболее высокой интенсивностью НИОКР в 2003–2018 гг., %**

Table 7

**The share of regions by KTI and high R&D intensive industries productions in the world in 2003–2018, %**

Регион	Год					
	2003	2007	2009	2011	2015	2018
Северная Америка	40,5	37,0	36,9	33,0	34,6	34,0
Центральная и Южная Америка	1,4	2,1	2,4	2,7	2,2	1,9
Европа	28,2	29,9	28,3	27,4	23,8	23,3
Азия	28,1	28,8	30,2	34,1	37,2	38,7
Африка	0,6	0,7	0,7	0,9	0,9	0,7
Австралия и Океания	1,2	1,5	1,5	1,9	1,3	1,4

Примечание. Составлено по данным Национального научного фонда США<sup>16</sup>.

<sup>14</sup>UNIDO Industrial statistics database, 2020...

<sup>15</sup>The state of U. S. science and engineering, 2020...

<sup>16</sup>Ibid.

**Структура мирового производства продукции высокотехнологичных отраслей  
с наиболее интенсивным использованием НИОКР в 2018 г.**

**The structure of the world KTI and  
high R & D intensive industries productions in 2018**

Регион, страна	Добавленная стоимость в НТ-индустрии, млн долл. США	Доля в мировом производстве НТ-индустрии, %	Структура НТ-индустрии, %				
			Авиакосмическое производство	Производство компьютерной, электронной и высокоточной оптической продукции	Производство фармацевтической продукции	Услуги в области НИОКР	Издание программного обеспечения
Мир	3 241 776	100,0	7,5	36,6	21,6	20,1	14,2
США	1 044 722	32,2	11,8	28,9	17,4	14,3	27,5
Китай	669 410	20,6	2,5	54,4	24,3	16,6	2,2
Япония	146 178	4,5	4,6	50,7	26,5	11,2	7,0
Германия	143 944	4,4	10,8	31,1	26,5	19,5	12,1
Республика Корея	118 449	3,7	2,9	77,3	7,5	10,4	2,0
Франция	106 690	3,3	15,6	12,5	13,7	42,6	15,7
Тайвань	95 094	2,9	0,2	89,7	1,8	6,0	2,3
Ирландия	83 831	2,6	0,2	12,1	57,2	4,3	26,2
Великобритания	75 643	2,3	15,3	14,1	23,3	19,5	27,9
Швейцария	71 153	2,2	2,1	29,9	52,3	13,0	2,8

Примечание. Составлено по данным Национального научного фонда США<sup>17</sup>.

<sup>17</sup>The state of U. S. science and engineering, 2020...



Для выявления динамики экспорта товаров высокотехнологичных отраслей в странах и регионах мира были проведены расчеты изменения удельного веса регионов в экспорте КТИ-индустрии (табл. 9). В экспорте товаров высокотехнологичных отраслей с наиболее высокой интенсивностью НИОКР лидирует Азия (почти 54 %), явно опережая и Европу (34 %), и Северную Америку (11 %). При этом только на долю трех стран Азиатского региона – Китай, Японию и Республику Корею (имеют положительный торговый баланс) – в 2018 г. приходилось 60 % мирового объема экспорта НТ-продукции (при этом доля этих трех стран в мировом экспорте тоже значительная – 33 %). Однако важно отметить тот факт, что по объему экспорта данного вида продукции Японию в Азии уже опережают и Сингапур, и Тайвань, и Малайзия, и Вьетнам.

Таблица 9

Доля регионов в мировом экспорте продукции КТИ-отраслей  
с наиболее интенсивным использованием НИОКР в 2003–2018 гг., %

Table 9

The share of regions by export of KTI and high R&D intensive industries productions  
in the world in 2003–2018, %

Регион	Год				
	2003	2007	2011	2015	2018
Северная Америка	18,2	16,6	12,9	13,3	11,5
Центральная и Южная Америка	0,5	0,6	0,6	0,5	0,3
Европа	38,6	38,0	38,4	35,5	34,3
Азия	42,4	34,5	47,7	50,4	53,6
Австралия и Океания	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3

Примечание. Составлено по данным Национального научного фонда США<sup>18</sup>.

Мировым лидером в экспорте НТ-продукции в настоящее время является Китай (23 %). За ним следуют Германия (8 %), США (8 %), Республика Корея (7 %), Сингапур, Тайвань, Франция и Вьетнам (опередивший многие высокоразвитые страны), Малайзия и Япония. Отметим также по-прежнему очень значительную суммарную долю стран ЕС (30 %) в экспорте высокотехнологичных изделий и услуг<sup>19</sup>.

**Мировая и региональная динамика производства продукции высокотехнологичных отраслей со средневысокой интенсивностью НИОКР.** В данной группе отраслей также выявлена лидирующая позиция Азии (свыше 46 % мирового показателя) (табл. 10).

Таблица 10

Доля регионов в мировом производстве продукции КТИ-отраслей  
со средневысокой интенсивностью НИОКР в 2003–2018 гг., %

Table 10

The share of regions by KTI and medium-high R&D intensive industries productions  
in the world in 2003–2018, %

Регион	Год				
	2003	2007	2011	2015	2018
Северная Америка	29,0	23,6	21,4	24,1	24,1
Центральная и Южная Америка	2,2	3,8	4,9	3,1	2,5
Европа	34,1	36,1	29,8	26,1	25,0
Азия	32,9	34,4	41,6	44,7	46,6
Африка	0,8	1,0	1,1	1,1	1,0
Австралия и Океания	0,9	1,1	1,3	0,9	0,8

Примечание. Составлено по данным Национального научного фонда США<sup>20</sup>.

<sup>18</sup>The state of U. S. science and engineering, 2020...

<sup>19</sup>Ibid.

<sup>20</sup>Ibid.



Лидерами данной отрасли в настоящее время являются Китай (26 %), США (22 %), Япония (10 %), Германия, Республика Корея, Индия, Великобритания, Франция, Италия, Бразилия.

Также авторами была рассчитана структура выпуска продукции данной отрасли по семи включенным в ее состав секторам-производствам по регионам и топ-10 странам. Кратко приведем сделанные нами выводы о преобладании тех или иных секторов. Так, в структуре данной отрасли Китая на 1-м месте находится производство электрических и других машин и оборудования, транспортных средств (автомобилестроение). В структуре данной отрасли США явно видно преобладание одной отрасли – IT-услуги (48 %), значительную долю составляют химическая отрасль и машиностроение. У Японии и Германии отмечается очень схожая структура с преобладанием производства машин и оборудования, транспортных средств, а также IT-услуг.

Анализ особенностей развития экспорта товаров высокотехнологичной промышленности со средне-высокой интенсивностью НИОКР в странах и регионах мира показал, что Европа (47 %) фактически не уступает своих позиций в экспорте данного вида продукции (табл. 11). Кроме того, в Европе наблюдается положительный баланс в торговле, тогда как в США и Китае – отрицательный. Интересен тот факт, что Германия, США, Япония и другие развитые страны активно производят и экспортируют товары этой группы.

Таблица 11

Доля регионов в мировом экспорте продукции высокотехнологичных отраслей со средневысокой интенсивностью НИОКР в 2003–2018 гг., %

Table 11

The share of regions by export of KTI and medium-high R & D intensive industries productions in the world in 2003–2018, %

Регион	Год				
	2003	2007	2011	2015	2018
Северная Америка	18,7	16,3	15,5	17,5	16,4
Центральная и Южная Америка	1,2	1,5	1,6	1,4	1,4
Европа	54,9	53,3	48,2	45,9	46,8
Азия	24,8	28,5	34,3	34,9	35,1
Австралия и Океания	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3

Примечание. Составлено по данным Национального научного фонда США<sup>21</sup>.

Неслучайно сегодня все чаще рассуждают о процессах реиндустриализации и неоиндустриализации в экономически развитых странах [11–14]. Об этом свидетельствует и состав лидирующей десятки в экспорте продукции отраслей со средневысокой интенсивностью НИОКР. Обозначим лидеров по экспорту в данной группе отраслей: Германия (14 % мирового экспорта), Китай (12 %), США (10 %), Япония (8 %), Республика Корея, Мексика, Франция, Великобритания, Канада<sup>22</sup>. Иными словами, экономически развитые страны не уступают своих лидирующих позиций ни в высокотехнологичных отраслях с наиболее высокой интенсивностью НИОКР, ни в отраслях со средневысокой интенсивностью НИОКР. Однако темпы роста экспорта некоторых азиатских стран имеют феноменально высокие значения. Так, объемы экспорта из Республики Кореи выросли в 3 раза, Филиппин – в 5 раз, Китая (лидер Азиатского региона) – в 7 раз, Индии – в 9 раз, Вьетнама – в 25 раз.

### Заключение

Выполненные расчеты и проведенный анализ позволяют сделать вывод, что процесс индустриализации продолжается как в развитых странах, вступивших в эпоху постиндустриализма, так и в развивающихся странах, дифференциация которых по уровню промышленного развития очень велика. Доля развивающихся стран в мировом промышленном производстве и экспорте промышленных товаров неуклонно увеличивается, и эта тенденция сохранится в будущем.

Мировой финансово-экономический кризис 2008–2009 гг. повлиял на темпы роста промышленного производства и международной торговли в развитых странах в большей степени, чем в развивающихся.

<sup>21</sup>The state of U. S. science and engineering, 2020...

<sup>22</sup>Ibid.



На позицию мирового индустриального лидера (как в промышленном производстве, так и в мировой торговле промышленной продукцией) вышел Китай. В первую очередь за счет темпов развития Китая лидирующую позицию в мире занимает Азиатский регион. В мировой структуре производства и экспорта продукции всех видов наукоемких и высокотехнологичных отраслей с высокой интенсивностью НИОКР прослеживаются стремительный рост удельного веса и устойчиво доминирующая позиция Азии. На долю трех лидеров Азиатского региона – Китая, Японии и Республики Кореи – приходится 28 % мирового производства и 60 % мирового объема экспорта ИТ-продукции.

### Библиографические ссылки

1. Hill D. Production and trade of knowledge- and technology-intensive industries [Internet]. Alexandria: National Center for Science and Engineering Statistics, National Science Foundation; 2020 [cited 2021 February 7]. 66 p. Report No.: NDB-2020-5. Available from: <https://nces.nsf.gov/pubs/nsb20205/assets/nsb20205.pdf>.
2. Антипова ЕА, Родионова ИА. География научной сферы в условиях глобализации мирового хозяйства. *Вестник БГУ. Серия 2. Химия. Биология. География*. 2014;1:71–77.
3. Rodionova I, Kokuytseva T. Structural changes of world industry in postindustrial society and structural shifts in the world high-tech production allocation. *Prace Komisji Geografii Przemysłu Polskiego Towarzystwa Geograficznego*. 2010;16:38–50.
4. Rodionova I, Kokuytseva T, Semenov A. Features of migration processes in different world industries in the second half of the XX century. *Journal of Applied Economic Sciences*. 2016;11(8):1769–1780.
5. Родионова ИА, Шкваря ЛВ. На пороге «азиатского индустриального века». *Азия и Африка сегодня*. 2012;12:2–5.
6. Родионова И. Цифровая трансформация и индустриализация: сравнительный анализ постсоветских экономик. *Journal of Economy and Finance*. 2020;1:28–38.
7. Родионова ИА, Гордеева АС, Кокуйцева ТВ. Новые технологии: возрастающая роль в конкурентоспособности стран мира. *Известия Уральского государственного экономического университета*. 2010;5:119–125.
8. *Industrial development report 2016. The role of technology and innovation in inclusive and sustainable industrial development*. Vienna: United Nations Industrial Development Organization; 2015. 262 p.
9. *Industrial development report 2018. Demand for manufacturing: driving inclusive and sustainable industrial development*. Vienna: United Nations Industrial Development Organization; 2017. 245 p.
10. *Industrial development report 2020. Industrializing in the digital age*. Vienna: United Nations Industrial Development Organization; 2019. 206 p.
11. Кокшаров А. Снова «Сделано в Америке». *Эксперт* [Интернет]. 2014 [процитировано 27 декабря 2020 г.];46. Доступно по: <http://expert.ru/expert/2014/46/snova-sdelano-v-amerike>.
12. Кондратьев ВБ. Глобальные цепочки стоимости как форма транснационализации промышленности. *Проблемы теории и практики управления*. 2017;6:8–20.
13. Кондратьев ВБ. Четвертая промышленная революция и глобализация. *Перспективы* [Интернет]. 2018 [процитировано 27 декабря 2020 г.];2:92–108. Доступно по: [http://perspektivy.info/upload/iblock/e54/Kondratev-DOI\\_2018\\_2\\_92\\_108.pdf](http://perspektivy.info/upload/iblock/e54/Kondratev-DOI_2018_2_92_108.pdf).
14. Варнавский ВГ. Трансформация мирового геоэкономического пространства в условиях реиндустриализации. *Вестник Института экономики Российской академии наук*. 2019;2:119–133. DOI: 10.24411/2073-6487-2019-10022.

### References

1. Hill D. Production and trade of knowledge- and technology-intensive industries [Internet]. Alexandria: National Center for Science and Engineering Statistics, National Science Foundation; 2020 [cited 2021 February 7]. 66 p. Report No.: NDB-2020-5. Available from: <https://nces.nsf.gov/pubs/nsb20205/assets/nsb20205.pdf>.
2. Antipova EA, Rodionova IA. [Geography of the scientific sphere in the context of globalisation of the world economy]. *Vestnik BGU. Seriya 2. Khimiya. Biologiya. Geografiya*. 2014;1:71–77. Russian.
3. Rodionova I, Kokuytseva T. Structural changes of world industry in postindustrial society and structural shifts in the world high-tech production allocation. *Prace Komisji Geografii Przemysłu Polskiego Towarzystwa Geograficznego*. 2010;16:38–50.
4. Rodionova I, Kokuytseva T, Semenov A. Features of migration processes in different world industries in the second half of the XX century. *Journal of Applied Economic Sciences*. 2016;11(8):1769–1780.
5. Rodionova IA, Shkvarya LV. [On the verge of the «Asian industrial age»]. *Aziya i Afrika segodnya*. 2012;12:2–5. Russian.
6. Rodionova I. Digital transformation and industrialization: comparative analysis of post-Soviet economies. *Journal of Economy and Finance*. 2020;1:28–38. Russian.
7. Rodionova IA, Gordeeva AS, Kokuytseva TV. [New technologies: an increasing role in the competitiveness of the countries of the world]. *Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta*. 2010;5:119–125. Russian.
8. *Industrial development report 2016. The role of technology and innovation in inclusive and sustainable industrial development*. Vienna: United Nations Industrial Development Organization; 2015. 262 p.
9. *Industrial development report 2018. Demand for manufacturing: driving inclusive and sustainable industrial development*. Vienna: United Nations Industrial Development Organization; 2017. 245 p.
10. *Industrial development report 2020. Industrializing in the digital age*. Vienna: United Nations Industrial Development Organization; 2019. 206 p.
11. Koksharov A. [Again «Made in America»]. *Ekspert* [Internet]. 2014 [cited 2020 December 27];46. Available from: <http://expert.ru/expert/2014/46/snova-sdelano-v-amerike>. Russian.



12. Kondratyev VB. [Global value chains as a form of industrial transnationalisation]. *Problemy teorii i praktiki upravleniya*. 2017;6:8–20. Russian.
13. Kondratyev VB. [The fourth industrial revolution and globalization]. *Perspektivy* [Internet]. 2018 [cited 2020 December 27];2: 92–108. Available from: [http://perspektivy.info/upload/iblock/e54/Kondratev-DOI\\_2018\\_2\\_92\\_108.pdf](http://perspektivy.info/upload/iblock/e54/Kondratev-DOI_2018_2_92_108.pdf). Russian.
14. Varnavsky VG. Transformation of the world geo-economic space in the conditions of re-industrialization. *The Bulletin of the Institute of Economics of the Russian Academy of Sciences*. 2019;2:119–133. Russian. DOI: 10.24411/2073-6487-2019-10022.

Получена 11.04.2021 / исправлена 01.10.2021 / принята 01.10.2021.  
Received 11.04.2021 / revised 01.10.2021 / accepted 01.10.2021.



УДК 631.459(476)+528.94:631.4:004(476)

## ОЦЕНКА ЭРОЗИОННОЙ ОПАСНОСТИ ПОЧВ И ЕЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ

Г. С. ЛАЗОВИК<sup>1)</sup>, А. А. ТОПАЗ<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Белгеодезия, пр. Машерова, 17, 220029, г. Минск, Беларусь

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

Представлен способ создания комплексной картосхемы эрозионной опасности почв территории с применением интегральной модели RUSLE, данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и геоинформационных технологий. Выполнен анализ проводившихся по этой тематике исследований, который показал более активное использование интегральных показателей водно-эрозионных процессов в зарубежных научных работах. Обсуждена актуальность обновления методики изучения эрозионных процессов. Приведены теоретические основы применения интегральных моделей эрозии почвенного покрова, аргументировано использование модели RUSLE и предложен оптимальный способ ее применения. Разработана методика исследования, состоящая из трех основных этапов: первичной обработки данных ДЗЗ, расчета факторов развития эрозии и создания комплексной картосхемы эрозионной опасности почв территории. Путем обработки материалов аэрофотосъемки получены облако точек, цифровая модель рельефа и ортофотоплан исследуемой территории. Приведены результаты геоинформационного анализа данных ДЗЗ, который включал расчет фактора уязвимости почв эрозии, а также топографического фактора. На основе интегрального показателя водно-эрозионной опасности составлена комплексная картосхема эрозионной опасности почв территории. Выявлены основные закономерности географического распределения значений интегрального показателя водно-эрозионной опасности почв территории и дана оценка разработанной методике. Установлено, что картосхема отражает общую закономерность протекания процессов водной эрозии: они активнее происходят в местах распространения более расчлененного рельефа. Показано влияние почвенного фактора на рисунок картосхемы: рисунок на территориях, занятых дерново-подзолистыми суглинистыми почвами, качественно отличается от рисунка на землях, где распространены дерново-подзолистые супесчаные почвы. Проанализировано отображение на картосхеме различных частей развитых линейных форм рельефа, сформированного временными водотоками. Показано, что предложенная методика может быть использована для оценки водно-эрозионной опасности почв территории. Сделан вывод о необходимости учета большего количества факторов и уточнения оценки уже существующих.

**Ключевые слова:** данные дистанционного зондирования Земли; геоинформационный анализ; водная эрозия; расчетная модель RUSLE; картосхема эрозионной опасности.

### Образец цитирования:

Лазовик ГС, Топаз АА. Оценка эрозионной опасности почв и ее картографирование с использованием ГИС-технологий. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология.* 2021;2:18–31.  
<https://doi.org/10.33581/2521-6740-2021-2-18-31>

### For citation:

Lazovik HS, Topaz AA. Assessment of soil erosion hazard and its mapping using GIS technologies. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology.* 2021;2:18–31. Russian.  
<https://doi.org/10.33581/2521-6740-2021-2-18-31>

### Авторы:

**Глеб Сергеевич Лазовик** – геодезист отдела формирования и ведения базы геодезических данных.  
**Антонина Анатольевна Топаз** – кандидат географических наук, доцент, доцент кафедры геодезии и космоаэрокартографии факультета географии и геоинформатики.

### Authors:

**Hleb S. Lazovik**, geodesist at the department of formation and maintenance of geodetic data.  
[lazovikg@gmail.com](mailto:lazovikg@gmail.com)  
**Antonina A. Topaz**, PhD (geography), docent; associate professor at the department of geodesy and aerospace cartography, faculty of geography and geoinformatics.  
[topaz\\_antonina@mail.ru](mailto:topaz_antonina@mail.ru)





## ASSESSMENT OF SOIL EROSION HAZARD AND ITS MAPPING USING GIS TECHNOLOGIES

*H. S. LAZOVIK<sup>a</sup>, A. A. TOPAZ<sup>b</sup>*

<sup>a</sup>*Belgeodesy, 17 Mašeraŭ Avenue, Minsk 220029, Belarus*

<sup>b</sup>*Belarusian State University, 4 Niezaliežnasci Avenue, Minsk 220030, Belarus*

*Corresponding author: A. A. Topaz (topaz\_antonina@mail.ru)*

The article presents a method for creating a territory erosion hazard integrated map using RUSLE integral model, Earth remote sensing data and GIS technologies. The studies carried out on this topic are presented, the analysis of which has shown a more active use of integral indicators of water-erosion processes in foreign scientific works. Urgency of updating methodology for studying erosion processes has been substantiated. Theoretical foundations of the application of integral models of soil erosion are given, the application of the RUSLE model is substantiated, and the optimal way of using this model is proposed. The research methodology has been developed, consisting of primary processing of remote sensing data, calculation of the factors of erosion development and creation of a territory erosion hazard integrated map. Based on the processing of aerial photography materials, a point cloud, a digital elevation model and an orthomosaic map of the study area were created. The results of the geoinformation analysis of the remote sensing data, which included calculation of the soil erodibility factor and the topographic factor, are presented. Based on the integral indicator of water-erosion hazard, a complex map of the erosion hazard of the territory has been created. Main patterns of geographical distribution of the values of the integral indicator of the water-erosion hazard of the territory are revealed, devised methodology is assessed. It was found that the schematic map reflects the general pattern of water erosion processes: they are more active in places where more dissected relief is spread. Influence of the soil factor on the pattern of the schematic map is shown: the pattern in the territories occupied by sod-podzolic loamy soils qualitatively differs from the pattern on the lands where sod-podzolic sandy loam soils are widespread. Patterns on the schematic map of different parts of the developed linear forms of relief, formed by temporary streams, are described. It is shown that the proposed method can be used to assess the water-erosion hazard of the territory. The need to take into account a larger number of factors and to refine the assessment of existing ones is concluded.

**Keywords:** Earth remote sensing data; geoinformation analysis; water erosion; RUSLE equation; erosion hazard map.

### Введение

В настоящее время увеличение масштабов сельскохозяйственного воздействия на почвенный покров требует совершенствования управления земельными ресурсами, в частности локальных и региональных мониторинговых наблюдений за состоянием почвенного покрова (в пределах отдельных полей и водосборов). Эта необходимость определяет поиск эффективных инструментов анализа и интерпретации большого объема пространственных данных о структуре почвенного покрова, факторах почвообразования и характере землепользования. Все это находит отражение в развитии геоинформационных систем, ориентированных на работу с пространственной информацией, хранимой в базе данных, а также модернизации инструментов моделирования различных уровней сложности, обеспечивающих создание комплексных физически обоснованных моделей, прогнозирующих результаты воздействия природных и антропогенных процессов на состояние ландшафта в каждой точке изучаемого пространства.

Моделирование процесса водной эрозии почвенного покрова является сложной и до конца не решенной проблемой. Одной из важнейших задач эрозионных исследований выступает также оценка эрозионной опасности почв.

Длительное время рассматриваемой проблемой занимались сотрудники лаборатории защиты почв от эрозии Института почвоведения и агрохимии НАН Беларуси (в 2006 г. преобразована в лабораторию агрофизических свойств и защиты почв от эрозии). Большой вклад в развитие исследований по эрозиоведению и почвозащитному земледелию внесли В. В. Жилко, А. И. Паярскаяйте, А. Ф. Черныш, А. А. Лепешев, Ю. П. Качков, С. М. Зайко, А. Н. Червань, А. М. Устинова, В. Б. Цырибко и др. [1–5].

В целом традиционная для Беларуси методика изучения процессов водной эрозии базируется на использовании аналоговых методов. Относительно недавнее появление, освоение и использование геоинформационных систем открыли возможности как для обновления традиционных методов изучения процессов водной эрозии, так и для их принципиальной замены.

Анализ литературных источников показал, что на сегодняшний день в белорусской науке исследованиям, посвященным использованию геоинформационных технологий в изучении процессов водной эрозии, уделено достаточно ограниченное внимание: как правило, они проводились в рамках более широких



экологических и геоморфологических исследований [6–8]. Следует отметить, что для этих исследований характерно рассмотрение водно-эрозионных процессов лишь через один показатель – соотношение видов угоний [6], величину плоскостного смыва [7], величину густоты форм линейной эрозии [7] либо устойчивость почв к водной эрозии [8]. В ряду публикаций данной тематики выделяется работа [9], посвященная использованию ГИС-технологий для оценки активности эрозии и денудации рельефа в пределах учебной географической станции БГУ «Западная Березина».

В зарубежной русскоязычной научной литературе новым методам изучения водно-эрозионных процессов уделено более пристальное внимание. Так, в исследовании А. Н. Мунтяна [10] выполнено моделирование водной эрозии с помощью уравнения *RUSLE (revised universal soil loss equation)*, а в качестве ключевых параметров использованы климатические условия, эродруемость почв, фактор рельефа и густота растительного покрова. В статье И. В. Казанцева и С. А. Ибрагимовой [11] приведены методы расчета коэффициента эрозионной опасности, коэффициента экологической стабилизации и зависимости урожайности от степени смытости почв на примере Самарской области. При вычислении этих параметров ключевыми исходными данными являлись сведения о крутизне склонов и тон изображения на космическом снимке на смытых почвах и в среднем на выделенном контуре. В работе Ж. А. Буряк [12] по данным дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) выявлены эрозионно трансформированные ареалы пашни, для которых вычислено среднее значение рельефной функции, определенное как критичное. В результате пространственного анализа для территории исследуемого полигона построена карта эрозионно опасных земель, сочетающая в себе распределение критичных значений рельефной функции и экспозиций склонов. Следует отметить, что для данных исследований характерны два принципиальных отличия от представленных ранее работ белорусских ученых. Первое отличие заключается в активном использовании интегральных показателей (в частности, с применением уравнения *RUSLE*). Второе, не менее важное отличие состоит в принципиальном отказе от разделения водной эрозии на плоскостную и линейную в контексте исследования водно-эрозионной опасности.

В зарубежных англоязычных исследованиях уравнение *RUSLE* также нашло широкое применение (см., например, [13; 14]).

Таким образом, актуальность выполненных авторами исследований была обусловлена необходимостью обновления методики изучения эрозионных процессов (конкретно – процессов водной эрозии), а их главная цель заключалась в разработке и апробации методики создания комплексной картосхемы эрозионной опасности почвы территории с использованием данных ДЗЗ и ГИС-технологий.

В качестве объекта представленного исследования выбрана территория Новогрудской возвышенности Западно-Белорусской физико-географической провинции. Исходными данными выступили аэрофотоснимки, полученные в результате аэрофотосъемки с применением полноформатного цифрового сенсора *ADS100 (Leica Geosystems, Швейцария)*.

Задачи исследования включали обработку исходных данных ДЗЗ в целях построения облака точек, цифровой модели рельефа (ЦМР) и создания ортофотоплана, выполнение расчетов и составление на их основе комплексной картосхемы эрозионной опасности почв для исследуемой территории, а также оценку полученных результатов.

### Материалы и методика исследования

Эрозионно опасными считаются такие почвы, где сочетания природных условий (климат, рельеф, почвообразующие и подстилающие породы, осадки) создают возможность проявления эрозии почв при их сельскохозяйственном использовании. Эрозионная опасность оценивается величиной потенциального смыва. В настоящее время существуют ряд моделей эрозии почвенного покрова – *AGNPS (agricultural non-point-source pollution model)* [15], *WEPP (water erosion prediction project)* [16], *USLE (universal soil loss equation)* [17], *RUSLE* [18] и *MUSLE (modified universal soil loss equation)* [19], реализация которых частично представлена в различных программных продуктах. Эти модели базируются на разбиении водораздела на отдельные ячейки регулярной сети и назначения каждой ячейке набора атрибутов, таких как уклон, длина склона, эрозионная интенсивность дождя, коэффициент эродруемости почвы и др.

Большинство программных средств, полностью реализующих подобные модели, представляют собой исследовательские версии, методы и алгоритмы которых требуют дополнительного анализа и оценки эффективности. Поскольку эффективность практического использования моделей во многом определяется наличием исходных данных, при разработке современных моделей эрозии почвенного покрова ставится задача создания такой модели, для которой требуется минимум необходимой информации.



Эмпирическая модель RUSLE, предложенная У. Уишмейером и Д. Смитом и доработанная К. Ренардом и Д. Фостером, является простым математическим выражением, базирующимся на пяти основных факторах, определяющих интенсивность протекания водно-эрозионных процессов [19].

Возможность применения универсального уравнения потерь почвы от эрозии (RUSLE) при прогнозе проявления водно-эрозионных процессов в условиях холмистого рельефа Минской возвышенности была оценена в работе Е. Н. Горбачевой [19] как перспективная, а создание эффективных инструментов построения ЦМР по стереоданным аэрофото- и космосъемки, в частности, для целей почвенно-эрозионного моделирования названо целесообразным.

На основе анализа научных работ, посвященных вопросам изучения водной эрозии с использованием ГИС-технологий и данных ДЗЗ, было принято решение о целесообразности применения модели RUSLE. Использовалось уравнение RUSLE, имеющее вид

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P,$$

где  $A$  – интегральный показатель водно-эрозионной опасности;  $R$  – фактор эродирующей способности дождей;  $K$  – фактор уязвимости почв эрозии;  $L$  – фактор длины склона;  $S$  – фактор крутизны склона;  $C$  – фактор растительности и севооборота;  $P$  – фактор эффективности противоэрозионных мероприятий.

В связи с малой площадью изучаемой территории и недостаточной для исследований в локальном масштабе густотой государственной сети гидрометеорологических наблюдений Республики Беларусь фактор эродирующей способности дождей был принят равным единице на всей территории исследования. Фактор растительности и севооборота и фактор эффективности противоэрозионных мероприятий также были приняты равными единице на исследуемой территории ввиду высокой динамичности этих параметров.

Закономерным следствием взятия в расчет меньшего количества факторов явилась качественная характеристика эрозионной опасности категориями «высокая» и «низкая», а также переходными между ними тремя категориями. Другим следствием стало рассмотрение лишь потенциальной водно-эрозионной опасности без учета фактора растительности и севооборота и фактора эффективности противоэрозионных мероприятий.

На основе почвенной карты и ЦМР рассчитаны фактор уязвимости почв эрозии (почвенный фактор) и топографический (рельефный) фактор (последний принят как равноценная замена факторам длины и крутизны склона). С их использованием вычислен интегральный показатель водно-эрозионной опасности, значения которого распределены по шкале из пяти качественных оценок от низких до высоких.

Полученные результаты подверглись экспертной оценке. В итоге были выявлены основные закономерности географического распределения значений интегрального показателя водно-эрозионной опасности. Кроме того, проведено сравнение итоговой картосхемы с ортофотопланом исследуемой территории, позволившее установить причины расхождений расчетной оценки водно-эрозионной опасности с представлением, полученным в ходе визуального анализа ортофотоплана. В общем виде разработанную методику можно отобразить блок-схемой, включающей ряд последовательных процедур (рис. 1).

Для исследования была выбрана территория, расположенная в Новогрудском районе Гродненской области к северо-востоку от Новогрудка. Общая площадь территории составляет 60 км<sup>2</sup>. Она вытянута на 10 км с севера на юг и на 6 км с запада на восток.

Аэрофотоснимки для изучения процессов водной эрозии предоставлены Белорусским предприятием сельскохозяйственных аэрофотогеодезических изысканий (БелПСХАГИ). Для их получения 21 мая 2016 г. была проведена аэрофотосъемка с использованием полноформатного цифрового сенсора ADS100. При высоте полета 1250 м расстояние между точками на местности, соответствующими центрам двух соседних пикселей, составляет 10 см, что позволяет поддерживать сверхвысокое пространственное разрешение. Цифровой сенсор принимает световое излучение в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах.

Данные, полученные в результате аэрофотосъемки, представлены в виде блока изображений. Выделена область интереса с преобладанием холмистого рельефа и, соответственно, активным развитием процессов водной эрозии. С помощью программы *Leica XPro* сгенерировано облако точек (DSM), которое использовалось в качестве исходных данных для построения ЦМР. Поскольку изначально данные являлись моделью поверхности, а не рельефа, точки прошли процедуру фильтрации, таким образом, были сохранены только те точки, которые соответствуют рельефу. Далее следовал процесс построения ЦМР в виде базы данных, доступной для демонстрации и геоинформационного анализа в ArcGIS. Все операции были выполнены в программе *Trimble Inpho UASMaster*.

Создание ортофотоплана проводилось аналогично построению облака точек также в программе *Leica XPro*. Пространственное разрешение полученного ортофотоплана составило менее 1 м, что от-



носит его к материалам ДЗЗ со сверхвысоким пространственным разрешением и делает пригодным для использования в целях изучения эрозионных процессов (рис. 2).

К обработанным данным ДЗЗ был применен геоинформационный анализ, который включал расчет фактора уязвимости почв эрозии и топографического фактора.

Для *оценки уязвимости почв эрозии* использовалась таблица коэффициентов водно-эрозионной устойчивости почв (табл. 1), предложенная Н. И. Афанасьевым [8], где в качестве количественного показателя уязвимости почв эрозии выступают значения, определенные методом «песок (пыль + глина)».



Рис. 1. Блок-схема основных этапов исследования  
Fig. 1. Block diagram of the main stages of the study



Рис. 2. Фрагмент ортофотоплана  
Fig. 2. Orthomosaic fragment



Таблица 1

Коэффициенты водно-эрозионной устойчивости почв

Table 1

Coefficients of soil water erosion resilience

№ п/п	Почва	Метод определения	
		песок (пыль + глина)	SiO <sub>2</sub> R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
1	Дерново-карбонатная выщелоченная легкосуглинистая	0,36	10,40
2	Бурая лесная	2,27	14,40
3	Дерново-подзолистая, развивающаяся на тяжелом суглинке	0,21	6,38
4	Дерново-палево-подзолистая, развивающаяся на мощном лёссовидном суглинке	0,54	8,90
5	Дерново-подзолистая, развивающаяся на песчанисто-пылеватом суглинке, подстилаемом моренным суглинком	0,44	10,50
6	Дерново-подзолистая вторично оподзоленная, развивающаяся на мощном лёссовом суглинке	0,13	10,00
7	Дерново-подзолистая, развивающаяся на мощном моренном суглинке	0,84	8,60
8	Дерново-подзолистая, развивающаяся на озерно-ледниковой супеси	1,06	–
9	Дерново-подзолистая, развивающаяся на водно-ледниковой супеси, подстилаемой моренным суглинком	2,50	18,50
10	Дерново-подзолистая, развивающаяся на водно-ледниковых песках	5,80	19,00

В качестве исходных данных использовалась почвенная карта масштаба 1 : 10 000, составленная в рамках последнего тура почвенных обследований Гродненской области. Из-за несоответствия легенды почвенной карты таблице коэффициентов на территории, занятой дерново-глееватыми, дерново-глеевыми, торфяно-глеевыми, торфяными, дегроторфяными, а также антропогенными почвами, подсчет фактора уязвимости этих почв эрозии проведен не был. Это же касается территорий, не относящихся к агроландшафтам: информация о почвах для них отсутствовала. Значения коэффициентов эрозионной устойчивости для дерново-карбонатных и дерново-подзолистых почв были приняты равными аналогичным показателям наиболее схожих им почв из табл. 1. При оценке схожести почв учитывались их тип, подтип, гранулометрический состав и генезис почвообразующих пород (приоритетность факторов соответствует порядку их перечисления).

В результате по коэффициенту водно-эрозионной устойчивости почвы были разбиты на шесть групп, которые соответствуют почвам № 1, 5, 6, 7, 9 и 10 в табл. 1. Часть почв остались нераспределенными (рис. 3).

Таким образом, уязвимость почв водной эрозии на большей части территории была приравнена к уязвимости дерново-подзолистой почвы, развивающейся на водно-ледниковой супеси, подстилаемой моренным суглинком, на основании гранулометрического состава и генезиса почвообразующих пород. Для дальнейшей обработки результат распределения почв был переведен в растр с использованием инструмента «полигоны в растр».

Что касается *топографического фактора*, то следует отметить, что расчет фактора крутизны склона не представляет проблем при геоинформационном анализе, тогда как вычисление фактора длины склона сопряжено с рядом трудностей. Большинство существующих подходов оперируют понятием мощности потока, заменяя расчет длины склона расчетом суммарного потока. Как правило, эти подходы объединяют факторы длины склона  $L$  и крутизны склона  $S$  в топографический фактор  $LS$ . В наших исследованиях для расчета топографического фактора была использована формула, описанная в работе американского ученого Д. К. Маккула с соавторами [20].



$$LS = \left( \frac{A \cdot D}{22,1} \right)^m \left( \frac{\sin \alpha}{0,0896} \right)^m, \quad (1)$$

$$m = \frac{\beta}{\beta + 1}, \quad (2)$$

$$\beta = \frac{\sin \alpha}{0,0896} \frac{1}{3,0(\sin \alpha)^{0,8} + 0,56}, \quad (3)$$

где  $LS$  – топографический фактор;  $A$  – растр слоя стока;  $\alpha$  – растр уклонов, град;  $D$  – длина ячейки ЦМР, м;  $m$  – функция от  $\alpha$ ;  $\beta$  – функция от  $\alpha$ .

Для расчета топографического фактора TIN-модель была преобразована в GRID-модель инструментом «TIN в растр» при размере ячейки 1 м. В дальнейшем полученная GRID-модель использовалась для проведения геоинформационного анализа инструментами группы «гидрология» модуля ArcGIS Spatial Analyst.

На основе растров слоя стока и уклонов создан растр топографического фактора. Для этого с использованием инструмента «калькулятор растра» были применены формулы (1)–(3). Полученный растр топографического фактора отражает объем потенциально смытой почвы в результате совместного действия плоскостной и линейной эрозии. Значения растра изменяются от 0 до 51 299, при этом значения выше 10–12 характерны для тальвегов оврагов, от 1–2 до 10–12 – для склонов с активным протеканием процессов плоскостной эрозии, ниже 1–2 – для слабо наклонных равнинных поверхностей (рис. 4).

Для создания комплексной картосхемы были использованы растры топографического фактора (рис. 5) и фактора уязвимости почв эрозии (рис. 6).

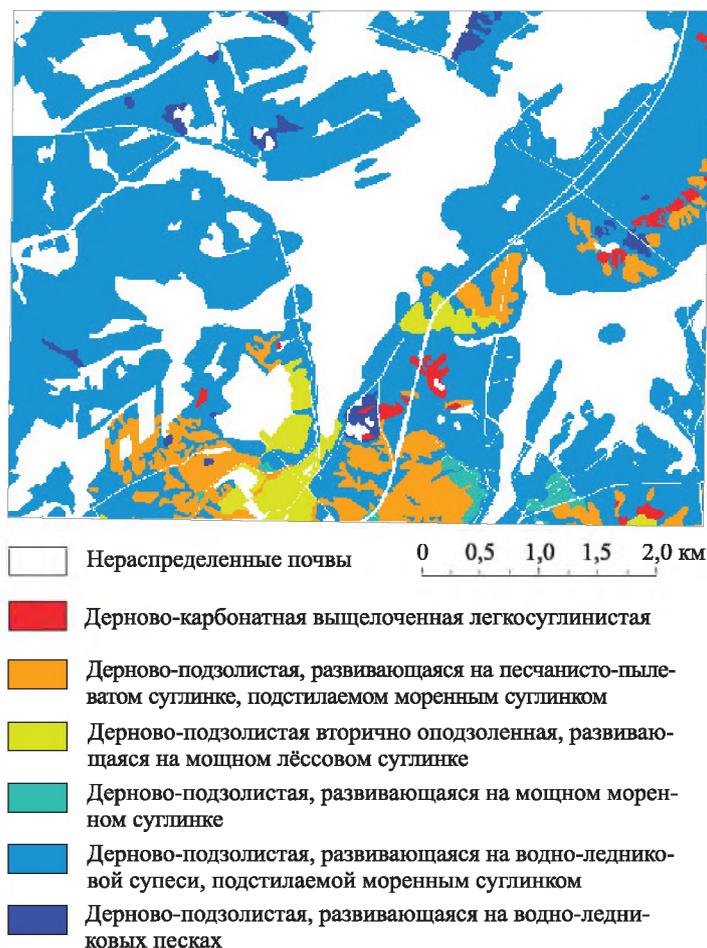


Рис. 3. Распределение почв по водно-эрозионной устойчивости (фрагмент картосхемы)

Fig. 3. Distribution of soils by water erosion resilience (fragment of the schematic map)



Рис. 4. Сравнение GRID-модели рельефа (а) с растром топографического фактора (б)  
Fig. 4. Comparison of the GRID model of the terrain (a) with the raster of the topographic factor (b)

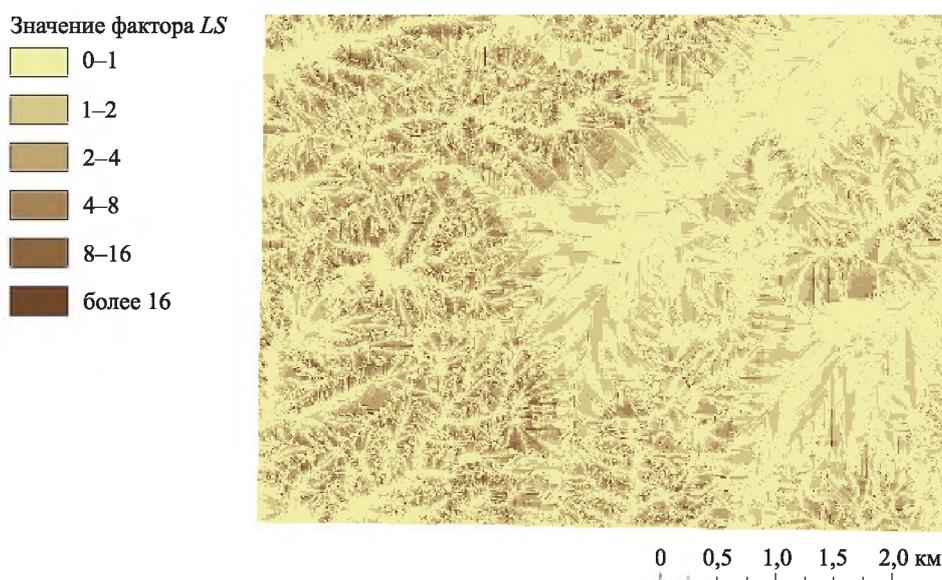


Рис. 5. Каргосхема топографического фактора (фрагмент)  
Fig. 5. Schematic map of the topographic factor (fragment)

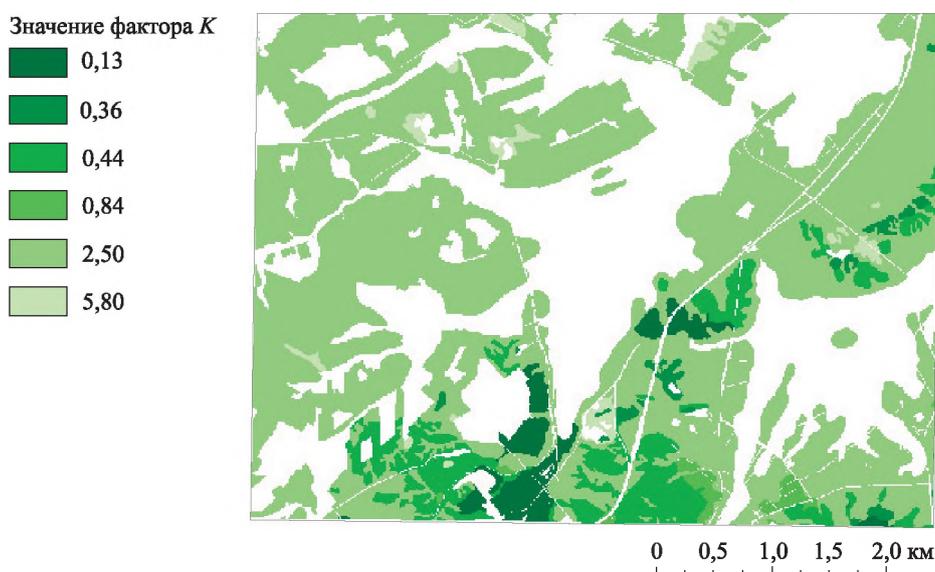


Рис. 6. Каргосхема фактора уязвимости почв эрозии (фрагмент)  
Fig. 6. Schematic map of the factor of soil erodibility (fragment)



Поскольку более высокое значение топографического фактора, как правило, говорит о повышенной активности процессов водной эрозии, в то время как более высокое значение фактора уязвимости почв эрозии, напротив, свидетельствует о большей сопротивляемости почв процессам водной эрозии, для подсчета интегрального показателя водно-эрозионной опасности была использована формула

$$A = \frac{(LS)^2}{K},$$

где  $A$  – интегральный показатель водно-эрозионной опасности;  $LS$  – растр топографического фактора;  $K$  – растр фактора уязвимости почв эрозии.

Топографический фактор взят в квадрат, поскольку представляет собой совокупность двух под-факторов – длины и крутизны склона. Для проведения подсчета использован инструмент «калькулятор растра», в результате получен растр со значениями от 0 до 376 869 504 (рис. 7).

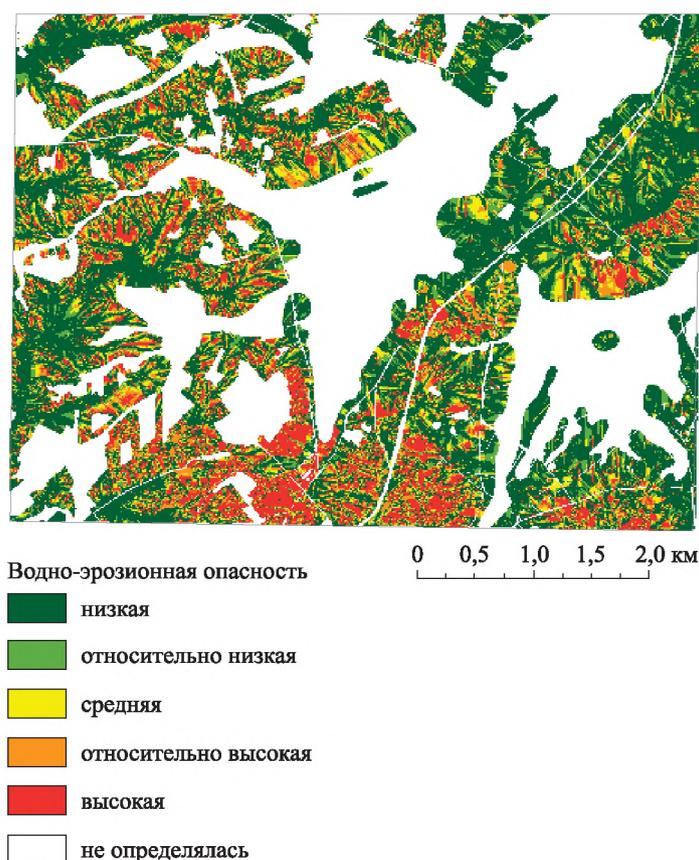


Рис. 7. Комплексная картосхема эрозионной опасности (фрагмент)

Fig. 7. Integrated schematic map of erosion hazard (fragment)

### Результаты и их обсуждение

Исходя из того, что значения топографического фактора от 1–2 до 10–12 характерны для склонов с активным протеканием процессов плоскостной эрозии, а значения фактора уязвимости почв эрозии изменяются от 0,13 до 5,80, для распределения значений по качественным оценкам была выбрана шкала, представленная в табл. 2.

Анализ полученных результатов показал, что комплексная картосхема эрозионной опасности выявляет определенные закономерности расположения районов, наиболее подверженных водной эрозии. Прежде всего картосхема отражает общую закономерность протекания процессов водной эрозии: они активнее происходят в местах распространения сильно расчлененного рельефа (пестрый рисунок картосхемы), чем на территориях с более плоской земной поверхностью (рисунок однородного зеленого цвета). Эта закономерность отчетливо заметна при визуализации картосхемы в более крупном масштабе (рис. 8).



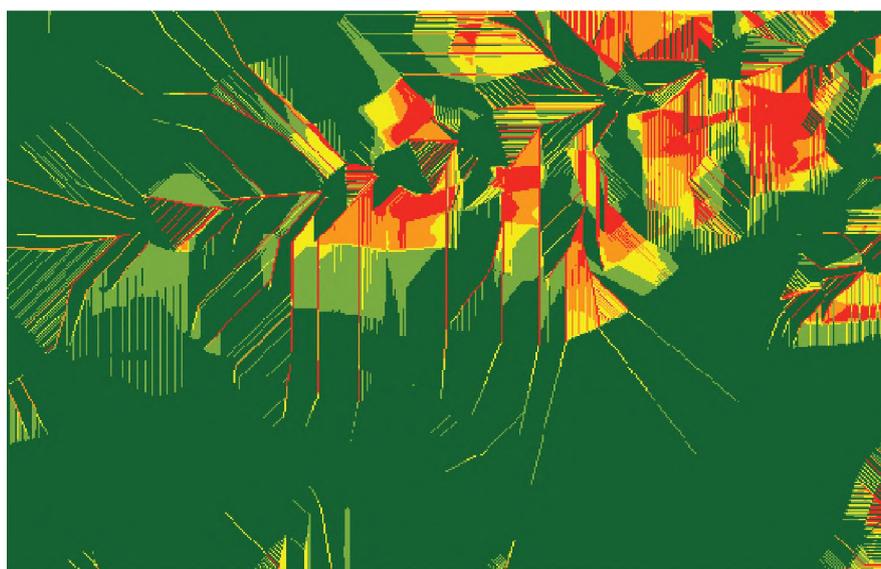
Таблица 2

Шкала значений интегрального показателя

Table 2

Integral indicator scale of values

Водно-эрозионная опасность	Значение <i>A</i>
Низкая	0,0–0,5
Относительно низкая	0,5–1,0
Средняя	1–2
Относительно высокая	2–4
Высокая	Более 4

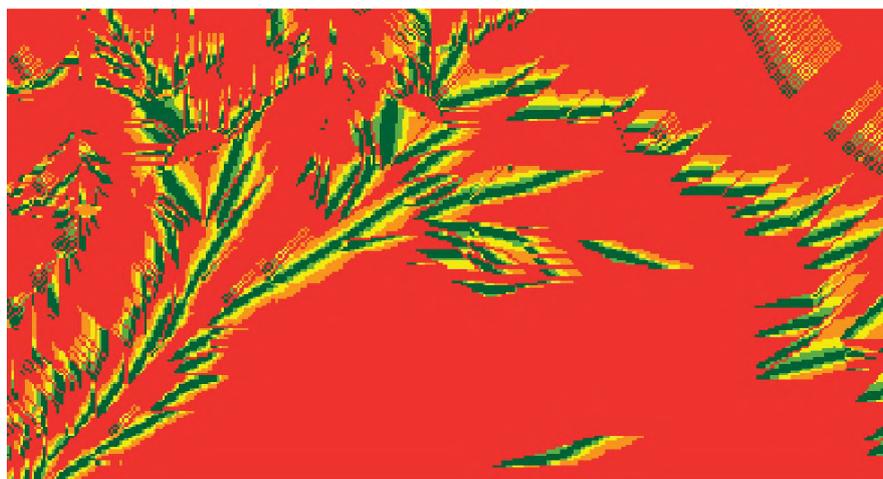


*Рис. 8.* Изображение сильно расчлененного (сверху) и слабо расчлененного (снизу) рельефа на итоговой картосхеме  
*Fig. 8.* Image of a highly dissected (top) and slightly dissected (below) terrain on the final schematic map

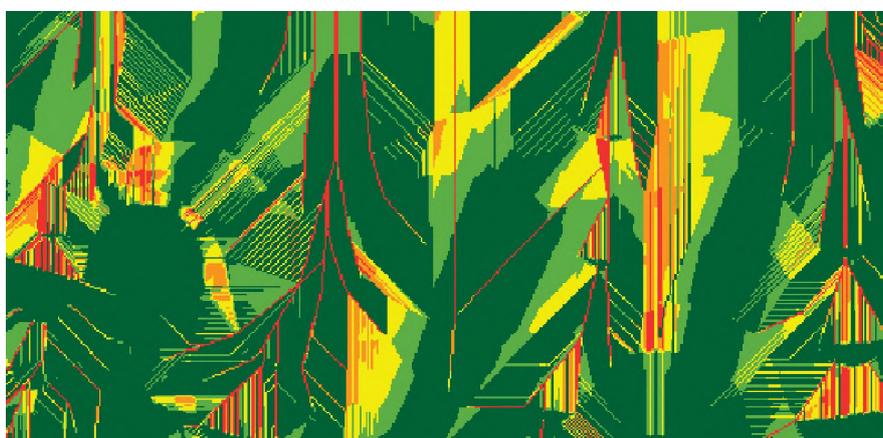
Территориям с сильно расчлененным рельефом, как отмечено выше, на картосхеме характерен пестрый рисунок, а земли с высокой и низкой водно-эрозионной опасностью непосредственно соседствуют друг с другом. На формирование рисунка оказывает влияние почвенный фактор: рисунок на территориях, занятых дерново-подзолистыми суглинистыми почвами, отличается от рисунка на землях, на которых распространены дерново-подзолистые супесчаные почвы. Так, в южной части исследуемой территории, где господствуют более уязвимые для водной эрозии суглинистые почвы (см. рис. 3), преобладает высокая водно-эрозионная опасность (красный цвет, значения интегрального показателя – более 4), в то время как низкая характерна для тальвегов линейных понижений в рельефе, где почва уже смыта (зеленый цвет, значения интегрального показателя – до 0,5) (рис. 9).

Так как на большей части исследуемой территории распространены более устойчивые к водной эрозии супесчаные почвы, то и рисунок там инвертирован: высокая водно-эрозионная опасность отмечена уже для линейных понижений в рельефе и прилегающих к ним склонов (красный и оранжевый цвета) (рис. 10).

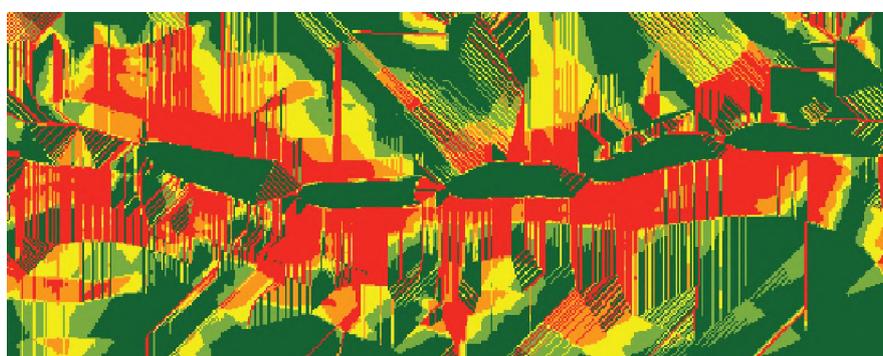
Наиболее развитым линейным формам рельефа, сформированного временными водотоками, также свойственна низкая водно-эрозионная опасность в тальвегах (зеленый цвет, значения интегрального показателя – до 0,5), высокая же водно-эрозионная опасность характерна для склонов (красный цвет, значения интегрального показателя – более 4) (рис. 11).



*Рис. 9.* Изображение участка с преобладанием суглинистых почв  
*Fig. 9.* Image of a site with predominance of loamy soils



*Рис. 10.* Изображение участка с преобладанием супесчаных почв  
*Fig. 10.* Image of a site with predominance of sandy loam soils



*Рис. 11.* Изображение развитой линейной формы рельефа,  
сформированной временными водотоками  
*Fig. 11.* Image of a developed linear landform created by temporary streams



Для визуальной оценки соответствия полученных результатов реальной ситуации на местности картосхема была преобразована в маску, наложенную на ортофотоплан территории исследования. При этом участки со средней, относительно высокой и высокой эрозионной опасностью были символизированы как прозрачные (так ортофотоплан виден только через эти пробелы). Участки с низкой и относительно низкой эрозионной опасностью были изображены зеленым цветом. Такой подход позволил определить, каким территориям на ортофотоплане соответствуют участки со средней, относительно высокой и высокой эрозионной опасностью (рис. 12).

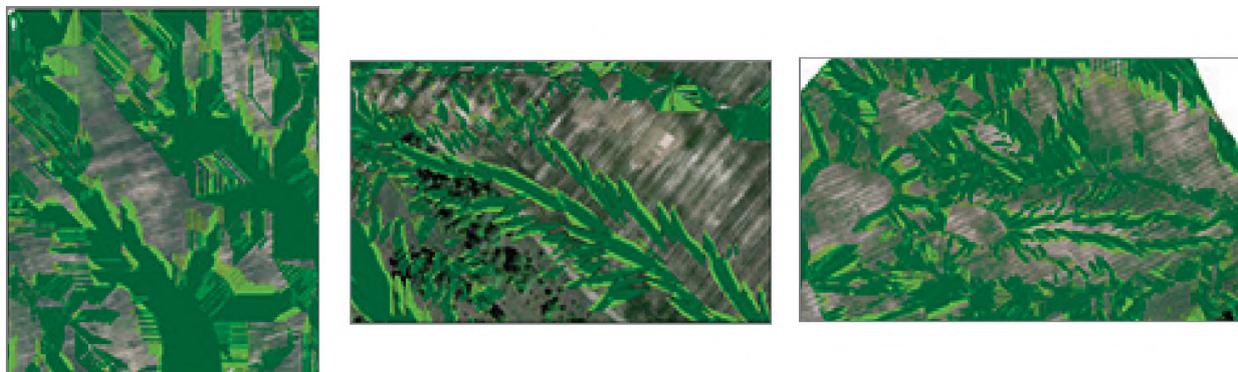


Рис. 12. Примеры территорий, верно рассчитанных как подверженные эрозионной опасности

Fig. 12. Examples of areas correctly calculated as subject to erosion hazard

Сравнительный визуальный анализ комплексной картосхемы эрозионной опасности почв исследуемой территории и изображения ортофотоплана показал, что полученные результаты расчетов не всегда полностью совпадают с реальной ситуацией, так как в ходе анализа также были выявлены участки, неверно идентифицированные как серьезно подверженные эрозионной опасности. Данный факт можно объяснить тем, что в реальности на протекание процессов водной эрозии воздействуют также факторы, не учтенные в расчетах, например распространение растительности или эффективность противоэрозионных мероприятий. Еще одной причиной расхождений полученных результатов стало несоответствие легенды почвенной карты для исследуемой территории таблице коэффициентов водно-эрозионной устойчивости почв, вызвавшее необходимость для почв, не прошедших лабораторное исследование, брать коэффициенты схожих с ними почв. Исходя из этой оценки, можно сделать вывод о том, что для дальнейшего использования предложенной методики следует учитывать большее количество факторов, а также повышать точность оценки уже существующих. В частности, более тщательное внимание должно быть уделено лабораторным исследованиям устойчивости почв к водной эрозии.

### Заключение

Таким образом, выполненные исследования по изучению процессов водной эрозии с использованием материалов ДЗЗ и ГИС-технологий показали перспективность и необходимость дальнейшей работы в данном направлении.

В качестве основных результатов исследования можно выделить следующие.

1. Разработана схема создания комплексной картосхемы эрозионной опасности.
2. Созданы облако точек, TIN-модель рельефа и ортофотоплан исследуемой территории на основе обработки материалов аэрофотосъемки.
3. Выполнен геоинформационный анализ данных ДЗЗ для изучения процессов водной эрозии: рассчитаны топографический фактор и фактор уязвимости почв эрозии, на основе которых составлена комплексная картосхема эрозионной опасности почв исследуемой территории.
4. Проведена экспертная оценка, выявившая причины расхождений расчетной оценки водно-эрозионной опасности с представлением, полученным в результате визуального анализа ортофотоплана.

Предложено для дальнейшего использования разработанной методики учитывать большее количество факторов, а также повышать точность оценки уже существующих.

### Библиографические ссылки

1. Жилко ВВ, Паярскаяйте АИ. Водная эрозия почв в БССР. В: Медведев АГ, редактор. *Эрозия почв и борьба с ней*. Минск: Урожай, 1968. с. 31–37.
2. Зайко СМ, Аношко ВС, редакторы. *Эволюция почв мелиорируемых территорий Белоруссии*. Минск: Университетское, 1990. 287 с.



3. Ягучно ВМ, Качков ЮП, Башкинцева ОФ. Ландшафтно-эрозионное районирование территории Беларуси. *Вестник Белорусского государственного университета. Серия 2. Химия. Биология. География*. 1998;3:63–68.
4. Лепешев АА, Кадацкий ВВ. Тенденция оживления эрозионной деятельности на территории Республики Беларусь. *Весті БДПУ. Серія 3. Фізика. Матэматыка. Інфарматыка. Біялогія. Геаграфія*. 2007;1:59–62.
5. Черныш АФ, Устинова АМ, Цырибко ВВ, Червань АН, Касьяненко ИИ. Деградация почв сельскохозяйственных земель Беларуси: виды и количественная оценка. *Почвоведение и агрохимия*. 2016;2:7–18.
6. Черныш АФ, Радюк АЭ, Касьянчик СА. Оценка экологической сбалансированности структуры земельного фонда в эрозионных и заболоченных агроландшафтах центральной почвенно-экологической провинции Беларуси. *Почвоведение и агрохимия*. 2009;1:7–14.
7. Романенко ВС, Курлович ДМ. Особенности проявления опасных геоморфологических процессов на территории Беларуси. В: Пирожник ИИ, Клебанович НВ, Аношко ВС, Чертко НК, Мурашко ЛИ, Ковальчик НВ и др., редакторы. *Структура и морфогенез почвенного покрова в условиях антропогенного воздействия. Материалы Международной научно-практической конференции; 17–20 сентября 2013 г.; Минск, Беларусь*. Минск: Издательский центр БГУ; 2013. с. 138–141.
8. Афанасьев НИ, Юхновец АВ. Коэффициенты устойчивости почв Беларуси к водной эрозии. *Почвоведение и агрохимия*. 2010;2:49–54.
9. Козлов ЕА, Генин ВА, Курлович ДМ. Использование ГИС-технологий для оценки активности эрозии и денудации рельефа в пределах учебной географической станции БГУ «Западная Березина». *Земля Беларуси*. 2015;4:41–44.
10. Мунтян АН. Оценка антропогенной деградации почв под влиянием эрозионных процессов с использованием геоинформационных систем и методов дистанционного зондирования Земли (на примере левобережья Днестра). *Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки*. 2016;35(11):129–138.
11. Казанцев ИВ, Ибрагимова СА. Теоретические основы оценки эрозионной опасности почв в агроландшафтах. *Самарский научный вестник*. 2013;3:48–50.
12. Буряк ЖА. Совершенствование подходов к оценке эрозионной опасности агроландшафтов с использованием ГИС-технологий. *Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки*. 2014;29(23):140–146.
13. Chatterjee S, Krishna AP, Sharma AP. Geospatial assessment of soil erosion vulnerability at watershed level in some sections of the Upper Subarnarekha river basin, Jharkhand, India. *Environmental Earth Sciences*. 2014;71(1):357–374. DOI: 10.1007/s12665-013-2439-3.
14. Lu D, Li G, Valladares GS, Batistella M. Mapping soil erosion risk in Rondônia, Brazilian Amazonia: using RUSLE, remote sensing and GIS. *Land Degradation & Development*. 2004;15(5):499–512. DOI: 10.1002/ldr.634.
15. Young RA, Onstad CA, Bosch DD, Anderson WP. *AGNPS, agricultural non-point-source pollution model: a watershed analysis tool*. Washington: United States Department of Agriculture. 1987. 80 p. (Conservation research report; No. 35).
16. Foster GR, Lane LJ. *User requirements: USDA, water erosion prediction project (WEPP)*. West Lafayette: USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory; 1987. 43 p. (NSERL report; No. 1).
17. Wischmeier WH, Smith DD. *Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning*. Washington: United States Department of Agriculture; 1978. 58 p. (Agriculture handbook; No. 537).
18. Renard KG, Foster GR, Weesies GA, Porter JP. RUSLE: revised universal soil loss equation. *Journal of Soil and Water Conservation*. 1991;46(1):30–33.
19. Горбачёва ЕН. Применение универсального уравнения потерь почвы от эрозии (RUSLE) при оценке интенсивности водно-эрозионных процессов на основе ГИС. *Почвоведение и агрохимия*. 2011;2:42–51.
20. McCool DK, Foster GR, Mutchler CK, Meyer LD. Revised slope length factor for the universal soil loss equation. *Transactions of the ASAE*. 1989;32(5):1571–1576. DOI: 10.13031/2013.31192.

## References

1. Zhilko VV, Payarskaite AI. [Water erosion of soil in the BSSR]. In: Medvedev AG, editor. *Eroziya pochv i bor'ba s nei* [Soil erosion and its control]. Minsk: Urozhai; 1968. p. 31–37. Russian.
2. Zaiko SM, Anoshko VS, editors. *Evolutsiya pochv melioriruemykh territorii Belorussii* [Evolution of soils of reclaimed territories of Belarus]. Minsk: Universitetskoe; 1990. 287 p. Russian.
3. Yatsukhno VM, Kachkov YuP, Bashkintseva OF. [Landscape-erosional zoning of the territory of Belarus]. *Vestnik Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 2. Khimiya. Biologiya. Geografiya*. 1998;3:63–68. Russian.
4. Lepeshev AA, Kadatskii VB. [The tendency of the revival of erosion activity in the territory of the Republic of Belarus]. *Vesci BDPU. Seriya 3. Fizika. Matjematyka. Infarmatyka. Bijalogija. Geagrafija*. 2007;1:59–62. Russian.
5. Chernysh AF, Ustinova AM, Tsyrybko VB, Chervan AN, Kas'yanenko II. Soil degradation of agricultural lands in Belarus: the types and quantitative assessment. *Soil Science and Agrochemistry*. 2016;2:7–18. Russian.
6. Chernysh AF, Radyuk AEh, Kas'yanchik SA. Estimation of ecological equation of structure of ground fund in erosive and swamped agrolandscapes the central soil-ecological province of Belarus. *Soil Science and Agrochemistry*. 2009;1:7–14. Russian.
7. Romanenko VS, Kurlovich DM. [Patterns characteristics of dangerous geomorphological processes on the territory of Belarus]. In: Pirozhnik II, Klebanovich NV, Anoshko VS, Chertko NK, Murashko LI, Koval'chik NV, et al., editors. *Struktura i morfogenez pochvennogo pokrova v usloviyakh antropogennogo vozdeistviya. Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii; 17–20 sentyabrya 2013 g.; Minsk, Belarus* [Structure and morphogenesis of soil cover under anthropogenic impact. Proceedings of the International scientific and practical conference; 2013 September 17–20; Minsk, Belarus]. Minsk: Publishing Center of the Belarusian State University; 2013. p. 138–141. Russian.
8. Afanas'ev NI, Yuhnovets AV. Coefficients of resistance of sod-podzolic soils of Belarus to erosion. *Soil Science and Agrochemistry*. 2010;2:49–54. Russian.
9. Kazlou YaA, Genin UA, Kurlovich DM. Using of GIS technologies for assessment of activity of erosion and denudation of landforms within the Western Berezina educational geographical station of the Belarusian State University. *Zemlya Belarusi*. 2015;4:41–44. Russian.



10. Muntjan AN. Evaluation the anthropogenic degradation of soil under the influence of soil erosion using geoinformation technologies and remote sensing of the Earth (with reference to the left bank of river Dniester). *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki*. 2016;35(11):129–138. Russian.
11. Kazantsev IV, Ibrahimova SA. The theoretical foundations for evaluating the risk of erosion of soils of agricultural landscapes. *Samarskii nauchnyi vestnik*. 2013;3:48–50. Russian.
12. Buryak ZhA. Improvement of approaches to assessing the risk of erosion in agricultural landscapes using GIS technology. *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki*. 2014;29(23):140–146. Russian.
13. Chatterjee S, Krishna AP, Sharma AP. Geospatial assessment of soil erosion vulnerability at watershed level in some sections of the Upper Subarnarekha river basin, Jharkhand, India. *Environmental Earth Sciences*. 2014;71(1):357–374. DOI: 10.1007/s12665-013-2439-3.
14. Lu D, Li G, Valladares GS, Batistella M. Mapping soil erosion risk in Rondônia, Brazilian Amazonia: using RUSLE, remote sensing and GIS. *Land Degradation & Development*. 2004;15(5):499–512. DOI: 10.1002/ldr.634.
15. Young RA, Onstad CA, Bosch DD, Anderson WP. *AGNPS, agricultural non-point-source pollution model: a watershed analysis tool*. Washington: United States Department of Agriculture; 1987. 80 p. (Conservation research report; No. 35).
16. Foster GR, Lane LJ. *User requirements: USDA, water erosion prediction project (WEPP)*. West Lafayette: USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory; 1987. 43 p. (NSERL report; No. 1).
17. Wischmeier WH, Smith DD. *Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning*. Washington: United States Department of Agriculture; 1978. 58 p. (Agriculture handbook; No. 537).
18. Renard KG, Foster GR, Weesies GA, Porter JP. RUSLE: revised universal soil loss equation. *Journal of Soil and Water Conservation*. 1991;46(1):30–33.
19. Gorbacheva EN. RUSLE model implementation for estimation intensity of water erosion processes on Belarusian soil cover. *Soil Science and Agrochemistry*. 2011;2:42–51. Russian.
20. McCool DK, Foster GR, Mutchler CK, Meyer LD. Revised slope length factor for the universal soil loss equation. *Transactions of the ASAE*. 1989;32(5):1571–1576. DOI: 10.13031/2013.31192.

Получена 12.04.2021 / исправлена 02.09.2021 / принята 01.10.2021.  
Received 12.04.2021 / revised 02.09.2021 / accepted 01.10.2021.



УДК 551.581.1,551.582,551.584

## ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ ПРОЯВЛЕНИЯ В РЕЖИМЕ УВЛАЖНЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ В УСЛОВИЯХ ТРАНСФОРМАЦИИ КЛИМАТА

И. С. ДАНИЛОВИЧ<sup>1), 2)</sup>, Н. Г. ПИСКУНОВИЧ<sup>2)</sup>

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

<sup>2)</sup>Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси,  
ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Беларусь

Проведено исследование современных и ожидаемых изменений в режиме увлажнения на территории Беларуси. Выполнена оценка динамики средних и экстремальных характеристик осадков и показателей засушливости климата за 1948–2019 гг. и более детально за 1989–2019 гг. (период потепления климата), а также ожидаемых изменений в режиме увлажнения в 2021–2099 гг. Показано, что в зимний сезон увеличение осадков в 1989–2019 гг., составляющее 20–30 % по сравнению с уровнем 1948–1988 гг., происходит за счет роста числа дней с осадками малой интенсивности и связано с увеличением продолжительности выпадения осадков в жидком виде. В летний сезон отмечается сокращение продолжительности выпадения осадков на всей территории страны на 20 %, что свидетельствует о возрастании засушливости климата, и одновременно увеличение максимальных сумм осадков на 20–30 % с наибольшим приростом в южных районах. Наблюдается рост числа дней с низкой влажностью на 1–4 дня, числа дней с сочетанием высокой температуры и низкой влажности на 1–2 дня за 10 лет и повторяемости атмосферных засух различных градаций от 2 до 26 % на большинстве метеорологических станций страны. Согласно расчетам климатических моделей EURO-CORDEX-11 ожидается увеличение годовых и сезонных сумм осадков с наибольшим ростом в зимний период, оно будет обусловлено выпадением осадков высокой интенсивности в течение всего года. Но вместе с тем прогнозируется увеличение продолжительности засушливых периодов в летне-осенний сезон, что свидетельствует о дальнейшем нарастании экстремальности климата.

**Ключевые слова:** трансформация климата; режим увлажнения; суточные максимумы; продолжительность выпадения осадков; стандартизированные индексы осадков; засухи; климатические проекции.

## PRECIPITATION EXTREMES OVER TERRITORY OF BELARUS UNDER CURRENT CLIMATE CHANGE

I. S. DANILOVICH<sup>a, b</sup>, N. G. PISKUNOVICH<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Belarusian State University, 4 Niezaliežnasci Avenue, Minsk 220030, Belarus

<sup>b</sup>Institute of Nature Management, National Academy of Sciences of Belarus,  
10 F. Skaryny Street, Minsk 220114, Belarus

Corresponding author: I. S. Danilovich (irina-danilovich@yandex.ru)

### Образец цитирования:

Данилович ИС, Пискунович НГ. Экстремальные проявления в режиме увлажнения на территории Беларуси в условиях трансформации климата. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология.* 2021;2:32–44. <https://doi.org/10.33581/2521-6740-2021-2-32-44>

### For citation:

Danilovich IS, Piskunovich NG. Precipitation extremes over territory of Belarus under current climate change. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology.* 2021; 2:32–44. Russian. <https://doi.org/10.33581/2521-6740-2021-2-32-44>

### Авторы:

**Ирина Сергеевна Данилович** – кандидат географических наук, доцент; доцент кафедры общего землеведения и гидрометеорологии факультета географии и геоинформатики<sup>1)</sup>, ведущий научный сотрудник Центра климатических исследований<sup>2)</sup>.

**Никита Геннадьевич Пискунович** – младший научный сотрудник Центра климатических исследований.

### Authors:

**Irina S. Danilovich**, PhD (geography), docent; associate professor at the department of earth science and hydrometeorology, faculty of geography and geoinformatics<sup>a</sup>, and leading researcher at the Center for Climate Research<sup>b</sup>.

[irina-danilovich@yandex.ru](mailto:irina-danilovich@yandex.ru)

**Nikita G. Piskunovich**, junior researcher at the Center for Climate Research.

[phenosphere@gmail.com](mailto:phenosphere@gmail.com)





The study presents an investigation of current and future changes in precipitation regime over territory of Belarus. An assessment of precipitation means and extremes and droughts indices was provided for period of 1948–2019 and more detailed analysis have been carried out for period of climate change in 1989–2019. The precipitation expected changes were studied for period of 2021–2099. It was established that precipitation growth up to 20–30 % in winter during 1989–2019 in comparison by 1948–1988, is connected with increase the number of days with weak precipitation and caused by growing duration of liquid precipitation falling. In summer the reducing of rain falling duration was noticed over territory of Belarus. At the same time the significant growth of precipitation maximal totals per day by 20–30 % was detected. The largest growth was found in the south of the country. Dry days number raised by 1–4 days and dry and hot days numbers raised by 1–2 days per decade. The repeatability of atmosphere droughts of different gradations increased up to 2–26 % by the majority of meteorological stations. According to climate projections based on the EURO-CORDEX-11, the growth of yearly and seasonal precipitation is expected over territory of Belarus. The precipitation increase is connected with growth of intense precipitation. At the same time, the dry periods duration is projected to rise in the warm part of the year. These tendencies are characterised the climate extremeness increase in the current century.

**Keywords:** precipitation; maximal totals; rainfall duration; standardised indices of precipitation; droughts; climate projections.

## Введение

Изменение климата в глобальном масштабе сопровождается ростом температуры воздуха, трансформацией режима осадков, увеличением повторяемости опасных и неблагоприятных явлений погоды. Наибольшие региональные различия в период потепления климата характерны для режима увлажнения. Например, в северо-восточной и северо-западной частях Европы зафиксировано увеличение годового количества осадков с 1960 по 2000 г. на 17 мм за каждые 10 лет [1], в летний период рост составил до 18 мм, в зимний период – до 70 мм за 10 лет. Вместе с тем в некоторых южных районах Европы отмечено снижение годовых сумм осадков до 90 мм, а летних осадков – до 20 мм за 10 лет [2]. Результаты исследований показывают увеличение повторяемости интенсивных осадков на севере и северо-востоке Европы с 1950-х гг., но на юго-западе и юге тенденции расходятся [3].

В исследованиях режима осадков также установлено [4], что с 1950-х гг. в Центральной и Южной Европе отмечается рост засушливости летом, однако на остальной части Европы устойчивых тенденций не наблюдается [5]. Исследования засух в Восточной Европе показали снижение засушливости на большей территории Балтийского региона [6]. Но в то же время некоторыми авторами отмечено увеличение засушливости в Украине и Беларуси [7], а также центральной части Польши [8].

Исследования режима увлажнения, в том числе засушливых условий, на территории Беларуси показали отсутствие значимых трендов годовых сумм осадков [9–12]. В то же время происходит увеличение повторяемости засушливых условий в воздухе [13] и почве [14] в вегетационный сезон в период потепления климата.

Анализ литературных источников позволяет заключить, что территория Беларуси располагается в переходной зоне между севером, где наблюдается рост осадков, и югом, где отмечается увеличение засушливости климата, а также между регионами морского и континентального климата. В связи с разнонаправленными изменениями в режиме увлажнения в регионе Европы и отсутствием значимых тенденций годовых и месячных сумм осадков в большинстве месяцев на территории Беларуси цель настоящего исследования заключалась в установлении величины и направленности современных тенденций экстремальных характеристик осадков в Беларуси. Объектом исследования является режим увлажнения, формирующийся в пределах республики, предметом исследования выступают экстремальные проявления в режиме увлажнения на территории Беларуси под воздействием изменяющегося климата.

## Материалы и методы исследования

Для исследования режима увлажнения на территории страны в качестве исходных данных использованы материалы Государственного климатического кадастра Республики Беларусь, представленные месячными и годовыми суммами осадков, максимальными суммами осадков за сутки и год, продолжительностью выпадения осадков, суточными значениями относительной влажности воздуха по 42 метеорологическим станциям сети гидрометеорологических наблюдений Белгидромета Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь за 1948–2019 гг.

На основании исходных данных вычислены разности осредненных за периоды 1948–1988 и 1989–2019 гг. месячных и годовых сумм осадков, продолжительности выпадения осадков, макси-



мального суточного количества осадков, тренды числа дней с относительной влажностью не менее 80 и не более 30 %, разности повторяемости стандартизированных индексов осадков. Под повторяемостью понимается отношение числа месяцев (лет) с явлением к числу месяцев (лет) наблюдений.

Для оценки засушливых условий как показателя экстремальности режима осадков использован стандартизованный индекс осадков (*standardised precipitation index*, SPI), рекомендованный Всемирной метеорологической организацией для мониторинга и прогнозирования засух [15].

Расчет индексов SPI для любой территории основан на результатах многолетних наблюдений за осадками, которые аппроксимируются распределением вероятностей, затем преобразуются в нормальное распределение таким образом, чтобы среднее значение индекса SPI для данного места и желаемого периода было равно нулю [16]. Индекс SPI выбран для анализа засушливых условий или атмосферных засух, поскольку он сопоставим для регионов с различными условиями увлажнения, позволяет сравнивать результаты исследований засух на больших территориях и используется во многих странах.

Индекс SPI может рассчитываться для разных временных масштабов. В частности, в данной работе индексы SPI рассчитаны за каждый месяц (SPI-1) теплого периода (апрель – октябрь) каждого года с 1948 по 2019 г. Положительные значения индекса SPI указывают на объем осадков выше среднего, а отрицательные – ниже среднего. В работе анализировались индексы SPI, попадающие в градации, которые характеризуют различную степень засушливости территории:  $-0,5 \dots -1,0$  – слабовыраженная засуха;  $-1,1 \dots -1,5$  – умеренная засуха;  $-1,51 \dots -1,99$  – сильная засуха;  $-2,0$  и менее – экстремальная засуха.

Для оценки будущих изменений в режиме увлажнения на территории Беларуси использованы расчеты по 92 комбинациям глобальных и региональных климатических моделей консорциума EURO-CORDEX [17]. Данные представлены с горизонтальным разрешением  $0,11^\circ$  ( $\sim 12$  км, EUR-11) для трех сценариев концентрации парниковых газов (т. е. выбросов аэрозолей и парниковых газов [18]), а именно RCP2.6 (10 симуляций), RCP4.5 (43 симуляции) и RCP8.5 (39 симуляций). Описание исходных данных и подробные результаты исследования будущих климатических изменений на территории Беларуси с менее детальным пространственным разрешением ( $\sim 50$  км, EUR-44) представлены в [19].

## Результаты и их обсуждение

**Месячные и годовые суммы осадков.** Значимые изменения годовых сумм осадков на территории Беларуси в течение длительного времени, включая современный период потепления, как показано в [9–12], не прослеживаются. В годовом разрезе увеличение месячных сумм в период потепления климата (1989–2019) зафиксировано в январе – марте [10] с наибольшими показателями роста в северных районах, что связано с особенностями атмосферной циркуляции в Атлантико-Европейском секторе [20]. В теплый период года месячные суммы осадков возросли в апреле, июле и октябре на 8–17 %, но снизились в июне, августе, ноябре и декабре на 6–10 %.

Однако при относительной стабильности режима увлажнения территории Беларуси в теплый период года в отдельные месяцы увеличилось стандартное отклонение месячных сумм осадков, что свидетельствует о росте экстремальности в режиме выпадения осадков (см. таблицу).

Стандартные отклонения месячных сумм осадков теплого периода года (апрель – октябрь) на территории Беларуси за 1948–1988 и 1989–2019 гг., мм

The standard deviations of monthly precipitation sums during warm period (April – October) over territory of Belarus during 1948–1988 and 1989–2019, mm

Регион	Период	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь
Север	1948–1988	21	32	37	44	44	36	30
	1989–2019	21	34	37	47	48	34	34
Центр	1948–1988	21	30	37	46	41	33	32
	1989–2019	20	31	37	51	42	33	35
Юг	1948–1988	22	28	39	46	40	32	33
	1989–2019	20	28	38	54	39	35	37

Примечание. Красным цветом выделено увеличение месячных сумм осадков.



**Продолжительность выпадения осадков.** Несмотря на увеличение зимних сумм осадков, в большинстве месяцев года продолжительность выпадения осадков (в часах) уменьшилась на всей территории страны, за исключением северных районов, где время выпадения осадков увеличилось на 15 ч. В центральных и южных районах в зимний сезон (декабрь – февраль) продолжительность выпадения осадков снизилась на 39–45 ч. Величина отрицательных трендов в этих регионах составляет 5–7 ч за 10 лет.

Продолжительность выпадения жидких осадков в зимний сезон увеличилась. Наибольшее изменение произошло на севере страны – 109 ч за период потепления. В центральных и южных районах рост достигал 42–44 ч. Как показано в [12], в среднем по территории Беларуси увеличение составило 10 дней, или 24 %.

Продолжительность выпадения твердых осадков в холодный период года сократилась на 11–26 ч в месяц на севере страны, 17–47 ч в месяц в центре и 11–41 ч в месяц на юге. Наиболее заметное изменение характерно для января: величина отрицательного тренда составляет около 20 ч за 10 лет (рис. 1, а). Согласно [12] уменьшение продолжительности выпадения твердых осадков составило 13 дней, или 19 %. Продолжительность смешанных осадков практически не изменилась за период потепления.

Одновременный рост продолжительности выпадения жидких осадков и месячных сумм осадков в зимние месяцы можно связать с увеличением числа дней с осадками ( $P_{\text{сут}} > 1$  мм) на всей территории страны (1–2 дня в январе – феврале, а также марте, но без значимых изменений в декабре).

Режим выпадения осадков в теплый период года (апрель – октябрь) также изменился: отмечается снижение продолжительности выпадения осадков в среднем от 9 ч на севере страны до 27–28 ч на остальной территории.

Летом (июнь – август) сокращение продолжительности выпадения осадков составляет от 1–7 ч в месяц на севере республики до 4–15 ч в месяц на юге и в центре. При средних многолетних значениях в пределах 45–55 ч суммарно за лето величина снижения составила 10–50 ч преимущественно в центральных и южных районах страны. Лишь на крайнем севере Беларуси продолжительность выпадения осадков летом сохранилась на прежнем уровне или увеличилась на 10–15 ч за сезон (рис. 1, б).

**Максимальное суточное количество осадков.** Максимальные суммы осадков за сутки не изменились в холодный период года и заметно увеличились в теплый период с мая по октябрь на всей территории страны и наиболее значительно в южных и центральных районах. Средние месячные значения максимальных сумм осадков за зимний сезон возросли на 7–16 мм, в среднем за летний сезон – на 54–58 мм, что соответствует 30 % нормы. Величина положительных трендов составляет 10–13 мм за 10 лет на севере, 25–29 мм за 10 лет на юге. Распределение разностей максимальных суточных сумм осадков за различные периоды иллюстрирует рис. 2.

Уменьшение продолжительности выпадения осадков и рост максимальных сумм осадков летом могут свидетельствовать о более частом формировании засушливых условий или атмосферных засух.

Анализ показателей влагосодержания в атмосфере представлен расчетами трендов (1948–2019) числа дней с относительной влажностью не менее 80 %, характеризующих очень влажные дни, и числа дней с относительной влажностью не более 30 %, характеризующих очень сухие дни. Результаты расчетов представлены на рис. 3.

Расчеты показали, что число влажных дней уменьшается на всей территории Беларуси: в центральных и восточных районах – на 1–2 дня за 10 лет, на остальной части страны – на 3–4 дня за 10 лет (см. рис. 3, а). Число сухих дней, напротив, увеличивается на всей территории республики – в пределах от 1,0–1,5 дня за 10 лет на севере, западе и в центре страны до 2–4 дней за 10 лет на большинстве южных станций (см. рис. 3, б). То есть в теплый период года снижается содержание влаги в воздухе и увеличивается засушливость климата.

Гипотезу об увеличении засушливости климата в Беларуси в период потепления климата (1989–2019) также подтверждает анализ индексов SPI, согласно которым в период потепления отмечается рост повторяемости атмосферных засух на территории страны. На рис. 4 представлено изменение повторяемости засух различных градаций (в соответствии с индексом SPI-1), которая возросла на каждой из 32 метеорологических станций, взятых для анализа засушливости климата, хотя бы в один из месяцев теплого периода года (апрель – октябрь).

Повторяемость слабовыраженных засух увеличилась на 2–19 %, умеренных – на 2–26 % на половине рассматриваемых станций, повторяемость сильных засух возросла на 2–17 % на трети всех станций, а повторяемость экстремальных засух – на 3–20 % на половине станций. То есть на большинстве представленных станций отмечается увеличение повторяемости засух хотя бы одной из градаций. Лишь на 4 станциях (Березино, Василевичи, Пинск, Полесская) из 32 анализируемых станций повторяемость засух не изменилась за период потепления климата.

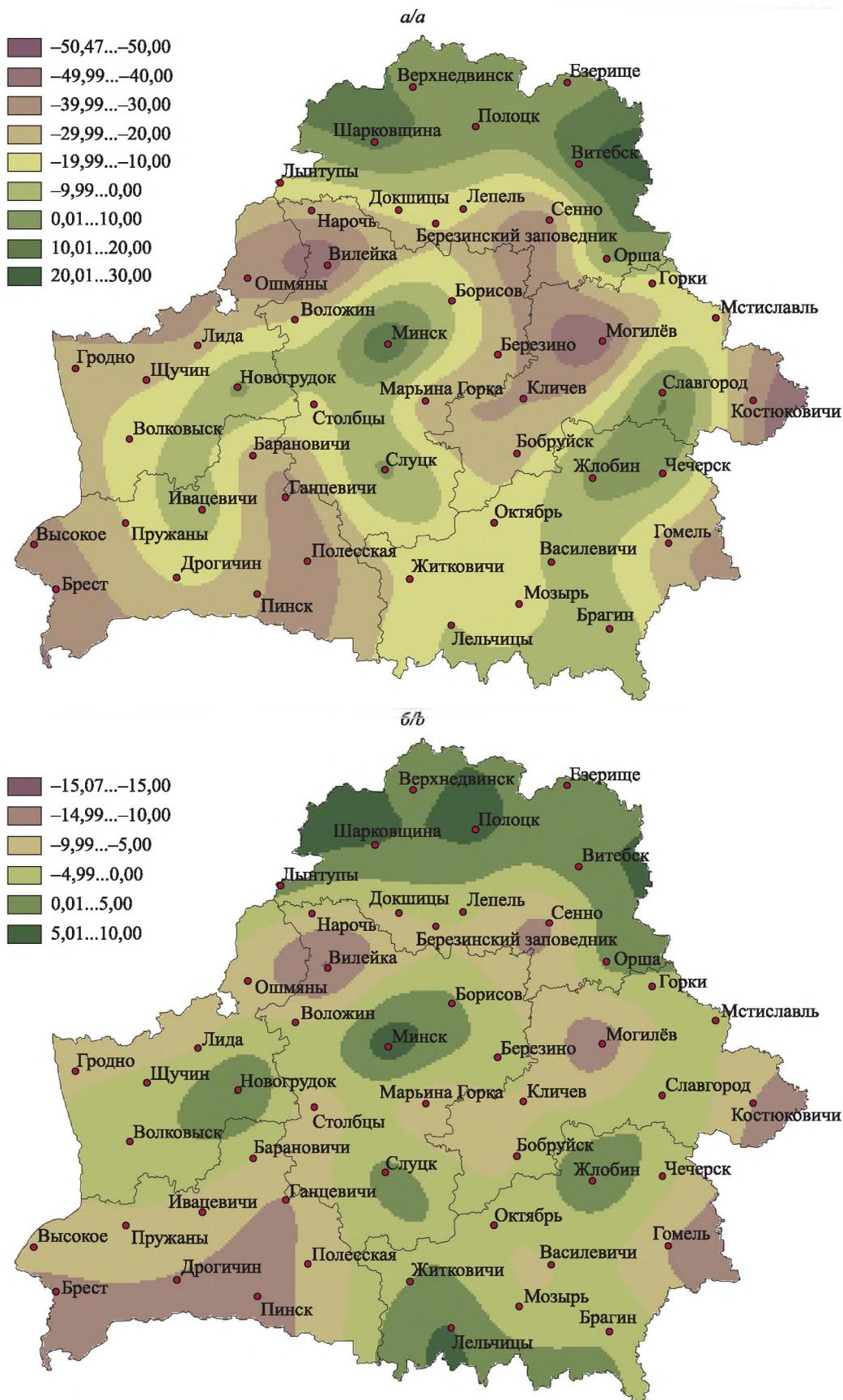


Рис. 1. Изменение продолжительности выпадения осадков на территории Беларуси зимой (а) и летом (б) в 1989–2019 гг. по отношению к уровню 1948–1988 гг., ч  
 Fig. 1. Changes of precipitation duration over territory of Belarus in winter (a) and summer (b) in 1989–2019 in relation to the level of 1948–1988, h

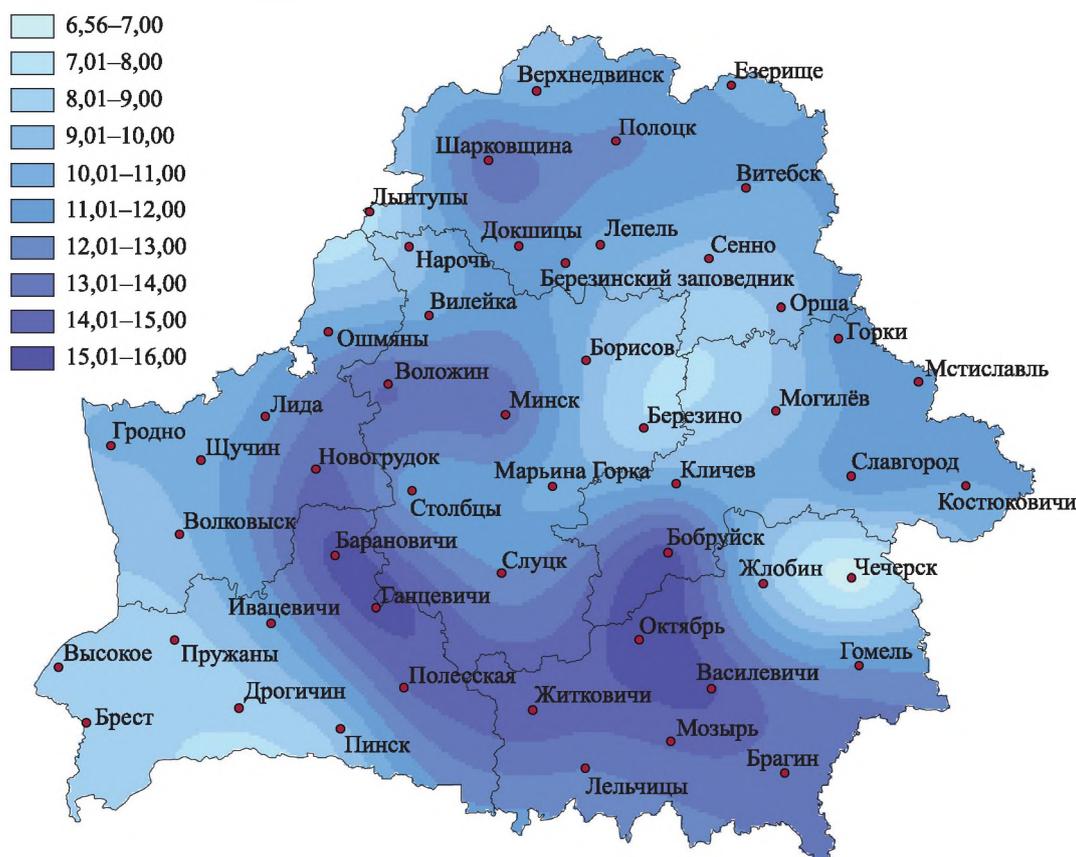


Рис. 2. Изменение максимальных суточных сумм осадков, осредненных за летние месяцы (июнь – август), в 1989–2019 гг. по отношению к уровню 1948–1988 гг., мм  
Fig. 2. Changes of maximal precipitation totals per day aggregated by summer months (June – August) in 1989–2019 in relation to the level of 1948–1988, mm

Четкая тенденция увеличения или уменьшения числа станций с одновременными засухами отсутствует, но возросла повторяемость случаев, когда экстремальная засуха одновременно отмечалась на более чем 10 станциях (рис. 5).

В 1948–1988 гг. повторяемость подобных случаев составляла 12,5 % (или 5 случаев за 40 теплых сезонов), в 1989–2019 гг. – 22,5 % (или 7 случаев за 31 теплый сезон), и среди этих случаев увеличилось число станций ( $N_{\text{станций}} > 20$ ), на которых одновременно зафиксирована экстремальная засуха.

**Ожидаемые изменения в режиме увлажнения.** Согласно расчетам, выполненным на основе данных численных экспериментов проекта EURO-CORDEX (EUR-11), ожидается увеличение количества осадков в течение XXI в. на всей территории Беларуси. На рис. 6 представлены медианные значения из ансамбля климатических моделей ожидаемых изменений (отклонений) сезонных и годовых сумм осадков за последовательные десятилетия в период 2021–2099 гг. по отношению к условиям 1971–2000 гг. Наибольший рост сезонных сумм осадков прогнозируется зимой и весной, величины изменения, предположительно, составят от 10 мм по сценарию RCP2.6 до 50 мм по сценариям RCP4.5 и RCP8.5. Летом и осенью ожидается более сложное изменение количества осадков, в теплый период года возрастает неопределенность в расчетах климатических моделей. Большинство моделей показывают увеличение сезонных сумм осадков до 20–25 мм летом и 6–46 мм осенью. Некоторое снижение прогнозируется летом и осенью в середине текущего столетия в случае реализации сценария RCP2.6.

Ожидается увеличение количества дней с осадками, соответствующих 95-му процентилю (интенсивные осадки): зимой и весной на 1–4 дня при сценарии RCP2.6, на 3–9 дней при сценариях RCP4.5 и RCP8.5. Летом и осенью отклонения количества дней с интенсивными осадками составят 1–2 дня при сценарии RCP2.6, но четкой тенденции к увеличению или уменьшению в текущем столетии нет. При сценариях RCP4.5 и RCP8.5 увеличение количества дней с интенсивными осадками составит 2–6 дней.

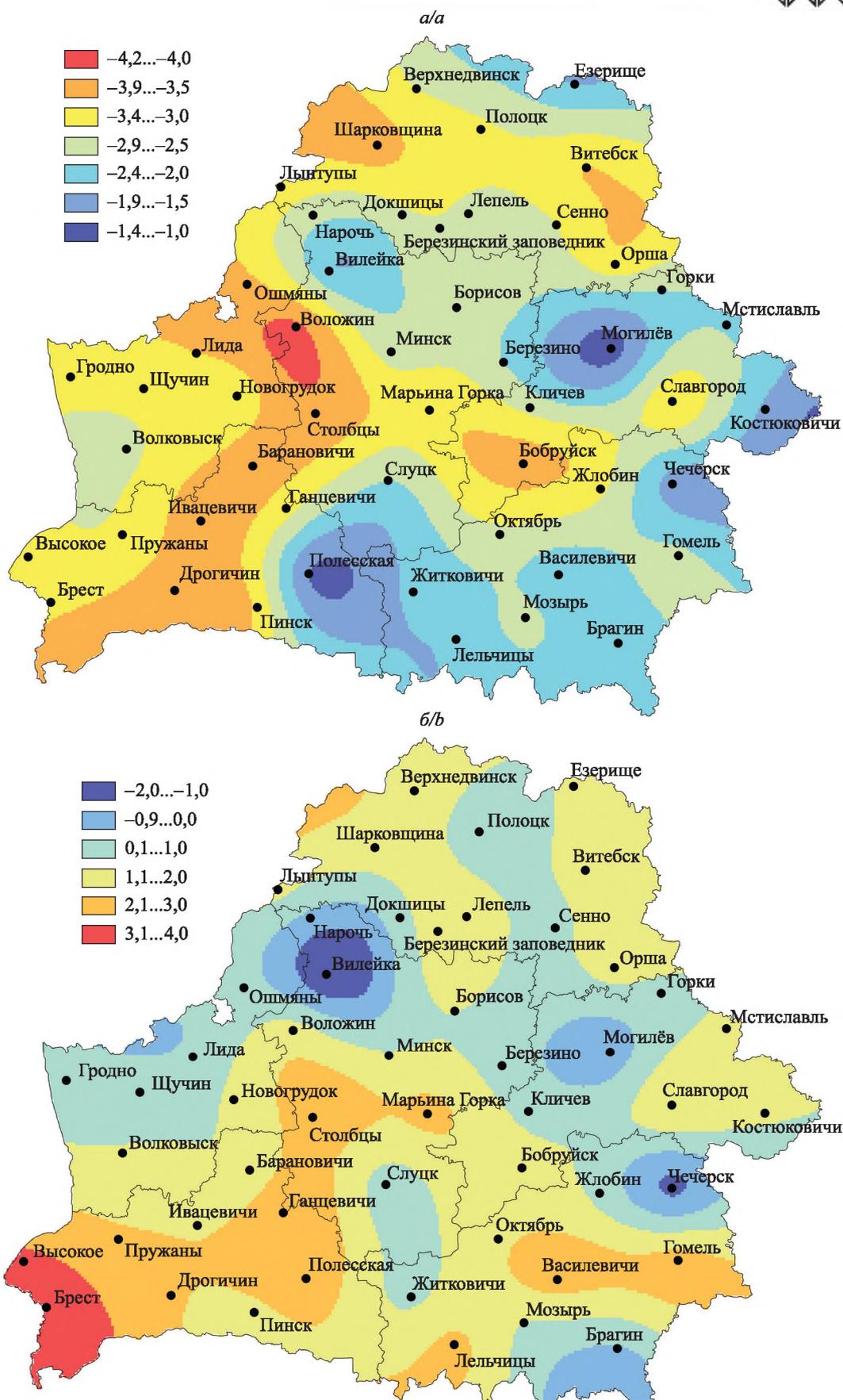


Рис. 3. Тренды числа дней с относительной влажностью не менее 80 % (а) и не более 30 % (б) в теплый период года (апрель – октябрь) за 1948–2019 гг., дней за 10 лет  
 Fig. 3. Trends of days number with relative humidity not less than 80 % (a) and not more than 30 % (b) in warm period (April – October) during 1948–2019, days in 10 years

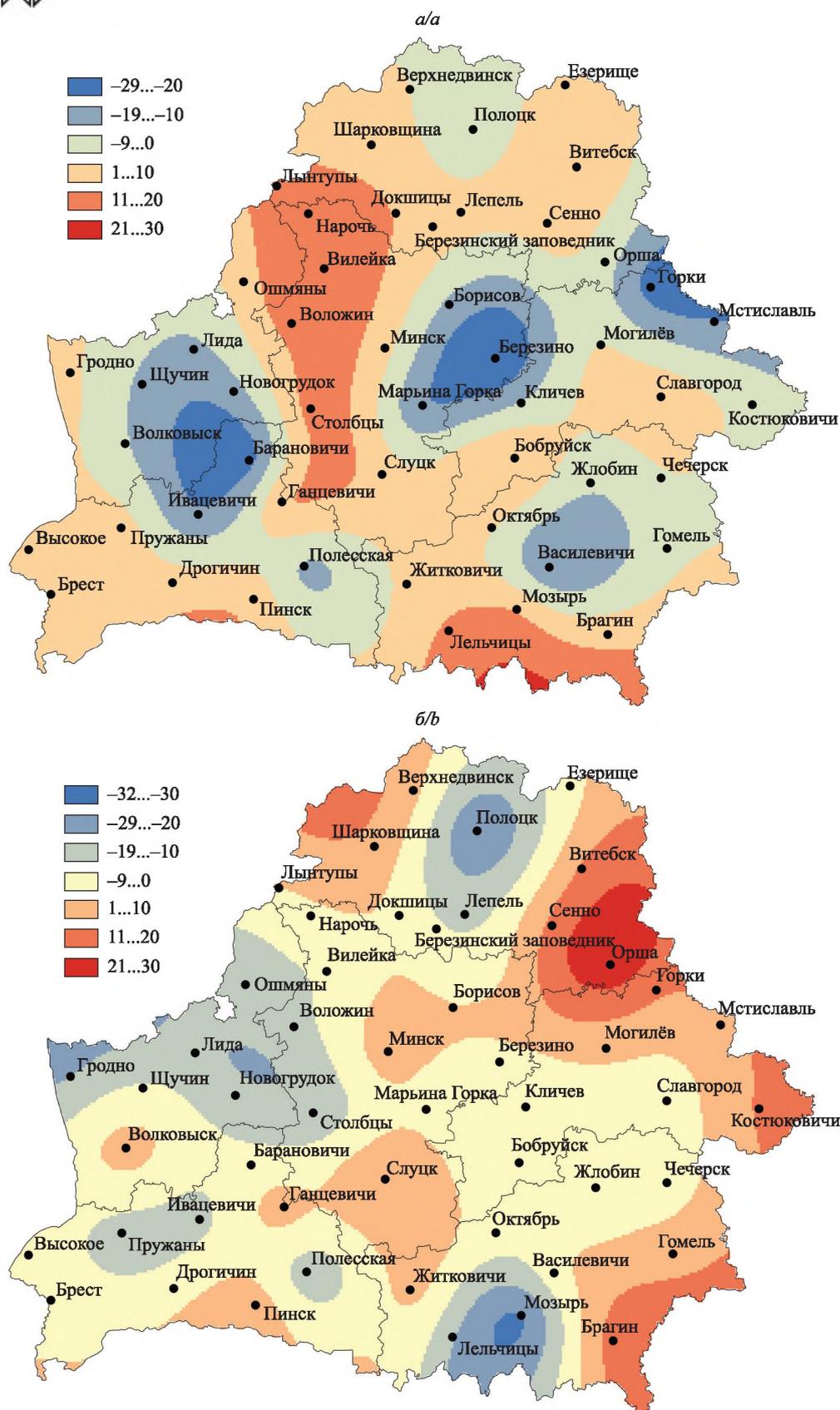


Рис. 4. Изменение повторяемости засух различных градаций согласно индексу SPI-1 в 1989–2019 гг. по отношению к уровню 1948–1988 гг. (начало):  
*a* – SPI-1 = –0,5...–1,0 (слабовыраженная засуха); *б* – SPI-1 = –1,1...–1,5 (умеренная засуха)

Fig. 4. Changes of droughts repeatability by different gradations according to the SPI-1 in 1989–2019 in relation to the level of 1948–1988 (beginning):  
*a* – SPI-1 = –0.5...–1.0 (mild drought); *b* – SPI-1 = –1.1...–1.5 (moderate drought)

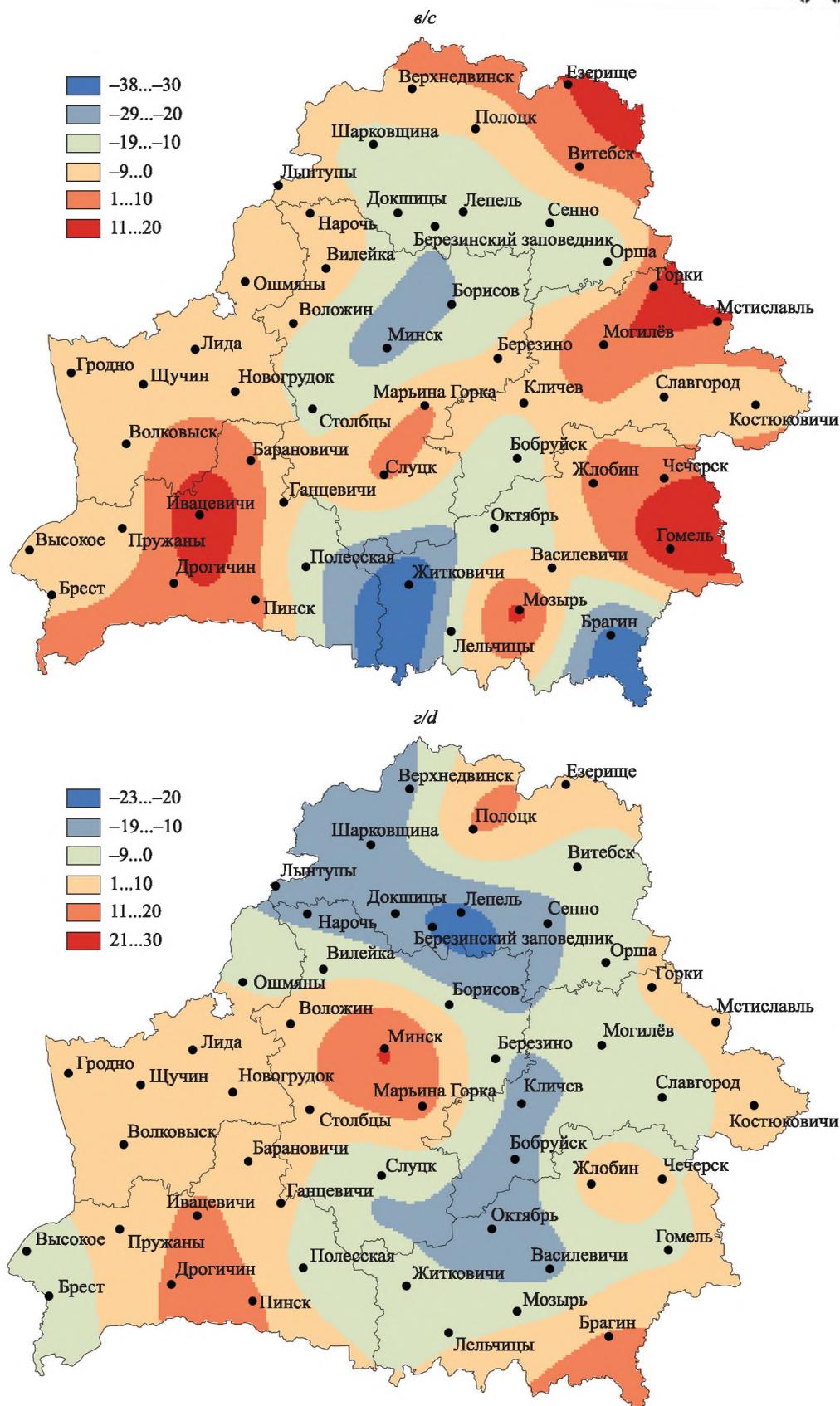


Рис. 4. Изменение повторяемости засух различных градаций согласно индексу SPI-1 в 1989–2019 гг. по отношению к уровню 1948–1988 гг. (окончание):

*в* – SPI-1 = -1,51...-1,99 (сильная засуха); *г* – SPI-1 ≤ -2,0 (экстремальная засуха)

Fig. 4. Changes of droughts repeatability by different gradations according to the SPI-1 in 1989–2019 in relation to the level of 1948–1988 (ending):

*c* – SPI-1 = -1.51...-1.99 (strong drought); *d* – SPI-1 ≤ -2.0 (extreme drought)

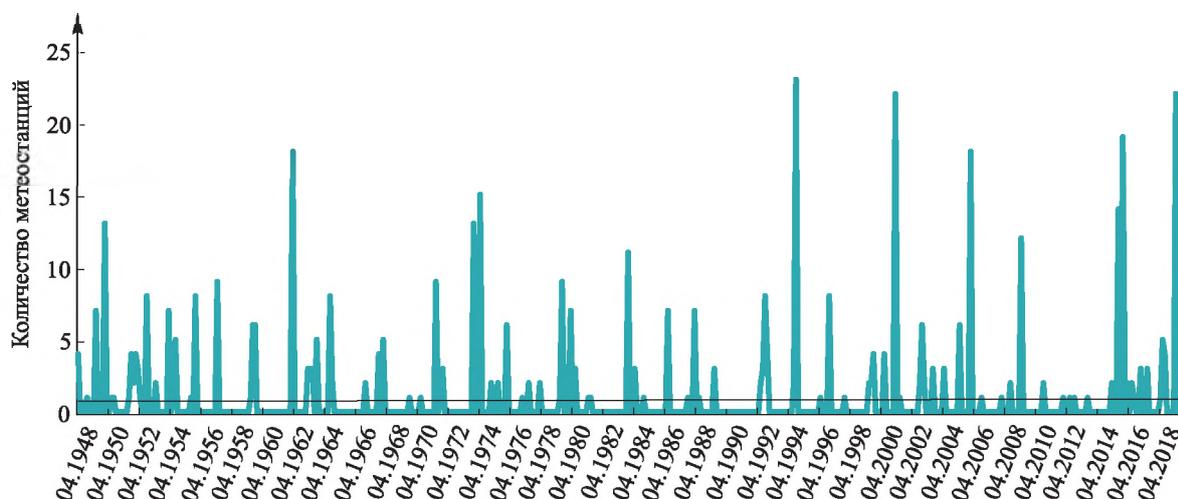


Рис. 5. Динамика количества метеорологических станций, на которых в теплый период года (апрель – октябрь) отмечена экстремальная засуха согласно стандартизированным индексам осадков (SPI-1  $\leq$  -2,0)

Fig. 5. The number of meteorological stations with extreme droughts in warm period (April – October) according to the standardised precipitation indices (SPI-1  $\leq$  -2.0)

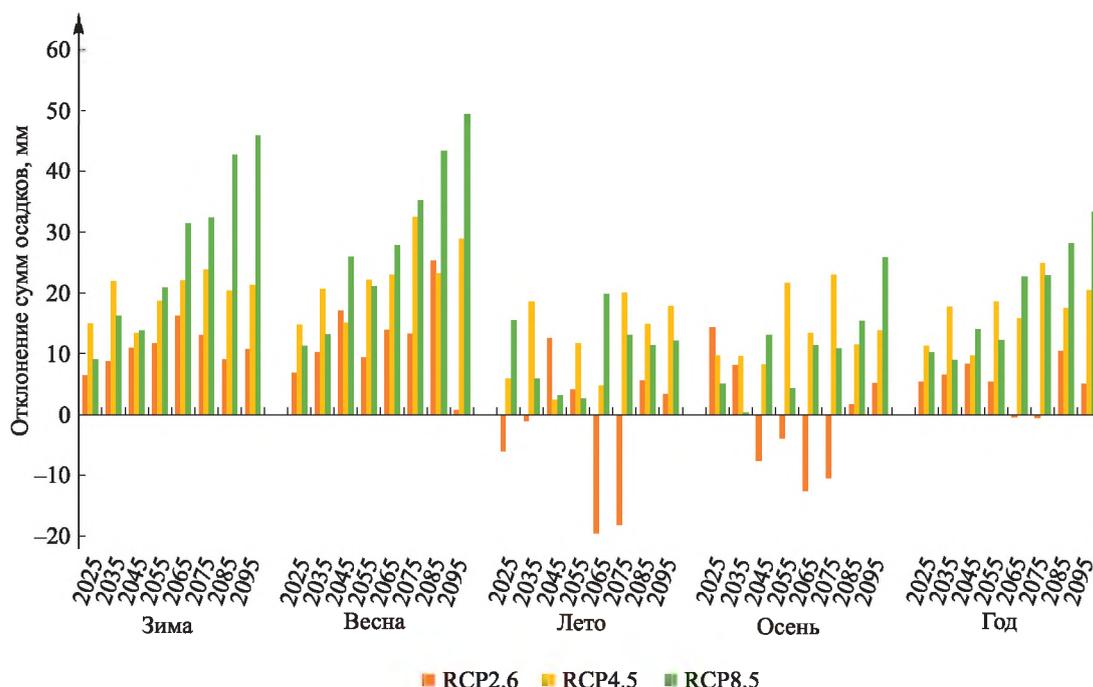


Рис. 6. Медианные оценки изменения (отклонения) сезонных сумм осадков на территории Беларуси по ансамблю климатических моделей проекта EURO-CORDEX (EUR-11) за последовательные десятилетия в период 2021–2099 гг.

Fig. 6. The ensemble median projected decadal changes in the precipitation means for Belarus according to the EURO-CORDEX (EUR-11) for the period of 2021–2099

В качестве показателя засушливости рассмотрено изменение максимальной продолжительности засушливых периодов. Ожидаемые изменения продолжительности засух являются наиболее сложными: значимых тенденций для зимнего сезона нет, но прогнозируется довольно существенное уменьшение засушливых периодов весной (рис. 8).

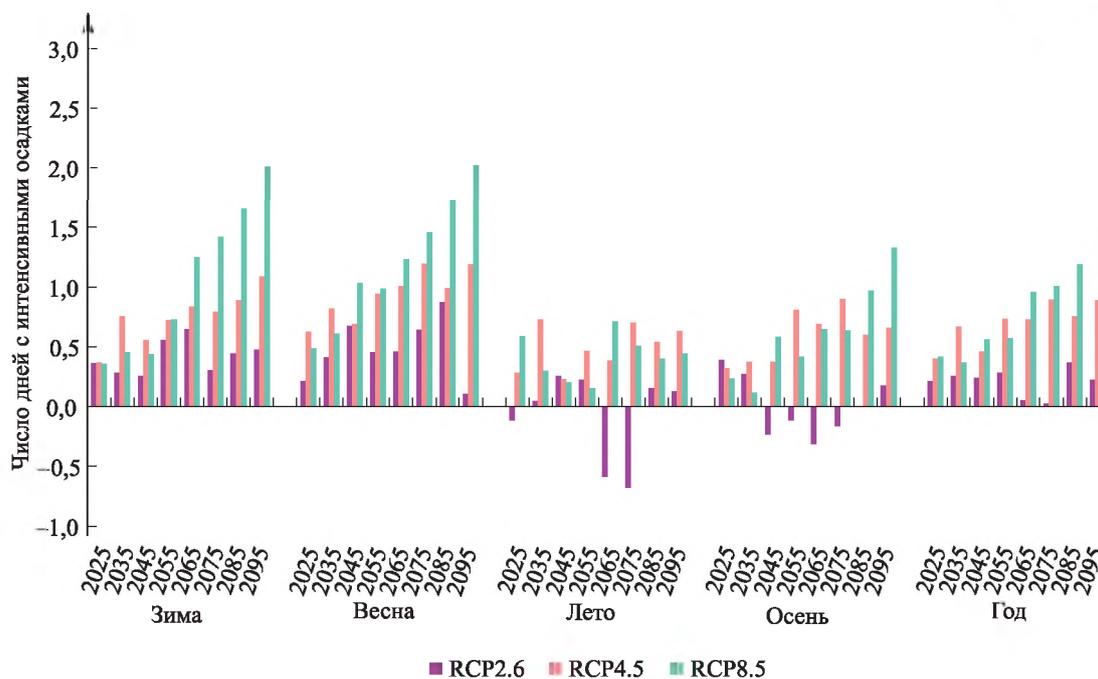


Рис. 7. Медианные оценки изменения числа дней с осадками, соответствующих 95-му процентилю, на территории Беларуси по ансамблю климатических моделей проекта EURO-CORDEX (EUR-11) за последовательные десятилетия в период 2021–2099 гг.

Fig. 7. The ensemble median projected decadal changes in the 95<sup>th</sup> percentile of precipitation days for Belarus according to the EURO-CORDEX (EUR-11) for the period of 2021–2099

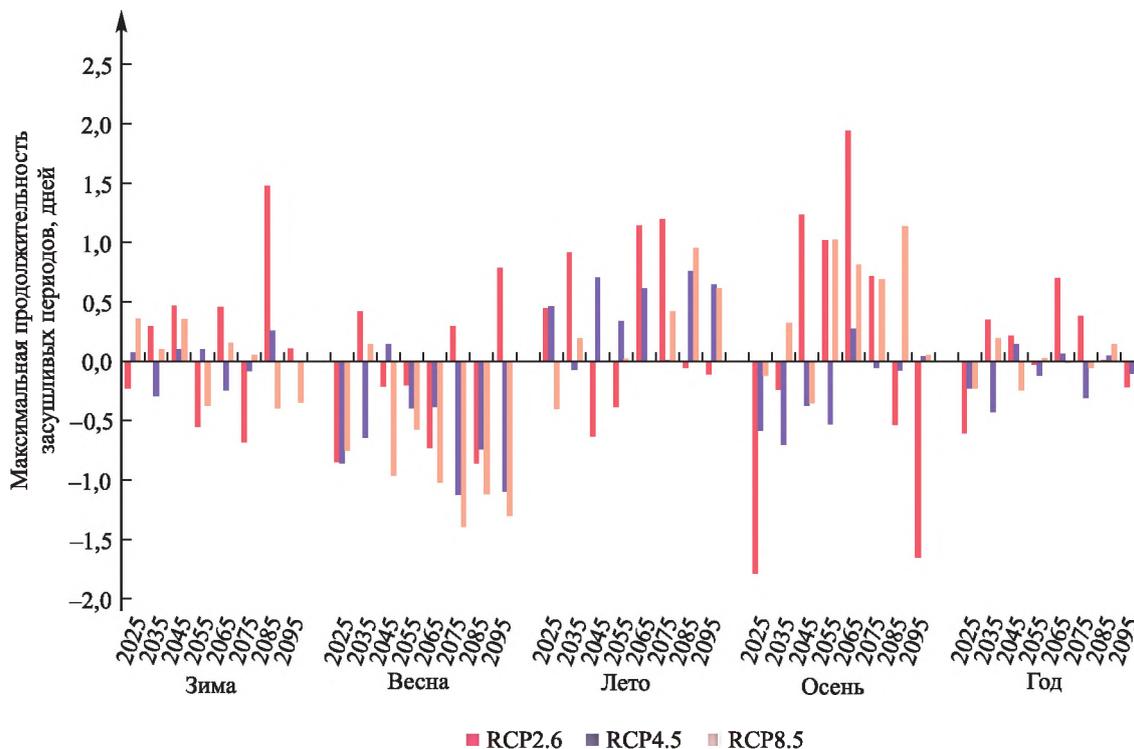


Рис. 8. Медианные оценки изменения максимальной продолжительности засухивых периодов на территории Беларуси по ансамблю климатических моделей проекта EURO-CORDEX (EUR-11) за последовательные десятилетия в период 2021–2099 гг.

Fig. 8. The ensemble median projected decadal changes in drought periods max length for Belarus according to the EURO-CORDEX (EUR-11) for the period of 2021–2099



Летом и осенью ожидается значимое увеличение максимальной продолжительности засушливых периодов на 1–2 дня при всех рассматриваемых сценариях, за исключением нескольких десятилетий (2041–2060) в случае реализации сценария RCP2.6.

### Заключение

Таким образом, при отсутствии значимых изменений годовых сумм осадков в период потепления климата (1989–2019) режим выпадения сезонных осадков на территории Беларуси изменился. Зимой отмечается увеличение месячных сумм осадков на 20–30 % на всей территории страны, при этом на большей части республики зафиксировано уменьшение продолжительности выпадения осадков на 39–45 ч, в частности, отмечено сокращение времени выпадения твердых осадков на 11–47 ч и увеличение продолжительности выпадения жидких осадков на 42–109 ч. Одновременный рост месячных сумм осадков и продолжительности выпадения осадков в зимние месяцы связан с увеличением числа дней с осадками слабой интенсивности.

Осадки в летний сезон характеризуются пространственной неоднородностью, при этом наблюдаются снижение продолжительности их выпадения на 10–20 % (за исключением севера страны) и рост максимальных сумм осадков на 30 % во все летние месяцы, что свидетельствует об увеличении повторяемости засушливых периодов и подтверждается расчетами индексов SPI, которые показали рост повторяемости атмосферных засух хотя бы одной из градаций от 2 до 26 % на территории Беларуси в период потепления климата.

Согласно расчетам климатических моделей вышеозначенные изменения в режиме увлажнения продолжатся в текущем столетии. Ожидается увеличение годовых сумм осадков на 10–30 мм к концу XXI в. при различных сценариях концентрации парниковых газов. Наиболее значимый рост осадков прогнозируется зимой – до 40 мм за сезон, летом и осенью увеличение не превысит 20 мм. Предполагается рост числа дней с интенсивными осадками. Наиболее значительное увеличение ожидается весной – до 7–9 дней, летом и осенью оно составит 3–6 дней. В соответствии с расчетами продолжится нарастание засушливых условий, предполагаемое увеличение максимальной продолжительности засушливых периодов составляет 1–2 дня за сезон в теплый период года. Ожидаемые изменения не могут рассматриваться как прогноз, но характеризуют наиболее вероятные отклонения в анализируемые периоды и показывают тенденции будущих климатических изменений.

### Библиографические ссылки

1. Maraun D. When will trends in European mean and heavy daily precipitation emerge? *Environmental Research Letters*. 2013;8(1):014004. DOI: 10.1088/1748-9326/8/1/014004.
2. van den Besselaar EJM, Klein Tank AMG, Buishand TA. Trends in European precipitation extremes over 1951–2010. *International Journal of Climatology*. 2013;33(12):2682–2689. DOI: 10.1002/joc.3619.
3. Fischer EM, Knutti R. Observed heavy precipitation increase confirms theory and early models. *Nature Climate Change*. 2016;6(11):986–991. DOI: 10.1038/nclimate3110.
4. Stocker TF, Qin D, Plattner G-K, Tignor M, Allen SK, Boschung J, et al., editors. *Climate change 2013: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press; 2013. 1535 p.
5. van der Schrier G, Briffa KR, Jones PD, Osborn TJ. Summer moisture variability across Europe. *Journal of Climate*. 2006; 19(12):2818–2834. DOI: 10.1175/JCLI3734.1.
6. Rimkus E, Valiukas D, Kažys J, Gečaitė I, Stonevičius E. Dryness dynamics of the Baltic Sea region. *Baltica*. 2012;25(2): 129–142. DOI: 10.5200/baltica.2012.25.13.
7. Semenova I, Sumak K. Cyclonic activity in cold season over territories of Belarus and Ukraine and its relation to the warm season droughts. *Croatian Meteorological Journal*. 2017;52:59–73.
8. Somorowska U. Changes in drought conditions in Poland over the past 60 years evaluated by the standardized precipitation- evapotranspiration index. *Acta Geophysica*. 2016;64(6):2530–2549. DOI: 10.1515/acgeo-2016-0110.
9. Логинов ВФ, Волчек АА. *Водный баланс речных водосборов Беларуси*. Минск: Тоншик; 2006. 160 с.
10. Логинов ВФ, Лысенко СА, Мельник ВИ. *Изменение климата Беларуси: причины, последствия, возможности регулирования*. Минск: Энциклопедикс; 2020. 218 с.
11. Хомич ВС, руководитель. Разработать прогноз состояния окружающей среды Беларуси на период до 2035 года: отчет о НИР (промежуточный). Минск: Институт природопользования НАН Беларуси; 2020. 315 с. № государственной регистрации 20192690.
12. Мельник ВИ, Буяков ИВ, Чернышев ВД. Изменения количества и вида атмосферных осадков в холодный период на территории Беларуси в условиях современного потепления климата. *Природопользование*. 2019;2:44–51.
13. Бровка ЮА, Буяков ИВ. Изменение гидротермического коэффициента и повторяемости экстремальных условий увлажнения на территории Беларуси в период потепления климата. *Природопользование*. 2020;2:5–18. DOI: 10.47612/2079-3928-2020-2-5-18.



14. Мельник ВИ, Бужков ИВ, Пискунович НГ, Шумская ТГ. Оценка влагозапасов и повторяемости почвенных засух на территории Белорусского Полесья в период современного потепления климата. *Природные ресурсы*. 2020;2:104–114.
15. Svoboda M, Fuchs BA. *Handbook of drought indicators and indices*. Geneva: World Meteorological Organization; 2016. 48 p. (Integrated drought management tools and guidelines series; WMO-No. 1173). Co-published by the Global Water Partnership.
16. Edwards DC, McKee TB. *Characteristics of 20<sup>th</sup> century drought in the United States at multiple time scales*. Fort Collins: Colorado State University; 1997. xvii, 155 p. (Atmospheric science paper No. 634; Climatology report No. 97-2).
17. Jacob D, Petersen J, Eggert B, Alias A, Christensen OB, Bouwer LM, et al. EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Regional Environmental Change*. 2014;14(2):563–578. DOI: 10.1007/s10113-013-0499-2.
18. Moss RH, Edmonds JA, Hibbard KA, Manning MR, Rose SK, van Vuuren DP, et al. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature*. 2010;463(7282):747–756. DOI: 10.1038/nature08823.
19. Данилович ИС, Гайер Б. Моделирование изменений температуры воздуха и осадков по декадам текущего столетия для территории Беларуси. *Природные ресурсы*. 2018;1:102–114.
20. Partasenok IS, Groisman PYa, Chekan GS, Melnik VI. Winter cyclone frequency and following freshet streamflow formation on the rivers in Belarus. *Environmental Research Letters*. 2014;9(9):095005. DOI: 10.1088/1748-9326/9/9/095005.

## References

1. Maraun D. When will trends in European mean and heavy daily precipitation emerge? *Environmental Research Letters*. 2013; 8(1):014004. DOI: 10.1088/1748-9326/8/1/014004.
2. van den Besselaar EJM, Klein Tank AMG, Buishand TA. Trends in European precipitation extremes over 1951–2010. *International Journal of Climatology*. 2013;33(12):2682–2689. DOI: 10.1002/joc.3619.
3. Fischer EM, Knutti R. Observed heavy precipitation increase confirms theory and early models. *Nature Climate Change*. 2016;6(11):986–991. DOI: 10.1038/nclimate3110.
4. Stocker TF, Qin D, Plattner G-K, Tignor M, Allen SK, Boschung J, et al., editors. *Climate change 2013: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press; 2013. 1535 p.
5. van der Schrier G, Briffa KR, Jones PD, Osborn TJ. Summer moisture variability across Europe. *Journal of Climate*. 2006; 19(12):2818–2834. DOI: 10.1175/JCLI3734.1.
6. Rimkus E, Valiukas D, Kažys J, Gečaitė I, Stonevičius E. Dryness dynamics of the Baltic Sea region. *Baltica*. 2012;25(2): 129–142. DOI: 10.5200/baltica.2012.25.13.
7. Semenova I, Sumak K. Cyclonic activity in cold season over territories of Belarus and Ukraine and its relation to the warm season droughts. *Croatian Meteorological Journal*. 2017;52:59–73.
8. Somorowska U. Changes in drought conditions in Poland over the past 60 years evaluated by the standardized precipitation-evapotranspiration index. *Acta Geophysica*. 2016;64(6):2530–2549. DOI: 10.1515/acgeo-2016-0110.
9. Loginov VF, Volchek AA. *Vodnyi balans rechnykh vodosborov Belarusi* [Water balance of river catchments of Belarus]. Minsk: Tonpik; 2006. 160 p. Russian.
10. Loginov VF, Lysenko SA, Melnik VI. *Izmenenie klimata Belarusi: prichiny, posledstviya, vozmozhnosti regulirovaniya* [Climate change in Belarus: causes, consequences, regulation possibilities]. Minsk: Entsiklopediks; 2020. 218 p. Russian.
11. Khomich VS, supervisor. [To develop a forecast of the state of the environment in Belarus for the period up to 2035: research report (interim)]. Minsk: Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus; 2020. 315 p. State registration No. 20192690. Russian.
12. Melnik VI, Buyakov IV, Chernyshev VD. Changes in the amount and type of precipitation in the cold period in the territory of Belarus under conditions of modern climate warming. *Nature Management*. 2019;2:44–51. Russian.
13. Brovka YuA, Buyakov IV. Changes in the hydrothermal coefficient and in the frequency of extreme humidification conditions on the territory of Belarus during climate warming. *Nature Management*. 2020;2:5–18. Russian. DOI: 10.47612/2079-3928-2020-2-5-18.
14. Melnik VI, Buyakov IV, Piskunovich NG, Shumskaya TG. Assessment of moisture reserves and frequency of soil droughts on the territory of Belarusian Polesye during the period of modern climate warming. *Natural Resources*. 2020;2:104–114. Russian.
15. Svoboda M, Fuchs BA. *Handbook of drought indicators and indices*. Geneva: World Meteorological Organization; 2016. 48 p. (Integrated drought management tools and guidelines series; WMO-No. 1173). Co-published by the Global Water Partnership.
16. Edwards DC, McKee TB. *Characteristics of 20<sup>th</sup> century drought in the United States at multiple time scales*. Fort Collins: Colorado State University; 1997. xvii, 155 p. (Atmospheric science paper No. 634; Climatology report No. 97-2).
17. Jacob D, Petersen J, Eggert B, Alias A, Christensen OB, Bouwer LM, et al. EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Regional Environmental Change*. 2014;14(2):563–578. DOI: 10.1007/s10113-013-0499-2.
18. Moss RH, Edmonds JA, Hibbard KA, Manning MR, Rose SK, van Vuuren DP, et al. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature*. 2010;463(7282):747–756. DOI: 10.1038/nature08823.
19. Danilovich IS, Gayer B. Modelling of air temperature and precipitation decadal changes during the current century for the territory of Belarus. *Natural Resources*. 2018;1:102–114. Russian.
20. Partasenok IS, Groisman PYa, Chekan GS, Melnik VI. Winter cyclone frequency and following freshet streamflow formation on the rivers in Belarus. *Environmental Research Letters*. 2014;9(9):095005. DOI: 10.1088/1748-9326/9/9/095005.

Получена 06.04.2021 / исправлена 07.05.2021 / принята 01.10.2021.  
Received 06.04.2021 / revised 07.05.2021 / accepted 01.10.2021.



УДК 911.52;504.054;504.06

## ФОРМИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ УРБОЛАНДШАФТОВ В ПРОМЫШЛЕННЫХ ГОРОДАХ БЕЛАРУСИ

Г. И. МАРЦИНКЕВИЧ<sup>1)</sup>, И. И. СЧАСТНАЯ<sup>1)</sup>, А. А. КАРПИЧЕНКО<sup>1)</sup>, Д. С. ВОРОБЬЕВ<sup>1)</sup>

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

Представлены результаты изучения проблемы формирования опасных природных и техногенных процессов в промышленных городах, способствующих появлению экологических рисков. К настоящему времени по этой проблеме накоплен обширный литературный материал, касающийся причин возникновения, анализа закономерностей развития, возможностей управления рисками, в том числе и экологическими. Установлено, что в перечне причин формирования рисков в городах отсутствует один из наиболее важных обнаруженных нами факторов – структура (внутреннее строение) урболандшафтов, выступающих достаточно крупными объектами городской застройки. Для определения роли этих объектов в формировании экологических рисков выбраны города Орша и Пинск, заложенные практически одновременно в начале XI в., но характеризующиеся различной историей развития. Составлены карты урболандшафтов городов, проведены геохимические исследования их почвенного покрова, выявлены геохимические и тепловые аномалии поверхности, рассчитаны объемы экосистемных услуг (поглощение углерода) зелеными насаждениями. Выяснено, что урболандшафты выполняют различные функции в системе экологических рисков: одни из них способствуют развитию опасных процессов, другие – их смягчению. Так, загрязнение почв тяжелыми металлами (с превышением содержания Pb, Сг и Си над ПДК в 1,2–5,6 раза в Пинске), наиболее сильное прогревание поверхности (на 8–16 °С выше температуры воздуха в Пинске и Орше) и низкий объем депонирования углерода (100–500 т в год) типичны для урболандшафтов исторического центра, урболандшафтов с преобладанием промышленной застройки, урболандшафтов комплексной жилой многоэтажной, общественной и промышленной застройки. Урболандшафты, в структуре которых присутствуют элементы ландшафтно-рекреационных территорий общественного назначения (парки, лесопарки, скверы), а также сельскохозяйственные земли и водные объекты, характеризуются низким содержанием тяжелых металлов в почвах (ниже ПДК в Пинске, ниже фона в Орше), пониженной температурой поверхности (на 2–3 °С выше температуры воздуха), высоким объемом депонирования углерода (2,6–2,8 тыс. т в год). Проведена оценка вероятности рисков,

### Образец цитирования:

Марцинкевич ГИ, Счастлиная ИИ, Карпиченко АА, Воробьев ДС. Формирование и оценка экологических рисков урболандшафтов в промышленных городах Беларуси. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология.* 2021;2:45–62.  
<https://doi.org/10.33581/2521-6740-2021-2-45-62>

### For citation:

Martsinkevich GI, Shchasnaya II, Karpichenka AA, Varabyou DS. Formation and assessment of ecological risks of urban landscapes in industrial cities of Belarus. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology.* 2021;2:45–62. Russian.  
<https://doi.org/10.33581/2521-6740-2021-2-45-62>

### Авторы:

**Галина Иосифовна Марцинкевич** – доктор географических наук, профессор, научный консультант научно-исследовательской лаборатории экологии ландшафтов факультета географии и геоинформатики.

**Ирина Иосифовна Счастлиная** – кандидат географических наук, доцент, доцент кафедры географической экологии факультета географии и геоинформатики.

**Александр Александрович Карпиченко** – кандидат географических наук, доцент, доцент кафедры почвоведения и геоинформационных систем факультета географии и геоинформатики.

**Дмитрий Сергеевич Воробьев** – кандидат географических наук, доцент кафедры географической экологии факультета географии и геоинформатики.

### Authors:

**Galina I. Martsinkevich**, doctor of science (geography), full professor; scientific consultant at the research laboratory of landscape ecology, faculty of geography and geoinformatics.

[halinamar@mail.ru](mailto:halinamar@mail.ru)

<https://orcid.org/0000-0002-4869-8933>

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

[irina.schastnaya@gmail.com](mailto:irina.schastnaya@gmail.com)

<https://orcid.org/0000-0001-6228-8861>

**Aliaksandr A. Karpichenka**, PhD (geography), docent; associate professor at the department of soil science and geoinformation systems, faculty of geography and geoinformatics.

[karpi@bsu.by](mailto:karpi@bsu.by)

<https://orcid.org/0000-0002-7463-4685>

**Dzmitry S. Varabyou**, PhD (geography); associate professor at the department of geographical ecology, faculty of geography and geoinformatics.

[dzm.varabyou@gmail.com](mailto:dzm.varabyou@gmail.com)

<https://orcid.org/0000-0002-1484-3469>





связанных с описанными процессами, которая помогла выяснить, что они соответствуют категориям «приемлемые» и «пренебрежимые», предложены варианты управления рисками.

**Ключевые слова:** урбандолина; экологический риск; геохимический риск; тепловой риск; экосистемные услуги; оценка риска; управление риском.

**Благодарность.** Публикация подготовлена в рамках проекта № 1.26 государственной программы научных исследований «Природопользование и экология» (подпрограмма «Природные ресурсы и экологическая безопасность») на 2016–2020 гг.

## FORMATION AND ASSESSMENT OF ECOLOGICAL RISKS OF URBAN LANDSCAPES IN INDUSTRIAL CITIES OF BELARUS

G. I. MARTSINKEVICH<sup>a</sup>, I. I. SHCHASNAYA<sup>a</sup>, A. A. KARPICHENKA<sup>a</sup>, D. S. VARABYOU<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Belarusian State University, 4 Niezaliežnasci Avenue, Minsk 220030, Belarus

Corresponding author: I. I. Shchasnaya (irina.schasnaya@gmail.com)

The problems of the formation of hazardous natural and man-made processes in industrial cities, contributing to the emergence of environmental risks, are presented. To date, an extensive literary material has been accumulated on this problem, concerning the causes of its occurrence, analysis of the patterns of development, and the possibilities of managing risks, including the environmental ones. It has been established that the list of reasons for the formation of risks in cities lacks one of the most important factors that we have discovered – the structure of urban landscapes, which are quite large objects of urban development. To identify the role of these objects in the formation of environmental risks, the cities of Orsha and Pinsk were selected. These cities were laid down almost simultaneously at the beginning of the 11<sup>th</sup> century, but they have a different history of development. Maps of urban landscapes of cities were compiled, geochemical studies of their soil cover were carried out, geochemical and thermal anomalies of the surface were revealed, the volumes of ecosystem services (carbon absorption) by green spaces were calculated. It was found that urban landscapes perform various functions in the system of environmental risks: some of them contribute to the development of hazardous processes, others – to mitigate them. So, soil pollution with heavy metals (with an excess of the content of Pb, Cr and Cu over the MPC by 1.2–5.6 times in Pinsk), the strongest heating of the surface (8–16 °C higher than the air temperature in Pinsk and Orsha) and low carbon deposition (100–500 t per year) are typical for urban landscapes of the historical center, urban landscapes with a predominance of industrial buildings, urban landscapes for complex residential multi-storey, public and industrial buildings. Urban landscapes, in the structure of which there are elements of landscape and recreational areas of public use (parks, forest parks, squares), as well as agricultural lands and water bodies, are characterised by a low content of heavy metals in soils (below the MPC in Pinsk, below the background in Orsha), low surface temperature (2–3 °C higher than the air temperature), high volume of carbon deposition (2.6–2.8 thsd t per year). An assessment of the probability of risks associated with the described processes was carried out, which helped to find out that they correspond to the categories of «acceptable» and «neglected», options for risk management were proposed.

**Keywords:** urban landscape; ecological risk; geochemical risk; thermal risk; ecosystem services; risk assessment; risk management.

**Acknowledgements.** The publication was prepared in the framework of the project No. 1.26 of the state program of scientific research «Nature management and ecology» (subprogramme «Natural resources and environmental safety») for 2016–2020.

### Введение

Наиболее важными социальными событиями второй половины XX в. явились бурные процессы урбанизации, которые сопровождалась ростом городов, повышением их роли в развитии общества, увеличением удельного веса городского населения, что очень скоро сказалось на снижении качества городской среды. Процесс урбанизации развивался такими ускоренными темпами, что с 1950-х гг. до настоящего времени городское население мира увеличилось почти в 2 раза (от 30 до 55 %), а крупные промышленные города стали центрами концентрации миллионов людей и огромной массы техногенных веществ, поступающих в городскую среду с промышленными, транспортными и коммунальными отходами. Экологические проблемы городов приобрели глобальный характер, а их жители ежедневно подвергаются природным и техногенным рискам. Между тем, по оценке ООН, к 2050 г. городское население возрастет до 68 % и составит более 6 млрд человек [1].



Очевидно, что наиболее актуальной проблемой XXI в. становится экологическая безопасность природной среды в крупных промышленных городах и мегаполисах, которая выступает главным фактором будущего выживания человечества. Экологическая безопасность подразумевает необходимость выявления и изучения закономерностей распространения опасных природных и техногенных процессов, протекающих в городской среде и формирующих экологические риски; анализа факторов и механизмов их образования и развития; оценки рисков различного генезиса, опасных для здоровья горожан. Уже сейчас имеются сведения, что более половины городских жителей мира подвергаются воздействию разнообразных рисков [2, с. 54].

Термин «риск» не имеет универсального общепринятого определения ввиду того, что существует большой список рисков различного происхождения, требующих разных подходов к их исследованию и оценке и разных методов управления. Наиболее распространенное понятие о риске заключается в том, что риск – это возможность (вероятность) нанесения ущерба жизни и здоровью человека, его имуществу, и (или) окружающей среде под влиянием природных или техногенных факторов. Выделяют четыре основные группы рисков: природные, техногенные, социальные и экологические. Под экологическим риском подразумевают степень воздействия природных опасностей на окружающую среду, приводящую к формированию неблагоприятной для жизни и здоровья человека ситуации. Как правило, оценка риска для целей управления осуществляется с использованием следующих категорий: неприемлемый, приемлемый (допустимый), пренебрежимый, вынужденный [3]. Управление риском предусматривает разработку и осуществление программ и мероприятий для обеспечения безопасности и достижения приемлемого уровня оценки данного процесса. Если учесть, что крупные промышленные города Беларуси отличаются повышенным уровнем загрязнения среды жизнедеятельности и подвергаются различным рискам, то научные исследования, направленные на выявление и экологическую оценку рисков, выполненные на примере городов Пинска и Орши, являются своевременными и актуальными.

Цель настоящего исследования – выявить урболандшафты, способствующие формированию опасных процессов в промышленных городах Беларуси, оценить экологические риски и предложить меры для их оптимизации. Задачи исследования – изучить структуру урболандшафтов городов, выявить степень их влияния на формирование рисков, провести оценку и создать оценочные карты геохимических и тепловых рисков, предложить варианты управления рисками.

### Обзор литературы

Опасные процессы, проявляющиеся на нашей планете, существуют с незапамятных времен, однако только в XIX в. ученые обратили внимание на то, что такие процессы наносят существенный ущерб природе и зачастую сопровождаются человеческими жертвами. В XX в. это привело к более широким научным исследованиям самих процессов, создаваемых ими рисков и последствий. В последние десятилетия прошлого столетия такая проблематика стала активно развиваться в Московском государственном университете имени М. В. Ломоносова под руководством профессора С. М. Мягкова, что привело к формированию нового научного направления – анализа и оценки природных и техногенных опасностей и рисков. Были разработаны методологические основы изучения таких явлений, включая методические подходы к их оценке, термины и понятия в этой области; выявлены география распространения, источники и виды воздействия опасных процессов и риска на человека и окружающую среду; предложены организационные, инженерно-технические и технологические принципы управления рисками [3].

В XXI в., в связи с возросшими экологическими и техногенными катастрофами, как в России, так и в других зарубежных странах на первый план выступили проблемы экологической безопасности. В русскоязычной географии научные исследования в этой области можно условно разделить на два направления. Первое направление представлено публикациями методологического плана (подходы, методы, методики исследования) [4; 5]. Публикации второго направления посвящены анализу, оценке риска и управлению им с учетом новых технологий [6], моделированию процессов управления и принятия решений [7]. В этот же отрезок времени появились некоторые нормативные документы, например ГОСТ по оценке рисков<sup>1</sup> и ГОСТ по управлению рисками<sup>2</sup> в Российской Федерации, методические рекомендации и руководящие указания по рискам (*guidelines for risks*) в США [8], Канаде [9], Великобритании [10], Австралии [11], Ирландии [12] и др. Такие документы зачастую дополняются рекомендациями по учету рисков для некоторых видов деятельности или отдельных территорий, на которых такие риски проявляются. Не остался в стороне и Европейский союз, который представил обзор существующей практики оценки экологических рисков в европейском сообществе [13].

Большое внимание современные зарубежные ученые уделяют оценке рисков для человека [14; 15], экосистем и популяций [16; 17], окружающей среды [18; 19]. Появилось также множество публикаций

<sup>1</sup>Руководство по оценке риска в области экологического менеджмента : ГОСТ Р 14.09–2005. Введ. 01.01.2007. М. : Стандартинформ, 2010. IV, 36 с.

<sup>2</sup>Менеджмент риска. Термины и определения : ГОСТ Р 51897–2002. Введ. 01.01.2003. М. : Госстандарт России, 2002. IV, 8 с.



по оценке рисков в практической деятельности – ветроэнергетике, работах с химическими материалами и отходами, экспериментах с интродукцией новых видов рыбы, в области охраны водных экосистем и рыболовстве [20–23]. Еще одна группа публикаций посвящена проблеме управления рисками в целях обеспечения безопасности (или достижения приемлемого уровня риска) с использованием организационных, инженерных и технологических решений для социальных и экологических городских систем [24; 25].

В Республике Беларусь научные исследования проблемы рисков начались в первые годы XXI в. и сразу же приобрели экологическую направленность. Авторы опубликованных в этот период работ понимали риск как вероятность возникновения угрозы для здоровья людей под влиянием загрязнения окружающей среды [26; 27]. Кроме того, эти публикации содержали разработку методологических основ риска и оценки рисков на примере изучения загрязнения продуктов питания и питьевой воды в различных городах Беларуси. Также формировался такой важный аспект изучения рисков, как управление ими, что отразилось в использовании концепции экологических рисков для оптимизации окружающей среды, внедрении еще одного показателя для оценки риска (ущерб, нанесенный в результате проявления рисков) [28] и разработке экономических основ для управления рисками [29; 30].

Таким образом, можно констатировать, что к настоящему времени в области изучения рисков сформировалась определенная система (модель) оценки экологических рисков, опирающаяся на собственную методологическую базу и включающая оценку источников воздействия, оценку вероятности рисков, оценку ущерба и управления рисками.

При изучении рисков особое внимание уделяется состоянию крупных промышленных городов, которые обычно отличаются наличием целого ряда техногенных рисков. Исследования авторов настоящей статьи, проведенные в ряде крупных городов страны, показали, что каждый из них характеризуется только ему присущими особенностями структуры городских территорий (урболандшафтов), которые сформировались под влиянием природных, исторических, экономических факторов. Полученные результаты позволили выявить и оценить роль урболандшафтов в формировании рисков и опасных экологических процессов, таких как тепловое нагревание поверхности и загрязнение почв тяжелыми металлами, а также выполнение экосистемных услуг зелеными насаждениями, что следует рассматривать как важный положительный фактор [31]. Установлено также, что урболандшафты выполняют двойную функцию: одни из них способствуют развитию опасных процессов и обостряют риски, другие смягчают протекающие процессы и тем самым стабилизируют риски.

### Материалы и методы исследования

Особенности формирования и оценки экологических рисков рассматриваются на примере двух городов – Орши и Пинска, которые в системе общепринятой типологии городов Беларуси относятся к группе больших городов регионального значения, а по функциональной принадлежности – к группе промышленных городов.

Основной исследования являются системный, экологический, историко-географический и ландшафтный научные подходы. Методами изучения выступают картографический, дистанционный, геоинформационный и метод классификаций. С их применением разработана методика выделения урболандшафтов и оценки геохимических и тепловых рисков. Широко использованы геоинформационные технологии как инструментарий для выполнения пространственного анализа и визуализации полученных результатов.

Урболандшафт – это городской ландшафт, сформировавшийся в результате градостроительного преобразования территории, характеризующийся однородной природной основой и определенным типом градостроительного использования<sup>3</sup>. Он включает в себе природную и антропогенную (особенности застройки и функциональное назначение территории) составляющие. Один из основных документов, использованных для выделения урболандшафтов, – генеральный план города. Важным показателем при выделении урболандшафтов также выступают существующие природные территориальные комплексы. С использованием этих двух групп показателей (особенности застройки и планировки, а также специфика природной основы) выявлялась структура урболандшафтов городов. Выделение и картографирование урболандшафтов выполнены в программном пакете QGIS на основе карты природных ландшафтов и схемы функционального зонирования городов с использованием геоинформационного ресурса данных дистанционного зондирования Земли (государственное предприятие «БелПСХАГИ»). По местоположению, приуроченности к определенному природному ландшафту, доминирующим особенностям планировки и застройки они объединены в группы, которые являются основной единицей классификации урболандшафтов. Эта классификационная единица используется в качестве основы для последующей оценки частных экологических рисков (геохимических и тепловых) Орши и Пинска.

<sup>3</sup> Фалопеева М. А. Пространственная структура городских ландшафтов и оценка их экологического потенциала (на примере г. Минска): автореф. дис. ... канд. геогр. наук : 25.00.23. Минск : БГУ, 2004. 19 с.



Для оценки геохимических рисков во всех урболандшафтах Орши и Пинска определено геохимическое состояние почвенного покрова путем отбора образцов почв из верхних горизонтов в слое 0–15 см. В Пинске отобраны 30 смешанных образцов, в Орше – 49. Каждый смешанный образец отбирался методом конверта, при котором формировалась одна объединенная проба из пяти точечных проб. В дальнейшем образцы высушивались и в целях удаления гравия, растительных остатков, мусора и других включений просеивались через сито (диаметр ячеек – 1 мм). Анализ валового содержания ряда металлов (Cu, Pb, Mn, Ni, Sn, Ti, Cr) в городских почвах производился в научно-исследовательской лаборатории экологии ландшафтов БГУ на многоканальном атомно-эмиссионном спектрометре ЭМАС-200ДДМ. Подготовка проб перед анализом включала их сухое озоление в электропечи при температуре 440–450 °С, при этом определялись потери пробы от прокаливания (главным образом минерализацией органического вещества почвы). Для образцов из Пинска потери в среднем составили 5,6 %, для образцов из Орши – 5,9 %. В дальнейшем значения потерь от прокаливания использовались для пересчета данных по содержанию элементов в высушенной почве. Статистическая обработка результатов анализов проводилась в программных пакетах *Microsoft Office Excel* и *Statsoft Statistica 6.0* и включала в себя оценку распределения переменных с помощью гистограмм и коэффициента асимметрии, вычисление показателей описательной статистики, анализ возможных взаимосвязей накопления элементов методом главных компонент, оценку геохимических рисков урболандшафтов.

Тепловое излучение поверхности – сравнительно новое направление в изучении земной поверхности, которое осуществляется с помощью дешифрирования космических снимков, полученных оптико-электронной системой спутника в тепловом диапазоне. Для оценки тепловых рисков проведено изучение теплового излучения поверхности урболандшафтов Орши и Пинска в программном пакете QGIS (плагин *Land Surface Temperature*) с использованием материалов дистанционного зондирования по известной методике [32]. Данные дистанционного зондирования позволили изучить особенности теплового излучения, проследить его многолетнюю динамику, а также выявить источники теплового загрязнения окружающей среды. Исследование выполнено на основе космических снимков Landsat 8 (получены с использованием ресурса *EarthExplorer*), которые доступны с 2013 г. по настоящее время (период повторного наблюдения – 16 сут). Набор данных Landsat Collection 1 предоставляется с выполненной геометрической и радиометрической коррекцией. Атмосферная коррекция космических снимков осуществлялась методом *radiative transfer equation* на основе атмосферных параметров, полученных с использованием ресурса *Atmospheric Correction Parameter Calculator* и архивной информации Республиканского центра по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды.

Оценка температуры земной поверхности Орши и Пинска выполнена за период 2013–2020 гг. по космическим снимкам наиболее теплого месяца года (взяты июльские снимки за каждый год изучаемого периода). В ходе выполнения расчетов использованы красный и ближний инфракрасный спектральные каналы съемочной аппаратуры *Operational Land Imager* и дальний инфракрасный спектральный канал съемочной аппаратуры *Thermal Infrared Sensor*. В результате выполнения расчетов получены растровые изображения температуры земной поверхности с выходным пространственным разрешением 30 м, значения которых были усреднены с учетом температуры воздуха на момент выполнения съемки. На основании полученных данных рассчитаны тепловые риски урболандшафтов изучаемых городов.

Для исследования смягчающих функций в системе экологических рисков проведено изучение зеленых насаждений Орши и Пинска с применением стоимостной оценки экосистемных услуг. В работе использованы методические подходы к интегральной и поэлементной стоимостной оценке экосистемных услуг, представленные в ТКП 17.02-10–2013 (02120) «Охрана окружающей среды и природопользование. Порядок проведения стоимостной оценки экосистемных услуг и определения стоимостной ценности биологического разнообразия». Оценка выполнена для зеленых насаждений, размещенных в границах урболандшафтов городов в пределах ГЛХУ «Оршанский лесхоз» и ГЛХУ «Пинский лесхоз». В качестве исходной информации для проведения расчетов использованы материалы базового лесоустройства учреждений, включающие планово-картографический материал (масштаб 1 : 25 000) и таксационную характеристику (количественная и качественная оценка строения и продуктивности в пределах занимаемой площади) лесного фонда.

### Результаты и их обсуждение

На формирование городских поселений оказали влияние природные (наличие водных объектов, рельеф) и социально-экономические (географическое и геополитическое положение, торговля, войны, строительство железных дорог, индустриализация) предпосылки. В зависимости от сочетания влияния этих факторов в промышленных городах Орше и Пинске сложилась определенная структура урболандшафтов (рис. 1, 2).

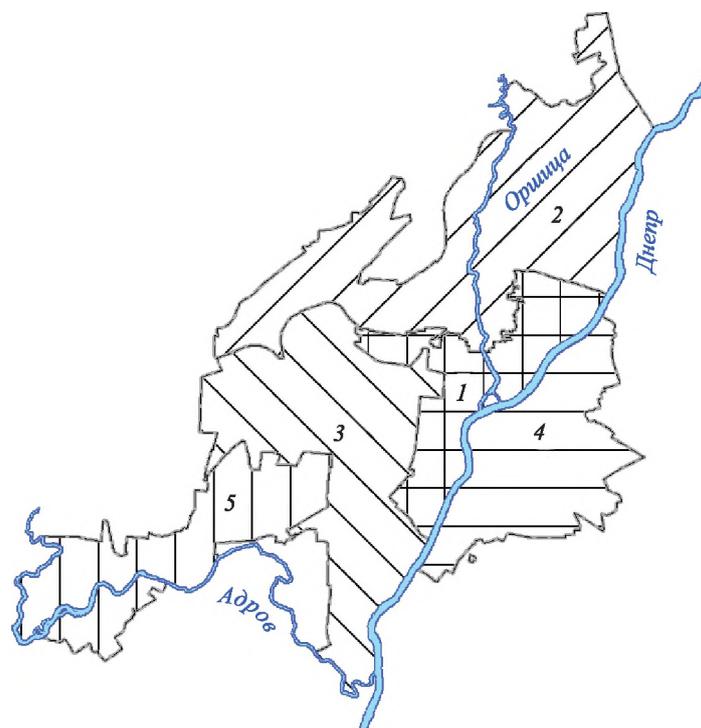


Рис. 1. Группы урбандиафтов Орши:

- 1 – центральные урбандиафты на возвышенности и в поймах рек Днепр и Оршица с историческим центром, общественной и многоквартирной жилой застройкой, ландшафтно-рекреационными территориями;
- 2 – северные урбандиафты на возвышенности и в поймах рек Днепр и Оршица с усадебной жилой застройкой городского типа, территориями транспортной и промышленной инфраструктуры, общественной застройкой, озелененными пространствами;
- 3 – западные урбандиафты на возвышенности с многоквартирной средне-, малоэтажной и усадебной жилой застройкой городского типа, общественной застройкой административного, торгового, учебного, медицинского назначения, территориями транспортной и промышленной инфраструктуры;
- 4 – юго-восточные урбандиафты на возвышенности и в поймах рек Днепр и Кутейнка с усадебной жилой застройкой городского типа, много-, средне- и малоэтажной жилой застройкой, ландшафтно-рекреационными территориями общего пользования;
- 5 – юго-западные урбандиафты на возвышенности и в пойме р. Адров с многофункциональной застройкой поселкового типа, зелеными насаждениями лесного типа

Fig. 1. Groups of urban landscapes of Orsha:

- 1 – central urban landscapes on the hill and floodplains of the Dnieper and Orshitsa rivers with the historical center, public and multi-apartment residential buildings, landscape and recreational areas;
- 2 – northern urban landscapes on the hill and floodplains of the Dnieper and Orshitsa rivers with manor houses of urban type, areas of transport and industrial infrastructure, public buildings, green spaces;
- 3 – western urban landscapes on the hill with multi-apartment medium-, low-rise and manor houses of urban type, public buildings of administrative, commercial, educational, medical purposes, areas of transport and industrial infrastructure;
- 4 – southeastern urban landscapes on the hill and floodplains of the Dnieper and Kuteinka rivers with manor houses of urban type, multi-, medium- and low-rise residential buildings, landscape and recreational areas of common use;
- 5 – southwestern urban landscapes on the hill and floodplain of the Adrov river with multifunctional settlement-type buildings, green plantations of forest type

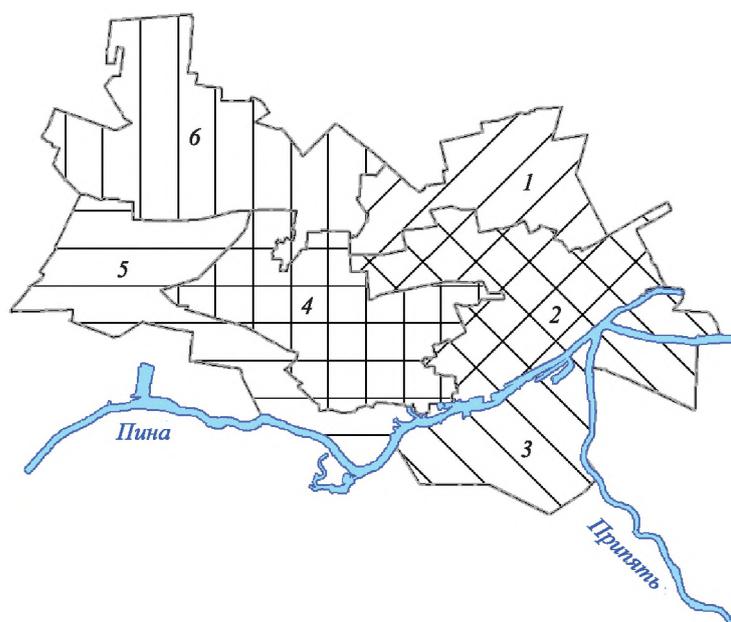


Рис. 2. Группы урбандиапафтов Пинска:

- 1 – северо-восточные урбандиапафты на водно-ледниковой равнине с жилой многоквартирной и общественной застройкой учебного, торгового и медицинского назначения;
- 2 – восточные урбандиапафты на водно-ледниковой равнине с общественной застройкой общегородского центра торгового, медицинского, учебного, спортивного, культурного назначения и жилой усадебной застройкой городского типа;
- 3 – юго-восточные урбандиапафты на озерно-аллювиальной низине с парками, лесопарками и открытыми озелененными территориями;
- 4 – центральные урбандиапафты на водно-ледниковой равнине с жилой многоквартирной и усадебной застройкой городского типа, общественной застройкой торгового и учебного назначения, промышленными, производственными и коммунально-складскими территориями;
- 5 – юго-западные урбандиапафты на водно-ледниковой равнине с жилой усадебной застройкой городского и сельского типов, лесопарками и парками;
- 6 – северо-западные урбандиапафты на водно-ледниковой равнине с жилой усадебной застройкой городского и сельского типов

Fig. 2. Groups of urban landscapes of Pinsk:

- 1 – northeastern urban landscapes on the water-glacial plain with multi-apartment residential and public buildings for educational, commercial and medical purposes;
- 2 – oriental urban landscapes on the water-glacial plain with public construction of the city center of trade, medical, educational, sports, religious purposes and residential manor buildings of the urban type;
- 3 – southeastern urban landscapes in the lake-alluvial lowland with parks, forest parks and open green areas;
- 4 – central urban landscapes on the water-glacial plain with multi-apartment residential and manor buildings of urban type, public buildings for trade and educational purposes, industrial, industrial and communal-warehouse areas;
- 5 – southwestern urban landscapes on the water-glacial plain with residential manor houses of urban and rural types, forest parks and parks;
- 6 – northwestern urban landscapes on the water-glacial plain with residential manor houses of urban and rural types



Город Орша был заложен у слияния рек Днепр и Оршица в XI в. Размещение города на водном пути «из варяг в греки» и на пересечении сухопутных путей во многом определило его дальнейшую судьбу и особенности формирования структуры урболоандшафтов. Всего в Орше выделено пять групп городских ландшафтов (см. рис. 1).

Группа центральных урболоандшафтов на возвышенности и поймах рек Днепр и Оршица занимает 12,0 % территории города. Доминирует в ней комплекс исторического центра (46 % площади), расположенный в междуречье Днепра и Оршицы на территории с уникальным, ярко выраженным рельефом. Именно здесь сосредоточены основные объекты историко-культурного значения.

Группа северных урболоандшафтов является доминирующей, занимая треть площади города (32,0 %), и выделяется своей разнообразной структурой. Для нее характерно чередование различной жилой застройки с территориями промышленных и транспортных предприятий. Особенность данной группы заключается в том, что именно на этом пространстве сосредоточены промышленные объекты, занимающие очень большие площади (42,8 % площади всех промышленных предприятий Орши). Наиболее ярко это выражено в комплексе, расположенном на крайнем северо-востоке города, где промышленные объекты резко доминируют (65,5 % площади группы).

Группа западных урболоандшафтов занимает значительную площадь (24,9 %), но очень однородна по составу. В северной части группы расположен комплекс с доминированием многоквартирной и усадебной жилой застройки, занимающий 51,3 % площади группы, на юге – комплекс с сосредоточением промышленных предприятий и объектов транспортной инфраструктуры с их санитарно-защитными зонами, которые распространены практически на всей его площади.

Группа юго-восточных урболоандшафтов, расположенная на противоположном от основной части Орши берегу р. Днепр, занимает 15,9 % территории города. В южной части группы выделяется комплекс с зелеными насаждениями общего пользования и многоквартирной жилой застройкой. В данной группе практически отсутствуют промышленные предприятия.

Группа юго-западных урболоандшафтов, занимающая 15,2 % площади, включает территорию Барани, предлагаемую для присоединения к Орше для более интенсивного социально-экономического развития этого населенного пункта. В группе доминирует комплекс с многофункциональной застройкой поселкового типа с широким распространением зеленых насаждений (47,4 % площади группы).

Город Пинск, также известный с XI в., был заложен на левом берегу р. Пины в месте впадения в р. Припять. Сегодня Пинск – исторический и культурный центр Полесья, город с прекрасно сохранившимися памятниками архитектуры, существенно разросшийся и организованный с учетом сложившейся планировки. На территории Пинска выделены шесть групп урболоандшафтов (см. рис. 2).

Группа северо-восточных урболоандшафтов занимает самую маленькую площадь в черте города (11,2 %). В этой группе преобладает жилая и общественная застройка различного назначения (учебного, торгового и медицинского), есть несколько небольших промышленных предприятий.

В связи с особенностями возникновения города и его расширения исторический центр Пинска географически смещен на восток и входит в группу восточных урболоандшафтов, занимающих 16,5 % всей городской площади. Для данной группы урболоандшафтов характерны хорошо сохранившиеся памятники истории и архитектуры, сложившаяся застройка и планировка старого города, набор учреждений торгового, медицинского, учебного, спортивного, культового назначения. В пределах группы расположены ряд предприятий. С запада на восток территорию пересекает железная дорога.

Группа юго-восточных урболоандшафтов располагается на противоположном от города берегу р. Пины и занимает 16,4 % площади города. В основном это покрытый естественной растительностью, частично заболоченный участок вдоль реки. Здесь находятся грузовой порт и складские помещения.

К западу от группы восточных урболоандшафтов расположена группа центральных урболоандшафтов, занимающая довольно большую площадь – 17,7 % территории города. К историческому ядру примыкает жилая застройка (многоквартирная и усадебная) с набором общественных учреждений, сменяемая далее на запад большим по площади участком с огромным набором промышленных предприятий.

Группа юго-западных урболоандшафтов, занимающая 16,8 % площади, сформировалась на окраине города. Среди видов использования территории доминирует жилая усадебная застройка городского и сельского типов с большим количеством зеленых насаждений, и только в северной части группы есть небольшой участок с преобладанием промышленных, производственных и коммунально-складских территорий.

В группе северо-западных урболоандшафтов, занимающей 21,4 % территории города, преобладает усадебная застройка городского и сельского типов с большим количеством зеленых насаждений и примыкающей лесопарковой зоной.

В границах урболоандшафтов Орши и Пинска проведены геохимические исследования. По результатам эмиссионно-спектрального анализа проб было установлено содержание валовых форм Cu, Pb, Mn, Ni, Sn, Ti, Cr в почве (см. таблицу). При оценке накопления выполнялось сравнение содержания металла



со среднереспубликанским значением (региональным кларком) и показателями ПДК/ОДК, поскольку концентрации тяжелых металлов, превышающие ПДК, представляют потенциальную опасность для здоровья населения.

Для оценки пространственной вариации накопления металлов в городских почвах были построены интегральные карты, на которых для Орши отражены суммы коэффициентов содержания ( $K_c$ ), представляющих собой отношение содержания в почве к фону и рассчитанных для всех элементов, кроме олова (для него отсутствуют общепринятые значения фона для Беларуси), а для Пинска – отношение суммы превышений содержания элементов над ПДК к числу тяжелых металлов, для которых ПДК установлена. На созданных картах отображено суммарное накопление металлов для почв Орши (рис. 3, а) и Пинска (рис. 3, б). Сравнение концентраций исследуемых элементов показывает заметное сходство в основных показателях накопления в почвах Орши и Пинска для Ni и Ti, в меньшей степени – Mn, тогда как для Cu, Pb, Sn и Cr отмечаются различия в сторону большего накопления в почвах Пинска, при этом характер накопления (асимметричность распределения, очень высокое и аномальное варьирование) [33] указывает на большую долю техногенного влияния. Для почв Пинска превышения ПДК были установлены для Cu, Pb и Cr, для почв Орши – только для Pb.

#### Содержание валовых форм металлов в почвах Орши и Пинска

##### Total concentrations of metals in the soils of Orsha and Pinsk

Показатели	Химические элементы, мг/кг						
	Cu	Pb	Mn	Ni	Sn	Ti	Cr
Орша ( $n = 49$ )							
Среднее значение	5,5	8,1	275	4,8	0,82	1058	17,6
Медиана	4,0	5,9	266	3,2	0,72	1006	17,4
Размах варьирования	2,2–23,8	2,4–33,5	136–775	1,3–14,9	0,2–2,9	353–2881	8,7–40,2
Стандартная ошибка	0,56	0,83	14,7	0,52	0,07	68	0,82
Коэффициент вариации ( $V$ ), %	72,2	72,3	37,4	77,0	55,4	44,8	32,5
Пинск ( $n = 30$ )							
Среднее значение	28,2	27,7	326	5,4	2,3	1186	29,2
Медиана	22,6	18,1	322	4,9	1,6	1060	22,0
Размах варьирования	12–85	5–222	59–865	0,4–15,9	0,2–9,1	214–2881	9–151
Стандартная ошибка	2,95	7,09	38	0,64	0,40	116	4,88
Коэффициент вариации ( $V$ ), %	57,3	140,5	63,8	65,0	98,1	53,8	91,4
Фоновые показатели, ПДК/ОДК							
Фон для Беларуси	13	12	247	20	–	1562	36
ПДК/ОДК <sup>4</sup>	33	32	1000	20	–	–	100

Для Пинска основные геохимические аномалии выявлены в центральной части города и в прилегающих промышленных зонах, для Орши – в северной части города в промышленной зоне, примыкающей к железной дороге. Близость железной дороги к территории с повышенными концентрациями металлов характерна и для Пинска. При этом для почв Орши отмечается большая пятнистость в характере накопления, отдельные пятна повышенного накопления фиксируются для промышленных зон на севере и в центральной части города. Для Пинска характерно более активное накопление химических элементов, наибольшие концентрации отмечены для промышленных зон, центральной и северо-восточной частей города.

<sup>4</sup>Перечень предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно допустимых концентраций (ОДК) химических веществ в почве: гигиен. нормативы 2.1.7.12-1-2004: утв. Гл. гос. сан. врачом Респ. Беларусь 25.02.2004. Минск, 2004. 27 с.

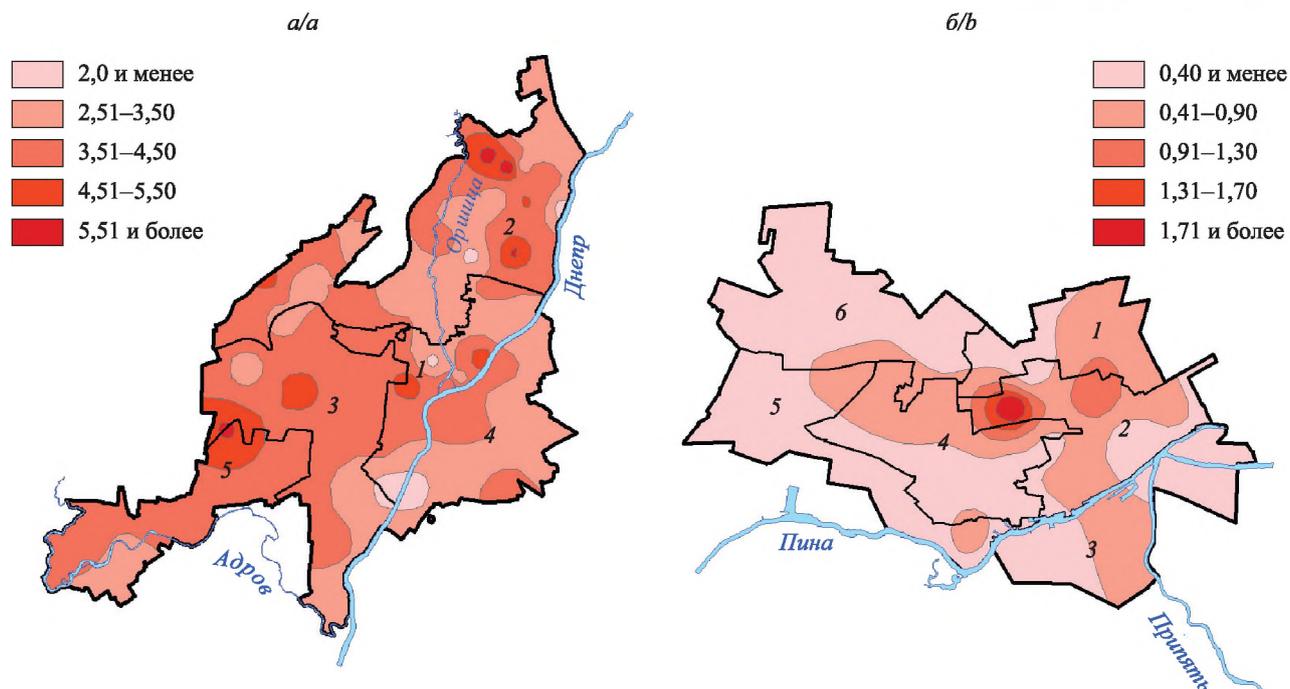


Рис. 3. Суммарное накопление металлов в почвах урбандшафтов Орши (а) и Пинска (б).  
Обозначенные цифрами группы урбандшафтов см. на рис. 1, 2

Fig. 3. Total accumulation of metals in the soils of urban landscapes of Orsha (a) and Pinsk (b).  
Marked with numbers groups of urban landscapes see on fig. 1, 2

Для установления возможных источников техногенной эмиссии металлов и выявления ассоциаций химических элементов, возникших вследствие наложения техногенных потоков вещества и энергии в урбандшафтах на природную геохимическую структуру, сформированную в результате сложного преобразования химического состава пород в ходе почвообразовательных и других процессов, использовался метод главных компонент (*principal components*) в программе *Statsoft Statistica 6.0* с применением *varimax*-вращения матрицы факторных нагрузок, при котором происходит минимизация количества переменных с высокой факторной нагрузкой. Данный анализ позволяет разносторонне изучить корреляционные связи между содержанием металлов в почвенном покрове и выявить вероятные парагенетические ассоциации элементов.

В ходе анализа при преобразовании корреляционных матриц для двух городов было выделено по три латентных фактора с собственными значениями выше единицы (рис. 4), при этом для Пинска суммарный процент объясненной дисперсии составил 88,2 %, а для Орши – 74,0 %.

В итоге для почв Орши выделены ассоциации элементов Sn – Cr, Ti – Mn и Ni – Cu – Pb, а для почв Пинска – ассоциации Mn – Sn – Ti, Pb – Cr, Ni – Cu. Следует отметить некоторую схожесть в распределении элементов в ассоциациях. Так, Cu и Ni входят в одну ассоциацию и в почвах Пинска, и в почвах Орши, это же характерно для Mn и Ti, при этом первая ассоциация скорее определяется техногенным влиянием [34], а вторая связана с природными (литогенными) факторами, которые являются следствием природной неоднородности почвенного покрова и различий в накоплении элементов в почвообразующих породах.

Свинец в почвах Орши не имеет сильной связи ни с одним из выделенных факторов, отмечена только средняя факторная нагрузка (0,48) в отношении третьего фактора, поэтому его можно отнести к ассоциации с Cu и Ni, но очевидно, что характер его накопления имеет заметное отличие от данных элементов, связанное с влиянием выбросов автомобильного транспорта. Олово в Орше входит в ассоциацию с Cr, тогда как в Пинске характер его накопления ближе к Mn и Ti. Отличительной особенностью накопления Cr в почвах Пинска является его ассоциация с Pb, что позволяет связать формирование данной ассоциации с антропогенным влиянием.

Одним из актуальных направлений исследования городских территорий выступает изучение их микроклимата. Пространство урбанизированных территорий существенно изменяет температуру окружающей среды в сравнении с прилегающими природными и природно-антропогенными территориями, что способствует формированию определенных микроклиматических условий и является причиной возникновения такого феномена, как остров тепла.

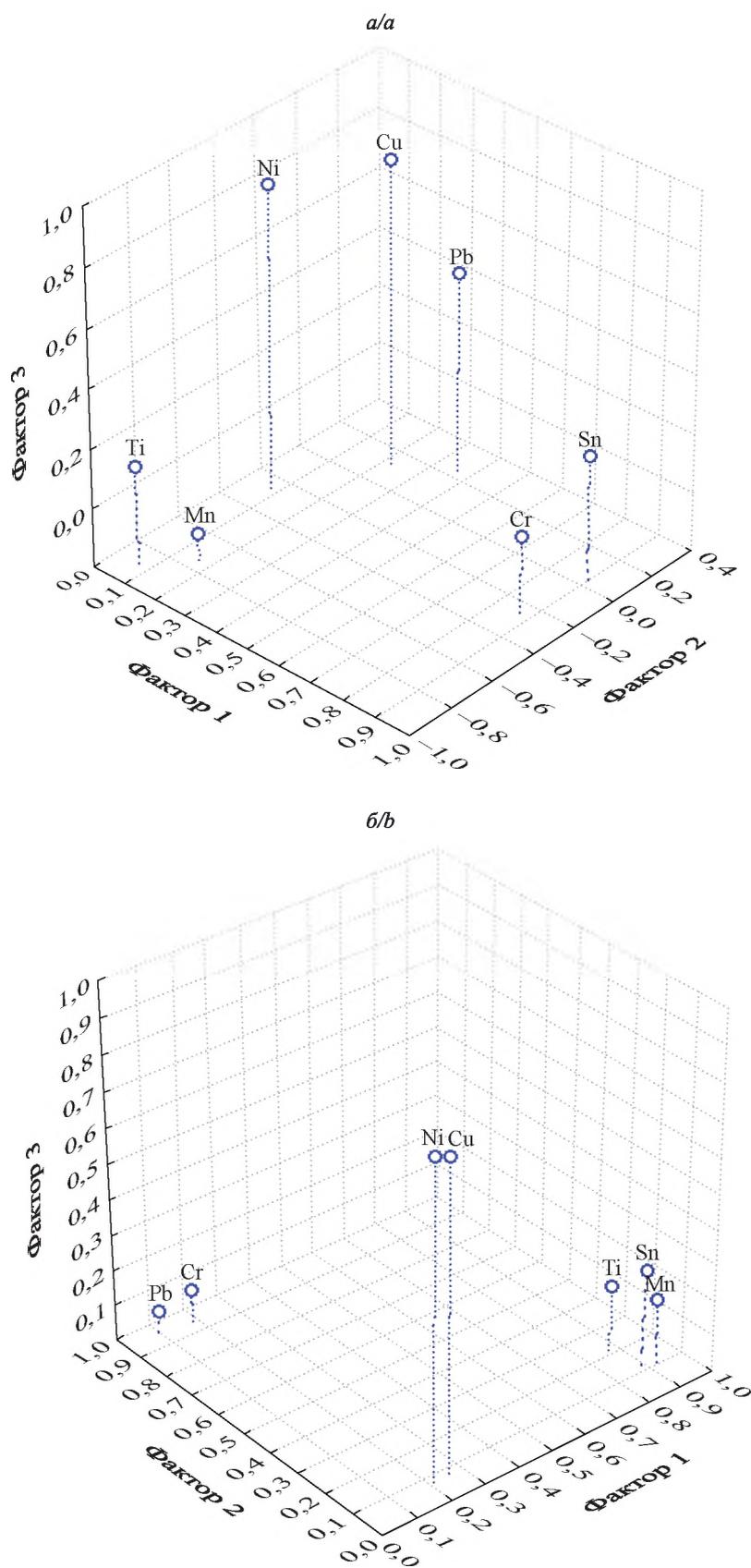


Рис. 4. Факторные нагрузки металлов в почвах Орши (а) и Пинска (б)  
Fig. 4. Factor loads of metals in the soils of urban landscapes of Orsha (a) and Pinsk (b)



Проведенные расчеты температуры поверхности Орши и Пинска показали ее неоднородное распределение в пределах городской территории. Появление тепловых аномалий в границах городской черты изучаемых городов обусловлено особенностями их градостроительной планировки, а также наличием крупных источников тепла в виде объектов промышленности, коммунальной и транспортной инфраструктуры.

По данным наблюдений на метеорологической станции Орши, на время съемки (8 : 55 GMT) в среднем за рассматриваемый период температура воздуха составляет 22 °С (изменяется от 20 °С в 2013 и 2017 гг. до 26 °С в 2015 г.). В ходе анализа данных дистанционного зондирования установлено, что температура поверхности в границах города варьирует от 22 до 38 °С и в среднем составляет 30 °С (среднее квадратическое отклонение – 2,4). На прилегающих к городу территориях (на удалении до 5 км) среднее значение температуры поверхности составляет 27 °С (т. е. ниже на 3 °С) и находится в пределах от 19 до 35 °С (рис. 5, а), что свидетельствует о формировании положительных тепловых аномалий в черте города.

Метеорологические условия Пинска на время съемки (9 : 10 GMT) за рассматриваемый период по основным показателям являются сопоставимыми; средняя температура воздуха составляет 22 °С (варьирует от 20 °С в 2016 г. до 24 °С в 2013, 2017 и 2020 гг.). Средняя температура поверхности урбандошфтов города за изучаемый период изменяется от 22 до 40 °С и в среднем также составляет 30 °С (среднее квадратическое отклонение – 3,0), что на 3 °С выше средней температуры поверхности на прилегающей территории (рис. 5, б).

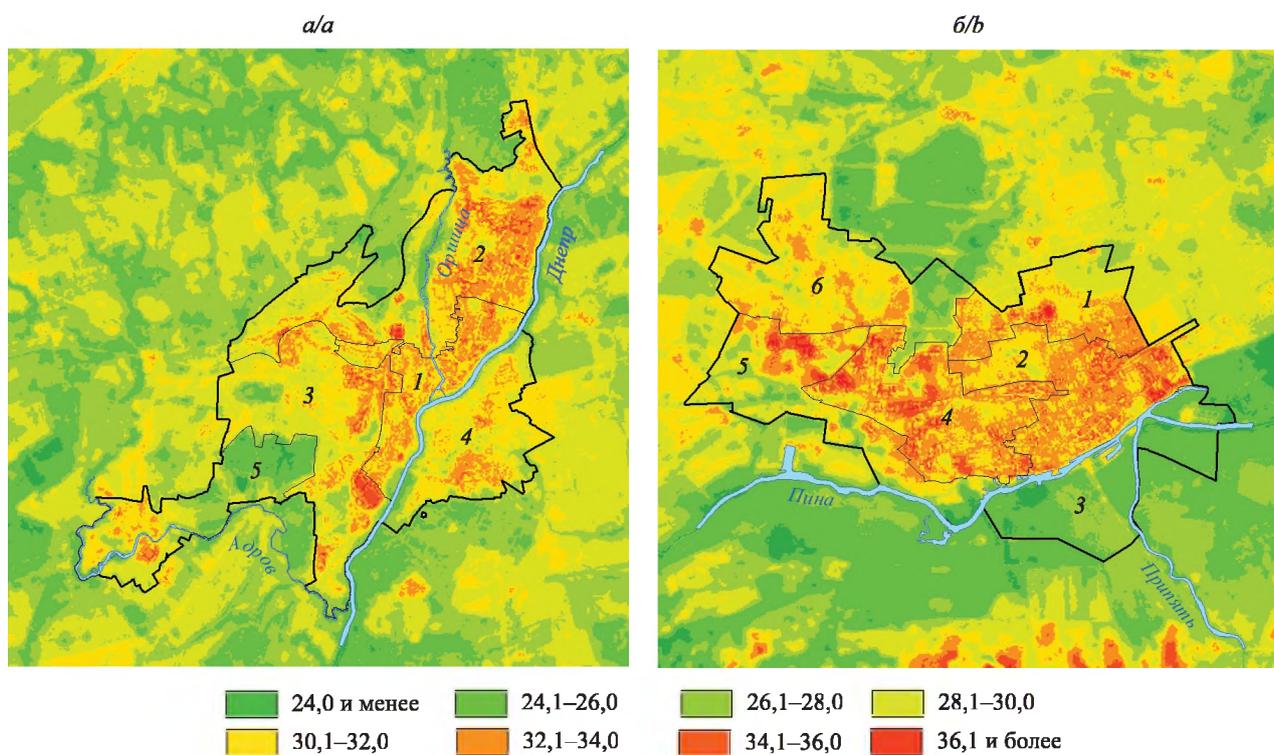


Рис. 5. Температура поверхности урбандошфтов Орши (а) и Пинска (б), °С.  
Обозначенные цифрами группы урбандошфтов см. на рис. 1, 2

Fig. 5. Surface temperature of urban landscapes of Orsha (a) and Pinsk (b), °С.  
Marked with numbers groups of urban landscapes see on fig. 1, 2

Наиболее высокие значения температуры поверхности (выше 35 °С) наблюдаются в зоне промышленной и коммунально-складской застройки в границах крупнейших промышленных предприятий Орши и Пинска. Температура поверхности в границах жилых многоэтажных районов находится в интервале значений от 30 до 35 °С, а на участках с преимущественно усадебной застройкой составляет в среднем около 30 °С, что обусловлено их большей озелененностью в сравнении с промышленной зоной и многоквартирной застройкой. Наиболее низкие значения температуры поверхности (до 25 °С) отмечаются в границах природных территорий, покрытых естественной растительностью, – долинах крупных водотоков (р. Днепр в Орше, реки Припять и Пина в Пинске), ландшафтно-рекреационных комплексах городов.



В структуре урболандшафтов Орши и Пинска важное место занимают ландшафтно-рекреационные территории, формирующиеся на основе долинных комплексов водотоков и существующих зеленых насаждений. Озелененные и природные территории урболандшафтов выполняют важные функции в создании комфортной окружающей среды, оказывая различные экосистемные услуги.

Ландшафтно-рекреационные территории Орши сформированы системой городских парков и скверов в центральной части города и долинных комплексах р. Днепр (детский парк «Сказочная страна», парк культуры и отдыха, Приднепровский парк), рек Оршица и Адров (центральные, западные и юго-восточные урболандшафты), а также значительными по площади лесопарковыми массивами в западной и южной частях города (юго-западные и западные урболандшафты), территориями общего пользования с естественной растительностью в пределах приустьевых участков речных долин (юго-восточные и северные урболандшафты). В Пинске эти пространства представлены городским парком культуры и отдыха имени Краснознаменной Днепровской флотилии, городским детским парком, системой скверов в центральной и северной частях города (восточные и центральные урболандшафты), пойменными участками рек Припяти и Пины (юго-восточные урболандшафты), лесными массивами в северной и западной частях города (северо-западные и юго-западные урболандшафты).

В границах Орши площадь покрытых древесными насаждениями земель составляет 171,5 га, из которых 143,3 га (83,6 %) приходится на хвойные насаждения (в том числе сосновые (46,0 га), еловые (37,6 га)). Средний возраст древостоев составляет 55 лет и варьирует (по среднему значению) от 15–20 лет для березовых насаждений до 65–70 лет для еловых насаждений. Отдельные участки хвойных древостоев представляют собой ценные растительные сообщества, возраст которых превышает 160–170 лет. Типологическая структура древостоев включает пять типов насаждений, среди которых наиболее распространен кисличный тип (87,0 %).

В Пинске сосновые насаждения, на которые приходится 201,9 га (91,4 %) покрытых древесной растительностью земель в границах черты города (220,9 га), являются основой зеленых насаждений лесопарковой зоны. Средний возраст насаждений составляет 65 лет, максимальный возраст (по таксационному выделу) не превышает 85 лет. Типологическая структура древостоев более разнообразна и характеризуется доминированием мшистого типа (79,3 %) с высокой долей орлякового (17,2 %) типа насаждений.

Интегральным показателем качества условий местопроизрастания является класс бонитета древостоев. В пределах Орши насаждениями Iа класса бонитета представлено 48,8 % зеленых насаждений, I класса – 41,4 % насаждений. В границах Пинска на высокопродуктивные насаждения I класса бонитета приходится 88,8 % зеленых насаждений лесопарковой зоны. Распределение древостоев по классам бонитета свидетельствует о более благоприятных условиях местопроизрастания зеленых насаждений в границах Орши.

Интегральная стоимостная оценка экосистемных услуг зеленых насаждений Орши, как выражение альтернативной стоимости с учетом эффективности воспроизводства в экономической и экологической сферах, определена в размере 125,9 тыс. евро, Пинска – 132,7 тыс. евро ежегодно. В результате выполнения поэлементной стоимостной оценки были определены объемы аккумуляции диоксида углерода и их рыночная стоимость. Ежегодное накопление диоксида углерода зелеными насаждениями в Орше составляет 2,8 тыс. т  $\text{CO}_2$ , что эквивалентно 84,9 тыс. долл. США, в Пинске – 2,6 тыс. т  $\text{CO}_2$ , что эквивалентно 76,6 тыс. долл. США. При выполнении расчетов рыночная цена основного продукта природопользования принята равной 210 евро за 1 м<sup>3</sup> (по данным квартальных биржевых котировок на Белорусской универсальной бирже), средняя мировая цена квоты на выброс диоксида углерода – 30 долл. США за 1 т (по данным Международного энергетического агентства за 2020 г.). При большей площади лесопокрываемых земель насаждения Пинска ежегодно аккумулируют меньшее количество диоксида углерода и имеют более низкие показатели интегральной стоимостной оценки экосистемных услуг, что обусловлено структурой растительности, ее видовым составом, возрастом древостоев, их состоянием и устойчивостью к негативным факторам городской среды.

Оценка геохимических рисков урболандшафтов территории изучаемых городов проведена на основе карты урболандшафтов с использованием карт суммарного накопления металлов в почвах урболандшафтов. Ранжирование типов риска выполнено с учетом превышения этого показателя над ПДК или фоновым значением. На оценочных картах выделены четыре типа рисков, отмеченных в Орше (рис. 6, а) и Пинске (рис. 6, б).

В Орше самая высокая степень геохимических рисков выявлена в группе северных городских ландшафтов (32 %). В пределах этой территории много производственных и коммунально-складских объектов, есть объекты транспортной инфраструктуры, чередующиеся с крупными жилыми массивами,



в которых преобладает усадебная застройка городского типа. Это единственный урболандшафт в городе, где сумма коэффициентов содержания ( $K_c$ ) достигает 5,5. Средняя степень риска характерна для 37,0 % территории города и сформировалась в группах центральных и западных урболандшафтов Орши, где господствует плотная общественная и комплексная жилая застройка различных типов – многоквартирная, мало- и среднеэтажная, усадебная городского типа. Наряду с ними присутствуют производственная застройка с санитарно-защитными зонами и ландшафтно-рекреационные территории. Доминирует сумма коэффициентов содержания в пределах 3,5–4,5. Низкой степенью рисков отличается группа юго-восточных урболандшафтов, для которой характерно большое количество зеленых насаждений общего пользования наряду с разнообразной жилой застройкой. Преобладающая сумма коэффициентов содержания – 2,5–3,5. Минимальной степенью геохимических рисков в Орше выделяется группа юго-западных урболандшафтов. В структуре урболандшафтов представлены лесные насаждения, сельскохозяйственные земли, ландшафтно-рекреационные территории, примыкающие к участкам жилой мало- и среднеэтажной, усадебной сельского и поселкового типов застройки. Это экологически чистая зона, почвы которой не содержат микроэлементов с превышением фоновых показателей.

Высокая степень геохимического риска в Пинске (16,5 % площади города) выявлена в группе восточных урболандшафтов. По показателю суммарного загрязнения почв эта территория классифицируется как наиболее загрязненная (1,3–2,1 ПДК). Здесь зафиксированы самые высокие показатели загрязнения почв Pb, Cu и Cr. Средняя степень рисков в Пинске сформировалась в группах центральных и северо-восточных урболандшафтов, площадь которых составляет 28,9 % общей площади исследования. По показателю суммарного загрязнения почв эта территория расположена в пределах ореола 0,4–0,9 ПДК и характеризуется повышенным содержанием Pb (2,0 ПДК) и Cu (до 2,0 ПДК). Низкие риски характерны для групп юго-восточных и юго-западных урболандшафтов, имеющих максимальное распространение в городе (33,2 % площади). Их территории являются экологически достаточно чистыми, но характеризуются наличием пятен локального накопления с повышенным содержанием Pb и Cu. Минимальная степень геохимических рисков в Пинске выявлена в группе северо-западных урболандшафтов. Это самая экологически чистая территория, почвы которой не содержат микроэлементов с превышением ПДК.

Оценка тепловых рисков урболандшафтов выполнена на основе шкалы пространственного распределения средней температуры поверхности с учетом установленного превышения комфортности этого показателя для человека (22–24 °C). В границах групп урболандшафтов Орши и Пинска выделены четыре типа тепловых рисков – от минимальных до высоких.

В Орше высокий уровень тепловых рисков наблюдается в границах группы центральных урболандшафтов (рис. 6, в), которые представляют историческое ядро города, где преобладает плотная жилая застройка различных типов, чередующаяся с производственными объектами. Среднее значение температуры поверхности составляет 31 °C, среднее квадратическое отклонение является минимальным (1,85) и указывает на высокую однородность поверхности в границах группы. Средний уровень теплового риска отмечен для группы северных и западных урболандшафтов. Здесь велика доля территорий транспортной и промышленной инфраструктуры, являющихся источниками теплового загрязнения, однако селитебная зона представлена преимущественно малоэтажной и усадебной застройкой, которая характеризуется меньшей плотностью и большей долей зеленых насаждений. Последние смягчают тепловое загрязнение территории и стабилизируют тепловые риски. Расположенная на левом берегу р. Днепр зона усадебной и многоквартирной жилой застройки характеризуется низким уровнем теплового риска за счет высокой доли ландшафтно-рекреационных территорий, приуроченных к пойме водотока. Юго-западные урболандшафты характеризуются минимальным уровнем теплового риска, средняя температура поверхности в их границах составляет 27 °C. Территории представлены преимущественно природными (зеленые насаждения, водоемы) объектами и землями сельскохозяйственного назначения, которые планируется включить в черту города.

Максимальные уровни теплового риска в Пинске выявлены в группах восточных и центральных урболандшафтов (рис. 6, г), где средние значения температуры поверхности находятся в диапазоне 31–32 °C. Указанные территории включают историческое ядро города, многофункциональный общественный центр, зону многоквартирной и усадебной застройки, а также основные производственные территории, где сложилась напряженная с точки зрения теплового риска ситуация.

Средний уровень теплового риска отмечен в границах группы северо-восточных урболандшафтов, где около 25 % территории группы представлено сельскохозяйственными землями, температура поверхности которых на 2–3 °C меньше, чем на застроенных территориях рассматриваемой группы.

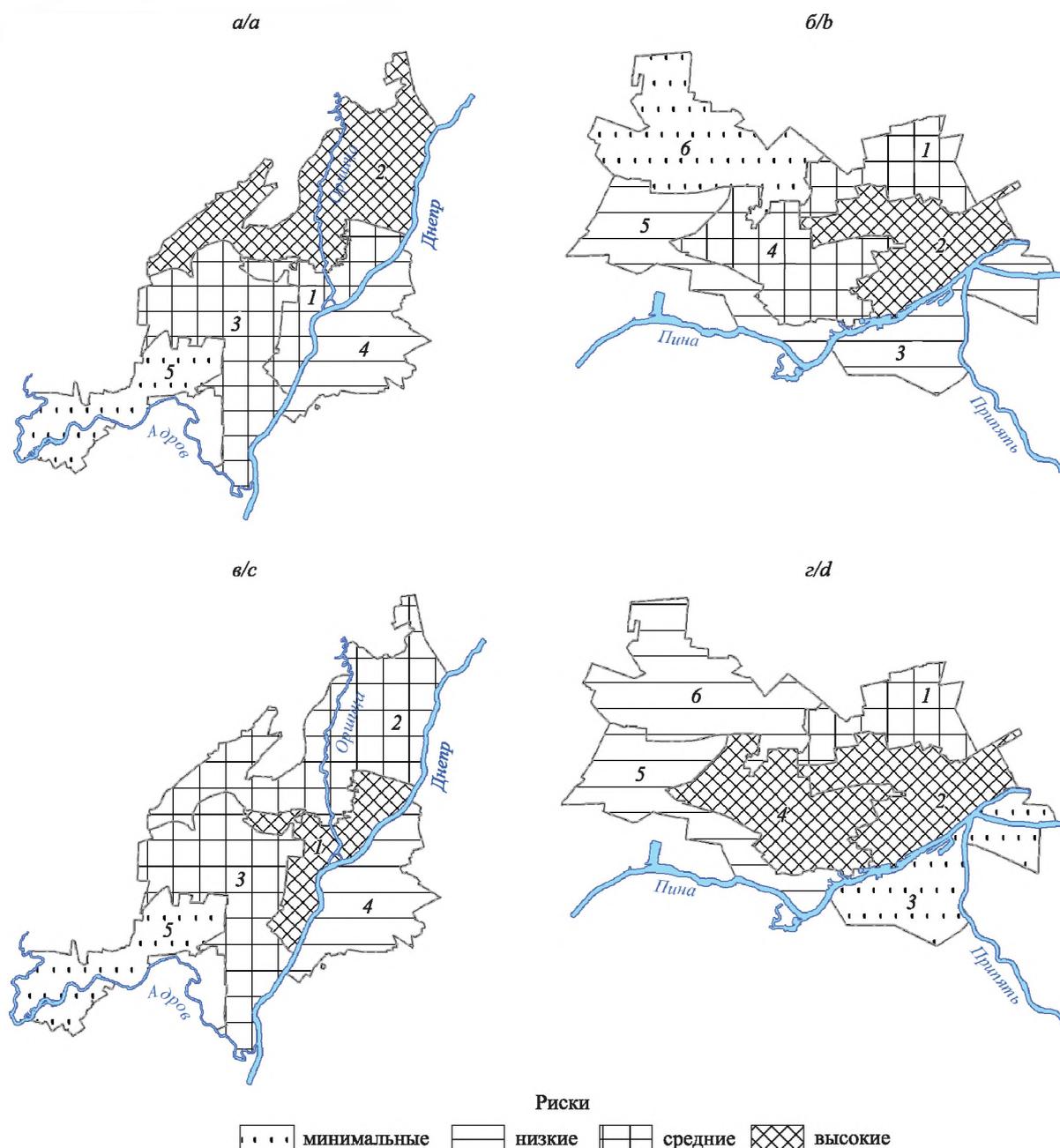


Рис. 6. Экологические (а, б – геохимические; в, г – тепловые) риски урбандшафтов Орши (а, в) и Пинска (б, г).

Обозначенные цифрами группы урбандшафтов см. на рис. 1, 2

Fig. 6. Environmental (a, b – geochemical; c, d – thermal) risks of urban landscapes of Orsha (a, c) and Pinsk (b, d).

Marked with numbers groups of urban landscapes see on fig. 1, 2

В пределах периферийной западной части города (группы северо-западных и юго-западных урбандшафтов), где преобладает селитебная зона с преимущественно усадебной застройкой и широко распространены ландшафтно-рекреационные территории, средняя температура поверхности, за исключением отдельных производственных площадок, не превышает 30 °С. Указанные территории характеризуются низким уровнем теплового риска. Минимальный уровень теплового риска (средняя температура поверхности не превышает 25 °С) отмечен в границах пойм рек Припяти и Пины (юго-восточные урбандшафты), которые представляют собой ценные в экологическом отношении природные комплексы, частично занятые объектами транспортной инфраструктуры и коммунального хозяйства.



## Заклучение

Представлены новые результаты исследования экологических рисков, которые позволили выяснить роль урболандшафтов в их формировании, выявить некоторые закономерности развития, провести оценку геохимических и тепловых рисков, экосистемных услуг. Созданный картографический материал свидетельствует, что городские ландшафты по-разному влияют на опасные процессы природного и техногенного генезиса. Урболандшафты исторического центра с доминированием комплексной жилой многоэтажной, промышленной застройки, как правило, характеризуются повышенным содержанием в почве тяжелых металлов, особенно Pb и Cu (выше ПДК или фона). Выявлена закономерность, что к месту расположения геохимической аномалии тяготеют острова тепла с наиболее высокими температурами поверхности в летний период (до 38–40 °С) и участки слабого процесса фотосинтеза (суммарное депонирование диоксида углерода составляет от 100 до 500 т в год). Таким образом, формируется территория с высоким уровнем геохимического и теплового риска. Урболандшафты с преобладанием ландшафтно-рекреационных территорий отличаются наиболее низким содержанием тяжелых металлов в почвах, пониженными температурами поверхности, максимально высокими показателями накопления углерода (суммарно 2,6–2,8 тыс. т CO<sub>2</sub> ежегодно) и, соответственно, низким уровнем геохимического и теплового риска. В целом количественные показатели свидетельствуют о том, что уровень экологического риска в Орше и Пинске соответствует категориям «приемлемые» и «пренебрежимые». В указанной ситуации управление рисками сводится к разработке предложений по экологической оптимизации урболандшафтов. В первую очередь это озеленение городской инфраструктуры (инженерных коммуникаций, транспортных сетей и др.), расширение вертикального и горизонтального озеленения, повсеместное внедрение зеленых насаждений в промышленных и густо заселенных урболандшафтах, где возможно проводить озеленение открытых производственных площадок и поверхностей зданий.

## Библиографические ссылки

1. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. *World population prospects 2019: highlights* [Internet]. New York: United Nations; 2019 [cited 2021 April 3]. 43 p. Report No. ST/ESA/SER.A/423. Available from: [https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019\\_Highlights.pdf](https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019_Highlights.pdf).
2. Фалолеева МА. *Новый город для нового климата*. Минск: Дискурс; 2020. 431 с. (Наука меняет жизнь).
3. Касимов НС, Малхазова СМ, Чалов РС, редакторы. *География, общество, окружающая среда. Том 4. Природно-антропогенные процессы и экологический риск*. Москва: Городец; 2004. 616 с.
4. Акимов ВА, Лесных ВВ, Радаев НН. *Риски в природе, техносфере, обществе и экономике*. Москва: Деловой экспресс; 2014. 348 с.
5. Вишняков ЯД, Радаев НН. *Общая теория рисков*. 2-е издание. Москва: Академия; 2008. 368 с.
6. Тихомиров НП, Потравный ИМ, Тихомирова ТМ. *Методы анализа и управления эколого-экономическими рисками*. Тихомиров НП, редактор. Москва: Юнити-Дана; 2003. 350 с.
7. Ямалов ИУ. *Моделирование процессов управления и принятия решений в условиях чрезвычайных ситуаций*. Москва: Лаборатория базовых знаний; 2009. 288 с.
8. Risk Assessment Forum, United States Environmental Protection Agency. *Guidelines for ecological risk assessment* [Internet]. Washington: United States Environmental Protection Agency; 1998 [cited 2021 April 3]. 188 p. Report No. EPA/630/R-95/002F. Available from: [https://www.epa.gov/sites/default/files/2014-11/documents/eco\\_risk\\_assessment1998.pdf](https://www.epa.gov/sites/default/files/2014-11/documents/eco_risk_assessment1998.pdf).
9. Azimuth Consulting Group. *Federal Contaminated Sites Action Plan (FCSAP). Ecological risk assessment guidance*. Vancouver: Azimuth Consulting Group; 2012. 215 p.
10. Pollard S, Purchase D, Herbert S. *A practical guide to environmental risk assessment for waste management facilities. Guidance note 25. Version 2* [Internet]. London: National Centre for Risk Analysis and Options Appraisal, Environment Agency; 2000 [cited 2021 April 3]. 80 p. Available from: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.391.7953&rep=rep1&type=pdf>.
11. Environmental Health Committee. *Environmental health risk assessment: guidelines for assessing human health risks from environmental hazards* [Internet]. Canberra: Environmental Health Committee; 2012 [cited 2021 April 3]. 131 p. Available from: [https://www1.health.gov.au/internet/main/publishing.nsf/content/A12B57E41EC9F326CA257BF0001F9E7D/\\$File/Environmental-health-Risk-Assessment.pdf](https://www1.health.gov.au/internet/main/publishing.nsf/content/A12B57E41EC9F326CA257BF0001F9E7D/$File/Environmental-health-Risk-Assessment.pdf).
12. Health and Safety Authority. *Guidelines on risk assessments and safety statements* [Internet]. Dublin: Health and Safety Authority; 2006 [cited 2021 April 3]. 38 p. Available from: <https://www.tcd.ie/estatesandfacilities/assets/pdf/HSA%20RiskAssessment%20SS%20guide.pdf>.
13. European Food Safety Authority. Review of current practices of environmental risk assessment within EFSA. *EFSA Supporting Publications* [Internet]. 2011 [cited 2021 April 3];8(9):116. [39 p.]. Available from: <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2903/sp.efsa.2011.IN-116>.
14. Shoaf KI, Seligson HA, Stratton SJ, Rottman SJ. *Hazard risk assessment instrument* [Internet]. [S. l.]: UCLA Center for Public Health and Disasters; 2006 [cited 2021 April 3]. 89 p. Available from: [https://fachc.memberclicks.net/assets/docs/Emergency-Management-Knowledgebase/hra\\_instrument\\_wbkucla.pdf](https://fachc.memberclicks.net/assets/docs/Emergency-Management-Knowledgebase/hra_instrument_wbkucla.pdf).
15. Suter GW II, Munns WR, Sekizawa J. Types of integration in risk assessment and management, and why they are needed. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*. 2003;9(1):273–279. DOI: 10.1080/713609864.
16. Nel DC, Cochrane K, Petersen SL, Shannon LJ, van Zyl B, Honig MB, editors. *Ecological risk assessment: a tool for implementing an ecosystem approach for southern African fisheries* [Internet]. [S. l.]: [s. n.]; 2007 [cited 2021 April 3]. 225 p. (WWF



report series; 2007/Marine/002). Available from: [http://awsassets.wwf.org.za/downloads/22\\_ecological\\_risk\\_assessment\\_a\\_tool\\_for\\_implementing\\_an\\_ecosystem\\_approach\\_for\\_souther.pdf](http://awsassets.wwf.org.za/downloads/22_ecological_risk_assessment_a_tool_for_implementing_an_ecosystem_approach_for_souther.pdf).

17. Munns WR Jr, Mitro MG. *Assessing risks to populations at Superfund and RCRA sites characterizing effects on populations* [Internet]. Cincinnati: United States Environmental Protection Agency; 2006 [cited 2021 April 3]. 88 p. Report No. EPA/600/R-06/038. Available from: [https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-11/documents/erasc\\_risks\\_to\\_eco\\_pops.pdf](https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-11/documents/erasc_risks_to_eco_pops.pdf).

18. Fox DR, Burgman M. Ecological risk assessment. In: Melnick EL, Everitt BS, editors. *Encyclopedia of quantitative risk assessment and analysis*. Chichester: John Wiley & Sons; 2008. p. 1600–1603. DOI: 10.1002/9780470061596.risk0268.

19. Pollard SJT. Ecological and public health risks: analysis and management. In: UNESCO. *Encyclopedia of life support systems (EOLSS)*. Paris: EOLSS Publishers; 2002. p. 219–235.

20. Martin B, Pearson A, Bauer B. *An ecological risk assessment of wind energy development in Montana* [Internet]. Helena: The Nature Conservancy; 2009 [cited 2021 April 3]. 57 p. Available from: <https://www.nature.org/media/montana/wind-report.pdf>.

21. New Mexico Environment Department, Hazardous Waste Bureau. *Guidance for assessing ecological risks posed by chemicals: Screening level ecological risk assessment. HWB guidance document Revision 2.0*. Santa Fe: New Mexico Environment Department; 2008. 116 p.

22. Schleier JJ III, Sing SE, Peterson RKD. Regional ecological risk assessment for the introduction of *Gambusia affinis* (western mosquitofish) into Montana watersheds. *Biological Invasions*. 2008;10(8):1277–1287. DOI: 10.1007/s10530-007-9202-1.

23. O'Brien GC, Wepener V. Regional-scale risk assessment methodology using the relative risk model (RRM) for surface freshwater aquatic ecosystems in South Africa. *Water SA*. 2012;38(2):153–166. DOI: 10.4314/wsa.v38i2.1.

24. Molak V, editor. *Fundamentals of risk analysis and risk management*. Boca Raton: Lewis Publishers; 1997. 451 p.

25. Pastorok RA, Akçakaya R, Regan H, Ferson S, Bartell SM. Role of ecological modeling in risk assessment. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*. 2003;9(4):939–972. DOI: 10.1080/713610017.

26. Хомич ВС, Какарека СВ, Кухарчик ТИ, Кравчук ЛА. *Светлогорск: экологический анализ города*. Минск: Минсктип-проект; 2002. 212 с.

27. Хомич ВС, Какарека СВ, Кухарчик ТИ. *Экогеохимия городских ландшафтов Беларуси*. Минск: Минсктип-проект; 2004. 259 с.

28. Струк МИ. *Региональные особенности оптимизации окружающей среды Беларуси*. Минск: Белорусская наука; 2007. 252 с.

29. Асаёнок ИС. *Среда обитания: риск, здоровье, экономика*. Минск: Бестпринт; 2006. 221 с.

30. Деревяго ИП. *Экономические основы управления риском*. Минск: Белорусский государственный технологический университет; 2007. 170 с.

31. Martsinkevich G, Shchasnaya I, Usava I. Urban landscape as an object for study and assessment of urban space. The example of industrial cities in Belarus. *Problemy Ekologii Krajobrazu*. 2017;45:29–39.

32. Avdan U, Jovanovska G. Algorithm for automated mapping of land surface temperature using Landsat 8 satellite data. *Journal of Sensors*. 2016;1480307. DOI: 10.1155/2016/1480307.

33. Vodyanitskii YuN. Criteria of the technogenic nature of heavy metals and metalloids in soils: a review of publications. *Eurasian Soil Science*. 2009;42(9):1053–1061. DOI: 10.1134/S1064229309090130.

34. Alloway BJ. Sources of heavy metals and metalloids in soils. In: Alloway BJ, editor. *Heavy metals in soils. Trace metals and metalloids in soils and their bioavailability*. 3<sup>rd</sup> edition. Dordrecht: Springer; 2013. p. 11–50 (Environmental pollution; volume 22). DOI: 10.1007/978-94-007-4470-7\_2.

## References

1. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. *World population prospects 2019: highlights* [Internet]. New York: United Nations; 2019 [cited 2021 April 3]. 43 p. Report No. ST/ESA/SER.A/423. Available from: [https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019\\_Highlights.pdf](https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019_Highlights.pdf).

2. Faloleeva MA. *Novyi gorod dlya novogo klimata* [A new city for a new climate]. Minsk: Diskurs; 2020. 431 p. (Nauka menyaet zhizn'). Russian.

3. Kasimov NS, Malkhazova SM, Chalov RS, editors. *Geografiya, obshchestvo, okruzhayushchaya sreda. Tom 4. Privodno-antropogennye protsessy i ekologicheskiy risk* [Geography, society, environment. Volume 4. Natural and anthropogenic processes and environmental risk]. Moscow: Gorodets; 2004. 616 p. Russian.

4. Akimov VA, Lesnykh VV, Radaev NN. *Riski v prirode, tekhnosfere, obshchestve i ekonomike* [Risks in nature, technosphere, society and economy]. Moscow: Delovoi ekspres; 2014. 348 p. Russian.

5. Vishnyakov YaD, Radaev NN. *Obshchaya teoriya riskov* [General risk theory]. 2<sup>nd</sup> edition. Moscow: Akademiya; 2008. 368 p. Russian.

6. Tikhomirov NP, Potravny IM, Tikhomirova TM. *Metody analiza i upravleniya ekologo-ekonomicheskimi riskami* [Methods of analysis and management of environmental and economic risks]. Tikhomirov NP, editor. Moscow: Uniti-Dana; 2003. 350 p. Russian.

7. Yamalov IU. *Modelirovanie protsessov upravleniya i prinyatiya reshenii v usloviyakh chrezvychainykh situatsii* [Modelling management and decision-making processes in emergency situations]. Moscow: Laboratoriya bazovykh znaniy; 2009. 288 p. Russian.

8. Risk Assessment Forum, United States Environmental Protection Agency. *Guidelines for ecological risk assessment* [Internet]. Washington: United States Environmental Protection Agency; 1998 [cited 2021 April 3]. 188 p. Report No. EPA/630/R-95/002F. Available from: [https://www.epa.gov/sites/default/files/2014-11/documents/eco\\_risk\\_assessment1998.pdf](https://www.epa.gov/sites/default/files/2014-11/documents/eco_risk_assessment1998.pdf).

9. Azimuth Consulting Group. *Federal Contaminated Sites Action Plan (FCSAP). Ecological risk assessment guidance*. Vancouver: Azimuth Consulting Group; 2012. 215 p.

10. Pollard S, Purchase D, Herbert S. *A practical guide to environmental risk assessment for waste management facilities. Guidance note 25. Version 2* [Internet]. London: National Centre for Risk Analysis and Options Appraisal, Environment Agency; 2000 [cited 2021 April 3]. 80 p. Available from: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.391.7953&rep=rep1&type=pdf>.

11. Environmental Health Committee. *Environmental health risk assessment: guidelines for assessing human health risks from environmental hazards* [Internet]. Canberra: Environmental Health Committee; 2012 [cited 2021 April 3]. 131 p. Available from: [https://www1.health.gov.au/internet/main/publishing.nsf/content/A12B57E41EC9F326CA257BF0001F9E7D/\\$File/Environmental-health-Risk-Assessment.pdf](https://www1.health.gov.au/internet/main/publishing.nsf/content/A12B57E41EC9F326CA257BF0001F9E7D/$File/Environmental-health-Risk-Assessment.pdf).



12. Health and Safety Authority. *Guidelines on risk assessments and safety statements* [Internet]. Dublin: Health and Safety Authority; 2006 [cited 2021 April 3]. 38 p. Available from: <https://www.tcd.ie/estatesandfacilities/assets/pdf/HSA%20RiskAssessment%20SS%20guide.pdf>.
13. European Food Safety Authority. Review of current practices of environmental risk assessment within EFSA. *EFSA Supporting Publications* [Internet]. 2011 [cited 2021 April 3];8(9):116. [39 p.]. Available from: <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2903/sp.efsa.2011.IN-116>.
14. Shoaf KI, Seligson HA, Stratton SJ, Rottman SJ. *Hazard risk assessment instrument* [Internet]. [S. l.]: UCLA Center for Public Health and Disasters; 2006 [cited 2021 April 3]. 89 p. Available from: [https://fachc.memberclicks.net/assets/docs/Emergency-Management-Knowledgebase/hra\\_instrument\\_wbkucla.pdf](https://fachc.memberclicks.net/assets/docs/Emergency-Management-Knowledgebase/hra_instrument_wbkucla.pdf).
15. Suter GW II, Munns WR, Sekizawa J. Types of integration in risk assessment and management, and why they are needed. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*. 2003;9(1):273–279. DOI: 10.1080/713609864.
16. Nel DC, Cochrane K, Petersen SL, Shannon LJ, van Zyl B, Honig MB, editors. *Ecological risk assessment: a tool for implementing an ecosystem approach for southern African fisheries* [Internet]. [S. l.]: [s. n.]; 2007 [cited 2021 April 3]. 225 p. (WWF report series; 2007/Marine/002). Available from: [http://awsassets.wwf.org.za/downloads/22\\_ecological\\_risk\\_assessment\\_\\_a\\_tool\\_for\\_implementing\\_an\\_ecosystem\\_approach\\_for\\_souther.pdf](http://awsassets.wwf.org.za/downloads/22_ecological_risk_assessment__a_tool_for_implementing_an_ecosystem_approach_for_souther.pdf).
17. Munns WR Jr, Mitro MG. *Assessing risks to populations at Superfund and RCRA sites characterizing effects on populations* [Internet]. Cincinnati: United States Environmental Protection Agency; 2006 [cited 2021 April 3]. 88 p. Report No. EPA/600/R-06/038. Available from: [https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-11/documents/eras\\_risks\\_to\\_eco\\_pops.pdf](https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-11/documents/eras_risks_to_eco_pops.pdf).
18. Fox DR, Burgman M. Ecological risk assessment. In: Melnick EL, Everitt BS, editors. *Encyclopedia of quantitative risk assessment and analysis*. Chichester: John Wiley & Sons; 2008. p. 1600–1603. DOI: 10.1002/9780470061596.risk0268.
19. Pollard SJT. Ecological and public health risks: analysis and management. In: UNESCO. *Encyclopedia of life support systems (EOLSS)*. Paris: EOLSS Publishers; 2002. p. 219–235.
20. Martin B, Pearson A, Bauer B. *An ecological risk assessment of wind energy development in Montana* [Internet]. Helena: The Nature Conservancy; 2009 [cited 2021 April 3]. 57 p. Available from: <https://www.nature.org/media/montana/wind-report.pdf>.
21. New Mexico Environment Department, Hazardous Waste Bureau. *Guidance for assessing ecological risks posed by chemicals: Screening level ecological risk assessment. HWB guidance document Revision 2.0*. Santa Fe: New Mexico Environment Department; 2008. 116 p.
22. Schleier JJ III, Sing SE, Peterson RKD. Regional ecological risk assessment for the introduction of *Gambusia affinis* (western mosquitofish) into Montana watersheds. *Biological Invasions*. 2008;10(8):1277–1287. DOI: 10.1007/s10530-007-9202-1.
23. O'Brien GC, Wepener V. Regional-scale risk assessment methodology using the relative risk model (RRM) for surface freshwater aquatic ecosystems in South Africa. *Water S.A.* 2012;38(2):153–166. DOI: 10.4314/wsa.v38i2.1.
24. Molak V, editor. *Fundamentals of risk analysis and risk management*. Boca Raton: Lewis Publishers; 1997. 451 p.
25. Pastorok RA, Akçakaya R, Regan H, Ferson S, Bartell SM. Role of ecological modeling in risk assessment. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*. 2003;9(4):939–972. DOI: 10.1080/713610017.
26. Khomich VS, Kakareka SV, Kukharchik TI, Kravchuk LA. *Svetlogorsk: ekologicheskii analiz goroda* [Svetlogorsk: ecological analysis of the city]. Minsk: Minsktipproekt; 2002. 212 p. Russian.
27. Khomich VS, Kakareka SV, Kukharchik TI. *Ekogeokhimiya gorodskikh landshaftov Belarusi* [Ecogeochemistry of urban landscapes]. Minsk: Minsktipproekt; 2004. 259 p. Russian.
28. Struk MI. *Regional'nye osobennosti optimizatsii okruzhayushchei sredy Belarusi* [Regional features of environmental optimization in Belarus]. Minsk: Belorusskaya nauka; 2007. 252 p. Russian.
29. Asaenok IS. *Sreda obitaniya: risk, zdorov'e, ekonomika* [Habitat: risk, health, economy]. Minsk: Bestprint; 2006. 221 p. Russian.
30. Derevyago IP. *Ekonomicheskie osnovy upravleniya riskom* [The economic foundations of risk management]. Minsk: Belarusian State Technological University; 2007. 170 p. Russian.
31. Martsinkevich G, Shchasnaya I, Usava I. Urban landscape as an object for study and assessment of urban space. The example of industrial cities in Belarus. *Problemy Ekologii Krajobrazu*. 2017;45:29–39.
32. Avdan U, Jovanovska G. Algorithm for automated mapping of land surface temperature using Landsat 8 satellite data. *Journal of Sensors*. 2016:1480307. DOI: 10.1155/2016/1480307.
33. Vodyanitskii YuN. Criteria of the technogenic nature of heavy metals and metalloids in soils: a review of publications. *Eurasian Soil Science*. 2009;42(9):1053–1061. DOI: 10.1134/S1064229309090130.
34. Alloway BJ. Sources of heavy metals and metalloids in soils. In: Alloway BJ, editor. *Heavy metals in soils. Trace metals and metalloids in soils and their bioavailability*. 3<sup>rd</sup> edition. Dordrecht: Springer; 2013. p. 11–50 (Environmental pollution; volume 22). DOI: 10.1007/978-94-007-4470-7\_2.

Получена 03.06.2021 / исправлена 30.09.2021 / принята 01.10.2021.  
Received 03.06.2021 / revised 30.09.2021 / accepted 01.10.2021.



## ЭКОНОМИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ДЕМОГРАФИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ И ЭКОНОМИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА МЕЖСТОЛИЧЬЯ БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКОГО ПРИГРАНИЧНОГО РЕГИОНА

Е. А. АНТИПОВА<sup>1)</sup>, А. Н. ШАВЕЛЬ<sup>1)</sup>, И. И. ЗАПРУДСКИЙ<sup>1)</sup>, А. П. БЕЗРУЧЕНОК<sup>1)</sup>

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

Географическое изучение феномена межстоличья и развития межстоличных пространств белорусско-российского приграничного региона является актуальной проблемной областью исследований в социально-экономической географии России и Беларуси. Это обусловлено объективной необходимостью разработки механизмов преодоления демографической и экономической периферийности данного региона и встраивания региональных экономических систем приграничных регионов в систему белорусско-российских отношений. Цель исследования – выявление современных отличительных особенностей демографического и экономического развития межстоличья белорусско-российского приграничного региона с установлением его ниши с позиций центропериферийного подхода. Анализ демографической ситуации межстоличного пространства белорусско-российского приграничья показал, что в целом на период 1999–2019 гг. ключевым его свойством выступает периферийность с выделением трех зон – основной демографической периферии, буферной демографической периферии и демографической полупериферии – с преобладанием в структуре первой зоны. Географически зону основной периферии формируют преимущественно сельские районы приграничья двух областей. В результате анализа уровня промышленного развития установлено, что для межстоличного пространства белорусско-российского приграничья характерна высокая степень территориального неравенства, обусловленная развитием нескольких крупных промышленных центров вокруг сложившейся периферии. В ходе исследования установлена пространственная дифференциация транспортной доступности (по показателю связности административных центров приграничных районов) и работы автомобильного транспорта. Экономико-географический анализ внешней торговли показал различия в направле-

### Образец цитирования:

Антипова ЕА, Шавель АН, Запрудский ИИ, Безрученко АП. Экономико-географическая оценка демографической ситуации и экономического потенциала межстоличья белорусско-российского приграничного региона. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология*. 2021; 2:63–81.  
<https://doi.org/10.33581/2521-6740-2021-2-63-81>

### For citation:

Antipova EA, Shavel AN, Zaprudski II, Bezruchonak AP. Economic-geographical assessment of the demographic situation and economic potential of the inter-capital Belarusian-Russian borderlands. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology*. 2021;2:63–81. Russian.  
<https://doi.org/10.33581/2521-6740-2021-2-63-81>

### Авторы:

**Екатерина Анатольевна Антипова** – доктор географических наук, профессор; профессор кафедры экономической и социальной географии факультета географии и геоинформатики.

**Алексей Николаевич Шавель** – старший преподаватель кафедры экономической и социальной географии факультета географии и геоинформатики.

**Илья Игоревич Запрудский** – кандидат географических наук, доцент кафедры экономической и социальной географии факультета географии и геоинформатики.

**Андрей Петрович Безрученко** – кандидат географических наук, доцент; заведующий кафедрой экономической и социальной географии факультета географии и геоинформатики.

### Authors:

**Ekaterina A. Antipova**, doctor of science (geography), full professor; professor at the department of economic and social geography, faculty of geography and geoinformatics.

[antipovaekaterina@gmail.com](mailto:antipovaekaterina@gmail.com)

<https://orcid.org/0000-0001-7862-5500>

**Aliaksei N. Shavel**, senior lecturer at the department of economic and social geography, faculty of geography and geoinformatics.

[alexshavel@gmail.com](mailto:alexshavel@gmail.com)

<https://orcid.org/0000-0002-3542-9259>

**Ilya I. Zaprudski**, PhD (geography); associate professor at the department of economic and social geography, faculty of geography and geoinformatics.

[albarutenicageo@gmail.com](mailto:albarutenicageo@gmail.com)

<https://orcid.org/0000-0002-8899-565X>

**Andrei P. Bezruchonak**, PhD (geography), docent; head of the department of economic and social geography, faculty of geography and geoinformatics.

[geo.bezruiche@gmail.com](mailto:geo.bezruiche@gmail.com)

<https://orcid.org/0000-0001-6554-4234>





ности и интенсивности внешней торговли товарами межстоличья белорусско-российского приграничного региона, выразившиеся в преобладании экспортно ориентированных районов с величиной подушевого внешнеторгового оборота до 2000 долл. США.

**Ключевые слова:** межстоличье; белорусско-российское приграничье; территориальная неравномерность; демографическая ситуация; промышленное производство; внешняя торговля; транспортная доступность; периферия.

**Благодарность.** Исследование проведено в рамках проекта Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований и Российского фонда фундаментальных исследований «Межстоличье как фактор социально-экономического развития российско-белорусского приграничья» (договор № Г20Р-028).

## ECONOMIC-GEOGRAPHICAL ASSESSMENT OF THE DEMOGRAPHIC SITUATION AND ECONOMIC POTENTIAL OF THE INTER-CAPITAL BELARUSIAN-RUSSIAN BORDERLANDS

E. A. ANTIPOVA<sup>a</sup>, A. N. SHAVEL<sup>a</sup>, I. I. ZAPRUDSKI<sup>a</sup>, A. P. BEZRUCHONAK<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Belarusian State University, 4 Niezaliežnasci Avenue, Minsk 220030, Belarus

Corresponding author: E. A. Antipova (antipovaekaterina@gmail.com)

Geographic research of the phenomenon of inter-capital space of the Belarusian-Russian border region is an actual research area problem for the socio-economic geography of Belarus and Russia. This is due to the objective need to develop mechanisms of overcoming the demographic and economic peripherality of the region and embedding regional economic systems of border regions into the system of local relations. The purpose of the research is to identify the current distinctive features of the demographic and economic development of the inter-capital space of the Belarusian-Russian border region with the establishment of its niche from the point of the central-peripheral approach. During the analysis of the demographic situation of the inter-capital space of the Belarusian-Russian borderlands, it was established that, generally, in 1999–2019, its main feature was peripherality with the three zones established – the central demographic periphery, the buffer demographic periphery and the demographic semi-periphery – with a predominance in the structure of the first zone. Geographically, the central periphery zone is formed mainly by the rural borderland areas. According to the results of the analysis of the industrial development level, it was discovered that the inter-capital space of the Belarusian-Russian borderlands is characterised by a high degree of spatial inequality due to the development of large industrial centers around the existing periphery. This research had established a spatial differentiation of the transportation accessibility (by the connectivity of administrative centers of the borderlands) and the productivity of road transportation. The economic-geographical analysis of the foreign trade had revealed the diversity of directions and intensity of foreign goods trade between the Belarusian-Russian borderlands, mainly expressed in the predominance of the export-oriented regions with the per capita foreign trade turnover estimated at up to 2000 US dollars.

**Keywords:** inter-capital area; Belarusian-Russian borderlands; spatial unevenness; demographic situation; industrial production; foreign trade; transportation accessibility; periphery.

**Acknowledgements.** The researching was carried out within the framework of the project of the Belarusian Republican Foundation for Fundamental Research and Russian Foundation for Basic Research «Inter-capital location as a factor of socio-economic development of the Russian-Belarusian border area» (agreement No. G20R-028).

### Введение

Приграничные регионы исторически выступают особым объектом экономико-географических исследований на постсоветском пространстве. В течение более чем 20 лет белорусско-российской интеграции в рамках Союзного государства решены многие проблемы социально-экономического развития, снят ряд барьеров экономического сотрудничества. При этом предполагалось, что вследствие снятия барьеров трансграничного экономического взаимодействия именно приграничные регионы двух стран должны первыми извлечь выгоду от создания Союзного государства. Однако более высокий уровень развития регионов приграничного взаимодействия не был достигнут. В приграничных с Россией регионах Беларуси отмечается более низкий уровень экономического роста по сравнению с западными регионами страны. Здесь наблюдаются наиболее неблагоприятные демографические тенденции, медленнее происходит модернизация экономики и сформировалась социально-экономическая периферия.



В силу невысокой барьерной функции границы ни один из приграничных регионов России и Беларуси в настоящее время не испытывает межстоличный эффект в такой степени, как белорусско-российское приграничье – Смоленская область России, Витебская и Могилёвская области Беларуси. В связи с этим наиболее актуальными проблемными областями социально-экономического исследования выступают, с одной стороны, механизмы преодоления экономической периферийности регионов белорусско-российского приграничья, а с другой – механизмы встраивания региональных экономических систем приграничных регионов в систему белорусско-российских отношений и в систему отношений со своими крупнейшими столичными агломерациями.

Географическое изучение феномена межстоличья и развития межстоличных пространств в целом не является новым направлением исследований в социально-экономической географии. Фундаментальные результаты в изучении влияния ядер (центров) на периферию представлены в работах [1–6]. Географов исторически больше привлекали не социально-экономические, а политические и культурные аспекты развития данных территорий, что нашло отражение в публикациях [7–11].

Отдельным направлением исследований выступают вопросы методики оценки географического положения административно-территориальных единиц разного уровня, выявления и анализа территориального неравенства по уровню социально-экономического развития регионов, которые получили особое развитие в России [12–15]. Учеными доказано, что географическое положение часто является не только условием, но и фактором социально-экономического развития регионов [16–18]. Российскими экономикогеографами также накоплен значительный опыт исследования отдельных аспектов демографического и социально-экономического развития белорусско-российского приграничья [19–23].

Задачи географического изучения феномена межстоличья в белорусской школе социально-экономической географии фактически не представлены, что делает невозможным полный перенос теоретико-методологического фундамента указанных выше работ и обуславливает объективную актуальность проведения исследования в белорусском пространстве приграничья. Однако для изучения феномена межстоличья и развития межстоличных пространств у белорусских экономикогеографов имеются предпосылки и научно-методическая база исследования. Так, исторически представители отечественной социально-экономической географии уделяли большое внимание изучению влияния столицы на ее пространственную периферию с использованием метода экономического профиля, что получило отражение в совместной работе Г. И. Горещкого с московскими коллегами [24]. Многие аспекты территориального развития белорусского общества исследованы географами с позиций центропериферийного подхода в целях совершенствования административно-территориального деления и региональной политики страны [25–28]. В географии промышленности также важное значение принадлежит изучению влияния Минска на пригородные территории на основе анализа эффекта агломерационной экономии [29]. В последнее время в связи с развивающимися интеграционными процессами на постсоветском пространстве белорусские географы особое внимание уделяют изучению приграничного географического положения и закономерностей демографического и социально-экономического развития приграничных регионов страны [30–35]. Главной исследовательской проблемой является отсутствие общих подходов и алгоритмов в изучении территориального неравенства как пространственного отражения социально-экономического неравенства в обществе. Применительно к межстоличному пространству потребуются использование новых методов для отображения всех аспектов территориального неравенства и влияния на него столиц и крупных городов. В связи с этим целью данного исследования выступает выявление современных отличительных особенностей демографического и экономического развития межстоличья белорусско-российского приграничного региона с установлением его ниши с позиций центропериферийного подхода. Основной научной гипотезой было подтверждение периферийности современного демографического и экономического развития межстоличных белорусско-российских районов, установленной авторами в 2010-х гг.

### Методика исследования

Реализация цели исследования обусловила решение определенных задач, связанных с выбором тематических модулей исследования (геодемография, промышленность, внешняя торговля, транспорт), разработкой полимасштабной базы данных локального уровня, пространственно-временным анализом демографической и макроэкономической ситуации, состояния промышленного производства, внешней торговли и транспорта. Тренды развития выявлены за период с 1999 по 2019 г., отличительные особенности демографического и экономического состояния установлены по данным за 2018–2019 гг. Основными методами, которые были использованы в исследовании, выступили индексный метод (индекс Тейла) (при количественной оценке территориального неравенства по уровню промышленного развития), математико-статистический метод (при анализе динамики и текущего состояния демографической



ситуации, оценке экономического развития приграничных областей, структуры внешней торговли), метод географической систематизации (при разработке типологий приграничных районов по характеру демографического баланса, особенностям внешнеторговой деятельности), картографический метод и ГИС-технологии (при отображении результатов исследования по каждому тематическому модулю).

Объектом анализа выступили две категории приграничных районов двух приграничных областей Беларуси – Могилёвской и Витебской. В первую категорию вошли приграничные районы, непосредственно прилегающие к белорусско-российской границе (14 районов, включая 17 городов), – Верхнедвинский, Витебский, Дубровенский, Городокский, Лиозненский, Полоцкий, Россонский районы Витебской области и Горецкий, Климовичский, Костюковичский, Краснопольский, Кричевский, Мстиславский, Хотимский районы Могилёвской области. Вторую категорию составили межстоличные районы, расположенные на наиболее важных транспортных магистралях, соединяющих Минск и Москву, т. е. на так называемой межстоличной оси (6 районов, включая 3 города), – Оршанский, Толочинский районы Витебской области и Бельничский, Могилёвский, Чаусский, Чериковский районы Могилёвской области. В отличие от предыдущих работ в данной статье по демографическим показателям исследуется также разрез «города – сельские районы».

Информационной базой исследования выступила официальная демографическая и экономическая статистика Национального статистического комитета Республики Беларусь (<https://www.belstat.gov.by>), с использованием которой были проведены все расчеты, составлены сводные таблицы и картографический материал.

### Результаты и их обсуждение

**Оценка демографической ситуации межстоличья белорусско-российского приграничного региона.** В двух приграничных с Россией областях (Витебской и Могилёвской), расположенных на межстоличной оси, в настоящее время проживает 2,15 млн человек (из них 1,13 млн человек в Витебской области, 1,02 млн человек в Могилёвской) (табл. 1). В демографическом пространстве Беларуси Витебская и Могилёвская области представляют зону неблагоприятной динамики численности населения. За два десятилетия (1999–2019) численность населения приграничных областей сократилась на 16,7 %. В сокращении численности населения приграничных областей относительно 1991 г. в исследуемом периоде прослеживаются два цикла. Первый цикл (1999–2009) – *высокое сокращение* (9,5 % за период). Для него характерны проявление признаков второго демографического перехода, сокращение рождаемости, рост смертности, обусловленный старением, более интенсивное распространение малодетности в семьях при сильной государственной поддержке семей.

Таблица 1

Динамика численности населения белорусско-российских приграничных областей

Table 1

Population dynamics of the Belarusian-Russian border regions

Область	Численность населения, тыс. чел.			Циклы демографической динамики		Изменение численности за 1999–2019 гг., %
	1999	2009	2019	Высокое сокращение (1999–2009), %	Стагнирующее сокращение (2009–2019), %	
Витебская	1377,2	1237,5	1133,4	–10,1	–8,4	–17,7
Могилёвская	1213,5	1106,3	1023,0	–8,8	–7,5	–15,7

Второй цикл (2009–2019) – *стагнирующее сокращение* (8 % за период). Для него характерно проявление признаков второго демографического перехода, а также общее истощение демографического потенциала и малочисленность населения репродуктивного возраста в силу низкой рождаемости в предыдущем цикле (см. табл. 1). В приграничных областях происходит сокращение как городского, так и сельского населения. Однако масштабы сокращения несопоставимы и достигают почти десятикрат-



ных различий. Так, если за 1999–2019 гг. численность городского населения приграничных областей сократилась в среднем на 5 %, то сельского – более чем на 40 % (42,5 %).

Динамика численности населения межстоличья белорусско-российского приграничного региона обусловлена складывающейся здесь демографической ситуацией. Рождаемость населения, как и в среднем по стране, оценивается как низкая, однако она ниже средневропейского уровня (10 ‰). Смертность и естественная убыль населения белорусско-российского приграничья превышают и средние по стране (12,8 и 3,5 ‰ соответственно), и средние по Европе (11 и 1 ‰) показатели. Естественное движение населения в двух исследуемых категориях приграничных районов, по сравнению со среднеобластными коэффициентами, характеризуется еще более значительными показателями естественной убыли (табл. 2).

Таблица 2

**Основные демографические характеристики межстоличья белорусско-российского приграничного региона в 2019 г., ‰**

Table 2

**Main demographic characteristics of the inter-capital location of the Belarusian-Russian border region in 2019, ‰**

Область	Общий коэффициент рождаемости		Общий коэффициент смертности		Общий коэффициент естественной убыли	
	1999	2019	1999	2019	1999	2019
Витебская	8,5	8,3	16,0	15,1	7,5	6,8
В том числе приграничье	8,2	8,4	18,8	18,9	10,6	10,5
Могилёвская	9,3	9,4	15,3	14,0	6,0	4,6
В том числе приграничье	9,6	10,0	19,2	19,0	9,6	9,0
<i>Республика Беларусь</i>	<i>9,3</i>	<i>9,3</i>	<i>14,2</i>	<i>12,8</i>	<i>4,9</i>	<i>3,5</i>

Проведенный микрогеографический анализ естественного и миграционного движения населения в разрезе городского и сельского населения позволил установить типы районов и городов по характеру демографического баланса. Согласно исследованию, проведенному авторами в 2009 г. [30], в белорусско-российском приграничном пространстве выделялся один тип демографического баланса – регрессивный, включавший три подтипа – на основе естественной убыли, на основе миграционной убыли и на основе двух паритетных факторов. При этом доминировали районы первого подтипа – на основе естественной убыли (62 %), которые были равномерно распределены в пределах приграничных областей. Спустя 10 лет исследование выявило ряд отличительных особенностей. Во-первых, в структуре приграничного пространства образовался контрастно-факторный тип (КФ) баланса, который формируется тремя подтипами – на основе естественной убыли (КФ<sub>-E</sub>), на основе миграционной убыли (КФ<sub>-M</sub>) и на основе миграционного прироста (КФ<sub>+M</sub>). Доля данного типа в структуре приграничья составляет 17,5 % (рис. 1). Во-вторых, преобладающим типом демографического баланса в приграничье остается регрессивный (P), на долю которого приходится 82,5 % городов и сельских районов исследуемой территории. В этом типе нами также выделены три подтипа – на основе естественной убыли (P<sub>-E</sub>), на основе миграционной убыли (P<sub>-M</sub>) и на основе паритетных позиций естественной и миграционной убыли (P<sub>-E=-M</sub>). В-третьих, приграничные области принципиально различаются по характеру демографического баланса. В Витебской области как наиболее демографически постаревшей он формируется на основе естественной убыли, в Могилёвской – на основе миграционной убыли в силу большей экономической периферийности региона. В-четвертых, принципиальные различия в демографическом балансе двух категорий приграничных районов (непосредственно примыкающих к границе и расположенных на межстоличной оси) отсутствуют, для обеих категорий характерно преобладание регрессивного типа баланса.

В ходе анализа динамики численности населения и демографического баланса нами был разработан демографический типограф, который позволил в пространстве межстоличья белорусско-российского приграничья четко выделить три демографические зоны (табл. 3).

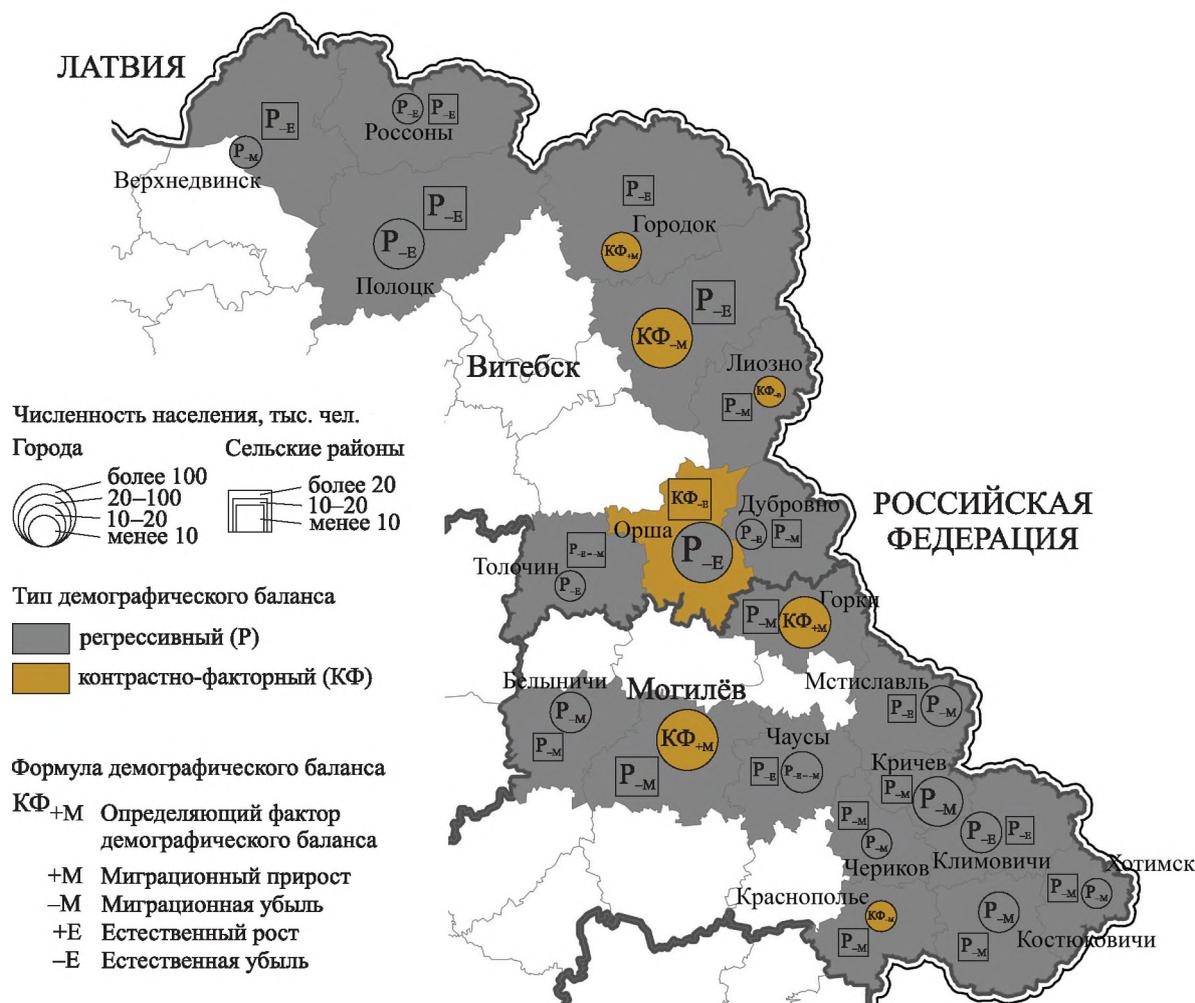


Рис. 1. Демографический баланс межстоличья белорусско-российского приграничного региона в 2019 г.  
Fig. 1. Demographic balance of the inter-capital location of the Belarusian-Russian border region in 2019

Первая зона – *демографическая полупериферия* – образована четырьмя приграничными городами (два из них – областные центры) (10 % приграничья), для которых характерны рост либо сокращение численности населения менее чем на 20 % и формирование контрастно-факторного типа баланса на основе миграционного притока. Вторая зона – *буферная демографическая периферия* – характеризуется исключительно отрицательной динамикой численности населения (менее 20 %) и регрессивным или контрастно-факторным балансом с преобладанием естественной либо миграционной убыли. Эту зону формируют 40 % приграничных городов и сельских районов при доминировании в структуре городов. Третья зона – *основная демографическая периферия* – является преобладающей в приграничье (50 %) и отличается наиболее неблагоприятной демографической ситуацией, характеризующейся отрицательной динамикой численности населения (более 20 и 50 %) и сугубо регрессивным балансом на основе как естественной, так и миграционной убыли. Эту зону формируют преимущественно сельские районы приграничья двух областей.

**Оценка экономического развития межстоличья белорусско-российского приграничья.** В территориальной структуре хозяйства Республики Беларусь Витебская и Могилёвская области – отстающие регионы по основным экономическим показателям (табл. 4).

Витебская и Могилёвская области имеют наименьший экономический потенциал в стране. По удельному весу в объеме ВВП Беларуси Могилёвская область (8,1 %) занимает последнее место среди регионов. Витебская область (8,8 %) лишь немного ее опережает. По объему ВРП на душу населения абсолютным аутсайдером является Витебская область (8737,7 руб.). В Могилёвской области данный показатель чуть больше (8900,6 руб.), однако он намного ниже среднереспубликанского значения (11 914,4 руб.). Если сравнивать структуру ВРП Витебской и Могилёвской областей с республиканской структурой (табл. 5), то можно заметить, что для регионов характерен более высокий удельный вес производственной сферы.

Таблица 3

## Демографический типогрaф межстоличья белорусско-российского приграничного региона

Table 3

## Demographic typography of the inter-capital location of the Belarusian-Russian border region

Типы приграничных городов и сельских районов		Б. По характеру демографического баланса в 2019 г.						
		Тип 1. Регрессивный			Тип 2. Контрастно-факторный			
		$P_{-E}$	$P_{-M}$	$P_{-E=-M}$	$KФ_{-E}$	$KФ_{-M}$	$KФ_{+M}$	
А. По характеру демографической динамики в 1999–2019 гг.	Тип 2. Демографическое сокращение	Подтип 2.3. Демографическая депрессия (более 50%)	Россоны Верхнедвинский, Городокский, Россонский, Климовичский, Мстиславский, Чаусский районы	Верхнедвинск Горецкий, Костюковичский, Краснопольский, Кричевский, Хотимский районы	Толочинский район	Лиозно Оршанский район	–	–
	Подтип 2.2. Демографическая стагнация (20–50%)	Дубровно Витебский, Полоцкий районы	Дубровенский, Лиозненский, Бельничский, Чериковский районы	–	–	–	–	
	Подтип 2.1. Демографический спад (менее 20%)	Полоцк Орша Толочин Климовичи	Костюковичи Кричев Мстиславль Хотимск Бельниччи Чериков Могилёвский район	Чаусы	–	Краснополье	Городок Горки	
	Тип 1. Демографический рост	–	–	–	–	–	Витебск Могилёв	

Примечание. Светло-серым фоном выделены приграничные города и сельские районы демографической полупериферии, серым – буферной демографической периферии, темно-серым – основной демографической периферии.



Таблица 4

Основные показатели экономического развития белорусско-российских приграничных областей в 2019 г.

Table 4

Main indicators of economic development of the Belarusian-Russian border regions in 2019

Область	ВРП на душу населения, руб.	Удельный вес в численности населения, %	Удельный вес в объеме ВВП, %
Витебская	8737,7	12,1	8,8
Могилёвская	8900,6	10,9	8,1

Таблица 5

Структура валовой добавленной стоимости белорусско-российских приграничных областей в 2019 г.

Table 5

The structure of the gross value added of the Belarusian-Russian border regions in 2019

Виды экономической деятельности	Республика Беларусь	Витебская область	Могилёвская область
Сельское, лесное и рыбное хозяйство	7,8	11,8	12,5
Промышленность	29,6	31,1	34,3
Строительство	6,4	6,6	5,8
Оптовая и розничная торговля; ремонт автомобилей и мотоциклов	10,8	7,3	9,3
Транспортная деятельность, складирование, почтовая и курьерская деятельность	6,8	7,4	5,9
Информация и связь	7,1	3,2	3,2
Прочие услуги	31,5	32,6	29,0

В Витебской области на материальное производство приходится 49,5 % ВРП, в Могилёвской – 52,6 %. В то же время удельный вес отраслей сферы услуг в Витебской и Могилёвской областях ниже, чем в целом по стране. Во многом это обуславливается дифференциацией уровня доходов населения в Беларуси, который в Витебской и Могилёвской областях традиционно ниже. Например, по уровню заработной платы в 2018 г. Могилёвская область была последней среди областей страны (802 руб., или 82,6 % среднереспубликанского уровня), а Витебская – предпоследней (814,4 руб., или 83,8 %). Наряду с этим 14 из 15 административных районов Беларуси с наименьшим уровнем начисленной заработной платы находятся в Витебской (8 районов) и Могилёвской (6 районов) областях.

**Уровень промышленного развития межстоличья белорусско-российского приграничного региона.** Для выявления территориального неравенства приграничья по уровню промышленного развития нами использован объем промышленного производства в расчете на душу населения. Предложенный показатель рассчитан за период 2005–2018 гг. и нормирован в условные единицы (долл. США) в связи с деноминацией белорусского рубля в 2016 г. (табл. 6).

За период 2005–2018 гг. межстоличные районы белорусско-российского приграничья, за исключением Хотимского, показали рост объема промышленного производства на душу населения. В абсолютном выражении наибольший рост был достигнут Полоцким районом (вместе с Новополоцком), а также Витебским и Могилёвским районами (вместе с областными центрами). Наименьший рост отмечен в Чериковском, Дубровенском и Мстиславском районах.

Таблица 6

Объем промышленного производства на душу населения межстоличья  
 белорусско-российского приграничного региона в 2005–2018 гг., долл. США

Table 6

The volume of industrial production per capita in the inter-capital location  
 of the Belarusian-Russian border region in 2005–2018, US dollars

Район	Год				Динамика
	2005	2010	2015	2018	
Витебская область					
Верхнедвинский	821,2	2378,0	2318,4	3867,3	3046,1
Витебский	1840,9	4104,0	4766,8	5266,9	3426,0
Городокский	362,6	754,2	915,2	1006,6	644,0
Дубровенский	487,6	1244,1	617,4	653,0	165,4
Льозненский	375,7	721,9	796,9	687,7	312,0
Оршанский	1750,0	3247,6	2883,4	3008,6	1258,6
Полоцкий	15 940,3	25 144,8	19 358,1	22 293,9	6353,6
Россонский	339,0	806,8	635,9	743,6	404,6
Толочинский	1235,3	2988,8	2027,9	2813,8	1578,5
Могилёвская область					
Бельничский	446,5	2259,4	1875,4	1514,9	1068,4
Горечский	678,6	1057,6	1570,9	2419,7	1741,1
Климовичский	1224,2	2951,9	2900,9	3017,3	1793,1
Костюковичский	1615,0	4156,5	3947,6	4796,0	3181,0
Краснопольский	169,8	300,3	437,4	585,7	415,9
Кричевский	1637,0	4345,7	2570,8	3176,7	1539,7
Могилёвский	2756,8	5808,1	5152,9	6164,4	3407,6
Мстиславский	592,9	1269,1	1445,8	890,1	297,2
Хотимский	753,6	1846,6	493,0	432,3	–321,3
Чаусский	670,0	1398,4	1026,1	1093,5	423,5
Чериковский	528,9	728,5	488,1	681,6	152,7
<i>Расчетные показатели неравенства</i>					
Коэффициент вариации ( $V$ )	2,00	1,58	1,47	1,48	–
Нормализованный индекс Тейла ( $1 - e^{-T}$ )	0,57	0,47	0,44	0,45	–

Примечание. Показатели административных районов рассчитаны совместно с городами областного подчинения.

Данные табл. 6 позволили разделить межстоличные районы белорусско-российского приграничья на три группы: с высоким (более 5 тыс. долл. США), средним (от 2 до 5 тыс. долл. США) и низким (менее 2 тыс. долл. США) уровнем промышленного развития (рис. 2). В группу с высоким уровнем промышленного развития вошли 3 административных района (Витебский, Могилёвский и Полоцкий), в пределах которых расположены крупные города областного подчинения. На них приходится 24,8 % территории изучаемого межстоличья. В группу со средним уровнем промышленного развития вошли 7 административных районов (Верхнедвинский, Горечский, Климовичский, Костюковичский, Кричевский, Оршанский и Толочинский). На них приходится 31,1 % территории межстоличья. Данные районы преимущественно размещены в пределах крупных автомагистралей, которые соединяют Минск с Москвой, что подтверждает наличие экономического влияния столиц на периферийные территории. В группу с низким уровнем промышленного развития вошли 10 административных районов (Бельничский, Городокский, Дубровенский, Краснопольский, Лозненский, Мстиславский, Россонский, Хотимский, Чаусский и Чериковский), или 44,1 % территории межстоличья. Данные районы преимущественно представляют собой либо внутреннюю (регионы вокруг крупных городов), либо внешнюю (приграничные регионы, непосредственно выходящие к белорусско-российской границе) периферию страны.

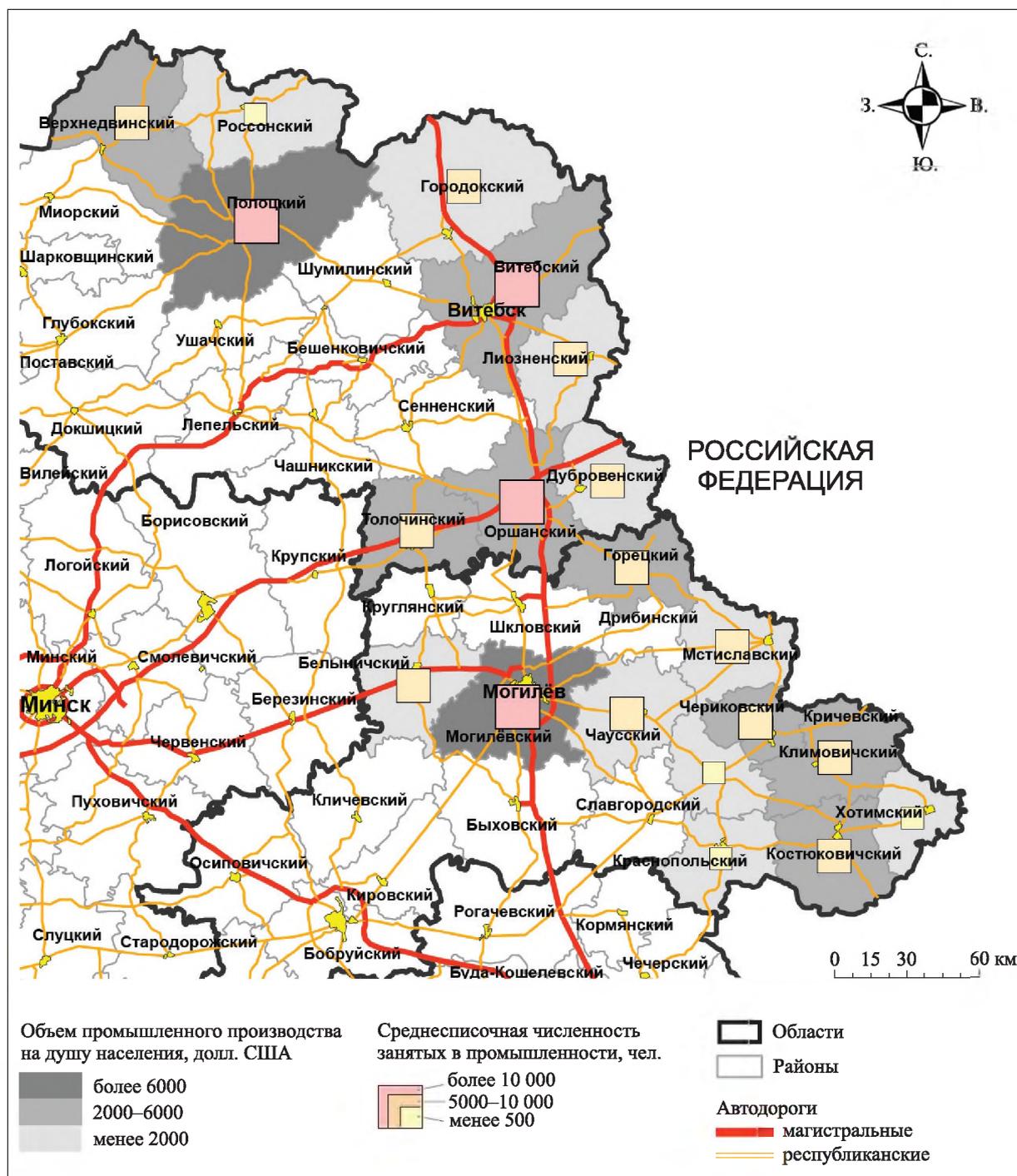


Рис. 2. Объем промышленного производства на душу населения в межстолических районах белорусско-российского приграничья в 2018 г.

Fig. 2. The volume of industrial production per capita in the inter-capital location of the Belarusian-Russian borderlands in 2018



Для количественной оценки территориального неравенства межстоличных районов белорусско-российского приграничья по уровню промышленного развития нами были рассчитаны два показателя: коэффициент вариации ( $V$ ), отражающий изменения в середине ряда, и нормализованный индекс Тейла ( $1 - e^{-T}$ ), чувствительный к изменениям по всей шкале распределения и используемый для декомпозиционного анализа неравенства (см. табл. 6). Результаты их расчета показывают высокую степень территориального неравенства белорусско-российского приграничья по уровню промышленного развития, который за период с 2005 по 2018 г. несколько снизился под влиянием роста объемов промышленного производства в районах с низкой начальной базой развития. Это утверждение подтверждается в первую очередь развитием Полоцкого района (вместе с Новополоцком), высокий вклад которого в территориальное неравенство по индексу Тейла снижается за весь период исследования.

В целом высокая степень территориального неравенства по уровню промышленного развития обусловлена формированием нескольких крупных промышленных центров, окруженных отсталой периферией. Экономико-географическое положение (ЭГП) влияет на уровень промышленного развития приграничных районов. Так, абсолютное большинство районов с низким уровнем промышленного развития имеют итоговый балл благоприятности ЭГП выше 10. Заявленное утверждение подтверждается тем, что для подавляющей части районов со средним уровнем промышленного развития характерна транзитность их ЭГП, т. е. расположение на транспортных магистралях, которые соединяют Минск с Москвой. Таким образом, межстоличность географического положения влияет на социально-экономическое состояние районов белорусско-российского приграничья и может способствовать их успешному дальнейшему развитию.

**Территориальная дифференциация внешней торговли межстоличья белорусско-российского приграничного региона.** Имеющийся в Витебской и Могилёвской областях экономический потенциал определяет их возможности для развития внешней торговли. В денежном исчислении объемы экспорта и импорта за 2000–2019 гг. у обоих регионов значительно увеличились. Объем экспорта Витебской области за указанный период вырос с 601,9 до 1835,3 млн долл. США (в 3,0 раза), импорта – с 534,5 до 3174,2 млн долл. США (в 5,9 раза). С учетом размещения в Витебской области одного из двух нефтеперерабатывающих заводов ее объемы экспорта и импорта в значительной степени определяются флуктуациями цен на нефтяное сырье и продукты его переработки. Стоит отметить также тот факт, что основной объем реализации за рубеж продукции нефтепереработки осуществляется через Белорусскую нефтяную компанию (БНК), зарегистрированную в Минске, что снижает роль позиции «минеральные продукты» в структуре экспорта Витебской области. Объем экспорта Могилёвской области за 2000–2019 гг. увеличился с 594,5 до 2276,5 млн долл. США (в 3,8 раза), импорта – с 494,3 до 1499,9 млн долл. США (в 3,0 раза). В целом объемы экспорта и импорта региона в меньшей степени подвергались воздействию ценовых колебаний на сырье, но во многом определялись конъюнктурой основных рынков сбыта производимой продукции. В последние годы в товарной структуре экспорта Могилёвской области происходили значительные изменения, выразившиеся в снижении удельного веса продукции химической промышленности (с 49,4 % в 2008–2009 гг. до 25,5 % в 2019 г.) и росте удельного веса товарных групп «машины, оборудование и транспортные средства» (до 17,5 %) и «продовольственные товары и сельскохозяйственное сырье» (19,9 %). Прежде всего это обусловлено снижением объемов экспорта автомобильных и тракторных шин, производимых ОАО «Белшина», а также химических волокон и нитей, выпускаемых ОАО «Могилёвхимволокно».

В региональной структуре внешней торговли товарами удельный вес как Витебской, так и Могилёвской области имеет тенденцию к снижению (табл. 7).

Анализ стоимостных объемов внешней торговли по областям Беларуси в расчете на душу населения (табл. 8) показал, что Витебская и Могилёвская области имеют наименьший среди всех регионов страны экспортный потенциал. В частности, величина объема экспорта на душу населения в Могилёвской области составляет 1569,7 долл. США, а в Витебской – 1592,5 долл. США.

Таблица 7

**Динамика региональной структуры внешней торговли товарами в белорусско-российских приграничных областях**

Table 7

**Dynamics of the regional structure of foreign trade in goods in the Belarusian-Russian border regions**

Область	Удельный вес в экспорте, %			Удельный вес в импорте, %		
	2000	2010	2019	2000	2010	2019
Витебская	8,2	6,7	5,6	6,2	10,1	8,0
Могилёвская	8,1	6,7	6,9	5,7	4,5	3,8



Стоимостные объемы экспорта и импорта товаров в белорусско-российских приграничных областях на душу населения, долл. США

Table 8

Cost volumes of exports and imports of goods in the Belarusian-Russian border regions per capita, US dollars

Область	Подушевой объем экспорта			Подушевой объем импорта		
	2000	2010	2019	2000	2010	2019
Витебская	444,3	1390,0	1592,5	394,6	2885,8	2754,2
Могилёвская	387,2	1189,1	1569,7	321,9	1097,5	1033,6
<i>Республика Беларусь</i>	<i>735,8</i>	<i>2664,1</i>	<i>3490,3</i>	<i>868,4</i>	<i>3675,7</i>	<i>4181,1</i>

Темп роста данного показателя за 2000–2019 гг. для Витебской области (в 3,6 раза) был минимальным среди всех регионов Беларуси, а для Могилёвской области (в 4,1 раза) оказался ниже среднереспубликанского показателя (в 4,7 раза).

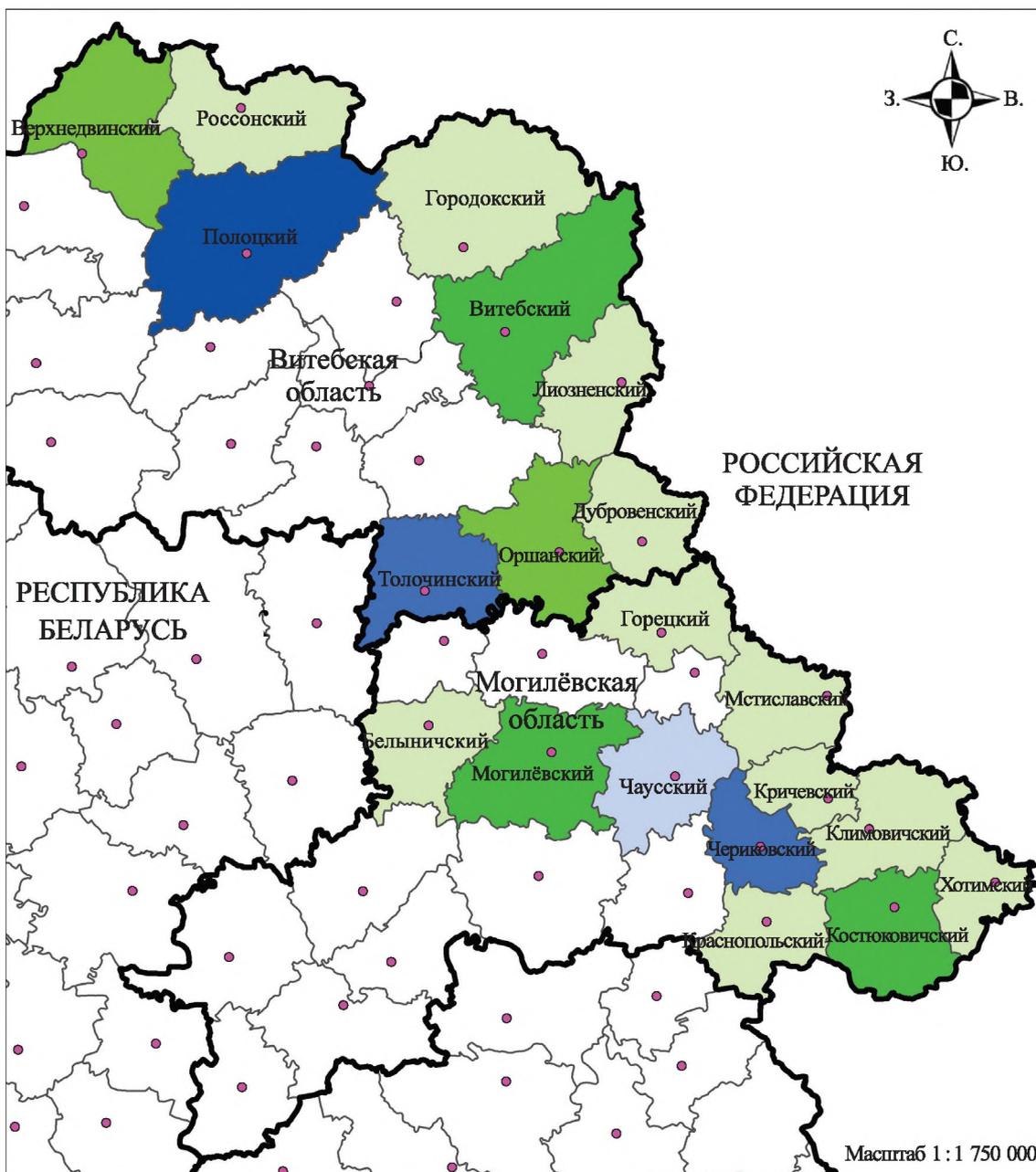
Подушевые объемы импорта у рассматриваемых регионов значительно разнятся. В Витебской области в 2019 г. данная величина составила 2754,2 долл. США (4-е место в стране после Минска, Гомельской и Минской областей), в Могилёвской области – 1033,6 долл. США (наименьшее значение среди регионов Беларуси). Стоит отметить, что по темпам роста подушевых объемов импорта товаров за 2000–2019 гг. эти регионы находятся на противоположных позициях: Витебская область является лидером в Беларуси (темп роста в 7,0 раза), Могилёвская – аутсайдером (в 3,2 раза).

Анализ показал высокий уровень концентрации экспортного потенциала в Витебской и Могилёвской областях. В 2006 г. удельный вес Полоцкого района в общем объеме экспорта Витебской области достигал 77,2 %, а вместе с Витебским и Оршанским районами – 95,7 %. В Могилёвской области удельный вес областного центра с прилегающим районом составлял 48,2 %, а на остальные рассматриваемые в исследовании районы приходилось всего 4,5 %. За 2006–2019 гг. в территориальной структуре экспорта Витебской области произошли значительные сдвиги, выразившиеся в снижении удельного веса Полоцкого района в областном объеме экспорта до 39,8 % и росте удельного веса Витебского района до 41,6 %. Суммарный удельный вес Витебского, Полоцкого и Оршанского районов в экспорте Витебской области составил 88,5 %. В Могилёвской области продолжилось усиление концентрации экспортного потенциала в пределах Могилёвского района: его удельный вес в экспорте области достиг 60,5 %. На фоне модернизации ОАО «Белорусский цементный завод» произошел рост удельного веса Костюковичского района до 4,9 %. На остальные рассматриваемые районы Могилёвской области приходилось 3,6 % областного объема экспорта.

За 2006–2019 гг. большинство исследуемых районов наращивали экспортный потенциал, обеспечив прирост подушевых объемов экспорта. Исключением стали Полоцкий (–5117 долл. США), Кричевский (–244) и Мстиславский (–184 долл. США) районы, которые сократили объемы экспорта на душу населения. Наибольшие приросты подушевых объемов экспорта были отмечены в Костюковичском (4640,4 долл. США), Верхнедвинском (2074,7), Могилёвском (1720,7), Витебском (922,5), Дубровенском (888,6) и Горецком (768,5 долл. США) районах.

С учетом сложившихся тенденций развития экспорта лидером среди рассматриваемых районов по подушевому объему в 2019 г. стал Костюковичский район (4993,2 долл. США). За ним следуют Полоцкий (3417,7 долл. США), Могилёвский (3257,8), Верхнедвинский (2326,5) и Витебский (1838,7 долл. США) районы. Экспортный потенциал Горецкого, Дубровенского, Оршанского и Толочинского районов был ограничен пределами 500–1000 долл. США на человека. У ряда районов (Чаусский, Россонский, Краснопольский, Чериковский, Лиозненский, Мстиславский, Хотимский) подушевые объемы экспорта не превышали 250 долл. США, что обусловлено низкой экономической активностью хозяйствующих субъектов и отсутствием крупных промышленных предприятий с экспортными возможностями.

Обобщая полученные результаты территориальной дифференциации внешнеторговой деятельности, мы разработали типологию межстоличных районов белорусско-российского приграничья по особенностям внешнеторговой деятельности (рис. 3). В ее основу были положены два средних показателя за период 2015–2019 гг. – величина сальдо внешней торговли (отражает соотношение между экспортом и импортом) и подушевое значение внешнеторгового оборота (отражает внешнюю открытость района и его вовлеченность во внешнеторговую деятельность). На основании показателя сальдо внешней торговли выделены два типа районов – экспортно ориентированные (тип 1) и импортозависимые (тип 2).



Тип 1. Экспортно ориентированные районы

- С высоким внешнеторговым потенциалом (более 2000 долл. США на человека)
- Со средним внешнеторговым потенциалом (1000–2000 долл. США на человека)
- С низким внешнеторговым потенциалом (менее 1000 долл. США на человека)

Тип 2. Импортозависимые районы

- С высоким внешнеторговым потенциалом (более 2000 долл. США на человека)
- Со средним внешнеторговым потенциалом (1000–2000 долл. США на человека)
- С низким внешнеторговым потенциалом (менее 1000 долл. США на человека)

- Райцентры
- Области
- Районы

Рис. 3. Типология межстоличных районов белорусско-российского приграничья по особенностям внешнеторговой деятельности в 2019 г.

Fig. 3. Typology of inter-capital location regions of the Belarusian-Russian borderlands by the specifics of foreign trade in 2019



В рамках выделенных типов рассматриваемые административные районы были разделены на три группы – с высоким (внешнеторговый оборот более 2000 долл. США на человека), средним (1000–2000 долл. США на человека) и низким (менее 1000 долл. США на человека) внешнеторговым потенциалом.

Большинство исследуемых районов (80 %) относятся к экспортно ориентированным, что обеспечивает положительное сальдо внешнеторгового оборота. В 12 районах (Верхнедвинский, Россонский, Городокский, Лиозненский, Дубровенский, Бельничский, Горецкий, Мстиславский, Кричевский, Климовичский, Краснопольский, Хотимский) отсутствуют крупные промышленные предприятия, а предприятия пищевой промышленности работают на отечественном сырье.

Высокий внешнеторговый потенциал (более 2000 долл. США на человека) имеют 4 района (Полоцкий, Витебский, Могилёвский, Костюковичский), где расположены крупные промышленные предприятия. Низкий внешнеторговый потенциал (менее 1000 долл. США на человека) отмечен в 12 районах (60 %), 8 из которых находятся в Могилёвской области, 4 – в Витебской.

Поставки импортных комплектующих осуществляются через региональных импортеров, которые обычно располагаются в крупных городах. Наиболее высокий внешнеторговый потенциал сконцентрирован в Могилёвском, Витебском и Костюковичском районах. Однако если Могилёвский и Витебский районы имеют диверсифицированную структуру промышленности, то в Костюковичском районе внешнеторговый потенциал практически полностью завязан на ОАО «Белорусский цементный завод» (импорт энергоносителей и экспорт цемента и строительных материалов). Особое внимание в последние годы уделяется развитию Оршанского района, который наряду с Верхнедвинским районом имеет более низкие объемы внешнеторгового оборота на душу населения (1000–2000 долл. США на человека).

Среди импортозависимых районов (20 %) наибольший внешнеторговый потенциал имеет Полоцкий район, который во многом завязан на деятельности ОАО «Нафтан». Реализация крупного инвестиционного проекта на территории Чериковского района – строительство солнечной электростанции – привела к значительному росту поставок комплектующих для этих целей, в результате чего район попал в категорию импортозависимых. Толочинский район, на территории которого расположено достаточно крупное машиностроительное предприятие ОАО «Амкодор-КЭЗ», имеет отрицательное сальдо внешней торговли за счет поставок импортных комплектующих для производимых здесь экскаваторов, реализуемых преимущественно на внутреннем рынке Беларуси. Остальные районы обладают низким внешнеторговым потенциалом и не могут в значительной степени влиять на внешнюю торговлю Витебской и Могилёвской областей.

**Транспортная сеть и доступность приграничных районов.** Анализ транспортной доступности административных центров исследуемых приграничных районов по значению общей связности (определяет уровень интегрированности в транспортную систему региона) выявил, что наиболее доступными транспортными узлами являются города Витебск, Могилёв и Орша. Это характерно как для железнодорожной, так и для автодорожной сети, что объясняется расположением на пути следования международных панъевропейских транспортных коридоров № 1 и 9 (Орша находится на их пересечении, и через данный населенный пункт и район проходит значительная часть транзитного международного пассажирского и грузового трафика), экономико-демографическим потенциалом и статусом в системе расселения (областные центры Витебск и Могилёв). Наименьший уровень транспортной доступности по показателю связности сетей был характерен для административных центров периферийных районов (Хотимский, Дубровенский, Россонский). Железнодорожное сообщение отсутствует в 6 районах (30 % общего количества исследуемых районов).

**Работа автомобильного транспорта.** Среди приграничных районов лидерами по объему пассажирских перевозок и пассажирообороту в 2018 г. являлись районы с крупнейшими городами – промышленными и транспортными центрами (Витебск, Могилёв, Орша, Новополоцк и Полоцк). Концентрация экономического потенциала, населения, выгодное транспортно-географическое положение закономерно объясняют наибольшие значения объемов пассажирских перевозок и пассажирооборота. При этом последние 15 лет почти для всех исследуемых районов была характерна неустойчивая динамика спада показателей, связанная с ростом автомобилизации населения.

Основные пространственные особенности и закономерности работы грузового автотранспорта обусловлены экономической специализацией районов, в частности, на выпуске продукции, которую экономически целесообразно перевозить автотранспортом (например, производство стройматериалов в Кричеве и Костюковичах). В 2018 г. по количеству перевозимых грузов и грузообороту на микрогеографическом уровне лидировали Витебский, Оршанский и Могилёвский районы (в этих же районах расположены транспортно-логистические центры), а также Полоцкий (по грузообороту), Кричевский и Костюковичский (по объему перевезенных грузов) (рис. 4).

БЭУ – статистическая информация

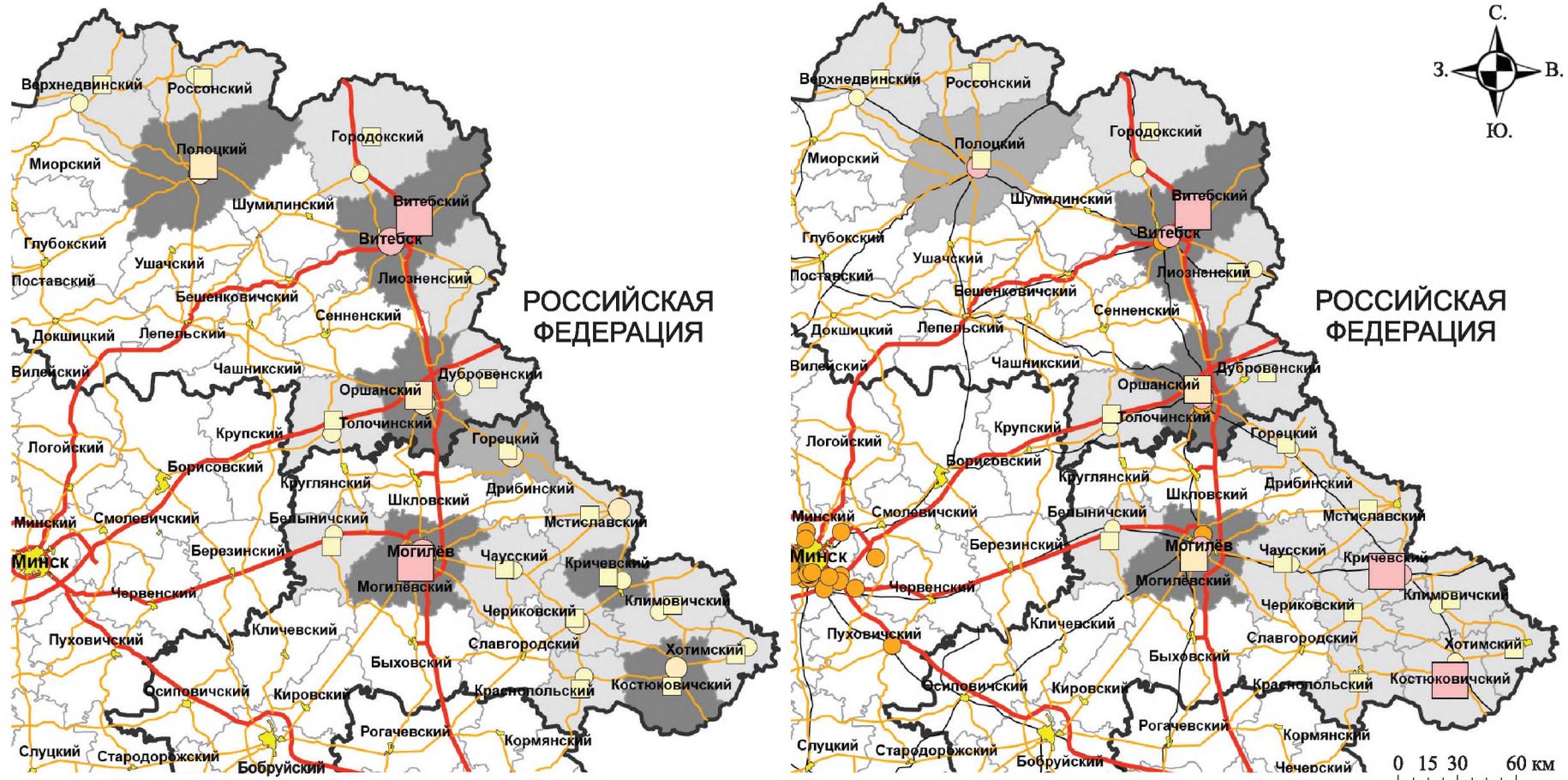
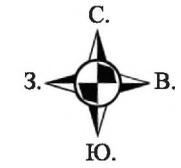


Рис. 4. Работа автомобильного транспорта и связность административных центров приграничных районов Республики Беларусь в 2018 г.  
 Fig. 4. The work of road transport and the connectivity of the administrative centers of the border regions of the Republic of Belarus in 2018



Таким образом, анализ работы автомобильного транспорта в разрезе приграничных районов Беларуси выявил следующую закономерность: наибольшие объемы перевезенных грузов и пассажиров, а также грузо- и пассажирооборот приходится на районы, административный центр которых по функциональному статусу является либо крупным транспортным узлом (Оршанский район), либо центром промышленного производства (Полоцкий район), либо полифункциональным городом (районы областных центров).

**Работа железнодорожного транспорта.** Детально данный вид сообщения в приграничных районах в контексте настоящего исследования не рассматривался, однако он является показательным с точки зрения оценки воздействия пандемии COVID-19.

В результате ограничительных мер стран-соседей, направленных на сдерживание распространения COVID-19 (закрытие границ), в марте 2020 г. объемы международных пассажирских перевозок Белорусской железной дороги сократились на 96 %. В целом по Республике Беларусь объем международных пассажирских перевозок по железной дороге в 2020 г. (540,2 тыс. человек) составил лишь 14,3 % значений 2019 г. (3779,4 тыс. человек).

Анализ расписания движения поездов по отдельным железнодорожным станциям (Орша, Витебск, Лиозно) за 2019 и 2021 гг. выявил, что пассажирское железнодорожное сообщение между Республикой Беларусь и Российской Федерацией в рассматриваемых населенных пунктах претерпело серьезные изменения (фактически оно было приостановлено с 6 апреля 2020 г. до 8 февраля 2021 г.). Произошло сокращение количества международных поездов и, как следствие, сети маршрутов. Так, по состоянию на май 2021 г. количество маршрутов международных поездов, проходящих через Витебск, уменьшилось на 77,8 %, через Оршу – на 77,3 %. У отдельных поездов снизилась периодичность движения по станциям в день (например, поезд Брест – Москва или Минск – Москва через ст. Орша) либо частота сообщения в неделю (поезд Калининград – Адлер через ст. Орша). Так, в 2019 г. через Витебск могло курсировать до 14 международных поездов в день (в 2021 г. – до 3), через Оршу – до 39 (в 2021 г. – до 14). Через Лиозно международное железнодорожное транспортное сообщение в настоящий момент отсутствует.

### Заключение

Проведенное экономико-географическое исследование демографической ситуации и экономического развития межстоличья белорусско-российского приграничного региона подтвердило гипотезу о сохранении свойств его периферийности. Количественная оценка потенциала ЭГП межстоличных районов белорусско-российского приграничья показала, что наиболее благоприятное ЭГП характерно для Витебского, Полоцкого и Могилёвского районов. Преобладающая часть районов отличаются наименее благоприятным положением, в большей степени это свойство проявляется в Краснопольском, Россонском и Чаусском районах.

С демографической точки зрения межстоличье белорусско-российского приграничного региона представляет собой периферию, характеризующуюся преобладанием городов и сельских районов с регрессивным типом демографического баланса и отрицательной динамикой численности населения, превышающей 20 % за 1999–2019 гг.

Группировка межстоличья белорусско-российского приграничья с выделением групп районов с высоким (24,8 % совокупной территории), средним (31,1 %) и низким (44,1 %) уровнем промышленного развития позволила установить, что изучаемый регион характеризуется высокой степенью территориального неравенства, которая может стать сдерживающим фактором для его устойчивого развития. Выявленное обстоятельство требует активизации сотрудничества между Беларусью и Россией в направлении совместного развития малых и средних предприятий, а также привлечения прямых иностранных инвестиций в промышленность в пределах белорусско-российского приграничья.

Анализ выявил пространственную дифференциацию транспортной доступности приграничных районов (по показателю связности автомобильной и железнодорожной сети), при этом наиболее доступными районами являются Витебский, Оршанский и Могилёвский. Работа пассажирского и грузового автотранспорта зависит от экономико-демографического потенциала и транспортной доступности: наибольшие показатели характерны для районов, административный центр которых по функциональному статусу является либо крупным транспортным узлом (Оршанский район), либо центром промышленного производства (Полоцкий район), либо полифункциональным городом (районы областных центров).

Ключевая роль в валовых показателях внешней торговли товарами межстоличья белорусско-российского приграничного региона принадлежит районам, включающим областные центры (Витебский, Могилёвский районы) и города областного подчинения (Полоцкий район), где сконцентрирован основной производственный потенциал исследуемых территорий. В остальном доминируют экспортно ориентированные районы с ограниченным подушевым объемом внешнеторгового оборота (до 2000 долл. США), основу экспорта которых составляют товары, полученные в результате переработки местного сырья (прежде всего сельскохозяйственной или лесохозяйственной продукции).



## Библиографические ссылки

1. Myrdal G. *Economic theory and under-developed regions*. London: Duckworth; 1957. 168 p.
2. Friedmann J. *Regional development policy: a case study of Venezuela*. Cambridge: MIT Press; 1966. 279 p.
3. Hägerstrand T. *Innovation diffusion as a spatial process*. Pred A, translator. Chicago: University of Chicago Press; 1967. 334 p.
4. Moriarty BM. Hierarchies of cities and the spatial filtering of industrial development. *Papers of the Regional Science Association*. 1983;53(1):59–82.
5. Грищай ОВ, Иоффе ГВ, Трейвиш АИ. *Центр и периферия в региональном развитии*. Приваловская ГА, редактор. Москва: Наука; 1991. 168 с.
6. Storper M, Kemeny T, Makarem N, Osman T. *The rise and fall of urban economies: lessons from San Francisco and Los Angeles*. Stanford: Stanford University Press; 2015. 305 p.
7. Нефедова ТГ, Трейвиш АИ. Россия между двумя столицами: специфика территориальных сдвигов. *Региональные исследования*. 2013;4:31–43.
8. Окунев ИЮ. Типология столиц и коэффициент столичности государства. *Региональные исследования*. 2016;3:32–39.
9. Яськова ТИ. Пристоличное положение как отражение взаимовлияния регионов: теоретический аспект. *Региональные исследования*. 2008;1:10–19.
10. Яськова ТИ. Столичный регион и пристоличное положение: соотношение понятий. *Региональные исследования*. 2008;3:29–34.
11. Яськова ТИ. Типология районов Смоленской области по положению в системе пространственных отношений «столица – пристоличный регион». *Региональные исследования*. 2013;3:137–146.
12. Бабурин ВЛ, Земцов СП, Кидяева ВМ. Методика оценки потенциала экономико-географического положения городов России. *Вестник Московского университета. Серия 5. География*. 2016;1:39–45.
13. Зубаревич НВ, Сафронов СГ. Неравенство социально-экономического развития регионов и городов России 2000-х годов: рост или снижение? *Общественные науки и современность*. 2013;6:15–26.
14. Мельников РМ. Анализ динамики межрегионального экономического неравенства: зарубежные подходы и российская практика. *Регион: экономика и социология*. 2005;4:3–18.
15. Абашкин ВЛ, Гохберг ЛМ, Еферин ЯЮ, Иванова ЕА, Куценко ЕС, Нечаева ЕГ и др. *Атлас экономической специализации регионов России*. Гохберг ЛМ, Куценко ЕС, редакторы. Москва: НИУ ВШЭ; 2021. 264 с.
16. Гладкий ОВ. *Менеджмент регионального развития*. Київ: Академвидав; 2013. 248 с. (Альма-матер).
17. Кузнецова ОВ. Типология факторов социально-экономического развития регионов России. *Вестник Московского университета. Серия 5. География*. 2014;2:3–8.
18. Романов МГ. Проблемы экономического районирования и административно-территориального устройства России в новых условиях. *Известия Российской академии наук. Серия географическая*. 2006;3:57–66.
19. Катровский АП, Ковалев ЮП, Мажар ЛЮ, Сергутина СА, Шеломенцева МВ, Ридевский ГВ. Демографическая ситуация как индикатор и фактор развития российско-белорусского приграничья. *Региональные исследования*. 2016;3:102–109.
20. Катровский АП, Ридевский ГВ. Пространственная экономическая асимметрия как фактор развития российско-белорусского трансграничного региона. *Региональные исследования*. 2013;3:128–136.
21. Земляк СВ, Катровский АП, Ковалев ЮП, Куница МН, Мажар ЛЮ, Ридевский ГВ и др. *Модернизация и структурные трансформации российско-белорусского приграничья*. Катровский АП, Ковалев ЮП, Яськова ТИ, редакторы. Смоленск: Универсум; 2018. 376 с.
22. Морачевская КА. Приграничность и периферийность как факторы социально-экономического развития приграничных с Беларуссией районов России. *Региональные исследования*. 2010;4:61–69.
23. Часовский ВИ. Российско-белорусское приграничье: изменения в территориально-отраслевой структуре хозяйства в постсоветский период развития. *Региональные исследования*. 2010;2:82–90.
24. Горецкий ГИ, Мальшев СМ, Рыбников АА. *Экономическое влияние Москвы на организацию сельского хозяйства области. Опыт профильных исследований*. Москва: Московский рабочий; 1927. 126 с.
25. Антипова ЕА, Коротаев ВК. Геодемография Беларуси в XXI веке: сравнительно-географический анализ городского и сельского населения. *Вестник БГУ. Серия 2. Химия. Биология. География*. 2014;3:91–98.
26. Антипова ЕА, Шавель АН, Запрудский ИИ. Экономико-географические и социально-экономические различия регионов Республики Беларусь как основа совершенствования административно-территориального деления. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология*. 2019;1:3–21.
27. Богданович АВ. Региональная политика Республики Беларусь на современном этапе. *Белорусский экономический журнал*. 2016;4:63–74.
28. Пирожник И. Региональное развитие и типология регионов Беларуси по уровню социально-экономического потенциала. *Acta Geographica Silesiana*. 2014;16:57–71.
29. Запрудский ИИ. Экономико-географические особенности формирования и перспективы развития Минской промышленной агломерации. В: Михайлова АА, редактор. *Балтийский регион – регион сотрудничества. Регионы в условиях глобальных изменений. Материалы IV Международной научно-практической конференции; 21–23 октября 2020 г.; Калининград, Россия. Том 4. Часть 1*. Калининград: Издательство Балтийского федерального университета имени И. Канта; 2020. с. 56–61.
30. Антипова ЕА, Фокеева ЛВ, Губарева ЮА. Пространственная структура демографического развития белорусско-российского приграничного региона. *Вестник БГУ. Серия 2. Химия. Биология. География*. 2013;1:103–108.
31. Морачевская КА, Шавель АН. Динамика внешней торговли регионов российско-белорусского приграничья в 2010-е годы. *Псковский региологический журнал*. 2016;4:15–28.
32. Озем ГЗ. Приграничное положение как фактор социально-экономического развития сельской местности. *Региональные исследования*. 2004;1:48–54.
33. Пирожник ИИ, Озем ГЗ, Шадраков АВ. Экономико-географические факторы трансграничного сотрудничества Беларуси и России. *Вестник БГУ. Серия 2. Химия. Биология. География*. 2010;1:55–60.



34. Шадраков АВ. Трансформация основных компонентов экономического потенциала регионов белорусско-российского приграничья в 2000–2014 гг. В: Катровский АП, Ковалев ЮП, редакторы. *Человеческий капитал и социально-экономическое развитие регионов российско-белорусского приграничья*. Смоленск: Универсум; 2015. с. 50–58.

35. Безрученко АП. Экономико-географический анализ транспортных сетей белорусско-российского приграничья. *Вестн. БДПУ. Серия 3. Фізика. Матэматыка. Інфарматыка. Біялогія. Геаграфія*. 2012;3:45–48.

## References

1. Myrdal G. *Economic theory and under-developed regions*. London: Duckworth; 1957. 168 p.
2. Friedmann J. *Regional development policy: a case study of Venezuela*. Cambridge: MIT Press; 1966. 279 p.
3. Hagerstrand T. *Innovation diffusion as a spatial process*. Pred A, translator. Chicago: University of Chicago Press; 1967. 334 p.
4. Moriarty BM. Hierarchies of cities and the spatial filtering of industrial development. *Papers of the Regional Science Association*. 1983;53(1):59–82.
5. Gritsai OV, Ioffe GV, Treivish AI. *Tsentr i periferiya v regional'nom razvitii* [Centre and periphery in regional development]. Privalovskaya GA, editor. Moscow: Nauka; 1991. 168 p. Russian.
6. Storper M, Kemeny T, Makarem N, Osman T. *The rise and fall of urban economies: lessons from San Francisco and Los Angeles*. Stanford: Stanford University Press; 2015. 305 p.
7. Nefedova TG, Treivish AI. Russia between its two capitals: the specifics of territorial shifts. *Regional'nye issledovaniya*. 2013;4:31–43. Russian.
8. Okunev IYu. Capitals' typology and index of capitalness. *Regional'nye issledovaniya*. 2016;3:32–39. Russian.
9. Yaskova TI. Pre-capital location and its influence upon regions: theoretical approach. *Regional'nye issledovaniya*. 2008;1:10–19. Russian.
10. Yaskova TI. Capital region and capital position: a ratio of concepts. *Regional'nye issledovaniya*. 2008;3:29–34. Russian.
11. Yaskova TI. Typology of the Smolensk regions location in the interconnection system «capital – near-capital region». *Regional'nye issledovaniya*. 2013;3:137–146. Russian.
12. Baburin VL, Zemtsov SP, Kidyayeva VM. Methodology of evaluating the potential of the economic-geographical position of Russia's towns. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya*. 2016;1:39–45. Russian.
13. Zubarevich NV, Safronov SG. [Inequality in the socio-economic development of regions and cities in Russia in the 2000s: growth or decline?]. *Obshchestvennye nauki i sovremennost'*. 2013;6:15–26. Russian.
14. Mel'nikov RM. [Analysis of the dynamics of interregional economic inequality: foreign approaches and Russian practice]. *Region: ekonomika i sotsiologiya*. 2005;4:3–18. Russian.
15. Abashkin VL, Gokhberg LM, Eferin YaYu, Ivanova EA, Kutsenko ES, Nechaeva EG, et al. *Atlas ekonomicheskoi spetsializatsii regionov Rossii* [Atlas of the economic specialisation of the regions of Russia]. Gokhberg LM, Kutsenko ES, editors. Moscow: HSE University; 2021. 264 p. Russian.
16. Gladkyj OV. *Menedzhment regional'nogo rozvytku* [Regional development management]. Kyiv: Akademvydav; 2013. 248 p. (Al'ma-mater). Ukrainian.
17. Kuznetsova OV. Typology of factors covering the socio-economic development of Russian regions. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya*. 2014;2:3–8. Russian.
18. Romanov MT. [Problems of economic zoning and administrative-territorial structure of Russia in the new conditions]. *Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Seriya geograficheskaya*. 2006;3:57–66. Russian.
19. Katrovskii AP, Kovalev YuP, Mazhar LYu, Sergutina SA, Shelomentseva MV, Ridevskii GV. The demographic situation as an indicator and factor of the development of the Russian-Belarusian border area. *Regional'nye issledovaniya*. 2016;3:102–109. Russian.
20. Katrovskii AP, Ridevskii GV. Spatial economic asymmetry as a factor of the development of Russian-Belarusian border region. *Regional'nye issledovaniya*. 2013;3:128–136. Russian.
21. Zemlyak SV, Katrovskii AP, Kovalev YuP, Kunitsa MN, Mazhar LYu, Ridevskii GV, et al. *Modernizatsiya i strukturnye transformatsii rossiisko-belorusskogo prigranich'ya* [Modernisation and structural transformations of the Russian-Belarusian border area]. Katrovskii AP, Kovalev YuP, Yaskova TI, editors. Smolensk: Universum; 2018. 376 p. Russian.
22. Morachevskaya KA. Frontier or periphery location as factors of socio-economic development of the Russian regions bordering on Belarus. *Regional'nye issledovaniya*. 2010;4:61–69. Russian.
23. Chasovskiy VI. Russia-Belarus border: changes in the spatial and industrial structure of the economy in the post-Soviet period. *Regional'nye issledovaniya*. 2010;2:82–90. Russian.
24. Goretskii GI, Malyshev SM, Rybnikov AA. *Ekonomicheskoe vliyanie Moskvy na organizatsiyu sel'skogo khozyaistva oblasti. Opyty profil'nykh issledovaniy* [The economic impact of Moscow on the organisation of agriculture in the region. Experiences of profile research]. Moscow: Moskovskii rabochii; 1927. 126 p. Russian.
25. Antipova EA, Korotaev VK. [Geodemography of Belarus in the 21<sup>st</sup> century: a comparative geographical analysis of the urban and rural population]. *Vestnik BGU. Seriya 2. Khimiya. Biologiya. Geografiya*. 2014;3:91–98. Russian.
26. Antipova EA, Shavel AN, Zaprudskij II. Economic and geographical and socio-economic differences of regions of the Republic of Belarus as a basis for improvement of administrative-territorial division. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology*. 2019;1:3–21. Russian.
27. Bogdanovich AV. Belarus's current regional policy. *Belarusian Economic Journal*. 2016;4:63–74. Russian.
28. Pirozhnik I. Regional development and typology of the Belarusian regions according of socio-economic potential. *Acta Geographica Silesiana*. 2014;16:57–71. Russian.
29. Zaprudskij II. Economic and geographical features of the formation and development prospects of the Minsk industrial agglomeration. In: Mikhaylova AA, editor. *Baltiiskii region – region sotrudnichestva. Regiony v usloviyakh global'nykh izmenenii. Materialy IV Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii; 21–23 oktyabrya 2020 g.; Kaliningrad, Rossiya. Tom 4. Chast' I* [Baltic region – the region of cooperation. Regions in the era of global change. Proceedings of the 4<sup>th</sup> International scientific and practical conference; 2020 October 21–23; Kaliningrad, Russia. Volume 4. Part 1]. Kaliningrad: Publishing House of the Immanuel Kant Baltic Federal University; 2020. p. 56–61. Russian.



30. Antipova EA, Fokeeva LV, Gubareva YuA. [Spatial structure of the demographic development of the Belarusian-Russian border region]. *Vestnik BGU. Seriya 2. Khimiya. Biologiya. Geografiya*. 2013;1:103–108. Russian.
31. Morachevskaya KA, Shavel AN. Dynamics of foreign trade in the Russian-Belarusian border regions in 2010s. *Pskovskii regionologicheskii zhurnal*. 2016;4:15–28. Russian.
32. Ozem GZ. Cross-border location as a factor socio-economic development of the rural area. *Regional'nye issledovaniya*. 2004;1:48–54. Russian.
33. Pirozhnik II, Ozem GZ, Shadrakov AV. [Economic and geographical factors of cross-border cooperation between Belarus and Russia]. *Vestnik BGU. Seriya 2. Khimiya. Biologiya. Geografiya*. 2010;1:55–60. Russian.
34. Shadrakov AV. [Transformation of the main components of the economic potential of the regions of the Belarusian-Russian borderlands in 2000–2014]. In: Katrovskii AP, Kovalev YuP, editors. *Chelovecheskii kapital i sotsial'no-ekonomicheskoe razvitie regionov rossiisko-belorusskogo prigranich'ya* [Human capital and socio-economic development of the regions of the Russian-Belarusian borderlands]. Smolensk: Universum; 2015. p. 50–58. Russian.
35. Bezruchenok AP. [Economic and geographical analysis of transport networks of the Belarusian-Russian borderlands]. *Vesci BDPU. Seriya 3. Fizika. Matjematyka. Infarmatyka. Bijalogija. Geagrafija*. 2012;3:45–48. Russian.

Получена 04.06.2021 / исправлена 17.09.2021 / принята 01.10.2021.  
Received 04.06.2021 / revised 17.09.2021 / accepted 01.10.2021.



УДК 582.47:634.0.56(476)

## О ПРИЧИНАХ УСЫХАНИЯ СОСНЫ В БЕЛОРУССКОМ ПОЛЕСЬЕ

Е. В. МАТЮШЕВСКАЯ<sup>1)</sup>, В. Н. КИСЕЛЕВ<sup>1)</sup>, А. Е. ЯРОТОВ<sup>1)</sup>

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

Приведены результаты выявления причин массового усыхания сосны в Белорусском Полесье. Объектом исследования выступили современные ее поколения на бывших истощенных песчаных пашнях и в естественных условиях произрастания. Установлено, что на фоне понижения грунтовых вод после осушительной мелиорации в текущих климатических условиях увеличение притока прямой солнечной радиации в XXI в. явилось лимитирующим фактором для стволовой продуктивности сосны, угнетение которой привело к отмиранию древостоя.

**Ключевые слова:** Белорусское Полесье; сосна обыкновенная; климатические условия; солнечная радиация; осушительная мелиорация; радиальный прирост; продукционный потенциал.

## ABOUT THE CAUSES OF PINE DRYING IN THE BELARUSIAN POLESJE

K. V. MATSIUSHEUSKAYA<sup>a</sup>, V. N. KISIALIOU<sup>a</sup>, A. E. YAROTAU<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Belarusian State University, 4 Niezaliežnasci Avenue, Minsk 220030, Belarus

Corresponding author: K. V. Matsiusheuskaya (katerina.vm@gmail.com)

The results of identifying the causes of mass drying of pine trees in the Belarusian Polesje are presented. The object of the study is its modern generations on the former depleted sandy arable land and in natural conditions of growth. It is revealed that in the conditions of groundwater reduction after drainage reclamation in modern climatic conditions, the increase in the inflow of direct solar radiation in the 21<sup>st</sup> century was the limiting factor for the suppression of the stem productivity of pine, which led to the death of the stand.

**Keywords:** Belarusian Polesje; pine; climatic conditions; solar radiation; land reclamation; tree ring; production potential.

### Образец цитирования:

Матюшевская ЕВ, Киселев ВН, Яротов АЕ. О причинах усыхания сосны в Белорусском Полесье. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология.* 2021;2:82–90.

<https://doi.org/10.33581/2521-6740-2021-2-82-90>

### For citation:

Matsiusheuskaya KV, Kisialiou VN, Yarotau AE. About the causes of pine drying in the Belarusian Polesje. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology.* 2021;2:82–90. Russian.

<https://doi.org/10.33581/2521-6740-2021-2-82-90>

### Авторы:

**Екатерина Викторовна Матюшевская** – кандидат географических наук, доцент; заведующий кафедрой физической географии мира и образовательных технологий факультета географии и геоинформатики.

**Виктор Никифорович Киселев** – доктор географических наук, профессор; научный консультант кафедры физической географии мира и образовательных технологий факультета географии и геоинформатики.

**Алексей Евгеньевич Яротов** – кандидат географических наук, доцент; доцент кафедры физической географии мира и образовательных технологий факультета географии и геоинформатики.

### Authors:

**Katsiaryna V. Matsiusheuskaya**, PhD (geography), docent; head of the department of physical geography of the world and educational technologies, faculty of geography and geoinformatics. [katerina.vm@gmail.com](mailto:katerina.vm@gmail.com)

**Viktar N. Kisialiou**, doctor of science (geography), full professor; scientific consultant at the department of physical geography of the world and educational technologies, faculty of geography and geoinformatics. [kiselev-vn@yandex.ru](mailto:kiselev-vn@yandex.ru)

**Aliaxey E. Yarotau**, PhD (geography), docent; associate professor at the department of physical geography of the world and educational technologies, faculty of geography and geoinformatics. [dehrono@mail.ru](mailto:dehrono@mail.ru)





## Введение

В Белорусском Полесье – одном из важнейших лесопромышленных регионов – периодически возникают и возникают проблемы ресурсного и экологического порядка, связанные с восстановлением леса после сплошных рубок и сохранением его ресурсов после крупномасштабной осушительной мелиорации, особенно в XX и XXI вв. Ключевая роль в этом отношении принадлежит формации сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), на долю которой приходится более половины лесной площади [1; 2]. Массовое усыхание ее древостоя в XXI в. приобрело характер экологического бедствия и определило необходимость поиска причин данного явления.

Международная научно-практическая конференция по вопросам деревообработки и антропогенного воздействия на лесные ресурсы, состоявшаяся в Могилёве и Горках в 2017 г., констатировала, что накопленный опыт в сфере рекультивации леса позволяет разрабатывать и применять на практике эффективные методы сохранения и воспроизводства здоровых и продуктивных лесных массивов. При усиливающемся антропогенном воздействии на окружающую среду, которое зачастую носит невосполнимый, необратимый характер, вопрос совершенствования, использования и воспроизводства лесных ресурсов приобретает особую актуальность. В условиях сложной экологической обстановки роль леса в природе как ее основного компонента возрастает. Ввиду этого целесообразно расширить спектр научных исследований, связанных с экологическими и экономическими аспектами лесовыращивания [3].

Во втором десятилетии наступившего столетия в России, Украине, Польше, Германии и других странах отмечено массовое усыхание сосны [4]. Современная напряженная экологическая ситуация с лесами в Белорусском Полесье – самом южном лесоболотном сегменте европейских полесий, которая отражена в состоянии его лесного фонда, имеет достаточно длительную историю возникновения. Она является следствием почти трехвековой крупномасштабной вырубке лесов и осушительной мелиорации [5] и представляет собой промежуточный этап воспроизводства и использования лесных ресурсов данного региона.

## Материалы и методика исследования

Цель и задачи исследования заключались в выявлении причин усыхания сосны в Белорусском Полесье. Одновременно происходит массовое отмирание ели в островных локалитетах [6]. Исследование экологического кризиса с сосновыми лесами позволяет уточнить, являются ли причинами угнетения этих двух основных лесобразующих пород одни и те же факторы.

На территории Беларуси были выделены три полосы по санитарному состоянию насаждений ели – северная, средняя и южная [6]. В северной полосе (Поозерье) с богатыми по минералогическому составу молодыми послеледниковыми почвами не наблюдается массового усыхания ели. Периодическое ее отмирание свойственно средней полосе республики с широким распространением лёссовидных суглинков, залегающих как покровный чехол на моренных супесях и суглинках. Их микроморфологические свойства затрудняют вертикальную миграцию выпавших атмосферных осадков по причине закупорки пор плазмой (глинистой массой) [7], что приводит к неустойчивому водному режиму верхней части профиля этих почв, в котором сосредоточена приповерхностная корневая система ели, не проникающая в подстилающие плотные моренные супеси и суглинки. Отмирание древостоя происходит при возмущениях погодно-климатической обстановки с определенной регулярностью по причине литологических и водно-физических особенностей данной литофациальной основы. В южной полосе (Полесье) усыхание ели возникло в ее островных локалитетах среди формации сосны, которая использована как объект выявления причин усыхания древостоя.

Исследования выполнялись в лесных массивах ГЛХУ «Светлогорский лесхоз» и ГЛХУ «Октябрьский лесхоз» на песчаных междуречьях малых рек Ипы, Виши и Нератовки, канализированных Западной экспедицией по осушению болот под руководством И. И. Жилинского в последней четверти XIX в. [5]. Тип леса – сосняк мшистый. Почва дерново-подзолистая слаборазвитая на кварцевых песках. Лесная подстилка является маломощной (до 2 см) или отсутствует. Грунтовые воды залегают глубже 2 м (подробное местоположение и описание тест-участков приведены в монографии [8]). Для получения продолжительных мастер-хронологий в 2016 г. возрастным буровом на высоте 1,3 м были отобраны образцы древесины у 43 наиболее крупных здоровых деревьев. После дендрометрических измерений они объединены в разновозрастные серии: 155 лет (16 стволов диаметром 52–58 см), 120 лет (13 стволов диаметром 40–54 см) и 105 лет (14 стволов диаметром 32–40 см). Для дендроэкологического анализа и обобщений использован максимальный индивидуальный (каждого дерева) радиальный прирост как реализованный потенциал стволовой продуктивности сосны в текущий год. Коэффициент чувствительности к климатическим факторам рассчитан по Дугласу [9]. Для характеристики метеоусловий



привлечены наблюдения на ближайшей длиннорядной станции Василевичи. Исторические сведения о ходе выполнения мелиоративных работ почерпнуты из монографии [5]. Зонирование территории Беларуси по максимальному усыханию сосны к 2018 г. выполнено на основании данных Государственного учреждения по защите и мониторингу леса «Беллесозащита» (<https://bellesozaschita.by>) с дополнением собственными наблюдениями (рис. 1).

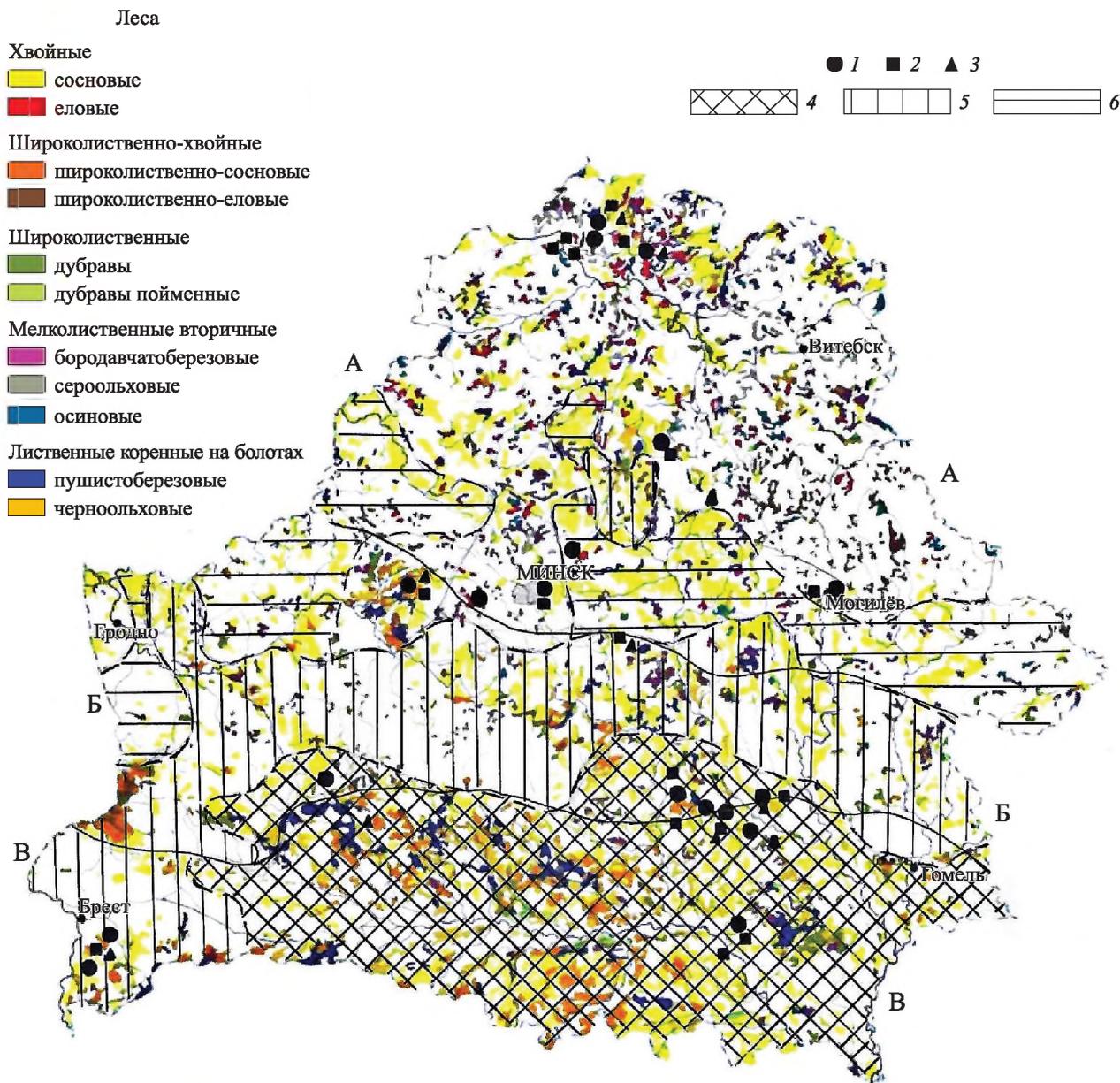


Рис. 1. Зонирование территории Беларуси по усыханию сосны к 2018 г. (по данным Государственного учреждения по защите и мониторингу леса «Беллесозащита»).

Тест-участки: 1 – ели; 2 – сосны; 3 – сосны на верховых болотах.

Формация сосны выделена желтым фоном. Зоны усыхания сосны:

4 – максимального; 5 – среднего; 6 – минимального. Геоботанические подзоны:

А – дубово-темнохвойных лесов; Б – грабово-дубово-темнохвойных лесов;

В – широколиственно-сосновых лесов

Fig. 1. Zoning of the territory of Belarus by pine desiccation by 2018 (according to the data of the State institution for forest protection and monitoring «Bellesozashchita»).

Test sites: 1 – spruces; 2 – pines; 3 – pines in upland bogs. Pine formation is highlighted by a yellow background. Zones of pine desiccation:

4 – maximum; 5 – average; 6 – minimum.

Geobotanical sub-zones: А – oak-dark coniferous forests;

Б – hornbeam-oak-dark coniferous forests; В – broad-leaved pine forests



## Результаты и их обсуждение

Усыхание сосны на юге Беларуси полностью охватывает геоботаническую подзону широколиственно-сосновых лесов, где широко представлены болота и заболоченные земли, подвергшиеся крупномасштабной осушительной мелиорации. За пределами Полесья оно распространилось на юг Центрально-Березинской равнины (Брожскую лесную дачу также с повсеместной осушительной мелиорацией). Севернее в малолесной подзоне грабово-дубово-темнохвойных лесов отмирание древостоя сокращается и достигает наименьших значений в подзоне дубово-темнохвойных лесов.

Все без исключения сосновые леса Беларуси оказались подвержены этому экологическому бедствию, хотя территориально в разной степени. По данным Государственного учреждения по защите и мониторингу леса «Беллесозащита» на 1 января 2018 г., можно выделить три дендрозоологические зоны (см. рис. 1), отражающие его масштабы: максимального (с потерей 120,1–240,1 тыс. м<sup>3</sup> и более), среднего (30,1–120,0 тыс. м<sup>3</sup>) и минимального (10,1–30,0 тыс. м<sup>3</sup>) усыхания сосны. Наибольшее усыхание этой древесной породы охватило Белорусское Полесье, хотя его проявление зафиксировано практически на всей территории Беларуси с данной лесной формацией.

Особенность литологических отложений, на которых сформировались биогеоценозы сосны в этом регионе, – кварцевые пески, перемытые тальми ледниковыми водами. По причине сплошных рубок в течение длительного времени и культуры сосны на бросовых песчаных сельскохозяйственных угодьях преобладают насаждения I–II классов возраста, занимая более половины площади (60,7 %) под сосновой формацией [1; 2].

К настоящему времени сложилась следующая приуроченность сосновой формации к двум взаимодополняющим экотопическим образованиям: монокультура сосны на бывших в основном старопахотных истощенных угодьях и естественные массивы, постоянно возобновляемые после рубок на почвах, исторически не использовавшихся в сельском хозяйстве.

В 1960–70-х гг. облесение бросовых малопродуктивных пашен на кварцевых песках (бывших «сырых песках») широко практиковалось вблизи осушаемых и осваиваемых болот и заболоченных земель. На площади около 600 тыс. га были проведены лесные посадки [10]. Включенная в лесной фонд, именно монокультура сосны на бросовых старопахотных угодьях явилась наиболее вероятным очагом поражения и массового расселения энтомовредителей [11].

Одновозрастные насаждения на этих истощенных землях с первых лет развивались в условиях искусственного понижения грунтовых вод в результате осушительной мелиорации сопредельных болот и заболоченных земель. При неустойчивом увлажнении атмосферными осадками это понижение создало неблагоприятные условия для роста и развития культуры сосны и молодняков, что стало основной причиной массового поражения их энтомовредителями на междуречьях Ипы, Виши, Неначи, Нератовки, Желони и многих других канализированных малых рек в Светлогорском, Калинковичском, Октябрьском, Петриковском, Житковичском, Наровлянском и иных лесхозах [5].

Наиболее масштабное по сравнению с другими регионами Беларуси отмирание древостоя сосны в возрасте 35–40 лет и старше в 2015–2016 гг. при нарастающем за последние два десятилетия угнетении [4] обострило задачу сохранения ее насаждений в сложившихся после осушительной мелиорации почвенно-гидрогеологических условиях и изменяющихся климатических условиях.

В отличие от формирующихся насаждений на бросовых истощенных землях естественные биогеоценозы сосны представляют собой саморегулирующие системы, приспособленные к изменчивости природно-климатических условий и непостоянному уровню грунтовых вод. Высокая фильтрационная способность и низкая влагоемкость песчаных почв препятствуют созданию необходимых запасов влаги в корнеобитаемом слое. В таких условиях сосна имеет низкую чувствительность к динамике климатических факторов (температура и осадки) в Белорусском Полесье, как и на всей территории Беларуси, которые оказались неответственными за изменчивость, включая угнетение, продукционного процесса у данной древесной породы [8]. Исходя из этого, изменение климата не следует напрямую рассматривать как нарушение равновесного состояния лесных экосистем с участием сосны. Ухудшение их жизненного состояния вплоть до отмирания древостоя не может быть вызвано только изменяющимся климатом по причине неустойчивой связи нарастания стволовой массы (радиального прироста) с гидротермическими величинами.

На рост и развитие современных лесных массивов оказывают влияние различные естественные и антропогенные факторы, для выявления которых могут оказаться полезными дендрохронологические исследования, позволяющие проследить временную динамику реализации древостоем продукционных возможностей в нарастании стволовой массы – основного ресурсного потенциала экономического значения лесов.

Временной анализ хода изменчивости максимального радиального прироста, отражающего биопродукционный потенциал сосны при разных погодно-климатических условиях (рис. 2), выполнен до и после 1998 г., с которого началось выраженное потепление климата (см. таблицу). Среднегодовая температура



увеличилась на 1,1 °С. Заметно потеплели месяцы безлиственного периода (октябрь – апрель) – на 1,6 °С. Потепление вегетационных месяцев (май – сентябрь) оказалось менее выраженным – только на 0,7 °С. Температура мая и июня с активным ростом древесных растений практически не изменялась.

Максимальное нарастание стволовой массы (максимальный радиальный прирост) у деревьев происходило в течение всей их жизни (при этом возраст не имел значения), не отличаясь постоянством и характеризуясь значительной календарной изменчивостью при широком диапазоне метеорологических величин как до, так и после 1998 г. Однако в климатических условиях до 1998 г. оно было более значимым, чем при потеплении в последующие годы. После 1998 г. при более высоких значениях температуры и почти равнозначном выпадении осадков (рис. 3) максимальный радиальный прирост у всех возрастных групп существенно (в 2–3 раза) сократился.

Годы максимальной стволовой продуктивности внутри всех возрастных серий и между ними до 1998 г. не совпадали, за исключением единичных случаев. Совпадение отмечено только у двух 120-летних деревьев в засушливом 1959 г. (457 мм при температуре 7,6 °С за год, 1,6 °С за безлиственный период) и у двух 155-летних деревьев в 1970 г. с обильными осадками (826 мм за год, в том числе 422 мм за безлиственный период и 404 мм за вегетационный) и умеренными температурными условиями (6,1 °С за год, –0,8 °С за безлиственный период). После 1998 г. этот показатель стволовой продуктивности стал календарно совпадать.

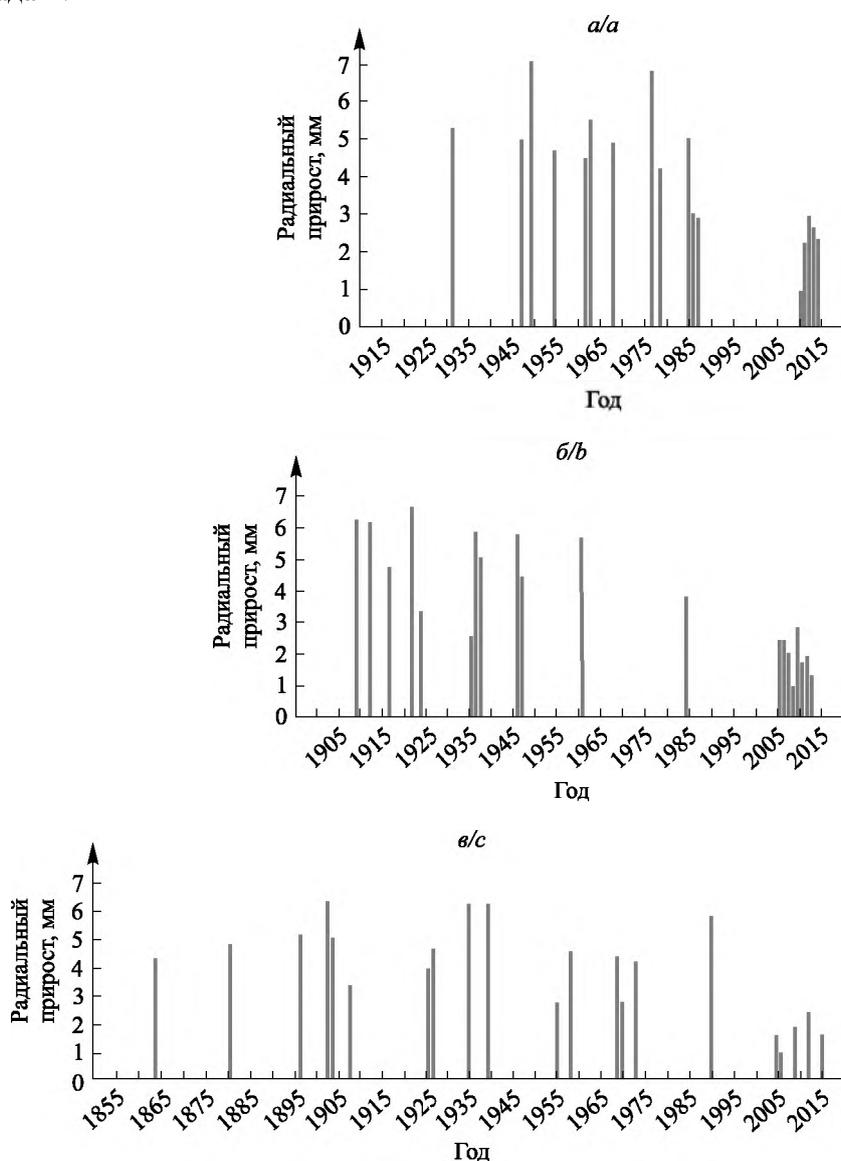


Рис. 2. Многолетний ход изменчивости внутрисериального максимального радиального прироста сосны:  
а – 105 лет; б – 120 лет; в – 155 лет

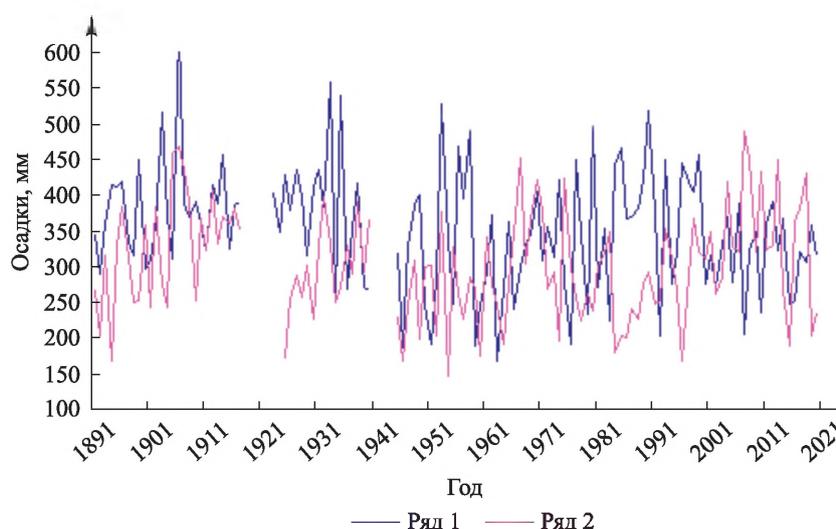
Fig. 2. Multiyear variability of intraseries maximum tree-ring growth of pine trees:  
а – 105 years; б – 120 years; в – 155 years



**Метеорологические величины в годы с максимальным радиальным приростом сосны на кварцево-песчаных почвах в Белорусском Полесье (по наблюдениям на метеостанции Василевичи)**

**Meteorological values in the years with the maximum radial growth of pine on quartz-sandy soils in the Belarusian Polesje (according to observations at the meteorological station Vasilevichi)**

Значение величины	Температура, °С				Осадки, мм			
	Октябрь – апрель	Май – июнь	Май – сентябрь	Год	Октябрь – апрель	Май – июнь	Май – сентябрь	Год
До 1998 г.								
Среднее	-0,2	15,6	15,9	6,6	297	129	343	629
Минимальное	-2,9	12,7	14,8	5,1	176	73	189	362
Максимальное	1,6	17,5	17,3	8,0	452	245	468	826
После 1998 г.								
Среднее	1,4	15,5	16,6	7,7	345	116	332	677
Минимальное	-1,1	12,1	15,3	6,3	262	254	271	533
Максимальное	2,8	18,1	18,7	8,9	489	514	457	790



*Рис. 3. Многолетний ход изменчивости количества осадков за месяцы безлиственного (октябрь – апрель, ряд 1) и вегетационного (май – сентябрь, ряд 2) периодов (по наблюдениям на метеостанции Василевичи)*

*Fig. 3. Multiyear course of variability in precipitation for months of the deciduous (October – April, row 1) and vegetative (May – September, row 2) periods (based on observations at the meteorological station Vasilevichi)*

Годичные эпизоды предельного значения максимального радиального прироста сосны, указывающие на ее потенциал стволовой продуктивности, также календарно не совпадали: у 155-летних деревьев (6,3 мм) – 1903 г., у 120-летних (6,6 мм) – 1923 г., а у 105-летних (7,5 мм) – 1966 г. Сосна смогла проявить свой продукционный потенциал в нарастании стволовой массы в предельном значении на автоморфных кварцевых песках в климатических условиях Белорусского Полесья независимо от погодных условий.

При потеплении климата наиболее благоприятным для нарастания стволовой массы у сосны оказался 2004 г. с наибольшим количеством осадков (790 мм), обильным их выпадением в безлиственный период (419 мм) и относительно холодными месяцами вегетации (13,8 °С).

Учитывая неустойчивую связь радиального прироста с гидротермическими величинами [8] и широкий их диапазон, при котором реализуется максимальная стволовая продуктивность древостоя, невозможно объяснить угнетение сосны, приведшее к ее массовому усыханию, только ростом температуры



при потеплении климата после 1998 г. Ведущая роль в энергетическом обеспечении продукционного процесса принадлежит прямой солнечной радиации [12], поступление которой в Белорусском Полесье изменялось в значительных пределах (рис. 4).

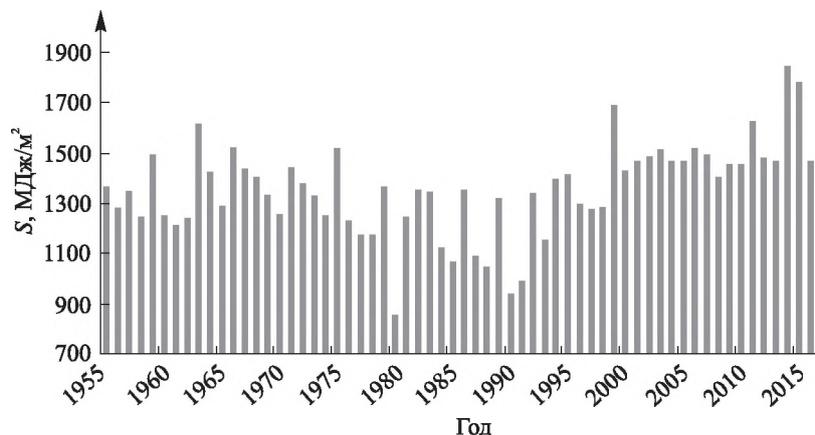


Рис. 4. Динамика поступления прямой солнечной радиации в Белорусском Полесье (по наблюдениям на метеостанции Василевичи)

Fig. 4. Dynamics of direct solar radiation in the Belarusian Polesje (based on observations at the meteorological station Vasilevichi)

Увеличение притока прямой солнечной радиации после 1998 г. на 319 МДж/м<sup>2</sup> (или 26 %) за вегетационные месяцы, по сравнению с уровнем предыдущих лет, было одновременным с потеплением климата. Ее интенсивность особенно возросла в 2014–2015 гг. при недоборе осадков (за эти годы их выпало 543 и 534 мм соответственно). Возникла последовательная цепь явлений, повлиявших на состояние и стволовую продуктивность сосны: поступление солнечной радиации → рост температуры воздушной среды и хвои → неполная обеспеченность транспирационным потоком эвапотранспирации из-за низкого положения грунтовых вод (глубже 2 м) и недобора осадков → лимитирующее действие прямой солнечной радиации на продукционный процесс нарастания стволовой массы как начальное звено этой цепи.

Хвоя сосны к августу приобрела бурю окраску в качестве индикатора солнечного ожога (по аналогии с весенним ожогом у светочувствительных хвойных). Ослабленный древостой стал легкой добычей верхушечного кородея. Появление нового лимитирующего фактора, такого как увеличение притока прямой солнечной радиации, стало причиной массового усыхания сосны в сложившихся в Белорусском Полесье после крупномасштабной осушительной мелиорации почвенно-гидрологических условиях на фоне изменяющегося климата.

Следует подчеркнуть, что усыхание древостоя сосняка мшистого охватило не только его насаждения I–II классов возраста на почвах (бывших «сырых песках») с кварцево-песчаным литологическим профилем и глубоким залеганием грунтовых вод (глубже 2 м) вследствие крупномасштабного осушения болот и заболоченных земель в сельскохозяйственных целях. Очаги кородедов также возникли в сосняках мшистых, орляковых и кисличных с древостоями естественного происхождения, сократившимися после 2018 г. [13].

Прогноз долгосрочной динамики климата по данным дендрохронологических рядов в пределах лесной зоны принципиально невозможен [14]. Однако это не исключает изменений погодно-климатических условий для роста и развития лесных ценозов, особо чувствительных к ним после крупномасштабной осушительной мелиорации в Белорусском Полесье [15].

### Заключение

Крупномасштабная осушительная мелиорация, в результате которой произошло снижение уровня приповерхностных грунтовых вод на сопредельных с освоенными болотами и заболоченными землями кварцево-песчаных территориях, обострила лимитирующее значение естественных экологических факторов (солнечной радиации, температуры и осадков) в их влиянии на состояние и продукционный потенциал сосны, вызвав массовое усыхание древостоя. Не исключены погодно-климатические аномалии в ближайшей и отдаленной перспективе, которые могут приводить к кризисным явлениям в лесоценозах, особенно в искусственно создаваемых на истощенных землях. Повторение кризисных ситуаций будет особенно чувствительно в лесных ландшафтах Белорусского Полесья, которые находятся в постоянном экологическом напряжении.



## Библиографические ссылки

1. Лабоха КВ, Луферов АО, Карась АН. Современное состояние сосновых лесов Беларуси. *Труды БГТУ. Серия 1. Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов*. 2020;1:28–38.
2. Багинский ВФ, Лапицкая ОВ. Ведение хозяйства в сосновых лесах Белорусского Полесья. *Известия Гомельского государственного университета имени Ф. Скорины*. 2016;3:16–20.
3. Резолюция Международной научно-практической конференции по вопросам деревообработки и антропогенного воздействия на лесные ресурсы. В: Саскевич ПА, Тибец ЮЛ, Миранков СВ, редакторы. *Материалы Международной научно-практической конференции по вопросам деревообработки и антропогенного воздействия на лесные ресурсы; 14–15 сентября 2017 г.; Могилев – Горки, Беларусь*. Горки: БГСХА; 2017. с. 8–15.
4. Сазонов АА, Звягинцев ВВ, Кухта ВН, Тупик ПВ. *Ведение лесного хозяйства в условиях короедного усыхания сосны. Практическое руководство № 1*. Минск: БГТУ; 2017. 11 с.
5. Киселев ВН. *Белорусское Полесье: экологические проблемы мелиоративного освоения*. Минск: Наука и техника; 1987. 151 с.
6. Киселев ВН, Матюшевская ЕВ. *Экология ели*. Минск: БГУ; 2004. 217 с.
7. Черныш АФ, Сергеенко ВТ, Цырибко ВВ. Сравнительная оценка агрофизических, микроморфологических свойств и минералогического состава, отражающих степень устойчивости дерново-подзолистых почв на лёссовидных и моренных суглинках к эрозионной деградации. *Почвоведение и агрохимия*. 2014;1:32–39.
8. Матюшевская ЕВ. *Факторы изменчивости радиального прироста деревьев*. Киселев ВН, редактор. Минск: БГУ; 2017. 231 с.
9. Douglass AE. A method of estimating rainfall by the growth of trees. *Bulletin of the American Geographical Society*. 1914; 46(5):321–335.
10. Ермоленко ВВ, Шкабаро ЛС. О некоторых вопросах охраны окружающей среды при мелиорации земель Белорусского Полесья. В: Стрелец БИ, редактор. *Мелиорация земель Полесья и охрана окружающей среды*. Киев: УкрНИИГиМ; 1978. с. 13–21.
11. Киселев ВН. Лесные ландшафты на кварцевых песках Белорусского Полесья. *Лесное и охотничье хозяйство*. 2009; 3:21–23.
12. Тимирязев КА. *Жизнь растения*. Москва: Сельхозгиз; 1936. 329 с.
13. Бабуль ДА, Сазонов АА, Кухта ВН, Уколова ЕА. Состояние сосновых насаждений и анализ встречаемости короедного усыхания в отдельных лесхозах Гомельского Полесья в 2017–2020 гг. *Труды БГТУ. Серия 1. Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов*. 2021;2:112–120. DOI: 10.52065/2519-402X-2021-246-14-112-120.
14. Демаков ЮП. *Диагностика устойчивости лесных экосистем: методологические и методические аспекты*. Йошкар-Ола: МарГТУ; 2000. 416 с.
15. Матюшевская ЕВ. *Ель и сосна в экологических напряженных лесных ландшафтах Беларуси*. Киселев ВН, редактор. Минск: БГУ; 2021. 191 с.

## References

1. Labokha KV, Lufarov OA, Karas' AN. Current state of the pine forests of Belarus. *Trudy BGTU. Seriya 1. Lesnoe khozyaistvo, prirodopol'zovanie i pererabotka vozobnovlyаемых resursov*. 2020;1:28–38. Russian.
2. Baginsky VF, Lapitskaya OV. Management activities in the pine forests of the Belarusian Polesie. *Izvestiya Gomel'skogo gosudarstvennogo universiteta imeni F. Skoriny*. 2016;3:16–20. Russian.
3. [Resolution of the International scientific and practical conference on woodworking and anthropogenic impact on forest resources]. In: Saskevich PA, Tibets YuL, Mirankov SV, editors. *Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii po voprosam derevoobrabotki i antropogenogo vozdeistviya na lesnye resursy; 14–15 sentyabrya 2017 g.; Mogilev – Gorki, Belarus'* [Materials of the International scientific and practical conference on woodworking and anthropogenic impact on forest resources; 2017 September 14–15; Mogilev – Gorki, Belarus]. Gorki: Belarusian State Agricultural Academy; 2017. p. 8–15. Russian.
4. Sazonov AA, Zvyagintsev VB, Kukhta VN, Tupik PV. *Vedenie lesnogo khozyaistva v usloviyakh koroednogo usykhaniya sosny. Prakticheskoe rukovodstvo № 1* [Forestry under conditions of pine bark beetle drying. Practical guide No. 1]. Минск: Belarusian State Technological University; 2017. 11 p. Russian.
5. Kisialiou VN. *Belorusskoe Poles'e: ekologicheskie problemy meliorativnogo osvoeniya* [Belarusian Polesje: environmental problems of land reclamation]. Минск: Nauka i tekhnika; 1987. 151 p. Russian.
6. Kisialiou VN, Matsiusheuskaya KV. *Ekologiya eli* [Ecology of spruce]. Минск: Belarusian State University; 2004. 217 p. Russian.
7. Chernysh AF, Sergeenko VT, Tsyribko VB. Comparative assessment of agrophysical, micromorphological properties and mineralogical structure, reflecting the degree of resistance to erosion degradation of sod-podzolic soils on loesslike and moraine loams. *Pochvovedenie i agrokimiya*. 2014;1:32–39. Russian.
8. Matsiusheuskaya KV. *Faktory izmenchivosti radial'nogo prirosta derev'ev* [Factors of variability of radial growth of trees]. Kisialiou VN, editor. Минск: Belarusian State University; 2017. 231 p. Russian.
9. Douglass AE. A method of estimating rainfall by the growth of trees. *Bulletin of the American Geographical Society*. 1914; 46(5):321–335.
10. Ermolenko VV, Shkabaro LS. [On some issues of environmental protection during land reclamation of the Belarusian Polesje]. In: Strelets BI, editor. *Melioratsiya zemel' Poles'ya i okhrana okruzhayushchei sredy* [Land reclamation of Polesje and environmental protection]. Kyiv: Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation of Ukrainian Academy of Agrarian Sciences; 1978. p. 13–21. Russian.
11. Kisialiou VN. [Forest landscapes on the quartz sands of the Belarusian Polesje]. *Lesnoe i okhotnich'e khozyaistvo*. 2009;3: 21–23. Russian.
12. Timiryazev KA. *Zhizn' rasteniya* [Plant life]. Moscow: Sel'khozgiz; 1936. 329 p. Russian.



13. Babul' DA, Sazonov AA, Kukhta VN, Ukolova EA. State of pine stands and analysis of the incidence of pine drying in separate forestry enterprises of the Gomel Polesia in 2017–2020. *Trudy BGTU. Seriya 1. Lesnoe khozyaistvo, prirodopol'zovanie i pererabotka vozobnovlyaemykh resursov*. 2021;2:112–120. Russian. DOI: 10.52065/2519-402X-2021-246-14-112-120.

14. Demakov YuP. *Diagnostika ustoichivosti lesnykh ekosistem: metodologicheskie i metodicheskie aspekty* [Diagnostics of the stability of forest ecosystems: methodological and methodological aspects]. Yoshkar-Ola: Mariiskii Gosudarstvennyi Tekhnicheskii Universitet; 2000. 416 p. Russian.

15. Matsiusheuskaya KV. *El' i sosna v ekologicheski napryazhennykh lesnykh landshaftakh Belarusi* [Spruce and pine in ecologically stressed forest landscapes of Belarus]. Kisialiou VN, editor. Minsk: Belarusian State University; 2021. 191 p. Russian.

Получена 25.05.2021 / исправлена 28.05.2021 / принята 01.10.2021.  
Received 25.05.2021 / revised 28.05.2021 / accepted 01.10.2021.

УДК 552.086

## КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ПЕТРОГРАФИЯ: ПОДХОДЫ И ПРИЛОЖЕНИЯ

Е. А. ТОЙБНЕР<sup>1)</sup>, В. П. САМОДУРОВ<sup>1)</sup>

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

Рассмотрено текущее состояние количественной петрографии как научно-производственного направления геологии. Прогресс в этой области связан с развитием цифровой оптики и информационных технологий анализа изображений. Данное направление активно разрабатывается во многих смежных науках, но в петрографии пока преобладает классический описательный подход. Объектами изучения количественной макропетрографии являются штUFFы, керн скважин и полированные плиты, а микропетрографии – шлифы и аншлифы горных пород, поверхности скола пород и иммерсионные препараты. Цель исследований состоит в разработке и представлении новых методических подходов цифровой микроскопии для анализа руд, пород и минералов, а также возможностей информационных технологий анализа изображений для перехода от методов классического описания горных пород к количественной петрографии.

**Ключевые слова:** цифровая петрография; мультифокальная петрография; флуоресцентная микроскопия; сегментация изображений; количественный анализ пород.

---

### Образец цитирования:

Тойбнер ЕА, Самодуров ВП. Количественная петрография: подходы и приложения. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология.* 2021;2:91–101. <https://doi.org/10.33581/2521-6740-2021-2-91-101>

### For citation:

Taebner AA, Samodurov VP. Quantitative petrography: approaches and applications. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology.* 2021;2:91–101. Russian. <https://doi.org/10.33581/2521-6740-2021-2-91-101>

---

### Авторы:

**Елена Анатольевна Тойбнер** – аспирантка кафедры региональной геологии факультета географии и геоинформатики. Научный руководитель – В. П. Самодуров.

**Владимир Петрович Самодуров** – кандидат геолого-минералогических наук, доцент, доцент кафедры региональной геологии факультета географии и геоинформатики.

### Authors:

**Alena A. Taebner**, postgraduate student at the department of regional geology, faculty of geography and geoinformatics. [manul1994@mail.ru](mailto:manul1994@mail.ru)

<https://orcid.org/0000-0001-7428-8498>

**Vladimir P. Samodurov**, PhD (geology and mineralogy), doцент; associate professor at the department of regional geology, faculty of geography and geoinformatics.

[vladimir\\_samodurov@tut.by](mailto:vladimir_samodurov@tut.by)



## QUANTITATIVE PETROGRAPHY: APPROACHES AND APPLICATIONS

A. A. TAEUBNER<sup>a</sup>, V. P. SAMODUROV<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Belarusian State University, 4 Niezaliežnasci Avenue, Minsk 220030, Belarus

Corresponding author: A. A. Taebner (manul1994@mail.ru)

Quantitative petrography is a scientific and industrial direction of geology, which made huge progress due to developments and inventions in information technology and optics in the last decade. This article is introducing the modern and scientific directions of quantitative petrography and describes their current state of art as well as methodical approaches and their application. The research objects of quantitative macropetrography are hand specimens, borehole cores and polished tiles, and of micropetrography are thin and polished sections of rocks samples, splitted rock surfaces and immersion preparations. The goal of the research is to develop and present new methodological approaches of digital microscopy for the analysis of ores, rocks and minerals, as well as to investigate the morphological image analysis capabilities for the transforming from the classical description methods to quantitative petrography.

**Keywords:** digital petrography; multifocal petrography; fluorescence microscopy; image segmentation; quantitative analysis of rocks samples.

### Введение

Цифровая петрография является современным быстро развивающимся научным направлением, объединяющим геологические, математические и физические методы и подходы к изучению руд, пород и минералов. Переход от классической описательной петрографии к цифровой произошел благодаря появлению цифровой аппаратуры, позволяющей измерять параметры цветности изображений изучаемых объектов. Керн скважин, штуфы и полированные плиты горных пород – объекты цифровой макропетрографии, а шлифы, аншлифы, поверхности скола пород и иммерсионные препараты – объекты микропетрографии.

В настоящее время цифровая микропетрография применяется в основном для фотодокументации шлифов горных пород, а цифровая макропетрография широко используется в практике исследований керна скважин для хранения литологической информации. Современные цифровые петрографические микроскопы отличаются от классических не только оптической системой, но и автоматизацией управления, а также программным обеспечением, позволяющим выполнять измерения и обработку результатов исследований. Таким образом, цифровая петрография может рассматриваться как аналитическая основа количественной петрографии – научного направления, активно развивающегося в настоящий момент.

Представленные в настоящей статье методические подходы мультифокальной петрографии (Z-стекинг) и ультрафиолетовой (УФ) петрографии пока не используются в практике геологических исследований в полной мере, так же как методы количественного анализа минеральных компонентов шлифов. Рассмотрение особенностей и возможностей этих научных направлений является задачей данной работы.

### Методы и подходы

Цифровой петрографический микроскоп отличается от классического отсутствием, во-первых, промежуточной линзы в тубусе, во-вторых, окуляров и объектива фотоаппарата, так как изображение шлифов передается объективом микроскопа непосредственно на матрицу фотокамеры. Это существенно уменьшает aberrации оптической системы микроскопа. Качество изображения в данном случае определяется качеством объектива. Классическая оптическая система непригодна для целей цифровой петрографии. Микропетрографические исследования могут проводиться в светлом и темном поле в режимах «на прохождение» и «на отражение». В классической петрографии шлифы горных пород обычно исследуются в светлом поле в режиме «на прохождение», поэтому на качество изображения влияют оптика конденсора и свойства источника света.

Большинство микроскопов снабжены галогенными лампами накаливания, которые при регулировке напряжения заметно меняют цветность. Для получения воспроизводимых количественных измерений цветности требуется калибровка цвета источника с использованием балансирующего светофильтра дневного света. Этот фильтр, а также нейтральные фильтры ND входят в состав современных цифровых микроскопов. Без корректировки освещения цветность изображений значительно меняется, и они становятся непригодными для количественного анализа.

Оптическое разрешение микроскопа зависит от числовой апертуры объективов и составляет от 4,19 мкм для объектива с увеличением  $\times 2$  до 0,24 мкм для объектива с увеличением  $\times 100$ . Цифровая



камера микроскопа обладает повышенной чувствительностью как для большого изображения, так и для его резкого захвата при увеличении. Например, 8-битовая камера Nikon серии DS-Fi2 имеет возможность захватывать микроструктуру объекта при максимальном разрешении  $2560 \times 1920$  пк.

Современные цифровые микроскопы снабжены управляемыми моторизованными предметными столиками, что позволяет не только создавать фотографические мозаики шлифов большого размера, но и регистрировать мультифокальные изображения.

Макросъемка объемных образцов (штуфов, полированных плит) и керн скважин выполняется с помощью цифровых фотокамер. Оцифровка керн скважин в настоящее время является нормальной практикой для крупных компаний, где, кроме кернохранилищ и полевых описаний, имеется специализированная камеральная аппаратура, позволяющая получать фотографии как в видимом диапазоне света, так и в ультрафиолете. Результаты фотодокументации керн в полевых условиях ухудшаются из-за вариаций освещения, что требует последующей цветокоррекции фотографий. В лабораторных сканерах имеется своя система освещения, и съемка керн выполняется в стабильных условиях.

Цифровая микросъемка шлифов и аншлифов горных пород, различных препаратов, включая иммерсионные, позволяет получать цифровые изображения для последующего их использования при решении различных производственных задач, таких как подсчет индекса мафичности пород, классификация минералов и определение их содержания, а также установление количественных морфологических характеристик зерен [1–8].

Цифровые методы анализа керн скважин и шлифов получили распространение в нефтегазовой геологии. Они используются для оценки качества резервуаров углеводородов с учетом таких параметров, как пористость и проницаемость, информации о распределении размеров зерен в заданном литологическом интервале. Разработаны эффективные методы количественных исследований размеров зерен в составе пород, порового пространства и их влияния на проницаемость [9; 10]. К настоящему времени появились разработки, позволяющие автоматизировать количественное определение непрозрачных рудных минералов и структурно-текстурных характеристик руд для улучшения технологий их переработки [11; 12]. Однако в шлифах горных пород многие особенности минералов, в частности двойникование, угол погасания, плеохроизм, наличие вулканического стекла либо канадского бальзама, создают дополнительные трудности для автоматизированной идентификации минералов. На рис. 1 представлены изменения оптических характеристик минералов на примере микрофотографий шлифа габбро, снятых без анализатора и в скрещенных николях, в исходной ориентации и с поворотом. Из рис. 1 видно, что, повернув шлиф на  $45^\circ$ , можно добиться полного просветления всех зерен пироксенов, а также отличить от них рудные минералы.

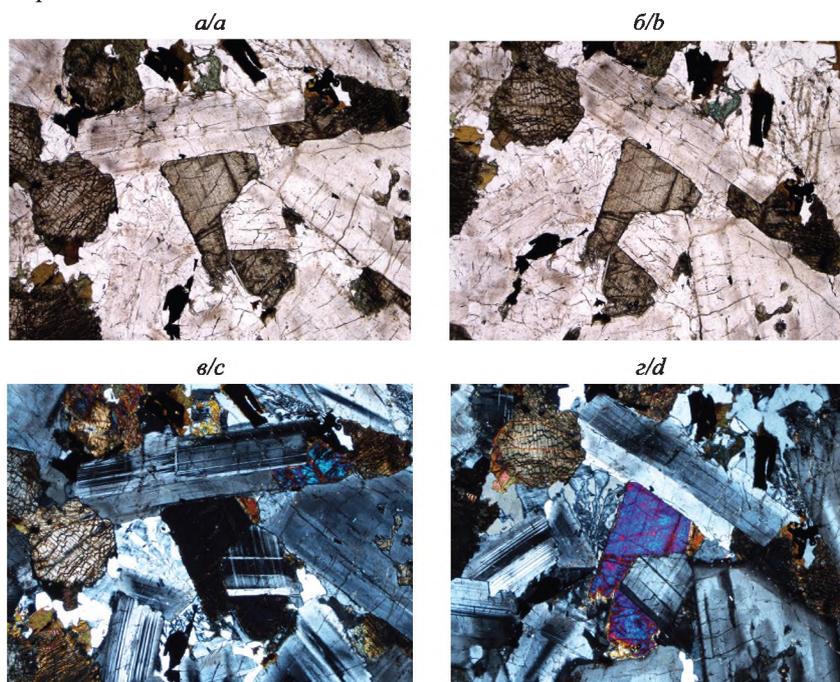


Рис. 1. Микроизображения габбро в исходной ориентации без анализатора (а) и в скрещенных николях (в), а также при повороте на  $45^\circ$  без анализатора (б) и в скрещенных николях (г). Размер поля зрения – 6,25 мм

Fig. 1. Thin sections microimages of gabbro. Initial plane polarised light (PPL) image (a) and cross polarised light (CPL) image (c). Rotated by  $45^\circ$  PPL image (b) and CPL image (d). Field of view – 6.25 mm



Разнообразие кристаллооптических характеристик минералов можно учесть в программах идентификации последних, но они будут оказывать влияние на последовательность определения минералов, кроме того, полностью автоматизированной программы для всех типов пород в настоящее время не существует.

### Результаты и их обсуждение

Возможности современных цифровых микроскопов существенно расширились благодаря автоматизации их управления (системы смены объективов, установки освещения, управления диафрагмами и столиком микроскопа, а также системы высокоточной моторизованной Z-фокусировки объективов). Метод мультифокальной петрографии (Z-стекинга) используется в биомедицине, но пока не нашел широкого применения в петрографии, хотя он открывает новые возможности исследований. Хорошо известна проблема недостатка глубины резкости короткофокусных объективов микроскопа. Малая глубина резкости объективов обеспечивает качественное изображение только в ограниченном диапазоне высоты, а остальная часть изображения остается нерезкой. Моторизованный цифровой микроскоп позволяет выполнить захват серии изображений изучаемого объекта при разных уровнях фокуса. Эта серия изображений может быть собрана в единое изображение (стек) программными средствами.

Результатом Z-стекинга является расширенное фокальное изображение (*extended focus image*, EFI). На рис. 2 представлена микрофотография Z-стека золота в составе тяжелой фракции золотоносных песков. Расширенное фокальное изображение здесь составлено из 50 исходных фотографий. В итоге все детали изображения находятся в фокусе по всему диапазону толщины препарата и без потери разрешающей способности прибора. С помощью этой методики возможно определение толщины зерен в составе анализируемого объекта.

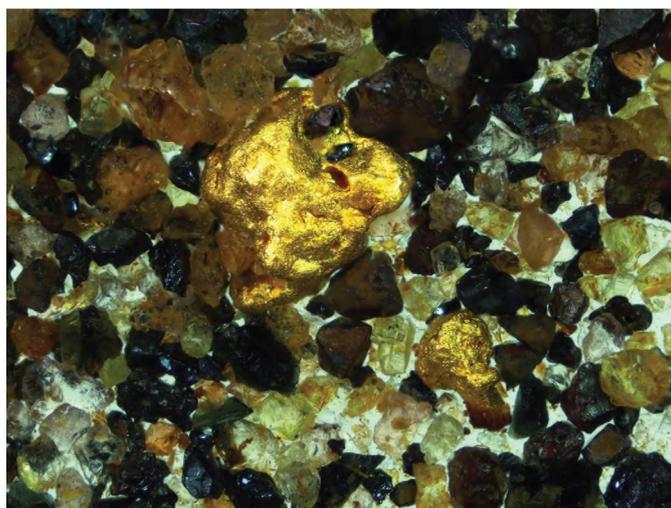


Рис. 2. Расширенное фокальное изображение золота в составе тяжелой фракции золотоносных песков.  
Размер поля зрения – 6,25 мм

Fig. 2. Extended focal image of gold in the heavy fraction of the auriferous sands.  
Field of view – 6.25 mm

Микрофотографии, полученные методом Z-стекинга, сохраняют цветность анализируемых объектов, в отличие, например, от сероцветных микрофотографий сканирующей электронной микроскопии. Помимо этого, Z-стекинг позволяет исследовать сколы горных пород, так как он работает в режиме «на отражение» при боковом освещении поверхности. Хорошие результаты данный метод показывает и в режиме «на прохождение» в иммерсионных препаратах и других прозрачных объектах. Микрофотография, представленная на рис. 2, получена с использованием двух источников света – подсветки в режиме «на прохождение» и бокового освещения в режиме «на отражение». В итоге непрозрачные минералы, в том числе золотины, проявляют себя в отраженном свете, а прозрачные минералы классифицируются по форме, цвету, дефектам и включениям в проходящем свете. Возможность изучения поверхности скола пород методом Z-стекинга в режиме «на отражение» позволяет выполнять многие работы без изготовления шлифов горных пород. Это существенно ускоряет и удешевляет подготовку пород к микропетрографическим исследованиям.



Метод Z-стекинга может быть использован в еще одном научном направлении – УФ-микроструктурологии. Современные цифровые эпифлуоресцентные микроскопы снабжены источниками УФ-света и светофильтрами для проведения УФ-исследований. Такие исследования широко используются в микробиологии, но в микроструктурологии они до настоящего времени не осуществляются. Классическим подходом в петрографии является изучение шлифов горных пород в проходящем свете, а УФ-исследования выполняются в отраженном свете. При стандартной толщине шлифов 0,03 мм большинство минералов становятся прозрачными, и поэтому УФ-излучение проходит через шлиф, слабо взаимодействуя с минеральными зернами.

Наоборот, в массивных образцах в режиме «на отражение» УФ-излучение полностью поглощается, вызывая флуоресценцию минералов. Эпифлуоресцентный микроскоп снабжен двойным светофильтром, позволяющим направлять УФ-излучение на поверхность образца через объектив и пропускать видимый свет люминесценции на матрицу фотоаппарата. Источником УФ-света в наших исследованиях была ртутная лампа С-HGFI. Качество УФ-микроструктурологических изображений, как правило, повышается, поскольку разрешение микроскопа зависит от длины волны света. Улучшению качества изображений способствует то обстоятельство, что зерна флуоресцирующих минералов сами выступают источниками света, а не освещаются конденсором, который вносит дополнительные аберрации.

Флуоресценция вызывается микроэлементами-активаторами [13] и является одним из типоморфных признаков минералов, так как цветность УФ-свечения в данном месторождении сохраняется, поскольку физико-химические условия формирования пород в пределах месторождения стабильны. Повышенное содержание люминофоров в составе минералов обычно связано с хемогенными и гидротермальными процессами, растворы которых обогащены активаторами.

Математические методы служат основой для количественной микро- или макропетрографии. Данное научное направление в настоящее время находится в развитии, и отдельные сегменты этого методического подхода разработаны в разной степени. Основными этапами здесь являются сбор цифровой информации (микро- и макрофотографий), подготовка цифровых изображений к анализу и, наконец, количественный анализ различных параметров – содержания минералов в породе, их морфологических свойств, структурно-текстурных характеристик, статистических параметров распределения.

Цифровые фотографии макрообъектов можно получить с помощью современных фотокамер, а также путем сканирования специальными приборами отполированных образцов горных пород либо керн скважин. Микроизображения же формируются из сигналов, подаваемых объективом микроскопа непосредственно на светочувствительную матрицу камеры. Получаемые цифровые фотографии не всегда можно использовать для дальнейшего количественного анализа руд, пород и минералов. Обычно приходится применять коррекцию исходных фотографий для устранения различных дефектов, связанных с вариациями освещения и съемки, дефектами изучаемых объектов и другими негативными эффектами.

Предварительная обработка позволяет упростить и улучшить последующие этапы анализа изображений. К наиболее распространенным методам подготовки цифровых фотографий к количественному анализу относятся:

- деконволюция (*deconvolution*) – позволяет убрать эффекты размытия, вызванные сверткой (пятна, размытие) из-за функции рассеяния точек изображения;
- вычитать фон (*subtract background*) – удаляет гладкие непрерывные фоны и подходит для работы с изображениями иммерсионных препаратов;
- размытие по Гауссу (*Gaussian blur*) – используется для устранения шумов на изображении;
- выделение краев (*find edges*) – применяется для выделения резких изменений интенсивности в активном изображении с помощью оператора Собеля;
- регулировка порога (*thresholding*) – обеспечивает простейшую сегментацию изображения горной породы на маски отдельных минералов, позволяя эффективно определять процентное содержание анализируемого минерала в составе породы.

Этап подготовки цифровых фотографий к анализу включает также пространственную калибровку изображений – установление соотношения между размером пикселя и стандартной единицей измерения (в макропетрографии стандартной единицей измерения является миллиметр, в микропетрографии – микрометр). Без этого этапа многие количественные параметры теряют физический смысл, так как исходные результаты были получены в пикселях. Дальнейшая работа с откалиброванным изображением предполагает два направления: изучение отдельных минералов либо групповой анализ. В первом случае анализируется конкретное зерно или регион интереса (*region of interest, ROI*), во втором – маска изучаемого минерала в пределах всего изображения.

Одной из основных задач количественной петрографии является определение минералогического состава изучаемой породы. Это направление исследований основано на технологиях сегментации



и последующей классификации объектов, представленных на цифровых изображениях. Существуют два подхода к процедуре классификации объектов цифровой фотографии: без обучения и с обучением. В первом случае используется готовая нейронная сеть, которая самостоятельно выделяет классы, во втором случае предлагается вручную выделить набор данных, характерных для каждого класса объектов, и тем самым обучить метод или сеть [14].

Главным параметром, по которому осуществляется выделение минералов, являются их цветовые характеристики, а определение горных пород происходит на основании минералогического состава, структуры и текстуры пород. Из-за разнообразия кристаллооптических свойств минералов последовательность анализа минералогического состава может меняться. Например, при равнозначных условиях съемки полированной плиты гранита и штуфа стадийность выделения породообразующих минералов будет одинакова. Однако если попробовать применить данную технологию сегментации к шлифам горных пород, то фактически будет получен неудовлетворительный результат, поскольку в шлифах горных пород кристаллооптические свойства минералов иные (цвет минералов, двойникование, цвета интерференции, угол погасания, плеохроизм, наличие стекловатой матрицы либо канадского бальзама).

К настоящему времени разработаны алгоритмы машинного обучения с набором функций для сегментации изображений, пригодные для анализа горных пород. Пример количественного анализа макроизображений, полученных путем сканирования отполированных образцов гранитов, представлен на рис. 3. Сегментация минералов выполнена с помощью плагина *Trainable Weka Segmentation (TWS)* программного продукта *ImageJ*. Созданы классы данных, каждому из которых соответствует породообразующий минерал: Qtz – кварц, Kfs – калиевый полевой шпат, Pl – плагиоклаз, Bt – биотит. Таким образом, была сформирована база данных для обучения классификатора (дерева решений) для анализа семейства гранитов по их макроизображениям.

На тестовой выборке из нескольких изображений производилось обучение классификатора. Далее с помощью таких метрик, как точность (*precision*) и полнота (*recall*), оценивалось качество классификации, при необходимости база данных дополнялась новыми ROI для класса с максимальной ошибкой. В результате по каждому макроизображению гранитов были получены классификационные изображения (см. рис. 3).

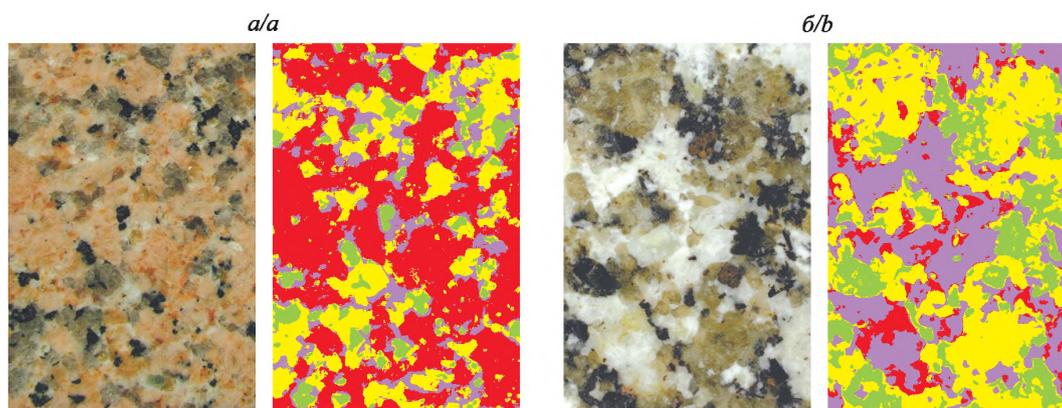


Рис. 3. Исходные (слева) и результирующие (справа) макроизображения образцов гранитов: *a* – образец 1; *b* – образец 2.

Идентифицированные классы по цвету:  
желтый – Qtz, красный – Kfs, синий – Pl, зеленый – Bt

Fig. 3. Original (on the left) and result images (on the right) of granite samples: *a* – sample 1; *b* – sample 2.

Identified classes by color:  
yellow – Qtz, red – Kfs, blue – Pl, green – Bt

В эксперименте участвовал ансамбль решающих деревьев (*fast random forest*), состоящий из 200 деревьев решений. Процент ошибок варьировался от 3,531 до 6,308 %. Чаще всего алгоритм ошибался при резком переходе к гранитам с минимальным содержанием калиевого полевого шпата (Kfs), однако эта погрешность исчезла после накопления критического количества данных. Рассматриваемый подход имеет существенные преимущества: кристаллические породы, содержащие калиевые полевые шпаты и плагиоклазы, плохо поддаются классификации из-за вариаций структурной упорядоченности, в то время как параметры цветности этих минералов являются надежным критерием для их классификации. Результаты количественного минералогического анализа исследуемых образцов гранитов представлены в табл. 1.



Таблица 1

Результаты количественного анализа образцов семейства гранитов

Table 1

Results of quantitative analysis of granite samples

Исследуемые образцы	Количество зерен				Содержание, %			
	Qtz	Kfs	Pl	Bt	Qtz	Kfs	Pl	Bt
Образец 1	1386	677	1277	723	31,680	45,554	14,424	7,155
Образец 2	447	302	438	247	32,141	9,068	43,629	15,152

Результаты применения данной технологии для анализа микроизображений шлифов горных пород на примере чарнокитов Восточной Антарктиды представлены в табл. 2. Микросъемка произведена с помощью цифрового микроскопа Nikon серии Eclipse Ni-E, оснащенного камерой Nikon серии DS-Fi2. Полученные микрофотографии представляют собой пары изображений, снятых в режимах PPL (без анализатора) и CPL (с анализатором). Сегментация выполнена по трем группам минералов: калиевые (Pl, Kfs и Qtz), мафические (Bt, Hbl, Орх и Срх) и рудные (rudn).

Для данных образцов содержание минералов было определено как автоматическим, так и классическим способом. Сравнение полученных результатов представлено на рис. 4. На этой диаграмме прослеживается погрешность (до  $\pm 10\%$ ) определения содержания минералов визуальным (классическим) способом.

Таблица 2

Результаты количественного анализа образцов чарнокитов

Table 2

Results of quantitative analysis of charnockite samples

Номер образца	Содержание, %		
	Калиевые минералы	Мафические минералы	Рудные минералы
11(2)	92,58	6,73	0,69
17(2)	94,11	4,17	1,72
18	81,49	14,66	3,85
22	92,51	7,48	0,01
34	92,66	5,80	1,54
56	96,89	2,73	0,39
58	85,28	12,97	1,75

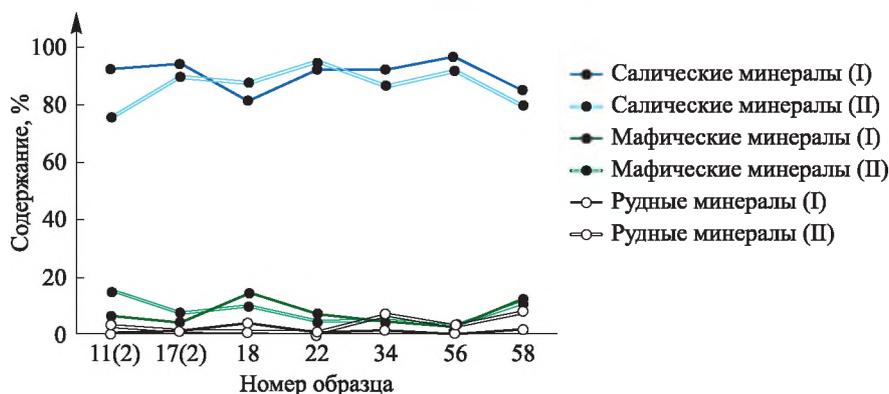


Рис. 4. Процентное содержание групп минералов, подсчитанное автоматическим (I) и классическим (II) способами

Fig. 4. The percentages of mineral groups calculated by automatic (I) and classical (II) methods



Макропетрография позволяет не только произвести количественный анализ, но и определить морфологические параметры минералов. Дескрипторы формы, используемые в данной работе, основаны на геометрических измерениях двух классов: исследуемых объектов и охватывающих их оболочек. Исследуемые объекты обладают следующими параметрами: *area* – площадь объекта,  $\text{пк}^2$ ; *perimeter* – длина внешней границы объекта,  $\text{пк}$ ; *height* – высота объекта; *width* – ширина объекта; *major axis* – конечные точки  $(x_1, y_1)$  и  $(x_2, y_2)$  самого длинного отрезка, который можно провести через объект; *minor axis* – конечные точки  $(x_1, y_1)$  и  $(x_2, y_2)$  самого длинного отрезка, который можно провести через объект перпендикулярно *major axis*; *axis length long* – длина самой длинной оси объекта; *axis length short* – длина самого короткого отрезка, который можно провести через объект перпендикулярно *major axis*. Длины осей вычисляются из координат их конечных точек  $(x_1, y_1)$  и  $(x_2, y_2)$ .

Оболочки, охватывающие объект, включают два типа: ограничивающий прямоугольник (*bounding box*) и выпуклую оболочку (*convex hull*). Ограничивающий прямоугольник представляет собой наименьший прямоугольник, охватывающий исследуемый объект, и описывается следующими измерениями: *VX* и *VY* – координаты верхнего левого угла прямоугольника; *width (bounding box)* – ширина ограничивающего объект прямоугольника; *length (bounding box)* – длина ограничивающего объект прямоугольника. Выпуклая оболочка определяется как наименьшая выпуклая форма, которая содержит объект, и характеризуется следующими параметрами: *convex area* – площадь выпуклой оболочки, охватывающей объект,  $\text{пк}^2$ ; *convex perimeter* – периметр выпуклой оболочки, охватывающей объект,  $\text{пк}$ .

Существуют дескрипторы формы, которые чувствительны только к отклонениям определенного типа округлости (*circularity*): выпуклость (*convexity*), позволяющая более точно измерить неровность объекта, и округлость (*roundness*), исключающая локальные неровности [15, p. 29]. Выпуклость (*convexity*) – это относительная величина, на которую объект отличается от выпуклого объекта. Степень выпуклости может быть найдена как отношение периметра выпуклой оболочки объекта к периметру самого объекта. Компактность (*compactness*) определяется как отношение площади объекта к площади круга с таким же периметром (максимальное принимаемое значение – 1). Целостность (*solidity*) – дескриптор, который описывает степень целостности, массивности объекта и может быть получен как отношение площади объекта к площади охватывающей его выпуклой оболочки. Соотношение сторон (*aspect ratio*) – это соотношение между высотой и шириной объекта. Эксцентриситет (*eccentricity*) – отношение длины самого длинного отрезка, который можно провести через объект перпендикулярно *major axis*, к длине самой длинной оси объекта (величина варьирует от 0 до 1). Данный дескриптор формы также известен как эллиптичность (*ellipticity*). Удлинение (*elongation*) – это соотношение между шириной и длиной ограничивающего объект прямоугольника.

В качестве примера для морфологического анализа отобрана маска зерен биотита. Всего было определено и проанализировано 1250 зерен этого минерала в исследуемом образце гранита. В табл. 3 представлены параметры и дескрипторы лишь первых пяти зерен, ввиду того что полная таблица содержит большой объем данных.

Таблица 3

Морфологические параметры и дескрипторы формы зерен биотита в граните

Table 3

Morphological parameters and shape descriptors of biotite granite grains

Номер зерна	Морфологические параметры				Дескрипторы формы					
	<i>area</i> , мм <sup>2</sup>	<i>perimeter</i> , мм	<i>major axis</i> , $\text{пк}$	<i>minor axis</i> , $\text{пк}$	<i>roundness</i>	<i>convexity</i>	<i>compactness</i>	<i>solidity</i>	<i>aspect ratio</i>	<i>eccentricity</i>
1	0,05	1,20	6,25	1,43	0,23	1,00	0,47	0,74	4,38	0,23
2	0,08	1,10	4,16	3,06	0,74	1,00	0,81	0,80	1,36	0,74
3	9,39	13,90	41,30	37,50	0,91	0,82	0,61	0,83	1,10	0,91
4	0,25	2,39	9,59	4,25	0,44	1,00	0,54	0,76	2,26	0,44
5	0,02	0,37	2,26	1,13	0,50	1,00	1,00	1,00	2,00	0,50

Конечными результатами количественного анализа минералов являются статистические параметры. К наиболее распространенным параметрам, определяемым для некоторого множества значений величины, относятся минимальное (*Min*) и максимальное (*Max*) значения, среднее арифметическое значение (*Mean*), медиана значений (*Median*), самое частое значение в наборе данных (*Mode*), а также



стандартное отклонение для набора данных (*StdDev*). Последний параметр характеризует среднее отклонение случайной величины от среднего арифметического значения при конечном числе измерений.

Кроме того, стоит отметить статистические параметры, описывающие отдельные характеристики цвета (например, яркость), а также значение серого (для изображений в градациях серого). К ним относятся параметры *Min*, *Max*, *Mean*, *Modal gray level*, которые представляют минимальное и максимальное, среднее и наиболее часто встречающееся значения серого одного объекта или ROI соответственно, а также *Median* – медиана значений пикселей.

*Integrated density (IntDen)* – это сумма значений пикселей в целом изображении либо определенном ROI, эквивалентная произведению площади и среднего значения серого. *Raw integrated density (RawIntDen)* представляет собой необработанную интегрированную плотность, также является суммой значений пикселей и в неоткалиброванном изображении равняется *IntDen*.

Для анализа яркости пикселей, входящих в ROI, используется стандартное отклонение *StdDev*, а для определения процента пикселей на изображении, которые были выделены с применением метода *threshold*, – параметр *Area fraction*. Дополнительными статистическими параметрами, которыми можно воспользоваться при анализе интенсивности пикселей, являются пространственные средневзвешенные моменты 3-го порядка (*Skewness*) и 4-го порядка (*Kurtosis*).

Еще одной полезной характеристикой объекта исследования можно считать *Feret's diameter*. Это не диаметр в его привычном понимании, а общее название группы диаметров, которые происходят из расстояния между любыми двумя точками касательных к контуру выделения ROI в четко определенном положении. К данной характеристике относятся такие параметры, как минимальный и максимальный диаметр (*MinFeret* и *MaxFeret* соответственно) после рассмотрения во всех возможных положениях от 0 до 180° (*FeretAngle*), начальные координаты (*FeretX* и *FeretY*).

Названные параметры и дескрипторы разработаны в основном в рамках смежных наук и в петрографии в полной мере пока не применяются. Здесь сохраняется классический описательный подход, несмотря на очевидные преимущества методов количественного анализа.

## Заключение

Цифровая петрография возникла и активно развивается в последние десятилетия в связи с появлением цифровой фотографии. Современные моторизованные микроскопы позволяют автоматизировать многие процессы съемки микрофотографий, в том числе получение мультифокальных изображений методом Z-стекинга. В сочетании с эпифлуоресцентным УФ-оборудованием появилась возможность изучения УФ-свойств горных пород, их типоморфизма. Параллельное развитие математических методов анализа изображений позволило использовать исходные цифровые данные для количественного анализа различных характеристик изучаемых горных пород.

Современный программно-инструментальный базис включает возможности определения морфологических параметров минералов (площадь и периметр объекта, длины осей и пр.) и таких дескрипторов формы, как округлость, выпуклость, компактность, целостность, соотношение сторон, эксцентриситет и удлинение. С помощью количественного анализа могут быть изучены как отдельные минералы в составе породы, выделяемые с помощью метода *threshold*, так и весь набор минералов после сегментации цифровых фотографий. Таким образом, возможность анализа цифровых фотографий горных пород является основой для нового научного направления – количественной петрографии. В практике геолого-разведочных работ количественная петрография пока не используется в полной мере, хотя перспективы развития этого научного направления очевидны.

Количественная петрография не является самостоятельным методом исследования. Она не обладает свойствами идентификации минеральных компонентов в составе исследуемой породы, для этого используется комплекс современных физико-химических методов исследований. Однако такие исследования проводятся на единичных пробах, при этом истинное распределение минералов в породе теряется. Количественная петрография – надежный метод анализа пространственного распределения изучаемого компонента в породе.

## Библиографические ссылки

1. Marschallinger R, Hofmann P. The application of object based image analysis to petrographic micrographs. In: Méndez-Vilas A, Díaz J, editors. *Microscopy: science, technology, applications and education*. Badajoz: Formatex Research Center; 2010. p. 1526–1532.
2. Василёнок ЕА, Самодуров ВП. Определение индекса мафичности магматических пород по данным цифровой петрографии. В: Махнач АА, Астапенко ВН, Демидова СВ, Зуй ВИ, Кручек СА, Кутырло ВЭ и др., редакторы. *Проблемы геологии Беларуси и смежных территорий. Материалы Международной научной конференции, посвященной 100-летию со дня рож-*



дения академика НАН Беларуси Александра Семеновича Махнача; 21–22 ноября 2018 г.; Минск, Беларусь. Минск: СтройМедиаПроект; 2018. с. 285–288.

3. Polat Ö, Polat A, Ekici T. Automatic classification of volcanic rocks from thin section images using transfer learning networks. *Neural Computing and Applications*. 2021;33(18):11531–11540. DOI: 10.1007/s00521-021-05849-3.

4. Izadi H, Sadri J. Application of pattern recognition in mineral segmentation and identification. In: *Proceedings of the International conference on pattern recognition and artificial intelligence; 2018 May 13–17; Montreal, Canada*. Montreal: Centre for Pattern Recognition and Machine Intelligence, Concordia University; 2018. p. 433–438.

5. Cheng Su, Sheng-jia Xu, Kong-yang Zhu, Xiao-can Zhang. Rock classification in petrographic thin section images based on concatenated convolutional neural networks. *Earth Science Informatics*. 2020;13(4):1477–1484. DOI: 10.1007/s12145-020-00505-1.

6. Thompson S, Fueten F, Bockus D. Mineral identification using artificial neural networks and the rotating polarizer stage. *Computers & Geosciences*. 2001;27(9):1081–1089. DOI: 10.1016/S0098-3004(00)00153-9.

7. Ślipek B, Młynarczuk M. Application of pattern recognition methods to automatic identification of microscopic images of rocks registered under different polarization and lighting conditions. *Geology, Geophysics & Environment*. 2013;39(4):373–384. DOI: 10.7494/geol.2013.39.4.373.

8. Arganda-Carreras I, Kaynig V, Rueden C, Eliceiri K, Schindelin J, Cardona A, et al. Trainable Weka Segmentation: a machine learning tool for microscopy image segmentation. *Bioinformatics*. 2017;33(15):2424–2426. DOI: 10.1093/bioinformatics/btx180.

9. Buono A, Fullmer S, King H, Sansone M, Lamberti B, Peterson K. Quantitative digital petrography: thin section to plug scale quantification of pore space, grains and connectivity. In: *Mountjoy carbonate research conference. Carbonate pore systems: abstracts; 2017 June 25–29; Austin, Texas, USA*. [S. l.]: [s. n.]; 2017. p. 12.

10. Hinds OI, Duller RA, Walker RP, Wells BT, Worden RH. Enhanced two dimensional grain size analysis through the use of calibrated digital petrography. *Search and Discovery* [Internet]. 2014 [cited 2021 July 17]:41461. Available from: [https://www.searchanddiscovery.com/pdfz/documents/2014/41461hinds/ndx\\_hinds.pdf.html](https://www.searchanddiscovery.com/pdfz/documents/2014/41461hinds/ndx_hinds.pdf.html).

11. Poliakov A, Donskoi E. Automated relief-based discrimination of non-opaque minerals in optical image analysis. *Minerals Engineering*. 2014;55:111–124. DOI: 10.1016/j.mineng.2013.09.014.

12. Donskoi E, Manuel JR, Napugoda S, Poliakov A, Raynlyn T, Austin P, et al. Automated optical image analysis of goethitic iron ores. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy*. 2020:1–11. DOI: 10.1080/25726641.2019.1706375.

13. Марфуниг АС. Спектроскопия, люминесценция и радиационные центры в минералах. Москва: Недра; 1975. 327 с.

14. Василёнок ЕА, Самодуров ВП. Количественный анализ цифровых изображений горных пород. В: Лукашэў ОВ, Санько АФ, Зуй ВІ, Твороніч-Севрук ДДІ, рэдактары. *Современные проблемы геохимии, геологии и поисков месторождений полезных ископаемых. Материалы Международной научной конференции, посвященной 110-летию со дня рождения академика Константина Игнатьевича Лукашэва (1907–1987); 23–25 мая 2017 г.; Минск, Беларусь. Часть 2*. Минск: Право и экономика; 2017. с. 4–6.

15. Wirth MA. Lecture 10. Shape analysis and measurement [Internet]. In: *Image processing algorithms and applications*. Guelph: University of Guelph; 2004 [cited 2021 July 17]. Available from: <http://www.cyto.purdue.edu/cdroms/micro2/content/education/wirth10.pdf>.

## References

1. Marschallinger R, Hofmann P. The application of object based image analysis to petrographic micrographs. In: Méndez-Vilas A, Díaz J, editors. *Microscopy: science, technology, applications and education*. Badajoz: Formatex Research Center; 2010. p. 1526–1532.

2. Vasilionak AA, Samodurov VP. Mafic index of the igneous rocks definition by the digital petrography data. In: Makhnach AA, Astapenko VN, Demidova SV, Zui VI, Kruchek SA, Kutyrla VE, et al., editors. *Problemy geologii Belarusi i smezhnykh territorii. Materialy Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii, posvyashchennoi 100-letiyu so dnya rozhdeniya akademika NAN Belarusi Aleksandra Semenovicha Makhnacha; 21–22 noyabrya 2018 g.; Minsk, Belarus* [Problems of the geology of Belarus and adjacent territories. Proceedings of the International scientific conference, dedicated to the 100<sup>th</sup> anniversary of the academician of the National Academy of Sciences of Belarus Alexander Semenovich Makhnach; 2018 November 21–22; Minsk, Belarus]. Minsk: StroiMediaProekt; 2018. p. 285–288. Russian.

3. Polat Ö, Polat A, Ekici T. Automatic classification of volcanic rocks from thin section images using transfer learning networks. *Neural Computing and Applications*. 2021;33(18):11531–11540. DOI: 10.1007/s00521-021-05849-3.

4. Izadi H, Sadri J. Application of pattern recognition in mineral segmentation and identification. In: *Proceedings of the International conference on pattern recognition and artificial intelligence; 2018 May 13–17; Montreal, Canada*. Montreal: Centre for Pattern Recognition and Machine Intelligence, Concordia University; 2018. p. 433–438.

5. Cheng Su, Sheng-jia Xu, Kong-yang Zhu, Xiao-can Zhang. Rock classification in petrographic thin section images based on concatenated convolutional neural networks. *Earth Science Informatics*. 2020;13(4):1477–1484. DOI: 10.1007/s12145-020-00505-1.

6. Thompson S, Fueten F, Bockus D. Mineral identification using artificial neural networks and the rotating polarizer stage. *Computers & Geosciences*. 2001;27(9):1081–1089. DOI: 10.1016/S0098-3004(00)00153-9.

7. Ślipek B, Młynarczuk M. Application of pattern recognition methods to automatic identification of microscopic images of rocks registered under different polarization and lighting conditions. *Geology, Geophysics & Environment*. 2013;39(4):373–384. DOI: 10.7494/geol.2013.39.4.373.

8. Arganda-Carreras I, Kaynig V, Rueden C, Eliceiri K, Schindelin J, Cardona A, et al. Trainable Weka Segmentation: a machine learning tool for microscopy image segmentation. *Bioinformatics*. 2017;33(15):2424–2426. DOI: 10.1093/bioinformatics/btx180.

9. Buono A, Fullmer S, King H, Sansone M, Lamberti B, Peterson K. Quantitative digital petrography: thin section to plug scale quantification of pore space, grains and connectivity. In: *Mountjoy carbonate research conference. Carbonate pore systems: abstracts; 2017 June 25–29; Austin, Texas, USA*. [S. l.]: [s. n.]; 2017. p. 12.

10. Hinds OI, Duller RA, Walker RP, Wells BT, Worden RH. Enhanced two dimensional grain size analysis through the use of calibrated digital petrography. *Search and Discovery* [Internet]. 2014 [cited 2021 July 17]:41461. Available from: [https://www.searchanddiscovery.com/pdfz/documents/2014/41461hinds/ndx\\_hinds.pdf.html](https://www.searchanddiscovery.com/pdfz/documents/2014/41461hinds/ndx_hinds.pdf.html).



11. Poliakov A, Donskoi E. Automated relief-based discrimination of non-opaque minerals in optical image analysis. *Minerals Engineering*. 2014;55:111–124. DOI: 10.1016/j.mineng.2013.09.014.
12. Donskoi E, Manuel JR, Hapugoda S, Poliakov A, Raynlyn T, Austin P, et al. Automated optical image analysis of goethitic iron ores. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy*. 2020:1–11. DOI: 10.1080/25726641.2019.1706375.
13. Marfunin AS. *Spektroskopiya, lyuminesentsiya i radiatsionnye tsentry v mineralakh* [Spectroscopy, luminescence and radiation centers in minerals]. Moscow: Nedra; 1975. 327 p. Russian.
14. Vasilionak AA, Samodurov VP. [Quantitative analysis of digital images of rocks]. In: Lukashev OV, San'ko AF, Zui VI, Tvoronovich-Sevruk DL, editors. *Sovremennye problemy geokhimii, geologii i poiskov mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh. Materialy Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii, posvyashchennoi 110-letiyu so dnya rozhdeniya akademika Konstantina Ignat'evicha Lukasheva (1907–1987); 23–25 maya 2017 g.; Minsk, Belarus'. Chast' 2* [Modern problems of geochemistry, geology and prospecting for mineral deposits. Materials of the International scientific conference, dedicated to the 110<sup>th</sup> anniversary of the birth of the academician Konstantin Ignatievich Lukashev (1907–1987); 2017 May 23–25; Minsk, Belarus. Part 2]. Minsk: Pravo i ekonomika; 2017. p. 4–6. Russian.
15. Wirth MA. Lecture 10. Shape analysis and measurement [Internet]. In: *Image processing algorithms and applications*. Guelph: University of Guelph; 2004 [cited 2021 July 17]. Available from: <http://www.cyto.purdue.edu/cdroms/micro2/content/education/wirth10.pdf>.

Получена 08.05.2021 / исправлена 01.10.2021 / принята 01.10.2021.  
Received 08.05.2021 / revised 01.10.2021 / accepted 01.10.2021.



## КРИТЕРИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ АЛМАЗОНОСТИ ВИТЕБСКОГО ГРАНУЛИТОВОГО МАССИВА

В. С. КОНИЩЕВ<sup>1)</sup>, А. М. КОВХУТО<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Независимый исследователь, г. Минск, Беларусь

<sup>2)</sup>Белзарубежторг, пр. Независимости, 169, 220114, г. Минск, Беларусь

Изложена история изучения алмазности тектонических структур территории Беларуси. На основании результатов магнитометрических, минералогических, тектонических исследований, выполненных геологами-производственниками и учеными за последние 50 лет, разработаны новые научно обоснованные критерии поисков трубок взрыва с применением правила Клиффорда, согласно которому кимберлитовые трубки взрыва развиты в пределах архейских кратонов, где мощность литосферы составляет 175–270 км, и отсутствуют в зонах раннепротерозойской стабилизации и тектономагматической активизации. Трубки взрыва на Африкано-Аравийской, Восточно-Сибирской, Сино-Корейской и Восточно-Европейской платформах демонстрируют их приуроченность к архейским кратонам и могут быть связаны с зонами палеосубдукции протерозойской океанической коры под архейские кратоны. На основании этого научно обоснована гипотеза о том, что при закрытии раннепротерозойского палеоокеана, отделявшего Фенно-Скандинавский кратон от Волго-Уральского и Сарматского кратонов, происходила субдукция более молодой коры под эти кратоны, юго-западным углом которых на территории Беларуси является Витебский гранулитовый массив. Сделан вывод, что в границах Беларуси наиболее перспективным в алмазности отношении является именно Витебский гранулитовый массив, а в его пределах – Смоленский региональный глубинный разлом северо-восточного простирания на участке пересечения с Одесско-Гомельским региональным глубинным разломом субмеридионального простирания южнее Орши. Даны рекомендации по дальнейшему изучению перспективных участков в целях определения их алмазности.

**Ключевые слова:** кратон; гранулитовый массив; субдукция; магнитные аномалии; трубка взрыва; алмазность; кимберлиты; лампроиты.

## CRITERIES AND PROSPECTS OF DIAMONDS OF THE VITEBSK GRANULITE MASSIF

V. S. KONISHCHEV<sup>a</sup>, A. M. KOVKHUTO<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Independent researcher, Minsk, Belarus

<sup>b</sup>Belzarubehtorg, 169 Niezaliežnasci Avenue, Minsk 220114, Belarus

Corresponding author: A. M. Kovkhuto (andrei.kovkhuto@gmail.com)

The article describes the history of studying the diamond content of tectonic structures of the territory of Belarus. Based on the results of magnetometric, mineralogical, tectonic studies carried out by industrial geologists and scientists over the past 50 years, new scientifically substantiated criteria for the search for explosion pipes have been developed.

### Образец цитирования:

Конищев В.С., Ковхуто А.М. Критерии и перспективы алмазности Витебского гранулитового массива. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология.* 2021;2:102–113.  
<https://doi.org/10.33581/2521-6740-2021-2-102-113>

### For citation:

Konishchev VS, Kovkhuto AM. Criteria and prospects of diamonds of the Vitebsk granulite massif. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology.* 2021;2:102–113. Russian.  
<https://doi.org/10.33581/2521-6740-2021-2-102-113>

### Авторы:

**Виктор Степанович Конищев** – доктор геолого-минералогических наук; независимый исследователь.  
**Андрей Марленович Ковхуто** – кандидат геолого-минералогических наук, доцент; заместитель генерального директора.

### Authors:

**Victor S. Konishchev**, doctor of science (geology and mineralogy); independent researcher.  
**Andrei M. Kovkhuto**, PhD (geology and mineralogy), docent; deputy general director.  
[andrei.kovkhuto@gmail.com](mailto:andrei.kovkhuto@gmail.com)





loped using Clifford's rule, according to which kimberlite explosion pipes are developed within the Archean cratons, where the thickness of the lithosphere is 175–270 km, and are absent in the zones of Early Proterozoic stabilisation and tectonomagmatic activation. Explosion tubes on the African-Arabian, East Siberian, Sino-Korean and East European platforms demonstrate their confinement to the Archean cratons and may be associated with zones of paleosubduction of the Proterozoic oceanic crust beneath the Archean cratons. Based on this, the authors scientifically substantiated the hypothesis that during the closure of the Early Proterozoic paleocean separating the Fenno-Scandinavian craton from the Volga-Ural and Sarmatian cratons, subduction of the younger crust took place under these cratons, the southwestern corner of which on the territory of Belarus is the Vitebsk granulite massif. The article concludes that the Vitebsk granulite massif is the most promising in terms of diamond-bearing on the territory of Belarus, and within its limits – the Smolensk regional deep fault at the intersection of this fault of northeastern striking with the Odessa-Gomel regional deep fault of submeridional striking south of the city of Orsha. Recommendations are given for further study of promising areas in order to determine their diamond content.

**Keywords:** craton; granulite massif; subduction; magnetic anomalies; pipe tube; diamonds; kimberlite; lamproite.

## Введение

Коренные месторождения алмазов приурочены к трубкам взрыва (диатремам), реже к жилам и дайкам, выполненным кимберлитами и лампроитами, и развиты в пределах крупных положительных структур древних платформ – антеклиз, седловин и их склонов. Кимберлитовый магматизм приурочен к фазам тектономагматической активизации, региональным подъемам с перерывами в осадконакоплении.

## История изучения алмазности территории Беларуси

О необходимости поисков месторождений алмазов на территории Беларуси ученые говорили давно и неоднократно (см., например, [1–7]).

В. О. Ружицкий связывал перспективы обнаружения кимберлитов с Белорусским кристаллическим массивом и прилегающими территориями [1], К. И. Лукашев и А. С. Махнач – с Припятской впадиной и прилегающими структурами [2], В. Ф. Красовский – с эксплозивными образованиями в докембрии Белорусского кристаллического массива [3]. Позднее В. Ф. Красовский и К. И. Лукашев предполагали, что проявления кимберлитового магматизма возможны в краевых частях Припятского прогиба [4], Оршанской и Брестской впадин. В. П. Корзун и А. С. Махнач в работах, посвященных изучению верхнедевонской щелочно-основной – щелочно-базальтоидной формации Припятского прогиба, обосновывали возможность проявления кимберлитового магматизма в юго-восточной части Беларуси, исходя из генетического родства щелочного базит-ультрабазитового и кимберлитового магматизма [5–7]. На основе анализа разломной тектоники как наиболее перспективную в отношении наличия кимберлитовых трубок они рассматривали восточную часть северного плеча Припятского прогиба в районах его пересечения Одесско-Брусилловской и Брагинско-Лоевской зонами древнейших меридиональных разломов, а в этих зонах – участки их пересечения позднепалеозойскими субширотными разломами рифтовой природы.

В 1968–1973 гг. Белорусская геолого-гидрогеологическая экспедиция под руководством П. А. Ковалева выполнила работу «Изучение перспектив выявления коренных и россыпных месторождений алмазов на территории Белоруссии». В 1974 г. на основании анализа данных аэромагнитной съемки масштаба 1 : 50 000 и ревизионного опробования терригенных толщ осадочного чехла на пиропы была составлена схематическая карта перспектив алмазности Беларуси масштаба 1 : 500 000, на которой перспективными на алмазы определены терригенные толщи сводовой части Белорусского кристаллического массива, Полесская и Жлобинская седловины.

В 1976 г. А. С. Махнач, Н. В. Веретенников, В. И. Шкуратов в докладной записке «К проблеме алмазности территории Белоруссии в свете новых данных (о необходимости постановки научно-исследовательских работ на возможные коренные источники алмазов и рудоносные дифференцированные траппы Белоруссии)» на основе региональных структурно-тектонических, формационно-магматических, геофизических и минералогических критериев выделили перспективные площади для постановки поисковых работ на алмазы.

Первые полевые работы по поискам алмазов проводились в 1976–1979 гг., когда были разбурены ряд локальных магнитных аномалий в зоне развития базальтовых покровов вендской трапповой формации в районе сочленения Полесской седловины и Брестской впадины. В результате этих работ трубки



взрыва не выявлены. В 1978 г. впервые в недрах Беларуси был обнаружен алмаз в керне семилукских брекчированных пород из интервала 3074–3078 м в Барсуковской скважине на востоке Припятского прогиба [8]. Однако естественная природа алмаза осталась недоказанной.

На V Всесоюзном совещании «Геология, методы прогнозирования и поиски месторождений алмазов. Направление геолого-разведочных работ на 1986–1990 годы» (Архангельск, 28–30 мая 1985 г.) было принято решение приступить к планомерным специализированным работам по обнаружению месторождений алмазов кимберлитового генезиса в центре Русской платформы, Прибалтике и Беларуси с выделением соответствующего финансирования. По результатам состоявшегося 14–17 января 1986 г. в Минске совещания по определению направлений геолого-разведочных, тематических и научно-исследовательских работ по поискам алмазов на территории Беларуси и Прибалтики в 1986–1990 гг. составлена и утверждена программа работ по геолого-минералогическому картированию и оценке пиропоносности платформенного чехла Беларуси для определения перспектив алмазоносности. В том же году производственное объединение «Белгеология» начало эти работы.

В 1989–1993 гг. производственное объединение «Белгеология» пробурило скважины на локальных положительных магнитных аномалиях, предположительно отождествляемых с диатремами Северо-Припятского района развития верхнедевонской щелочно-ультраосновной – щелочно-базальтоидной формации. В 1989 г. на одной из магнитных аномалий трубчатого типа (Марусино) на глубине 107 м были вскрыты кимберлитоподобные породы, образующие трубку взрыва в зоне сочленения Белорусской антеклизы со Жлобинской седловиной. Это послужило основанием для выделения в 1990 г. Министерством геологии СССР целевых средств на планомерные и целенаправленные полевые и научно-исследовательские работы по поискам коренных месторождений алмазов. В результате были выделены 1050 локальных магнитных аномалий. Сотрудниками Белорусского научно-исследовательского геолого-разведочного института (БелНИГРИ) под руководством Е. А. Никитина составлена прогнозная карта алмазоносности Беларуси масштаба 1 : 500 000, на которой выделены четыре перспективных района для поисков коренных месторождений алмазов (Северо-Припятский (северное плечо Припятского палеорифта, включая Жлобинскую седловину и Бобруйский погребенный выступ), Южно-Припятский (южное плечо Припятского палеорифта, включая Овручскую грабен-синклиналь), Мядельский (зона пересечения Полоцкой и Центрально-Белорусской систем глубинных разломов с Белорусско-Прибалтийским гранулитовым поясом), Полесский (Полесская седловина)), район с возможными трубками девонского возраста (Полоцкий) и два потенциально перспективных участка на коренные источники алмазов, но верхнепротерозойского возраста (Бобовнянский (Бобовнянский массив) и Брестский (южный и северный борты Брестской впадины)). Всего было выделено 385 наиболее перспективных объектов, в основном в Северо-Припятском районе. Позднее дополнительно выделен перспективный район в зоне Полоцко-Курземского пояса разломов. Общая площадь перспективных на алмазы территорий составляет около 94 тыс. км<sup>2</sup>, на 59 тыс. км<sup>2</sup> из которых выполнена целевая аэромагнитная съемка.

В качестве первоочередного был выбран Северо-Припятский район, где на Жлобинском поле диатрем (около 600 км<sup>2</sup>) в приосевой части Жлобинской седловины бурением заверены 39 аномалий трубчатого типа, в результате чего подтверждены и изучены 24 диатремы и 1 силл. В течение 1994–1999 гг. на Уваровичской площади в результате гравимагнитной съемки масштаба 1 : 10 000 и заверочного бурения были проверены 46 аномалий трубчатого типа и выявлено Уваровичское поле диатрем в количестве 8 трубок. Кимберлиты не были обнаружены, но присутствие высокобарических минералов (пиропов, хромшпинелидов, пикроильменита и мелких зерен алмаза) позволяет предполагать наличие обломков пород, родственных кимберлитам. Вместе с тем изученные породы отличаются низким содержанием микроэлементов, характерных для кимберлитов. Так, содержание хрома в них составляет 4–100 г/т (в кимберлитах – 1100 г/т), никеля – 5–20 г/т (в кимберлитах – 1050 г/т). Природа вулканических объектов Уваровичского поля остается дискуссионной. Геологи РУП «Белгеология» интерпретировали их как трубки взрыва, а специалисты Института геологических наук НАН Беларуси считали эти объекты субаквальными палеовулканами центрального типа [9].

В целом с 1989 по 2005 г. заверены скважинами 225 аномалий трубчатого типа (Уваровичское поле – 46, Жлобинское поле – 39, Бобовнянское поле – 76, Быховское поле – 10, Наровлянское поле – 7, Стародорожское поле – 7, Шищицкое поле – 5, Восточно-Бобруйское поле – 6, Светиловичское поле – 3, Ухвалинская структура – 6, Кулажинский участок – 9, Бобруйский погребенный выступ – 5, север Беларуси – 6). Не заверенными буровыми скважинами остаются 22 аномалии на Полоцко-Нарочанской площади на севере Беларуси и 64 аномалии на изученных площадях, признанные неперспективными (Рогачевско-Бобруйская площадь – 12, Уваровичская площадь – 9, Слуцкая площадь – 5, Наровлян-



ская площадь – 5, Быховская площадь – 11, Светиловичская площадь – 2, Бобовнянская площадь – 2, Ухвалинская структура – 6, Кулажинский участок – 8, Глушковичский участок – 4) [11].

В пробах из 8 трубок Жлобинского поля обнаружены 18 мелких (0,17–0,30 мм) зерен окрашенных алмазов, 13 из которых признаны искусственными (синтетическими) алмазами, а 5 зерен, возможно, являются природными алмазами. Из минералов – спутников алмаза в ряде изученных проб в небольшом количестве установлены хромшпинелиды и пикроильменит, в единичных зернах – пиропы, а в трубке взрыва «Случайная» обнаружены обломки (0,2–1,0 мм) и кристаллы (4–5 мм) рубинов.

По данным минералогических исследований, высокобарические минералы – индикаторы алмазов (гранаты, клинопироксены, хромшпинелиды, ильмениты) из трубок взрыва Жлобинского и Уваровичского полей по типоморфным особенностям и количественным соотношениям резко отличаются от типичных ассоциаций минералов в кимберлитах и указывают на неалмазоносный и убогоалмазоносный характер вмещающих их пород [10]. На основании этих результатов А. И. Чашка считает, что такие породы относятся к переходным разностям от кимберлитов к пикритам (кимпикриты, кимберлитоподобные породы), известным в других алмазоносных районах [11].

Под эгидой Департамента по геологии Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, РУП «Белгеология» и БелНИГРИ 14–16 сентября 2005 г. в Минске состоялось научно-практическое совещание на тему «Анализ современного состояния и направление дальнейших геолого-разведочных работ на алмазы в Беларуси» [12]. В докладах геологов и геофизиков производства и научных работников, занимавшихся поисками алмазов в Беларуси и обработкой полученных материалов, были подведены итоги выполненных работ, которые не привели к открытию месторождений алмазов. В констатирующей части рекомендации совещания было заявлено, что проблема алмазоносности недр Беларуси и необходимость ее решения поставлены геологами и учеными Беларуси научно правомерно и геологически обоснованно. Совещание рекомендовало: 1) продолжить полевые работы на алмазы в пределах Северо-Припятского перспективного района, в основном в его восточной части; 2) возобновить работы по выявлению трубок взрыва на Бобруйском погребенном выступе; 3) провести заверку бурением локальных аномалий на трех перспективных участках, выделенных Институтом геохимии и геофизики НАН Беларуси в Полоцком перспективном районе; 4) дать оценку перспектив алмазоносности геологических образований, выявленных в пределах Кулажинских магнитных аномалий. Кроме того, при планировании дальнейших работ с учетом обновленной карты перспектив алмазоносности Беларуси было рекомендовано предусмотреть: 1) проведение двух сейсмических профилей МОГТ длиной 80 км каждый для определения структуры и генетического типа Полоцко-Курземского пояса разломов с последующим бурением в пределах Верхнедвинского грабена параметрической скважины до фундамента; 2) бурение в Витебском перспективном районе скважин по двум профилям (Витебск – Сураж и Орша – Дубровно) по отложениям франского яруса в целях выявления здесь минералов-спутников и самих алмазов и установления возможных уровней кимберлитоподобного образования; 3) проведение аэромагнитной съемки масштаба 1 : 10 000 на территории установленных трубок взрыва Северо-Припятского района для выявления малоамплитудных аномалий; 4) бурение глубокой скважины на Ухвалинской кольцевой структуре в целях выяснения природы этой структуры и установления перспектив алмазоносности ее образований [13].

### Гипотеза исследований

Наиболее обоснованной гипотезой тектонического контроля высокоалмазоносного кимберлитового магматизма является правило Клиффорда, согласно которому кимберлитовые трубки взрыва с промышленным содержанием алмазов развиты только в пределах архейских кратонов со временем стабилизации не менее 2,5 млрд лет и отсутствуют в зонах раннепротерозойской стабилизации и тектономагматической активизации [13]. В этих зонах на порядок реже встречаются алмазоносные трубки взрыва, выполненные лампроитами.

### Методика исследований

При поисках месторождений алмазов предварительно проводится магниторазведка исследуемого участка (в случае его большой площади – космотектонические исследования и аэромагниторазведка, а при достаточной изученности территории и малой площади участка – наземная магниторазведка). По результатам интерпретации ее материалов выделяются магнитные аномалии. Затем положительные кольцевые магнитные аномалии разбуриваются, и изучается керн пробуренных скважин. В случае обнаружения в геологическом разрезе магматических пород проводится их детальный анализ в целях



выявления признаков алмазности исследуемого участка (наличия алмазов или их спутников). Как показывает многолетняя практика геолого-поисковых работ на алмазы, не всем магнитным аномалиям соответствуют трубки взрыва, выполненные магматическими породами. Даже среди подтвержденных трубок взрыва только небольшой процент трубок имеют промышленное значение. Поэтому поиски месторождений алмазов – сложный, длительный и не всегда успешный процесс, требующий высокого профессионализма геологоразведчиков и крупных финансовых вложений.

С позиций правила Клиффорда на территории Беларуси наиболее перспективными в алмазном отношении являются гранулитовые массивы, которые принято считать архейскими. В фундаменте Беларуси выделяются три гранулитовых комплекса: Белорусско-Прибалтийский гранулитовый пояс, Брагинский и Витебский гранулитовые массивы. Белорусско-Прибалтийский гранулитовый пояс занимает западную часть территории Беларуси, Брагинский гранулитовый массив – юго-восточную, а Витебский гранулитовый массив – северо-восточную часть страны (рис. 1).

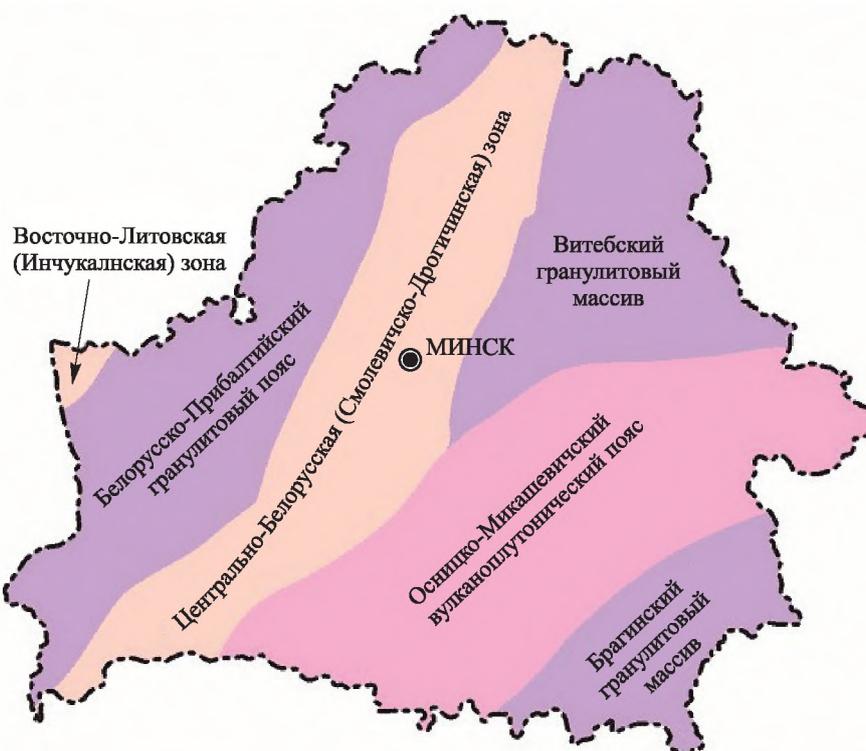


Рис. 1. Карта строения кристаллического фундамента Беларуси  
(составлена Н. В. Аксаментовой)

Fig. 1. Map of the structure of the crystalline basement of Belarus  
(compiled by N. V. Aksamentova)

Кристаллический фундамент этих массивов сложен в основном метаморфизованными комплексами архея. Их разделяют Центрально-Белорусская структурная зона и Осницко-Микашевичский вулканоплутонический пояс раннепротерозойского возраста. Согласно представлениям ряда исследователей архейские гранулитовые комплексы являются окраинами древних архейских кратонов: Центрально-Белорусская структурная зона – Фенноскандии, Брагинский гранулитовый массив – Сарматии, Витебский гранулитовый массив – Волго-Уралии. Центрально-Белорусская структурная зона – это остаток закрывшегося в раннем протерозое палеоокеана, разделявшего архейские континенты. Осницко-Микашевичский вулканоплутонический пояс, предположительно, образовался на окраине Сарматского континента. Белорусско-Прибалтийский гранулитовый пояс в раннем протерозое в процессе закрытия палеоокеана подвергся значительной тектономагматической активизации, он сложен надвинутыми на юго-восток тектоническими пластинами, разделенными зонами бластомилонитов [14; 15]. Раннепротерозойская тектономагматическая активизация могла привести к уничтожению алмазоносного протолита в основании литосферы и в верхней мантии и, как следствие, существенно снизить перспективы алмазности Белорусско-Прибалтийского гранулитового пояса.



Описанными выше геолого-геофизическими и космогоническими критериями с учетом правила Клиффорда, а также аналогиями тектонических структур территории Беларуси со структурами других древних платформ, на которых уже выявлены и разрабатываются месторождения алмазов, авторы руководствовались при комплексном анализе тектонических структур Беларуси и выделении наиболее перспективных участков для дальнейшего изучения признаков алмазности трубок взрыва в пределах Витебского гранулитового массива.

### Результаты и их обсуждение

Приуроченность кимберлитовых алмазоносных трубок взрыва к архейским кратонам может быть связана с тем, что, как считают многие исследователи, алмазоносные трубки взрыва на Африкано-Аравийской, Восточно-Сибирской, Сино-Корейской и Восточно-Европейской платформах формировались над зонами палеосубдукции протерозойской океанической коры под архейские кратоны [16; 17]. При закрытии раннепротерозойского палеоокеана, отделявшего Фенно-Скандинавский кратон от Волго-Уральского и Сарматского кратонов, по-видимому, имела место субдукция под Сарматский и Волго-Уральский кратоны, юго-западным углом которых на территории Беларуси является Витебский гранулитовый массив. Это также является положительным фактором при оценке перспектив алмазности Витебского гранулитового массива [18].

Алмазы – высокобарические минералы, которые формировались в процессе субдукции под архейские кратоны в астеносфере на глубине свыше 150 км, поэтому мощность литосферы в алмазоносных провинциях обычно составляет 175–270 км [19; 20].

По мнению Р. Митчелла [21], в наиболее крупной и изученной Южно-Африканской алмазоносной провинции нет убедительных данных об ассоциации типичных кимберлитов с континентальными рифтами. Обычно в рифтовых зонах здесь развиты карбонатиты или щелочные вулканические породы. Выполненные кимберлитами алмазоносные трубки взрыва иногда расположены на плечах палеорифтов, но на значительном (200–250 км) удалении от краевых разломов, где не сказывается влияние рифтогенеза на утонение литосферы. В связи с этим на Жлобинской седловине и в пределах Северо-Припятского плеча на расстоянии 10–25 км от Северного краевого разлома Припятского палеорифта, где мощность литосферы, в том числе в результате рифтогенеза, снижена до 100–140 км, есть щелочные вулканические породы и карбонатиты, но нет алмазоносных кимберлитов и лампроитов. На это указывают и малые (50–80 км) глубины выплавки данных пород [22].

Брагинский гранулитовый массив является архейским, но на него наложен Припятский палеорифт, и в результате рифтогенеза мощность земной коры и литосферы в пределах и на плечах этого массива резко снижена, что выступает отрицательным фактором при оценке перспектив его алмазности.

Более высокая вероятность алмазности Витебского района, по сравнению с другими перспективными районами Беларуси, обусловлена не только его положением в пределах архейского кратона, не претерпевшего более поздней активизации. Положительным фактором выступает низкий тепловой поток (25–30 мВт/м<sup>2</sup>), так как алмазоносными являются холодные блоки земной коры. Для Витебского блока характерны увеличенная до 47,5–55,0 км мощность земной коры и типы земной коры А и АВ с увеличенной мощностью нижнего базальтового слоя и высоким (до 0,70–0,75) коэффициентом основности [23], прогиб по подошве земной коры и поднятие по кровле базальтового слоя, что свойственно алмазоносным блокам.

Витебский перспективный район находится на участке пересечения древних субмеридиональных разломов (Чашникского, Бешенковичского, Богушевского, Витебского, Руднянского, Одесско-Гомельского), которые ограничивают и осложняют Витебский гранулитовый массив, с зоной разломов позднепротерозойского заложения северо-восточного простирания, входящих в Среднерусскую систему позднепротерозойских палеорифтов. В подобной тектонической ситуации выявлены алмазоносные трубки взрыва на севере Восточно-Европейской платформы в Архангельской алмазоносной провинции, где алмазоносные трубки взрыва девонского возраста контролируются субмеридиональными разломами, наложенными на позднепротерозойские разломы северо-западного простирания. На карте линеаментов Беларуси четко выделяются линеаменты северо-восточного и субмеридионального простирания [24], отражающие разломы соответствующего простирания.

Витебский перспективный в алмазоносном отношении район находится на пересечении выделенных на основе дешифрирования обзорных космических материалов трансплитного Лапландско-Нильского линеамента субмеридионального простирания и трансплитного Испано-Таймырского линеамента северо-восточного простирания [25]. Участки пересечения таких линеаментов являются зонами высокой проницаемости земной коры и рудоконтролирующими структурами. Существование подобного участка пересечения двух трансплитных линеаментов в пределах Витебского гранулитового массива и наложен-



ной на него Оршанской впадины подтверждается и подчеркивается поведением долины Днепра. К югу от Орши Днепр имеет субмеридиональное простирание, которое контролируется субмеридиональным Одесско-Гомельским региональным разломом и Брагинско-Витебским неотектоническим разломом, входящими в систему Лапландско-Нильского линеамента. В районе Орши простирание долины Днепра резко изменяется на северо-восточное и контролируется здесь Смоленским и Оршанским разломами северо-восточного простирания, входящими в Среднерусскую систему верхнепротерозойских палеорифтов и систему неотектонически активного трансплитного Испано-Таймырского линеамента. Таким образом, в районе Орши находится зона пересечения Смоленского и Оршанского региональных глубинных разломов северо-восточного простирания и субмеридионального Одесско-Гомельского регионального глубинного разлома. Этот разлом раннепротерозойского заложения и длительного развития оказал существенное влияние на формирование тектоники Беларуси и смежных территорий. Он прослеживается от западной части Черного моря и Одессы к Брусилу, Брагинско-Лоевской седловине, восточной части Припятского палеорифта, Орше, междуречью Днепра и Северной Двины и уходит на территорию России [22]. Зоны пересечения таких региональных разломов древнего заложения и длительного развития контролируют алмазоносные трубки взрыва в Якутской и Архангельской алмазоносных провинциях. Поэтому район пересечения Центрально-Оршанского горста и ограничивающих его Смоленского и Оршанского и Одесско-Гомельского разломов следует считать наиболее перспективным в алмазоносном отношении в пределах Витебского гранулитового массива. Показателем перспективности Витебского района в алмазоносном отношении является обнаружение в его пределах алмаза в четвертичных отложениях и пиропов алмазной ассоциации.

В пределах Витебского гранулитового массива проводились геофизические и геологические исследования в целях поисков месторождений алмазов. В 1986–1989 гг. в его северной части Геофизической экспедицией Управления геологии БССР была проведена аэромагнитная съемка масштаба 1 : 25 000, по результатам которой А. М. Папко и З. Г. Мясникова выделили 336 положительных кольцевых магнитных аномалий, перспективных для дальнейшего изучения. На 283 аномалиях интенсивностью более 2 нТл проведены детализационные работы, на 118 аномалиях выполнена наземная магнитная съемка. Были составлены паспорта 45 объектов, приуроченных к Чашникской и Полоцкой зонам разломов.

В 1987–1992 гг. в северной части Витебского гранулитового массива на Днепровско-Двинской площади Вилейско-Свислочской геолого-съёмочной партией под руководством И. В. Привалова проведено геолого-минерагеническое картирование в масштабе 1 : 200 000 в целях выделения площадей и структур, наиболее перспективных для постановки более детальных работ на выявление месторождений алмазов. Для этого были пробурены 280 поисковых скважин глубиной от 15,8 до 359,4 м, описан и опробован керн, проведен шлихоминералогический анализ 1176 проб, отобраны 13 мелкообъемных проб, бурением заверены 15 локальных положительных магнитных аномалий. Было установлено, что положительные локальные магнитные аномалии связаны с магнитными сапропелями в основании четвертичных отложений, залегающих на девонских отложениях. По результатам работ выделены три структурно-минерагенические зоны – Полоцкая, Чашникская и Витебская.

В южной части Витебского гранулитового массива на территории Центрально-Оршанского горста и южнее в 1980–1994 гг. Н. А. Воробей и З. Г. Мясникова выполнили магнитную съемку масштаба 1 : 25 000 и провели наземные детализационные работы на выявленных аномалиях. Были выделены 229 локальных аномалий, 118 из которых оказались техногенными. На 82 аномалиях проведены наземные детализационные исследования, по результатам которых 34 аномалии признаны перспективными, на них составлены паспорта. На 12 аномалиях проведены геохимические исследования, в итоге 8 аномалий выделены как наиболее перспективные, на них было рекомендовано выполнить заверочное бурение. Максимальная плотность аномалий установлена на юго-западе в зоне сочленения Чашникского и Могилёвского разломов и в районе Орши в пределах Центрально-Оршанского горста и Оршанского и Смоленского разломов.

Смоленский разлом амплитудой до 200 м по поверхности фундамента протерозойского заложения и длительного развития ограничивает с юга Центрально-Оршанский горст и протягивается в северо-восточном направлении. Ширина зоны разлома составляет 10–12 км. На всем протяжении разломная зона осложнена разрывными нарушениями северо-восточного и субширотного направлений. В северо-восточной ее части наблюдается кулисообразное смещение субширотного направления. Во внутреннем строении Смоленского разлома по особенностям магнитного поля выделяются зоны милонитизации, катаклаза и дробления пород, указывающие на повышенную тектоническую активность. В магнитном поле разлом фиксируется цепочкой положительных магнитных аномалий интенсивностью от 580 до 1000 нТл. Сбросы зоны разлома нарушают отложения вплоть до неогена. Слабая активность Смоленского разлома фиксируется и в антропогене.



И. В. Данкевич по гравитационным данным выделил линейные зоны разуплотнения кристаллического фундамента в пределах Смоленского разлома к югу от Орши. А. А. Святогоров по результатам интерпретации материалов дистанционного зондирования южнее Орши выявил Оршанскую кольцевую аномалию диаметром 20 км и поле повышенной трещиноватости. Это также положительные критерии при оценке перспектив алмазоносности данного участка.

Были разбурены несколько кольцевых магнитных аномалий в пределах Центрально-Оршанского горста между Оршанским разломом на севере и Смоленским разломом на юге. На аномалиях 16, 41, 51 и 53 с интенсивностью по наземной съемке 6–11 нТл, размером в плане 110 × 180, 110 × 170, 120 × 170 и 120 × 210 м при расчетной глубине верхней кромки намагниченного объекта от 65 до 75 м скважинами до глубин от 64,0 до 152,4 м вскрывались пески, супеси, суглинки и глины четвертичного возраста, залегающие на отложениях ланского горизонта верхнего девона. Магнитные образования в разрезе по каротажу и капаметрии не установлены.

В 6 км южнее Смоленского разлома, ограничивающего с юга Центрально-Оршанский горст, находятся 16 положительных локальных магнитных аномалий Кулажинского куста. Аномалии расположены в пределах полосы шириной до 0,7 км и протяженностью 8 км, вытянутой в северо-восточном направлении вдоль отмечаемой гравиразведкой зоны разуплотнения, связанной, вероятно, с разломом, расположенным к югу от Смоленского разлома. Буровые работы на аномалиях показали, что неогеновые и подстилающие отложения нарушены сбросами, мощности отложений резко изменяются, породы сильно смяты, что указывает на тектоническую активность. Бурением установлено, что положительные магнитные аномалии обусловлены линзообразными залежами туфопесчаников и туфоалевролитов в неогеновых отложениях. Породы сильно глинистые от светло-бурого до темно-бурого цвета, часто с охристыми пленками желтого цвета. Магнитная фракция в породах представлена окатанными и полуокатанными зернами магнетита (80 %) и гидроокислами железа (20 %), тяжелая фракция – ильменитом (40,8 %), гидроокислами железа (28,8 %), рутилом (0,3 %), цирконом (16,7 %), эпидотом (0,16 %), розовым гранатом (0,19 %), амфиболом (0,3 %), дистеном (0,41 %). В двух скважинах был обнаружен высокобарический минерал – муассанит. Химические анализы показали высокое содержание алюминия (до 18 %  $Al_2O_3$ ) и железа (до 34 %  $Fe_2O_3$ ), а спектральные анализы – аномально высокое содержание никеля, ванадия, хрома, иттрия, иногда свинца и молибдена [26].

Такой минеральный и химический состав этих терригенных пород дает основание утверждать, что они являются продуктами разрушения магматических пород основного и ультраосновного состава, подвергшихся латеритному выветриванию. Это могли быть только ультраосновные породы трубок взрыва, расположенных севернее в зоне Смоленского разлома. На северном крыле Смоленского разлома в пределах Центрально-Оршанского горста неогеновых отложений нет, и, вероятно, они там не отлагались, а продукты разрушения ультраосновных пород трубок взрыва переотлагались в опущенном крыле разлома, образуя линзы в локальных понижениях рельефа. Наличие в данных породах минералов – спутников алмазов (эпидота, граната, ильменита) дает основание полагать, что эти трубки взрыва могут быть алмазоносными (рис. 2).

Искать алмазоносные трубки взрыва следует в пределах Смоленского разлома, являющегося широкой зоной дробления и состоящего из серии параллельных сбросов, которые и контролируют трубки взрыва.

На гравимагнитном профиле 1-А на пикетах 878 и 940 к северу от Кулажинских аномалий и в пределах Смоленского разлома В. Б. Ковалевым были выделены градиентные зоны в поле силы тяжести. В магнитном поле им отвечает резкое возрастание значений от 100 до 600 нТл с обособлением двух положительных магнитных аномалий. По-видимому, градиенты гравитационного поля отвечают головным частям ступеней, ограниченным с юга промежуточными сбросами, входящими в систему Смоленского разлома, а магнитные аномалии – трубкам взрыва, приуроченным к сбросам. Эти аномалии необходимо заверить бурением скважин в первую очередь (рис. 3).

Гравимагнитными профилями вкрест простирания Смоленского разлома в основном к востоку до границы Беларуси необходимо выявлять такие аномалии и заверять их бурением скважин.

### Выводы и рекомендации

Таким образом, на территории Беларуси наиболее перспективным в алмазоносном отношении является Витебский гранулитовый массив, в его пределах – Смоленский региональный глубинный разлом, а именно зона пересечения этого разлома северо-восточного простирания с субмеридиональным Одесско-Гомельским региональным глубинным разломом южнее Орши. На рис. 3 указаны участки, рекомендуемые для проведения первоочередных геолого-разведочных работ.



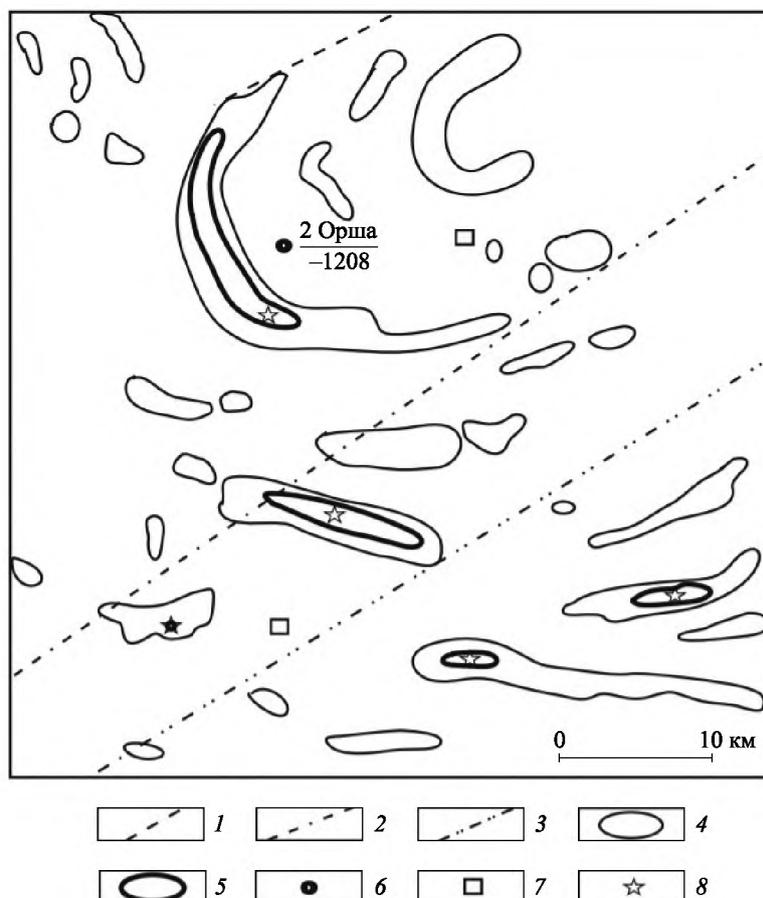


Рис. 3. Карта-схема магнитных аномалий (положительных) в районе Смоленского разлома (составлена А. М. Ковхуто по материалам О. Г. Боевой, Г. Н. Жуковской):

1–3 – Смоленский разлом (1 – по данным Г. Н. Довгаль (2001);  
2 – по данным И. Д. Кудрявца (2003); 3 – по данным Н. В. Аксаментовой (1992));  
4–5 – положительные локальные аномалии полного горизонтального градиента остаточных аномалий поля силы тяжести (4 – от 0,5 до 1,5 мГл/км; 5 – более 1,5 мГл/км); 6 – скважина (в числителе – номер скважины, в знаменателе – абсолютная отметка фундамента); 7 – населенные пункты; 8 – рекомендуемые участки первоочередных геолого-разведочных работ

Fig. 3. Schematic map of magnetic anomalies (positive) in the area of the Smolensk fault (compiled by A. M. Kovkhuto based on the materials of O. G. Boeva, G. N. Zhukovskaya):  
1–3 – Smolensky fault (1 – according to G. N. Dovgal (2001); 2 – according to I. D. Kudryavets (2003); 3 – according to N. V. Aksamentova (1992));  
4–5 – positive local anomalies of the total horizontal gradient of residual anomalies of the gravity field: (4 – from 0.5 to 1.5 mG/km; 5 – more than 1.5 mG/km); 6 – well (in the numerator – the number of the well, in the denominator – the absolute marks of the foundation); 7 – settlements; 8 – recommended areas of priority geological exploration

Смоленский разлом продолжается на восток до Смоленска, и от границы Беларуси до Смоленска в осадочном чехле установлена широкая зона распространения минералов – спутников алмазов. Это позволяет считать, что и на территории России в пределах Смоленского разлома могут быть месторождения алмазов. Открытие таких месторождений на территории Беларуси и России в пределах Смоленского разлома позволит говорить об открытии новой, Витебской алмазоносной провинции, контролируемой Витебским гранулитовым массивом, а в ее пределах – Смоленской алмазоносной структурно-минералогической зоны, контролируемой Смоленским разломом.

### Библиографические ссылки

1. Ружицкий ВО. Где следует искать кимберлиты в пределах Литовского кристаллического массива и прилегающих территорий. Доклады Академии наук БССР. 1976;20(11):1010–1020.
2. Лукашев КИ, Махнач АС. Припятская впадина – сокровищница недр Белоруссии. Минск: Наука и техника; 1966. 139 с.



3. Красовский ВФ. Эксплозивные образования в докембрии Белорусского кристаллического массива. *Доклады Академии наук БССР*. 1969;13(3):255–259.
4. Красовский ВФ, Лукашев КИ. Геохимические и геологические перспективы поисков кимберлитовых трубок на территории Белоруссии. *Доклады Академии наук БССР*. 1970;14(8):738–741.
5. Корзун ВП. О возможной кимберлитонности вулканогенного комплекса девона Припятской впадины. *Доклады Академии наук БССР*. 1976;20(10):924–927.
6. Корзун ВП, Махнач АС. *Верхнедевонская щелочная вулканогенная формация Припятской впадины*. Минск: Наука и техника; 1977. 164 с.
7. Махнач АС, Корзун ВП. Девонский вулканизм и проблема кимберлитонности территории Белоруссии. *Доклады Академии наук СССР*. 1982;266(4):943–947.
8. Рыбалко СИ, Ткачук ЛГ, Лахнюк ВМ и др. Первая находка кристалла алмаза в девонских отложениях Припятского прогиба. *Доклады Академии наук Украинской ССР. Серия Б: Геологические, химические и биологические науки*. 1978;8:792–795.
9. Веретенников НВ, Лапцевич АГ. Результаты научно-исследовательских работ Института геохимии и геофизики НАН Беларуси по проблеме алмазоносности южной части Беларуси и предложения по направлению и методике поисковых работ на алмазы. В: *Анализ современного состояния и направление дальнейших геолого-разведочных работ на алмазы в Беларуси. Материалы научно-практического совещания; 14–16 сентября 2005 г.; Минск, Беларусь*. Минск: [б. и.]; 2005. с. 41–48.
10. Дашкевич ВП, Левый МГ. Методика и результаты поисковых работ на коренные месторождения алмазов в Беларуси. В: *Анализ современного состояния и направление дальнейших геолого-разведочных работ на алмазы в Беларуси. Материалы научно-практического совещания; 14–16 сентября 2005 г.; Минск, Беларусь*. Минск: [б. и.]; 2005. с. 15–20.
11. Чашка АИ, Завадич НС, Левый МГ. Петрографические особенности и минеральный состав пород Каротажной и Гусевичская-1 трубок взрыва (Северо-Уваровичская площадь). В: *Анализ современного состояния и направление дальнейших геолого-разведочных работ на алмазы в Беларуси. Материалы научно-практического совещания; 14–16 сентября 2005 г.; Минск, Беларусь*. Минск: [б. и.]; 2005. с. 53–69.
12. *Анализ современного состояния и направление дальнейших геолого-разведочных работ на алмазы в Беларуси. Материалы научно-практического совещания; 14–16 сентября 2005 г.; Минск, Беларусь*. Минск: [б. и.]; 2005. 129 с.
13. Clifford TN. Tectono-metallogenic units and metallogenic provinces of Africa. *Earth and Planetary Science Letters*. 1966;1(6):421–434. DOI: 10.1016/0012-821X(66)90039-2.
14. Аксаментова НВ, Найденков ИВ. Является ли кристаллический фундамент Беларуси новым палеопротерозойским доменом в Восточно-Европейском кратоне? *Литасфера*. 2006;2:142–154.
15. Богданова СВ, Бибикина ЕВ. Есть ли архей в Беларуси? (Рецензия на статью И. В. Найденкова и др. «Стратиграфическая схема архея – нижнего протерозоя Беларуси (кристаллический фундамент)», опубликованную в журнале «Литасфера» № 1 (22), 2005). *Литасфера*. 2006;1:134–136.
16. Соболев НВ, Силин АН, Кушев ВГ. Структурная металлогения алмазоносных кимберлитов. *Геология и геофизика*. 1992;33(10):133–141.
17. Сорохтин ОГ. *Тектоника литосферных плит и происхождение алмазоносных кимберлитов*. Москва: ОНТИ ВИЭМС; 1985. 48 с. (Общая и региональная геология, геологическое картирование).
18. Конищев ВС. Тектонические критерии и перспективы алмазоносности Беларуси. *Доклады Национальной академии наук Беларуси*. 2002;46(6):96–100.
19. Pearson DG, Carlson RW, Shirey SB, Boyd FR, Nixon PH. Stabilisation of Archaean lithospheric mantle: a Re – Os isotope study of peridotite xenoliths from the Kaapvaal craton. *Earth and Planetary Science Letters*. 1995;134(3/4):341–357. DOI: 10.1016/0012-821X(95)00125-V.
20. Добрецов НЛ. *Глобальные петрологические процессы*. Москва: Недра; 1981. 236 с.
21. Mitchell RH. *Kimberlites: mineralogy, geochemistry and petrology*. New York: Plenum Press; 1986. xvii, 442 p.
22. Махнач АС. О проблеме алмазоносности территории Беларуси. *Литасфера*. 2006;2:69–75.
23. Гарецкий РГ, Каратаев ГИ, Данкевич ИВ, Астапенко ВН. *Тектоносфера Беларуси: глубинное строение и закономерности размещения полезных ископаемых*. Минск: Институт геологических наук НАН Беларуси; 2001. 134 с.
24. Матвеев АВ, Нечипоренко ЛА. *Линеаменты территории Беларуси*. Минск: Институт геологических наук НАН Беларуси; 2001. 123 с.
25. Лопатин ДВ. Линеаментная тектоника и месторождения-гиганты Северной Евразии. *Исследование Земли из космоса*. 2002;2:77–91.
26. Моисеев ЕИ, Беляшов АВ. Терригенный коллектор неогенового возраста минералов – спутников алмаза в центральной части Оршанской впадины. В: *Эффективность прогнозирования и поисков месторождений алмазов: прошлое, настоящее и будущее. Материалы научно-практической конференции, посвященной пятидесятилетию открытия первой алмазоносной кимберлитовой трубки «Зарница»; 25–27 мая 2004 г.; Санкт-Петербург, Россия*. Санкт-Петербург: Всероссийский научно-исследовательский геологический институт имени А. П. Карпинского; 2004. с. 241–243.

## References

1. Ruzhitskii VO. [Where to look for kimberlites within the Lithuanian crystalline massif and adjacent territories]. *Doklady Akademii nauk BSSR*. 1976;20(11):1010–1020. Russian.
2. Lukashev KI, Makhnach AS. *Pripyatskaya vpadina – sokrovishchnitsa nedr Belorussii* [Pripyat depression – treasury of the bowels of Belarus]. Minsk: Nauka i tekhnika; 1966. 139 p. Russian.
3. Krasovskii VF. [Explosive formations in Precambrian of the Belarusian crystalline massif]. *Doklady Akademii nauk BSSR*. 1969;13(3):255–259. Russian.
4. Krasovskii VF, Lukashev KI. [Geochemical and geological prospects for the search for kimberlite pipes in Belarus]. *Doklady Akademii nauk BSSR*. 1970;14(8):738–741. Russian.
5. Korzun VP. [On the possible kimberlite bearing of the volcanogenic complex of the Devonian of the Pripyat depression]. *Doklady Akademii nauk BSSR*. 1976;20(10):924–927. Russian.



6. Korzun VP, Makhnach AS. *Verkhmedevonskaya shchelochnaya vulkanogennaya formatsiya Pripyatskoi vpadiny* [Upper Devonian alkaline volcanogenic formation of the Pripyat depression]. Minsk: Nauka i tekhnika; 1977. 164 p. Russian.
7. Makhnach AS, Korzun VP. [Devonian volcanism and the problem of kimberlite in the territory of Belarus]. *Doklady Akademii nauk SSSR*. 1982;266(4):943–947. Russian.
8. Rybalko SI, Tkachuk LG, Lakhnyuk VM, et al. [The first find of a diamond crystal in the Devonian sediments of the Pripyat trough]. *Doklady Akademii nauk Ukrainsoi SSR. Seriya B: Geologicheskie, khimicheskie i biologicheskie nauki*. 1978;8:792–795. Russian.
9. Veretennikov NV, Laptsevich AG. [The results of research work of the Institute of Geochemistry and Geophysics of the National Academy of Sciences of Belarus on the problem of diamond content in the southern part of Belarus and proposals on the direction and methodology of prospecting for diamonds]. In: *Analiz sovremennogo sostoyaniya i napravlenie dal'neishikh geologo-razvedochnykh rabot na almazy v Belarusi. Materialy nauchno-prakticheskogo soveshchaniya; 14–16 sentyabrya 2005 g.; Minsk, Belarus'* [Analysis of the current state and direction of further exploration for diamonds in Belarus. Materials of the scientific and practical meeting; 2005 September 14–16; Minsk, Belarus]. Minsk: [s. n.]; 2005. p. 41–48. Russian.
10. Dashkevich VP, Levyi MG. [Methodology and results of prospecting for primary diamond deposits in Belarus]. In: *Analiz sovremennogo sostoyaniya i napravlenie dal'neishikh geologo-razvedochnykh rabot na almazy v Belarusi. Materialy nauchno-prakticheskogo soveshchaniya; 14–16 sentyabrya 2005 g.; Minsk, Belarus'* [Analysis of the current state and direction of further exploration for diamonds in Belarus. Materials of the scientific and practical meeting; 2005 September 14–16; Minsk, Belarus]. Minsk: [s. n.]; 2005. p. 15–20. Russian.
11. Chashka AI, Zavadich NS, Levyi MG. [Petrographic features and mineral composition of the Karotazhnaya and Gusevitskaya-1 rocks of the explosion tubes (Severo-Uvarovichskaya area)]. In: *Analiz sovremennogo sostoyaniya i napravlenie dal'neishikh geologo-razvedochnykh rabot na almazy v Belarusi. Materialy nauchno-prakticheskogo soveshchaniya; 14–16 sentyabrya 2005 g.; Minsk, Belarus'* [Analysis of the current state and direction of further exploration for diamonds in Belarus. Materials of the scientific and practical meeting; 2005 September 14–16; Minsk, Belarus]. Minsk: [s. n.]; 2005. p. 53–69. Russian.
12. *Analiz sovremennogo sostoyaniya i napravlenie dal'neishikh geologo-razvedochnykh rabot na almazy v Belarusi. Materialy nauchno-prakticheskogo soveshchaniya; 14–16 sentyabrya 2005 g.; Minsk, Belarus'* [Analysis of the current state and direction of further exploration for diamonds in Belarus. Materials of the scientific and practical meeting; 2005 September 14–16; Minsk, Belarus]. Minsk: [s. n.]; 2005. 129 p. Russian.
13. Clifford TN. Tectono-metallogenic units and metallogenic provinces of Africa. *Earth and Planetary Science Letters*. 1966; 1(6):421–434. DOI: 10.1016/0012-821X(66)90039-2.
14. Aksamentova NV, Naidenkov IV. Is the crystalline basement of Belarus a new Palaeoproterozoic domain within the East European craton? *Litasfera*. 2006;2:142–154. Russian.
15. Bogdanova SV, Bibikova EV. [Are there archaean in Belarus? (Review of the article by I. V. Naidenkov, et al. «Stratigraphic scheme of the Archaean – Lower Proterozoic of Belarus (crystalline basement)», published in the journal «Litasfera» No. 1 (22), 2005)]. *Litasfera*. 2006;1:134–136. Russian.
16. Sobolev NV, Sinitsyn AV, Kushev VG. [Structural metallogeny of diamondiferous kimberlites]. *Geologiya i geofizika*. 1992; 33(10):133–141. Russian.
17. Sorokhtin OG. *Tektonika litosfernykh plit i proiskhozhdenie amazonosnykh kimberlitov* [Tectonics of lithospheric plates and the origin of diamondiferous kimberlites]. Moscow: ONTI VIEMS; 1985. 48 p. (Obshchaya i regional'naya geologiya, geologicheskoe kartirovanie). Russian.
18. Konishchev VS. [Tectonic criteria and prospects of diamondiferousness in Belarus]. *Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus*. 2002;46(6):96–100. Russian.
19. Pearson DG, Carlson RW, Shirey SB, Boyd FR, Nixon PH. Stabilisation of Archaean lithospheric mantle: a Re – Os isotope study of peridotite xenoliths from the Kaapvaal craton. *Earth and Planetary Science Letters*. 1995;134(3/4):341–357. DOI: 10.1016/0012-821X(95)00125-V.
20. Dobretsov NL. *Global'nye petrologicheskie protsessy* [Global petrological processes]. Moscow: Nedra; 1981. 236 p. Russian.
21. Mitchell RH. *Kimberlites: mineralogy, geochemistry and petrology*. New York: Plenum Press; 1986. xvii, 442 p.
22. Makhnach AS. The problem of diamond occurrence in the territory of Belarus. *Litasfera*. 2006;2:69–75. Russian.
23. Garetskii RG, Karataev GI, Dankevich IV, Astapenko VN. *Tektonosfera Belarusi: glubimoe stroenie i zakonmernosti razmeshcheniya poleznykh iskopaemykh* [The tectonosphere of Belarus: the deep structure and patterns of mineral deposits]. Minsk: Institut geologicheskikh nauk NAN Belarusi; 2001. 134 p. Russian.
24. Matveev AV, Nechiporenko LA. *Lineamenty territorii Belarusi* [Lineaments of the territory of Belarus]. Minsk: Institut geologicheskikh nauk NAN Belarusi; 2001. 123 p. Russian.
25. Lopatin DV. [Lineament tectonics and giant deposits of Northern Eurasia]. *Issledovanie Zemli iz kosmosa*. 2002;2:77–91. Russian.
26. Moiseev EI, Belyashov AV. [Neogene terrigenous reservoir of diamond satellite minerals in the central part of the Orsha depression]. In: *Effektivnost' prognozirovaniya i poiskov mestorozhdenii almazov: proshloe, nastoyashchee i budushchee. Materialy nauchno-prakticheskoi konferentsii, posvyashchennoi pyatidesyatiletiiyu otkrytiya pervoi amazonosnoi kimberlitovoi trubki «Zarnitsa»; 25–27 maya 2004 g.; Sankt-Peterburg, Rossiya* [Efficiency of forecasting and prospecting for diamond deposits: past, present and future. Materials of the scientific and practical conference dedicated to the fiftieth anniversary of the discovery of the first diamondiferous kimberlite pipe «Zarnitsa»; 2004 May 25–27; Saint Petersburg, Russia]. Saint Petersburg: A. P. Karpinsky Russian Geological Research Institute; 2004. p. 241–243. Russian.

Получена 12.04.2021 / исправлена 07.05.2021 / принята 26.10.2021.  
Received 12.04.2021 / revised 07.05.2021 / accepted 26.10.2021.

---

---

# ТЕМАТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

---

## SPECIAL TOPIC SECTION

---

---

К 100-летию со дня основания БГУ

To the 100<sup>th</sup> anniversary of the Belarusian State University foundation

---

---

### РАЗВИТИЕ НАУЧНОЙ ШКОЛЫ ГЕОТЕКТОНИКИ В СФЕРЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ НА ФАКУЛЬТЕТЕ ГЕОГРАФИИ И ГЕОИНФОРМАТИКИ БГУ

### DEVELOPMENT OF THE SCIENTIFIC SCHOOL OF GEOTECTONICS IN THE SPHERE OF GEOLOGICAL EDUCATION AT THE FACULTY OF GEOGRAPHY AND GEOINFORMATICS OF THE BELARUSIAN STATE UNIVERSITY

В настоящее время в связи с развитием минерально-сырьевой базы Республики Беларусь и необходимостью обеспечения геологической отрасли квалифицированными кадрами крайне актуальна подготовка инженеров-геологов. Важную роль в удовлетворении потребности в геологах высшей квалификации играет факультет географии и геоинформатики БГУ.

В сфере геологического образования на факультете большое внимание уделяется внедрению в учебный процесс инновационных научных достижений. При этом в подготовке инженеров-геологов особое значение приобретает созданная белорусскими учеными разных поколений научно апробированная школа в области геотектоники.

Геотектоника – это наука о строении Земли в связи с ее общей эволюцией. Основным объектом исследования является литосфера – верхняя твердая оболочка Земли. Геотектоника составляет теоретическую основу всей геологии. Значительна роль геотектоники в прогнозе полезных ископаемых и изучении геодинамических процессов, определяющих развитие литосферы и рельефа земной поверхности. Данные новейшей тектоники и геодинамики крайне важны при проведении мониторинга геологической среды в районах освое-

ния месторождений нефти, калийных солей и др., а также выполнении инженерно-геологического обоснования площадей при строительстве крупных объектов.

В сфере геологического образования научная школа геотектоники отличается своими традициями, проблематикой и методами тектонических исследований. Формирование и развитие отечественной научной школы в БГУ осуществлялись талантливыми исследователями земных недр, уделявшими большое внимание подготовке геологических кадров.

Прежде всего следует отметить геолога, академика АН БССР, профессора Н. Ф. Блюдухо, который в 1922 г. возглавил горный отдел Совета народного хозяйства БССР, а в 1923 г. – кафедру геологии БГУ.

В своих работах Н. Ф. Блюдухо обосновывал необходимость проведения в республике геофизических исследований и бурения глубоких скважин для изучения тектоники и выявления возможных полезных ископаемых. Он сформировал коллектив высококвалифицированных преподавателей из числа известных в то время ученых-геологов, таких как М. А. Громыко, А. М. Жирмунский, С. С. Малиаревич и др.



Значительную роль в создании научной школы геотектоники в БГУ сыграл выдающийся ученый, профессор З. А. Горелик. В 1936 г. он начал работать в Институте геологических наук АН БССР, а с января 1937 г. являлся начальником Белорусского геологического управления. Многогранная научная деятельность З. А. Горелика была связана с проведением тектонических исследований. При этом особое внимание он уделял разломной тектонике как ведущему фактору, контролирующему распределение полезных ископаемых – нефти, боксит-даунитовых руд, калийных солей и др.

З. А. Горелик был одним из первых исследователей, кто задолго до открытия промышленных залежей нефти в 1964 г. положительно оценивал с позиций тектоники перспективы поисков нефти в Беларуси.

Важное место в творческой деятельности З. А. Горелика занимала педагогическая работа в БГУ в 1949–1957 гг. Первоначально он был совместителем, а затем перешел в штат профессорско-преподавательского состава геолого-географического факультета. Большой научно-производственный опыт позволил З. А. Горелику осуществлять подготовку геологов на высоком профессиональном уровне.

В 1953 г. на геологическом отделении БГУ открывается кафедра геохимии и полезных ископаемых под руководством академика К. И. Лукашева. В период 1952–1957 гг. К. И. Лукашев был ректором БГУ, позже занимал должность вице-президента АН БССР, а с 1971 по 1977 г. являлся директором Института геохимии и геофизики АН БССР.

В своей научной деятельности К. И. Лукашев среди разных аспектов геотектоники обращает внимание на геохимические особенности тектонической делимости земной коры. Несомненный научный интерес представляет его вывод о том, что «в зонах разломов по разным внутриземным причинам всегда была сосредоточена наибольшая эндогенная энергетика глубинных процессов и активность в миграции химических элементов из мантии в наружную часть земной коры».

Следует отметить, что высказанная К. И. Лукашевым точка зрения сегодня актуальна в связи с абиогенным генезисом нефти и определяющей ролью глубинных разломов в динамике углеводородных флюидов, формирующих в верхних горизонтах земной коры нефтяные месторождения.

Современная научная школа геотектоники на факультете географии и геоинформатики БГУ является новаторской и творчески плодотворной благодаря внедрению в учебный процесс в период 1995–2018 гг. результатов тектонических исследований территории Беларуси известными белорусскими учеными Р. Г. Гарецким, Р. Е. Айзбергом,

Г. В. Зиновенко, А. К. Карабановым, Г. И. Каратаевым и др.

Существенный вклад в развитие геотектонической школы внес выдающийся геолог-тектонист, академик АН БССР Р. Г. Гарецкий, эрудиция, круг интересов и стиль научной работы которого играли определяющую роль в геологическом образовании БГУ.

Р. Г. Гарецким разработан целый ряд теоретико-методических вопросов тектоники платформ, изучения глубинного строения и стадийности развития крупнейших платформенных структур – авлакогенов, синеклиз и антеклиз. К его достижениям относятся замечательные работы, посвященные теории и практике разведки калийных солей в Беларуси.

Важное место в научных исследованиях Р. Г. Гарецкого занимает создание под его руководством «Тектонической карты Белоруссии и сопредельных территорий» масштаба 1 : 500 000 и издание монографии «Тектоника Белоруссии». За эти работы в 1978 г. Р. Г. Гарецкий вместе с группой белорусских геологов отмечен Государственной премией БССР. Р. Г. Гарецкий был директором Института геохимии и геофизики (1977–1993), а позднее вице-президентом АН Беларуси (1992–1997).

Приказом ректора БГУ 20 мая 1995 г. на географическом факультете создается кафедра динамической геологии. Ее первым заведующим становится академик Р. Г. Гарецкий. На кафедре успешно развивается научная школа геотектоники. С 1998 по 2018 г. кафедру возглавлял профессор В. Н. Губин, научная деятельность которого и сегодня связана с изучением геотектоники на основе комплексной интерпретации данных дистанционного зондирования Земли из космоса и геолого-геофизических материалов. В 2018 г. кафедра динамической геологии преобразована в кафедру региональной геологии под руководством доцента О. В. Лукашева.

На кафедре динамической геологии БГУ большую роль в развитии научной школы геотектоники сыграл профессор Р. Е. Айзберг. Он внес крупный вклад в изучение тектоники, новейшей геодинамики, сейсмостектоники, решение проблем нефтегазоносности территории Беларуси. Кроме того, Р. Е. Айзберг совместно с Р. Г. Гарецким предложил новый метод тектонического районирования платформ по времени основного этапа развития структур. Этот метод был реализован при составлении тектонических карт Беларуси и Прибалтики.

На кафедре динамической геологии Р. Е. Айзберг принимал участие в подготовке инженеров-геологов. Он разработал курсы лекций «Геология нефти и газа» и «Учение о геологических формациях», которые читал студентам с изложением



геотектонических направлений в содержании этих дисциплин. В настоящее время Р. Е. Айзберг и Р. Г. Гарецкий работают в лаборатории геотектоники и геофизики Института природопользования НАН Беларуси. Результаты их научной деятельности внедряются в сферу геологического образования.

В научной школе геотектоники на факультете географии и геоинформатики БГУ важное место занимают выдающиеся достижения академика НАН Беларуси А. К. Карабанова в области новейшей тектоники и геодинамики. Являясь директором Института природопользования НАН Беларуси, А. К. Карабанов в своей многогранной научной работе уделял также большое внимание педагогической деятельности. Он руководил филиалом кафедры динамической геологии БГУ.

На кафедре А. К. Карабанов проработал в должности профессора (по совместительству) более 20 лет. Обладая широким научным кругозором, он старался привить его студентам, успешно читая лекции по новейшей тектонике. В своих лекциях А. К. Карабанов широко использовал материал, накопленный им в ходе выполнения международных научных программ и участия в конференциях в Польше, Китае и других странах. А. К. Карабанов выступил инициатором подготовки заданий и выполнения дипломных работ в области новейшей тектоники и геодинамики.

На современном этапе развития научной школы геотектоники в сфере геологического образования на факультете географии и геоинформатики БГУ особое внимание уделяется актуальным теоретико-методическим проблемам в изучении тектоники и прогнозировании месторождений полезных ископаемых. В 2020 г. в рамках государственной программы «Наукоемкие технологии и техника» сотрудниками факультета под научным руководством профессора кафедры региональной геологии В. Н. Губина разработана технология подготовки прогноза нефтегазоносности территории на основе комплексного анализа данных дистанционного зондирования Земли из космоса и геолого-геофизической информации. Созданная технология играет важную роль в учебном процессе при подготовке инженеров-геологов и магистров геологии.

Перспективы научной школы в области геотектоники связаны с внедрением в учебный процесс инновационных методов и технологий изучения земных недр, приобретением студентами геотектонических знаний и их реализацией в решении целого спектра научно-практических задач при региональных геологических исследованиях. Факультет географии и геоинформатики БГУ становится центральным звеном в подготовке квалифицированных кадров для геологической отрасли.

*В. Н. Губин*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Валерий Николаевич Губин – доктор географических наук, профессор, профессор кафедры региональной геологии факультета географии и геоинформатики Белорусского государственного университета.

*Valerii N. Gubin*, doctor of science (geography), full professor, professor at the department of regional geology, faculty of geography and geoinformatics, Belarusian State University.

E-mail: [gubinvn@bsu.by](mailto:gubinvn@bsu.by)



## ЛАНДШАФТНАЯ НАУЧНАЯ ШКОЛА БГУ И ЕЕ РОЛЬ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ, ОБЩЕСТВЕННОЙ И СОЦИАЛЬНОЙ СФЕРЕ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

### LANDSCAPE SCIENTIFIC SCHOOL OF THE BELARUSIAN STATE UNIVERSITY AND ITS ROLE IN THE EDUCATIONAL, PUBLIC AND SOCIAL SPHERE OF THE REPUBLIC OF BELARUS

Начало ландшафтными исследованиям на территории Беларуси в 1920-х гг. положили работы профессора БГУ А. А. Смолича (1891–1938), наиболее значительной среди которых является статья «Тыпы геаграфічных краявідаў Беларусі» (1925). В ней автор обозначил, что считает географический «крайвід», т. е. ландшафт, обладающий генетической однородностью, основным объектом изучения географической науки. На территории Беларуси (в границах 1925 г.) он выделил шесть основных типов ландшафтов, характеристика которых содержит как их природные особенности (рельеф, почвы, растительность), так и некоторые количественные показатели, в частности удельный вес пашни, лесов, болот, плотность и людность населения в деревнях.

Приведенные примеры свидетельствуют о том, что А. А. Смолич одним из первых среди географов стал использовать в описаниях физико-географических объектов экономико-географические показатели. Это были первые работы направления, названного через 30 лет прикладным ландшафтоведением. Даже краткий анализ трудов этого автора позволяет утверждать, что в них заложены основы фундаментальных и прикладных ландшафтных исследований, благодаря чему мы с уверенностью считаем А. А. Смолича основоположником ландшафтоведения в Беларуси.

Следующий этап развития ландшафтоведения приходится на вторую половину XX в. Начало этого этапа в нашей стране связано с именем известного исследователя, географа и геоморфолога, профессора БГУ В. А. Дементьева (1908–1974). Выпускник географического факультета Ленинградского государственного университета В. А. Дементьев получил приглашение на работу в БГУ в 1937 г. С этого момента и до конца жизни объектом его исследований стала территория Беларуси. В 1939 г. В. А. Дементьев возглавил кафедру физической географии (с 1961 г. – кафедра физической географии СССР) и занимал эту должность вплоть до 1974 г. В 1961 г. он был утвержден в ученном звании профессора.

Послевоенные годы характеризуются наиболее активным творческим периодом в жизни В. А. Дементьева. В это время он совершает многочисленные маршруты по Беларуси, изучая рельеф, геоморфологию и плейстоценовые отложения территории.

Его полевые дневники содержат описание особенностей природы посещаемой им местности, а также множество зарисовок рельефа, строения речных долин, облика отдельных ландшафтов. Собранные полевые материалы легли в основу коллективной монографии «Прырода Беларусі» (1959), текст которой иллюстрирован рисунками и фотографиями В. А. Дементьева. В 1960 г. он разработал и опубликовал первую схему физико-географического районирования Беларуси. Это одна из наиболее значимых работ В. А. Дементьева, которая сразу вывела его в ряд ведущих ученых не только Беларуси, но и Советского Союза. В ней он предстает как крупный ученый в области теории физической географии и физико-географического районирования, а также как знаток природных особенностей территории республики. Им были выделены 6 провинций, 6 округов, 42 района и 53 подрайона, детальная характеристика которых приводится в учебнике «География Белоруссии», претерпевшем два издания (1965, 1977).

В 1960-х гг. в физической географии стала быстро развиваться и укрепляться идея о ландшафте как объективно существующем природном территориальном комплексе сравнительно мелкого ранга. Ландшафтная идея захватила В. А. Дементьева, он рассматривал ландшафт как генетически однородный комплекс, состоящий из более мелких комплексов (местностей, сложных и простых урочищ, подурочищ, фаций). Кроме того, им разработаны классификация, методика полевых исследований и картографирования ландшафтов. Теоретические основы классификации и характеристика ландшафтов опубликованы в совместной с Г. И. Марцинкевич монографии «Ландшафты северной и средней Белоруссии (опыт классификации)» (1968). Детальная разработка проблемы классификации ландшафтов Беларуси выполнена позднее учениками и последователями В. А. Дементьева, которые осуществили мечту своего учителя и впервые в Беларуси создали ландшафтную карту страны.

Жизнь профессора В. А. Дементьева – яркий пример самоотверженного служения географической науке. Он много сделал для развития физической географии, геоморфологии, ландшафтоведения. Однако самой значительной его заслугой является основание на географическом факультете БГУ единственной в Беларуси ландшафтной



научной школы, формированию которой во многом способствовали такие лидерские качества В. А. Дементьева, как широкая эрудиция, прогрессивные позиции в науке, научная смелость в выявлении и обосновании географических закономерностей, огромная работоспособность.

Ландшафтная школа продолжала существовать и развиваться и после ухода В. А. Дементьева из жизни, что подтверждается научными публикациями ее членов. Наиболее значительным научным событием последней четверти XX в. явилась публикация в 1984 г. первой ландшафтной карты Беларуси (авторы – Н. К. Клицунова, Г. И. Марцинкевич, Л. В. Логинова, Г. Т. Хараничева), материалы которой легли в основу вышедшей вскоре монографии «Ландшафты Белоруссии» (1989). Создание карты потребовало разработки классификации ландшафтов, которая содержит семь классификационных единиц (класс, тип, подтип, группа родов, род, подрод, вид). Наибольшим разнообразием структуры характеризуются основные классификационные единицы – роды (20) и виды (105) ландшафтов.

Ландшафтная карта имела определенный отклик как в образовательном процессе, так и в информационных кругах. Так, в пятитомнике «Энциклопедия природы Беларуси» (1983–1986) были опубликованы ландшафтные карты всех административных областей и районов республики (в общей сложности 125 карт), мелкомасштабная ландшафтная карта страны вошла в школьные географические атласы (1990, 1998, 2004, 2009, 2010), «Национальный атлас Беларуси» (2002) включает отдельный раздел «Ландшафты» (ответственный редактор – Г. И. Марцинкевич), содержащий 17 карт.

В 2012–2015 гг. по заказу Министерства образования Республики Беларусь созданы и опубликованы две обновленные версии ландшафтной карты Беларуси в масштабе 1 : 500 000 (авторы – Г. И. Марцинкевич, И. И. Счастливая, И. П. Усова). Одна из них имеет гриф «учебное наглядное пособие для средних учебных заведений», вторая – гриф «учебное наглядное пособие для высших учебных заведений».

Последние десятилетия XX в. известны в ландшафтной науке как период становления антропогенного ландшафтоведения и бурного развития прикладных ландшафтных исследований. Первые работы по изучению антропогенных ландшафтов были проведены в рамках научного договора БГУ и Софийского университета (Болгария) по разработке этой тогда мало изученной проблемы. В результате исследований предложена первая классификация антропогенных ландшафтов Беларуси (Г. И. Марцинкевич), выявлена история их формирования (О. Ф. Якушко) и опубликована совместная с болгарскими коллегами монография «Антропогенизированные ландшафты Белоруссии и Болгарии» (1983).

В последующие годы, когда оказались востребованными работы научно-прикладного характера, представители ландшафтной школы стали активно участвовать в выполнении государственных программ научных исследований Республики Беларусь. С 2001 по 2020 г. под руководством Г. И. Марцинкевича успешно выполнены задания по оценке ландшафтного разнообразия и антропогенной трансформации ландшафтов Беларуси, по типологии, классификации и эколого-геохимической оценке урболов ландшафтов промышленных центров, по оценке влияния урболов ландшафтов на экологическое состояние городской среды. Эти работы расширили границы исследования классического ландшафтоведения и в совокупности заложили основы формирования двух новых научных направлений в ландшафтоведении Беларуси – антропогенного ландшафтоведения и ландшафтной экологии.

В результате длительного хозяйственного использования территории природная среда Беларуси подверглась значительной антропогенной трансформации, что привело к смене природных ландшафтов природно-антропогенными и техногенными. Изучение природно-антропогенных ландшафтов, которые формируются в результате использования природных ресурсов в определенных видах хозяйственной деятельности, позволило разработать их функциональную классификацию, имеющую трехступенное ранжирование (класс – подкласс – род). Путем применения исторического подхода к изучению такой группы ландшафтов нам удалось выявить общие закономерности их формирования в пределах страны и увязать этот процесс с социально-экономическими факторами. Выявлена общая тенденция антропогенной трансформации природных ландшафтов под влиянием сельскохозяйственной деятельности: от лесных ландшафтов к аграрно-лесным и аграрным. В настоящее время аграрно-лесные и аграрные ландшафты являются доминантными, занимая в сумме более 50 % территории страны. Разработана методика и проведена оценка степени антропогенной трансформации ландшафтов (Г. И. Марцинкевич, И. И. Счастливая). Выяснено, что в Поозерской и Восточно-Белорусской провинциях около 50 % территории занимают ландшафты высокой трансформации, в Полесской – средней (48,3 %), а в Предполесской – средней и низкой трансформации.

Изучением и исследованием природно-антропогенных геосистем, а также оценкой антропогенных воздействий на человека и окружающую среду успешно занимаются представители актуальной научно-прикладной ветви ландшафтоведения и экологии – геоэкологии. Разработана методологическая база этого направления, включающая концептуальные положения, методы и методики исследования, подходы к классификации геосистем и приемы их картографирования. Методики геоэкологической



оценки природных и антропогенных геосистем апробированы в ряде дипломных работ, магистерских и кандидатских диссертаций (А. Н. Витченко, Н. В. Гагина).

Помимо широко распространенных терминов «природный ландшафт» и «природно-антропогенный ландшафт», в географической науке, и особенно в средствах информации, используется термин «национальный ландшафт» (НЛ), который не имеет четкого общепринятого определения, в результате чего приобрел различную трактовку. Нами разработана концепция НЛ, содержащая идею, что ландшафтом общенационального значения могут быть как уникальные природные комплексы, так и рукотворные образования, отражающие элементы этнокультурного, сакрального или историко-культурного наследия. Предложена классификация природных и природно-антропогенных национальных ландшафтов (Г. И. Марцинкевич).

В этот же период стали востребованными работы по ландшафтно-экологическому обоснованию территорий национальных парков, заказников и других охраняемых объектов. Кроме того, ужесточились и расширились требования к содержанию разделов по охране окружающей среды при разработке схем комплексной территориальной организации (СКТО) административных районов. Все это привело к тому, что в первые два десятилетия XXI в. начался период активных ландшафтно-экологических исследований, которые способствовали формированию нового научного направления в рамках белорусского ландшафтоведения – ландшафтной экологии. Ландшафтная экология как наука сформировалась в Западной Европе во второй половине XX в., и немаловажную роль в ее развитии сыграла принятая Советом Европы в 2000 г. Европейская конвенция о ландшафтах. Все исследования этого направления базируются на использовании информационных технологий, позволяющих получать конечный результат в виде ландшафтных метрик, которые представлены оценочными индексами или коэффициентами.

Геоинформационные технологии широко используются не только в ландшафтной экологии, но и в таких областях естественных наук, как геоэкология, природопользование, охрана окружающей среды. Так, на факультете географии и геоинформатики разработана соответствующая методика и создана серия цифровых ландшафтных карт всех национальных парков Беларуси (национальные парки «Нарочанский», «Припятский», «Беловежская пуща», «Браславские озера») и Березинского биосферного заповедника. Подобная работа, выполненная впервые в масштабе 1 : 100 000, позволила выявить и оконтурить редкие и типичные ландшафты, а также уникальные природные объекты этих территорий, не прибегая к полевым исследованиям (Д. М. Курлович, Н. В. Гагина, Г. И. Марцинкевич, О. М. Ковалевская).

Еще в середине XX в. в связи с нарастающими темпами роста городов и загрязнения городской среды, а также быстрым приростом городского населения город стал привлекать к себе внимание специалистов различных отраслей знаний, включая географов. Первопроходцами в этом процессе стали ученые научно-исследовательского института АН Беларуси, теперь именуемого Институтом природопользования НАН Беларуси (В. С. Хомич, С. В. Какарека, Т. И. Кухарчик, Л. А. Кравчук и др.). В их исследованиях город рассматривается с градостроительной точки зрения, т. е. как техногенный комплекс, состоящий из планировочных районов и функциональных зон, нуждающихся в тех или иных мероприятиях по благоустройству. Не отрицая важности и необходимости такого рода исследований, группа представителей ландшафтной школы БГУ в последние годы приступила к изучению города с ландшафтной позиции, а именно рассматривая его как крупную урбосоциосистему, состоящую из природной, техногенной и социальной подсистем, сочетания элементов которых формируют более мелкие городские комплексы – урболандшафты. В результате выяснена внутренняя ландшафтная структура городской территории, разработана классификация урболандшафтов, содержащая четыре ступени (класс – тип – группа видов – вид). Структура городского ландшафта раскрывается с помощью карт урболандшафтов, которые выступают основой для их последующих оценок.

Процесс исследования урболандшафтов, помимо картографирования, включает изучение их геохимического состояния, которое определяется по уровню содержания семи видов тяжелых металлов в почвах. Карта суммарного загрязнения почв служит основой для выявления, оценки и картографирования эколого-геохимических ситуаций урболандшафтов города. При этом выясняется, что наиболее благоприятная ситуация в городах, как правило, приурочена к ландшафтно-рекреационным территориям, сельскохозяйственным землям и землям перспективного озеленения, а напряженная и конфликтная – к промышленной, производственной и коммунально-складской застройке, а также объектам транспортной инфраструктуры. Именно к последнему типу приурочены локальные геохимические аномалии с повышенным содержанием тяжелых металлов, структура которых различается в зависимости от характера производства (А. А. Карпиченко).

В последнее десятилетие большое внимание метеорологов и жителей городов привлекает тепловое загрязнение, а точнее тепловое излучение поверхности, которое приводит к повышению температуры воздуха в отдельных частях города до 26–27 °С, максимум до 32–38 °С. Такое излучение, получившее название острова тепла, чаще всего фиксируется в центральной части города.



Установлено, что формирование тепловой аномалии снижает комфортность условий проживания населения: в летний период повышает и без того высокие температуры, а в зимний период приводит к повышению влажности воздуха и способствует распространению острых респираторных заболеваний. Для изучения теплового излучения поверхности используются космические снимки, которые позволяют установить не только температуры, но и площадь теплового ареала (от 10 до 20 % площади города), а также факторы, способствующие его формированию, которыми чаще всего выступают производственные комплексы и полифункциональная уплотненная структура застройки урболандшафтов.

Дешифрованный космический снимок содержит еще одну важную информацию – видовой состав, плотность и удельный вес городской древесной растительности, что позволяет произвести расчет экосистемных услуг урболандшафтов. Показателями оценки являются наиболее важные биохимические процессы фотосинтеза – поглощение углерода и выделение кислорода. Расчеты объемов этих элементов, выполненные для Бреста, показали, что ежегодно древесные насаждения поглощают 24,4 тыс. т  $\text{CO}_2$  и выделяют в атмосферу 18,63 тыс. т  $\text{O}_2$ . Таким образом, для достижения нейтрального баланса фотосинтеза необходимо существенно расширять площади зеленых насаждений, особенно в урболандшафтах, отличающихся низкими показателями озеленения. Обнаружена следующая закономерность: интенсивность процессов фотосинтеза напрямую зависит не только от площади и видового состава городских зеленых насаждений, но и от характера и плотности застройки урболандшафта (Д. А. Трофимчук). Приведенные результаты подтверждают уже существующую в ландшафтной экологии идею о том, что наряду с биотой экосистемные услуги осуществляют и ландшафты. Такие крупные западноевропейские ученые, как О. Бастиан (2014), Ц. Ву, Р. Дж. Хоббс (2007) и др., предлагают к устоявшемуся термину «экосистемные услуги» добавить термин «ландшафтные услуги», состоятельность которого и доказана на примере Бреста. Таким образом, наши исследования идут в русле тех работ, которые ведутся в странах ЕС, и будет очень важно и актуально продолжать и развивать в дальнейшем подобные направления ландшафтной экологии. Этому способствует тот факт, что в рамках государственной программы научных исследований «Природные ресурсы и окружающая среда» на 2021–2025 гг. представители ландшафтной школы БГУ получили два задания. Одно из них нацелено на продолжение изучения урболандшафтов, оценку их средоформирующих функций и экологических рисков (И. И. Счастливая, Д. С. Воробьев, А. А. Карпиченко), а другое – на разработку методики выявления и оценки состояния культурных ландшафтов, их ин-

вентаризации, классификации и типологии для сохранения культурного наследия страны (С. И. Кузьмин, Е. Е. Давыдик, А. Л. Демидов).

Социальная значимость ландшафтоведения особенно возрастает в современную эпоху. Ландшафты в совокупности составляют жизненную среду человечества, они обладают экологическим и ресурсным потенциалом и поэтому требуют особо бережного подхода к их использованию. Оценка ландшафтов (эколого-геохимическая, тепловая, экосистемных услуг) особенно важна для городской среды, ввиду того что она выявляет территории с разной степенью благоприятности/неблагоприятности для жизнедеятельности населения.

Результаты ландшафтных исследований и ландшафтная терминология проникли в законодательные и нормативные документы страны. Так, в Законе Республики Беларусь «Об особо охраняемых природных территориях» от 15 ноября 2018 г. № 150-З большое внимание уделено охране типичных и редких ландшафтов. Отмечается, что при создании особо охраняемых природных территорий необходимо учесть наличие таких ландшафтов, их удельный вес в общей площади (70 % в заповедниках, 50 % в национальных парках, 40 % в заказниках). В Национальной стратегии устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 г. отмечается, что биологическое и ландшафтное разнообразие имеет решающее значение для устойчивого развития благодаря способности самовосстановления и выполнения важных экологических функций и экосистемных услуг. ТКП 17.12-06-2014 (02120) «Правила выделения и охраны типичных и редких биотопов, типичных и редких природных ландшафтов» приводит перечень таких ландшафтов, дает рекомендации по их выделению и картографированию, подробно описывает режим охраны и методику оценки.

Ввиду того что ландшафтная научная школа создана и функционирует в БГУ, ее первостепенной задачей всегда было привлечение студентов к научно-исследовательской работе и обеспечение их новейшей научной информацией. Настенные ландшафтные карты, которые представлены на факультете географии и геоинформатики, создавались при помощи студентов. Новые научные результаты, полученные в процессе выполнения государственных программ, активно используются при подготовке курсовых и дипломных работ студентов, в учебном процессе при чтении курсов «Прикладное ландшафтоведение», «Геохимия ландшафта», «Экология ландшафта», «Современные проблемы ландшафтной экологии», «ГИС-анализ и моделирование в геоэкологии», «Экономика природопользования». Студенты и магистранты участвуют в экспедициях, отборе образцов почв и растений, составлении карт, выступают соавторами статей и участниками научных конференций.



Теоретические принципы и методы исследования природных и природно-антропогенных ландшафтов, методические подходы и методики оценки, выработанные в рамках прикладных ландшафтных исследований и ландшафтной экологии, нашли широкое распространение и используются для оценки аграрных, мелиорированных, городских ландшафтов, а также для целей градостроительства, оптимизации территориального планирования и орга-

низации территории, природопользования, охраны окружающей среды. Все это свидетельствует о том, что современные ландшафтные исследования ученых ландшафтной школы БГУ проводятся в рамках интердисциплинарного и трансдисциплинарного подходов, что соответствует общей мировой тенденции развития естественных наук.

*Г. И. Марцинкевич*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Галина Иосифовна Марцинкевич – доктор географических наук, профессор, научный консультант научно-исследовательской лаборатории экологии ландшафтов факультета географии и геоинформатики Белорусского государственного университета.

*Galina I. Martsinkevich*, doctor of science (geography), full professor, scientific consultant at the research laboratory of landscape ecology, faculty of geography and geoinformatics, Belarusian State University.

E-mail: [halinamar@mail.ru](mailto:halinamar@mail.ru)



## НАУЧНАЯ ШКОЛА СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ГЕОГРАФИИ БГУ: ИСТОРИЯ, ТРАДИЦИИ И СОВРЕМЕННОСТЬ

### SCIENTIFIC SCHOOL OF SOCIO-ECONOMIC GEOGRAPHY OF THE BELARUSIAN STATE UNIVERSITY: HISTORY, TRADITIONS AND MODERNITY

История формирования и становления научной школы социально-экономической географии БГУ связана с выдающимися личностями, учеными-экономикогеографами, которые обладали стратегическим видением развития наиболее актуальных для Республики Беларусь и ее хозяйственного комплекса научных направлений.

Создание белорусской научной школы социально-экономической географии в БГУ приходится на 1920-е гг. Прежде всего оно связано с кафедрой географии, которую возглавлял профессор А. А. Смолич.

Следует отметить, что А. А. Смолич был первым профессором-географом в Беларуси, одним из основоположников научных и педагогических разработок в области географии, автором учебника «География Беларуси», выдержавшего пять переизданий, действительным членом Русского географического общества, руководил сельскохозяйственной секцией и комиссией по районированию БССР, являлся председателем Центрального бюро краеведения.

Развитие школы социально-экономической географии в предвоенные годы, когда встал вопрос о необходимости комплексного подхода к изучению географической среды и природных ресурсов, связано с именами профессора М. Н. Смирнова и доцента В. Е. Зудилина, приглашенных из Москвы. В. Е. Зудилин стал первым заведующим кафедрой экономической географии, которой он руководил с 1937 до 1941 г. С 1943 до 1949 г. кафедрой возглавлял профессор М. Н. Смирнов.

В 1926–1927 гг. М. Н. Смирнов являлся ректором политехнического института в Тифлисе, а в период Великой Отечественной войны с 16 февраля до 16 ноября 1943 г. – деканом географического факультета БГУ на ст. Сходня Московской области. Под руководством профессора М. Н. Смирнова были подготовлены первые в БССР кандидаты наук – И. И. Трухан (география льноводства и льняной промышленности БССР) и Н. Т. Романовский (география торфяной промышленности БССР), которые в 1960–80-х гг. возглавили исследования в области географии отраслей народного хозяйства и регионов Беларуси, заложили научные традиции фундаментальных экономико-географических исследований в республике и основы научной школы социально-экономической географии.

Профессор И. И. Трухан был известным организатором экономического и экономико-географического образования. В 1958–1962 гг. он возглавлял географический факультет БГУ, а в 1968–1982 гг. – кафедрой экономической географии СССР.

Профессор Н. Т. Романовский является одним из создателей школы социально-экономической географии БГУ. В 1947–1955 и 1962–1983 гг. он был деканом географического факультета БГУ, а в 1968–1986 гг. заведовал кафедрой экономической географии зарубежных стран. Основными направлениями деятельности научной школы в это время стали работы по развитию и размещению промышленности (Г. В. Аниченко), географии сельского хозяйства (И. И. Журавская, Г. С. Смоляков), развитию промышленных узлов, формированию и территориальной организации областных АПК (Л. А. Павлович, В. В. Некриш), а также региональные исследования Белорусского Полесья (А. Я. Малышев, С. И. Сидор).

С именем профессора Н. Т. Романовского связан период наибольшего расцвета научной школы социально-экономической географии БГУ и двух ее новых научных ветвей – географии населения и географии туризма и краеведения.

Одним из сподвижников профессора Н. Т. Романовского на кафедре экономической географии зарубежных стран БГУ в 1970-х гг. была Б. А. Манак, доцент, кандидат географических наук. По инициативе и при поддержке профессора Н. Т. Романовского она основала на географическом факультете БГУ единственный в Республике Беларусь центр демографического образования, открыв специализацию по демографии, и центр демографических исследований, создав студенческую научно-исследовательскую лабораторию региональных демографических проблем. Доктор географических наук, профессор Е. А. Антипова является ученицей доцента Б. А. Манак и профессора Н. Т. Романовского и в настоящее время продолжает развивать научные идеи в области географии населения.

На 1970–80-е гг. пришелся период широких демографических исследований на территории Беларуси. Кандидатские диссертации защитили Д. Д. Козикис, И. В. Загорец, В. Н. Сосновский и другие аспиранты (научные руководители – профессор Н. Т. Романовский, доцент Б. А. Манак).





Кроме того, в 1980-х гг. активно развивались исследования в области методики преподавания географии в целом и социально-экономической географии в частности. В первую очередь они связаны с именем доктора педагогических наук, кандидата географических наук С. И. Сидора, перу которого принадлежат учебники по географии БССР и Беларуси, а также учебные пособия для учреждений высшего образования.

В 1980–90-х гг. в научной школе большое внимание уделялось проблемам территориальной организации перерабатывающих отраслей АПК (Ф. С. Фещенко), социально-экономического развития Беларуси в условиях перехода от централизованно планируемой системы хозяйствования к рыночной (Л. В. Козловская), изучению экономики использования природных ресурсов и размещения производительных сил (А. В. Томашевич).

В 1990-х гг. на кафедре экономической географии зарубежных стран (заведующий – профессор А. В. Томашевич) была защищена кандидатская диссертация, посвященная анализу географии внешней торговли в химической промышленности Республики Беларусь (Е. А. Антипова), а на кафедре экономической географии Беларуси и государств Содружества (заведующий – профессор Л. В. Козловская) – кандидатская диссертация по географическим особенностям территориальной организации химической промышленности Республики Беларусь (В. П. Сидоренко). Много внимания в эти годы уделялось оценке природно-ресурсного потенциала страны, территориальной организации социально-экономических геосистем.

Следует отметить, что доктор экономических наук, профессор Л. В. Козловская является известным ученым в области региональной экономики, размещения производительных сил. Она была разработчиком региональных долгосрочных программ социально-экономического развития БССР, а затем Республики Беларусь, с 1988 по 2002 г. заведовала кафедрой экономической географии Беларуси и государств Содружества БГУ.

Доктор экономических наук, профессор А. В. Томашевич – известный экономикогеограф, в период 1987–2013 гг. заведующий кафедрой экономической географии зарубежных стран БГУ. Научные интересы профессора А. В. Томашевича связаны с развитием теоретических и прикладных исследований в области экономической геологии и экономической географии как научной основы территориальной организации общественного производства.

Второе направление подготовки географов и научной деятельности – география туризма, краеведения и экскурсоведения, разработку которого инициировал профессор Н. Т. Романовский, также получило дальнейшее развитие. В 1972 г. на географическом факультете БГУ была открыта спе-

циализация «география туризма и экскурсионный менеджмент», подготовка по которой непрерывно осуществляется на протяжении вот уже более 40 лет. В 1970–80-х гг. кандидатские диссертации в области географии туризма защитили такие ныне ведущие ученые данного направления в Беларуси, как профессор И. И. Пирожник, доценты Т. А. Федорова, В. М. Зайцев, Г. Р. Потаева.

Особая роль в развитии белорусской школы социально-экономической географии принадлежит доктору географических наук, профессору И. И. Пирожнику, который внес неоценимый вклад в становление географической науки и географического образования в Республике Беларусь, дал дорогу в научное будущее многим поколениям географов. С 1976 г. его научная и педагогическая деятельность была связана с кафедрой экономической географии зарубежных стран географического факультета БГУ, где он прошел все ступени профессиональной лестницы: ассистент (1976–1982), доцент (1982–1995), профессор (1995–2002), заведующий кафедрой (2002–2013), декан факультета (1998–2013). Профессор И. И. Пирожник является лауреатом премии имени академика А. Н. Севченко БГУ в области естественных наук (2003), награжден Почетной грамотой Национального собрания Республики Беларусь (2001), знаком «Отличник образования» Министерства образования Республики Беларусь (2009).

Основные итоги научных исследований профессора И. И. Пирожника обобщены в докторской диссертации «Социально-географические тенденции развития и территориальной организации туристского обслуживания (на примере СССР в 1976–1990 гг.)», которая в июне 1993 г. была защищена в Ягеллонском университете (Краков, Польша) на заседании ученого совета факультета биологии и наук о Земле (переаттестована ВАК Республики Беларусь в 1996 г.). В 1997 г. И. И. Пирожнику присвоено ученое звание профессора по специальности «география». Международное признание его работ в области рекреационной географии и территориальной организации туристского комплекса послужило основанием для избрания И. И. Пирожника профессором Российской международной академии туризма (1997).

В целях развития основных направлений белорусской научной школы экономической географии под руководством профессора И. И. Пирожника осуществлены исследования по совершенствованию территориальной структуры хозяйственного комплекса проблемных регионов Беларуси (2005), оценке конкурентоспособности экономико-географических районов в контексте задач устойчивого развития (2010). Лично им проведены работы по изучению геоэкономической структуры мирового хозяйства и форм трансграничного сотрудничества



приграничных регионов Беларуси и России, изменений территориальной структуры хозяйственного комплекса стран Центральной и Восточной Европы за годы постсоциалистической трансформации. В области социальной географии профессором И. И. Пирожником раскрыты главные тенденции структурных и пространственных изменений городского расселения Беларуси, природно-ландшафтной обусловленности трансформации сельского расселения во второй половине XX в., выполнено междисциплинарное исследование социально-экономических и демографических факторов, определяющих конфессиональную структуру населения Беларуси, и разработан атлас «Конфессии и культовые сооружения Беларуси» (2007). В сфере политической географии основные научные результаты профессора И. И. Пирожника охватывают вопросы трансформации политико-географической структуры мира, анализа геополитических концепций мирового развития, освоения природных ресурсов Мирового океана, геополитической ориентации Беларуси в современном мире, географической геоконфликтологии, которые нашли отражение в вузовском учебнике «Геополитика в современном мире» (2008). Итоги научных исследований в области рекреационной географии включают разработку концепции пространственно-функционального анализа и формирования рекреационного пространства на этапе глобализации, стадийности развития территориальной структуры туристского хозяйства, моделей его влияния на экономическое развитие и платежный баланс страны, механизма формирования туристской ренты, развития специализированных туристских комплексов в регионах Беларуси.

Профессор И. И. Пирожник долгие годы был председателем совета по защите диссертаций БГУ по географическим наукам. Под его руководством в 2000-х гг. были защищены ряд кандидатских диссертаций в области социально-экономической и рекреационной географии (О. А. Мечковская, Д. Г. Решетников, А. И. Тарасенок, А. В. Шадраков, С. А. Заруцкий). При научном консультировании профессора И. И. Пирожника в 2008 г. Е. А. Антипова защитила докторскую диссертацию на тему «Сельское расселение Беларуси: территориальная структура и геодемографическое развитие» по специальности 25.00.24 «Экономическая, социальная, политическая и рекреационная география».

В 1990-х и 2000-х гг. научные традиции профессоров Н. Т. Романовского и И. И. Пирожника в области географии населения, географии туризма и социально-экономической географии получили дальнейшее развитие. Так, в 2000-х гг. под руководством доцента Г. С. Смолякова были защищены несколько кандидатских диссертаций (Ж. А. Чижевская, Г. З. Озем), а в 2006 г. при научном кон-

сультировании профессора Л. В. Козловской белорусским экономикогеографом К. К. Красовским защищена докторская диссертация на тему «Урбанизация Беларуси: экономико-географический анализ и прогноз» по специальности 25.00.24 «Экономическая, социальная и политическая география».

Развитие научной школы социально-экономической географии БГУ в 2000-х гг. связано с устранением возникшего с 1980-х гг. пробела в экономико-географических исследованиях территориальных социально-экономических систем разного уровня. Под руководством профессора Е. А. Антиповой в эти годы были защищены кандидатские диссертации в области социально-экономической географии (экономико-географическое исследование депопуляции (Л. В. Фокеева), исследование территориальной структуры и совершенствования сети дорог автомобильного транспорта Республики Беларусь (А. П. Безрученок), экономико-географические факторы формирования и региональная динамика семейной структуры населения Беларуси (Ю. А. Губарева), пространственно-временная динамика развития электроэнергетики Республики Беларусь (Л. О. Жигальская)). Помимо этого, аспирантом кафедры экономической и социальной географии БГУ И. И. Запрудским успешно защищена кандидатская диссертация на тему «Трансфармацыя тэрытарыяльна-галаіновай структуры і рэгіяналізацыя прамысловасці Рэспублікі Беларусь». В настоящее время в рамках кандидатских диссертаций на кафедре проводятся исследования моноиндустриальных городов, территориальной структуры авиационного транспорта Беларуси, географии внешней торговли Республики Беларусь.

Научные традиции и прочный фундамент школы социально-экономической географии в настоящее время вышли за рамки БГУ. Региональные университеты страны усилили свой научный потенциал кандидатами географических наук в области социально-экономической географии (Н. Г. Белковская, Г. В. Ридевский, С. В. Корженевич, А. А. Сидорович, Д. В. Никитюк, С. А. Заруцкий, А. В. Шадраков, М. И. Бобрик и др.) благодаря накопленному опыту ученых-экономикогеографов БГУ, осуществлявших консультирование, экспертизу, оппонирование их кандидатских диссертаций.

На всех этапах развития научные исследования школы социально-экономической географии БГУ всегда были тесно связаны с практикой. Ведущие ученые научной школы, доктора географических наук, профессора А. В. Томашевич, Л. В. Козловская, И. И. Пирожник, Е. А. Антипова выступали и выступают разработчиками государственных отраслевых программ социально-экономического развития Республики Беларусь в тех или иных сферах (региональная политика, проблемные регионы, развитие туризма, развитие белорусского



села, демографическая безопасность, обеспечение устойчивого развития). Представители современной белорусской школы социально-экономической географии являются признанными в мире учеными. Под их руководством исторически развивались международные научные связи и успешно реализовывались международные научные проекты Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований и задания государственных программ научных исследований. Эти традиции сохраняются и в настоящее время.

В наши дни белорусская научная школа социально-экономической географии получает свое развитие посредством углубления научных идей в экономико-географическом образовании БГУ. В 2015 г. по инициативе заведующего кафедрой экономической географии зарубежных стран БГУ доктора географических наук, профессора Е. А. Антиповой при поддержке руководства университета открыто направление специальности 1-31 02 01-05 «География (геодемография)». Это было вызвано необходимостью эффективного обеспечения устойчивого социально-экономического развития государства в XXI в. и решения проблем демографической безопасности. В настоящее время БГУ является единственным учреждением высшего образования в стране, которое осуществляет подготовку по данному направлению на первой ступени обучения. Престиж образования в сфере геодемографии в 2020 г. привлек интерес иностранных студентов из Туркменистана, которые в настоящее время обучаются по этому направлению на факультете географии и геоинформатики.

В 2020 г. в ОКРБ 011-2009 «Специальности и квалификации» внесена новая специальность – 1-31 02 04 «Геотехнологии туризма и экскурсионная деятельность» – с присвоением квалификации «географ, специалист по геотехнологиям туризма и экскурсионной деятельности». Инициатором про-

движения данной специальности при поддержке руководства БГУ выступила кафедра экономической и социальной географии (заведующий – профессор Е. А. Антипова). Основанием для внесения изменений стала реальная потребность туристского рынка Республики Беларусь в специалистах нового поколения, владеющих информационными технологиями обработки пространственных данных, компетенциями онлайн-сервисов предоставления туристских услуг и веб-проектирования туристских продуктов.

В юбилейный для БГУ год в современной белорусской научной школе социально-экономической географии сформировались следующие ветви: вопросы рационального размещения и территориальной организации хозяйства; проблемы рекреационной географии и развития туризма; геодемография; развитие общественно-географического образования. В рамках этих ветвей развиваются научные исследования в области региональной демографии и глобальных проблем народонаселения в условиях второго и третьего демографического перехода; проблем урбанизации, комплексной территориальной организации общества и менеджмента регионального развития; анализа территориальной структуры мирового хозяйства в условиях глобализации, постиндустриализма и инновационного развития; географии туризма, экскурсионного менеджмента и повышения конкурентоспособности туристского продукта Республики Беларусь на мировом рынке; проблем территориальной организации экономики Беларуси и ее регионов в условиях инновационного развития для обеспечения устойчивого развития; разработки теоретических и методических основ для учебников по экономической и социальной географии для учреждений образования Республики Беларусь, подготовки учебных карт и атласов.

*Е. А. Антипова*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Екатерина Анатольевна Антипова – доктор географических наук, профессор; профессор кафедры экономической и социальной географии факультета географии и геоинформатики Белорусского государственного университета.

*Ekaterina A. Antipova*, doctor of science (geography), full professor, professor at the department of economic and social geography, faculty of geography and geoinformatics, Belarusian State University.

E-mail: [antipovaekaterina@gmail.com](mailto:antipovaekaterina@gmail.com)

## АННОТАЦИИ ДЕПОНИРОВАННЫХ В БГУ РАБОТ INDICATIVE ABSTRACTS OF THE PAPERS DEPOSITED IN BSU

*УДК 502.22:574.2:6/4.1(075.8)*

*Антипова О. С. Геоэкология человека [Электронный ресурс] : электрон. учеб.-метод. комплекс с креатив. компонентом для спец. 1-33 01 02 «Геоэкология» / О. С. Антипова ; БГУ. Электрон. текстовые дан. Минск : БГУ, 2021. 116 с. : ил., табл. Библиогр.: с. 112–113. Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/260828>. Загл. с экрана. Деп. в БГУ 04.06.2021, № 006204062021.*

Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) с креативным компонентом предназначен для студентов, обучающихся по специальности 1-33 01 02 «Геоэкология». В ЭУМК изложены теоретико-методологические основы и история развития геоэкологии человека, учение о факторах риска окружающей среды для здоровья населения, рассмотрены вопросы географической приуроченности инфекционных заболеваний. Особое внимание уделено социальным аспектам геоэкологии человека и вопросам формирования здорового образа жизни. Представлены тематика практических и семинарских занятий, задания для управляемой самостоятельной работы студентов, вопросы к экзамену. Содержание ЭУМК предполагает повышение эффективности управления образовательным процессом и самостоятельной работой студентов по освоению учебной дисциплины «Геоэкология человека» с помощью внедрения в образовательный процесс инновационных образовательных технологий, в том числе с выраженным креативным компонентом.

*УДК 556.53.04(075.8)*

*Новик А. А. Гидрометрия [Электронный ресурс] : электрон. учеб.-метод. комплекс для спец. 1-31 02 02 «Гидрометеорология» / А. А. Новик ; БГУ. Электрон. текстовые дан. Минск : БГУ, 2021. 88 с. : ил., табл. Библиогр.: с. 86–87. Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/261164>. Загл. с экрана. Деп. в БГУ 08.06.2021, № 006508062021.*

Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) предназначен для студентов специальности 1-31 02 02 «Гидрометеорология» факультета географии и геоинформатики Белорусского государственного университета. В ЭУМК рассматриваются наиболее важные теоретические научные достижения и научно-методические разработки в области гидрометрии. Представлены теоретический раздел в виде краткого конспекта лекций, практический раздел с примерным перечнем практических заданий и примерными вариантами заданий практических работ, раздел контроля знаний с вопросами к экзамену и организацией самостоятельной работы и вспомогательный раздел с перечнем рекомендуемой литературы и учебно-методической картой учебной дисциплины.

*УДК 551.5(075.8)*

*Каўрыга П. А. Метэаралогія і кліматалогія [Электронны рэсурс] : электрон. вучэб.-метада. комплекс для спец.: 1-31 02 02 «Гідраметэаралогія»; 1-31 02 03 «Космааэракартаграфія»; 1-56 02 02 «Геаінфармацыйныя сістэмы (па накірунках)», накірунак спец. 1-56 02 02-01 «Геаінфармацыйныя сістэмы (зямельна-када-*

стравыя)); 1-31 02 01 «Геаграфія (па накірунках)», накірунак спец. 1-31 02 01-02 «Геаграфія (навукова-педагагічная дзейнасць)»; 1-33 01 02 «Геаэкалогія» / П. А. Каўрыга, В. В. Давыдзенка ; БДУ. Электрон. тэкставыя дан. Мінск : БДУ, 2021. 152 с. : мал. Бібліягр.: с. 146–148. Рэжым доступу: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/261173>. Загл. з экрана. Дзп. у БДУ 08.06.2021, № 006608062021.

Электронны вучэбна-метадычны комплекс (ЭВМК) створаны для забеспячэння вучэбнага працэсу па дысцыпліне «Метэаралогія і кліматалогія» неабходнымі навучальнымі матэрыяламі, якія дапамагаюць засваенню тэарэтычных ведаў, фарміраванню практычных навыкаў, выкарыстанню інфармацыйных тэхналогій у адпаведнасці з дзяржаўным стандартам і вучэбнай праграмай, што прадугледжваюць падрыхтоўку спецыялістаў вышэйшай кваліфікацыі.

ЭВМК складаецца з асобных модулей вучэбных, вучэбна-метадычных, дыдактычных, раздатачных, картаграфічных і электронных матэрыялаў.

Комплексе прызначаны для студэнтаў геаграфічных і прыродазнаўчых спецыяльнасцей, якія рыхтуюцца ў вышэйшых навучальных установах.

*УДК 528.9(075.8)*

**Картографія** [Электронны ресурс] : электрон. учеб.-метод. комплекс для спец.: 1-31 02 01 «Геаграфія (по направлениям)»; 1-31 02 02 «Гидрометеорология»; 1-31 02 03 «Космоаэрокартография»; 1-33 01 02 «Геоэкология»; 1-56 02 02 «Геоинформационные системы (по направлениям)», направление спец. 1-56 02 02-01 «Геоинформационные системы (земельно-кадастровые)» / БГУ ; сост.: В. М. Храмов, А. С. Толпинский ; [под общ. ред. В. М. Храмова]. Электрон. текстовые дан. Минск : БГУ, 2021. 207 с. : ил., табл. Библиогр.: с. 197–198. Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/261917>. Загл. с экрана. Деп. в БГУ 14.06.2021, № 007114062021.

Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) «Картография» предназначен для студентов, обучающихся по специальностям 1-31 02 01 «Геаграфія (по направлениям)», 1-31 02 02 «Гидрометеорология», 1-31 02 03 «Космоаэрокартография», 1-33 01 02 «Геоэкология», 1-56 02 02 «Геоинформационные системы (по направлениям)», направление специальности 1-56 02 02-01 «Геоинформационные системы (земельно-кадастровые)». В ЭУМК представлены основные теоретические вопросы картографии, тематика, содержание и методические рекомендации для выполнения лабораторных/практических работ. ЭУМК предназначен для повышения эффективности образовательного процесса и самостоятельной работы студентов.

*УДК 33:911.3(1-87)(075.8)*

**Шевцова Н. С. Социально-экономическая география зарубежных стран** [Электронный ресурс] : электрон. учеб.-метод. комплекс для спец. 1-31 02 01 «Геаграфія (по направлениям)», направление спец. 1-31 02 01-02 «Геаграфія (научно-педагогическая деятельность)» / Н. С. Шевцова, А. К. Вишняк ; БГУ. Электрон. текстовые дан. Минск : БГУ, 2021. 142 с. : табл. Библиогр.: с. 139–142. Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/261938>. Загл. с экрана. Деп. в БГУ 15.06.2021, № 007215062021.

В электронном учебно-методическом комплексе (ЭУМК) представлены материалы по экономической и социальной географии регионов, стран и экономических районов в них. В теоретико-методической части ЭУМК дан типовой план характеристики территориальных единиц различного иерархического уровня как основа для их экономико-географического анализа, а также охарактеризована политическая карта мира и отражены существующие типологии стран мира, различающиеся по модели их экономического развития. На этой основе проведен анализ региональной социально-экономической географии зарубежных стран Европы, Азии, Америки, Африки и Австралии. На страноведческом уровне в ЭУМК дан экономико-географический анализ природно-ресурсного потенциала, населения и экономики разных стран мира, в том числе ФРГ, Франции, Великобритании, Италии, Польши, Японии, Китая, США, Бразилии и др.

*УДК 913(26)(075.8)+33:911.3(26)(075.8)*

**География Мирового океана** [Электронный ресурс] : электрон. учеб.-метод. комплекс с креатив. компонентом для спец.: 1-31 02 01 «Геаграфія (по направлениям)», направление спец. 1-31 02 01-02 «Геаграфія (научно-педагогическая деятельность)»; 1-33 01 02 «Геоэкология» : в 2 ч. Ч. 2. Экономическая / И. К. Трифонова ; БГУ. Электрон. текстовые дан. Минск : БГУ, 2021. 140 с. : табл. Библиогр.: с. 136–137. Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/262720>. Загл. с экрана. Деп. в БГУ 25.06.2021, № 007425062021.

Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) предназначен для студентов специальностей 1-31 02 01 «География (по направлениям)», направление специальности 1-31 02 01-02 «География (научно-педагогическая деятельность)», 1-33 01 02 «Геоэкология». ЭУМК состоит из четырех разделов. Содержит комплексную информацию о природных закономерностях функционирования геосистемы Мирового океана, природно-ресурсном и экономическом потенциале, формах и тенденциях его освоения. Содержание ЭУМК предполагает повышение эффективности управления образовательным процессом по освоению учебной дисциплины «География Мирового океана. Часть 2. Экономическая» с помощью внедрения в образовательный процесс инновационных образовательных технологий, в том числе с выраженным креативным компонентом.

*УДК 528.7(075.8)*

**Фотограмметрия** [Электронный ресурс] : электрон. учеб.-метод. комплекс для спец. 1-31 02 03 «Космоаэрокартография» / БГУ ; сост. П. В. Жумарь. Электрон. текстовые дан. Минск : БГУ, 2020. 94 с. : ил. Библиогр.: с. 92–94. Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/262803>. Загл. с экрана. Деп. в БГУ 28.06.2021, № 007528062021.

Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) «Фотограмметрия» предназначен для студентов специальности 1-31 02 03 «Космоаэрокартография». Содержание ЭУМК предполагает изучение следующих вопросов: аэрофотосъемка местности и получение аэрофотоизображений, теория одиночного снимка, теория стереопары и стереоскопических измерений, трансформирование снимка, выполнение фототриангуляции, цифровая фотограмметрическая обработка снимков в программном комплексе PHOTOMOD.

*УДК 528.9(075.8)+528.8(075.8)*

**Обуховский Ю. М. Индикационное картографирование** [Электронный ресурс] : электрон. учеб.-метод. комплекс для спец. 1-31 02 03 «Космоаэрокартография» / Ю. М. Обуховский, П. В. Жумарь ; БГУ. Электрон. текстовые дан. Минск : БГУ, 2020. 257 с. : ил., табл. Библиогр.: с. 252–254. Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/262804>. Загл. с экрана. Деп. в БГУ 28.06.2021, № 007628062021.

Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) «Индикационное картографирование» предназначен для студентов специальности 1-31 02 03 «Космоаэрокартография». Содержание ЭУМК предполагает изучение следующих вопросов: методика индикационных исследований, использование частных и комплексных ландшафтных индикаторов, индикация и картографирование компонентов географической среды по данным дистанционного зондирования Земли.

*УДК 33:911.3(476)(075.8)*

**Шавель А. Н. География Беларуси. Социально-экономическая** [Электронный ресурс] : электрон. учеб.-метод. комплекс для спец.: 1-31 02 01 «География (по направлениям)», направления спец.: 1-31 02 01-02 «География (научно-педагогическая деятельность)», 1-31 02 01-05 «География (геодемография)»; 1-33 01 02 «Геоэкология»; 1-56 02 02 «Геоинформационные системы (по направлениям)», направления спец.: 1-56 02 02-01 «Геоинформационные системы (земельно-кадастровые)», 1-56 02 02-02 «Геоинформационные системы (специальные)» / А. Н. Шавель ; БГУ. Электрон. текстовые дан. Минск : БГУ, 2021. 205 с. : ил., табл. Библиогр.: с. 195–199. Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/262966>. Загл. с экрана. Деп. в БГУ 30.06.2021, № 007730062021.

Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) предназначен для студентов специальностей 1-31 02 01 «География (по направлениям)», 1-33 01 02 «Геоэкология», 1-56 02 02 «Геоинформационные системы (по направлениям)» факультета географии и геоинформатики БГУ. В ЭУМК представлены материалы по дисциплине «География Беларуси. Часть 2. Социально-экономическая география». ЭУМК состоит из четырех разделов. В первом разделе приведен конспект лекций по 20 темам в рамках дисциплины, во втором рассмотрена тематика и содержание практических и семинарских занятий, в третьем находится перечень вопросов к экзамену и заданий УСР, в четвертом – рекомендуемая литература, учебно-методическая карта дисциплины, перечень используемых средств диагностики результатов УСР, требования к обучающемуся при их выполнении и методика формирования итоговой оценки по дисциплине.

УДК 911.5(075.8)

**Счастливая И. И. Ландшафтоведение** [Электронный ресурс] : электрон. учеб.-метод. комплекс для спец.: 1-31 02 01 «География (по направлениям)», 1-31 02 02 «Гидрометеорология», 1-31 02 03 «Космоаэрокартография», 1-33 01 02 «Геоэкология», 1-56 02 02 «Геоинформационные системы (по направлениям)» / И. И. Счастливая ; БГУ. Электрон. текстовые дан. Минск : БГУ, 2021. 109 с. : ил., табл. Библиогр.: с. 106. Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/263072>. Загл. с экрана. Деп. в БГУ 01.07.2021, № 007901072021.

Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) предназначен для студентов, обучающихся по специальностям 1-31 02 01 «География (по направлениям)», 1-31 02 02 «Гидрометеорология», 1-31 02 03 «Космоаэрокартография», 1-33 01 02 «Геоэкология», 1-56 02 02 «Геоинформационные системы (по направлениям)». В ЭУМК рассматриваются основные методологические проблемы науки, выявлены закономерности формирования, распространения, дифференциации и интеграции природных территориальных и природно-антропогенных комплексов, а также результаты использования их ресурсов и охраны окружающей среды. Представлены тематика лабораторных и практических занятий, задания для управляемой самостоятельной работы студентов, перечень заданий в тестовой форме, вопросы для итогового и промежуточного контроля знаний.

УДК 553(075.8)+550.8(075.8)

**Основы стратиграфии** [Электронный ресурс] : электрон. учеб.-метод. комплекс для спец. 1-51 01 01 «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых» / БГУ ; сост. Д. Л. Творнович-Севрук. Электрон. текстовые дан. Минск : БГУ, 2021. 24 с. : ил., табл. Библиогр.: с. 23–24, библиогр. в тексте. Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/263720>. Загл. с экрана. Деп. в БГУ 06.07.2021, № 008306072021.

Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) предназначен для студентов, обучающихся по специальности 1-51 01 01 «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых». Содержание ЭУМК предполагает повышение эффективности управления образовательным процессом и самостоятельной работой студентов по освоению учебной дисциплины «Основы стратиграфии» с помощью внедрения в образовательный процесс инновационных образовательных технологий, обеспечение качественной подготовки высококвалифицированных специалистов-геологов.

УДК 91(072)(075.8)+378.091.64-028.27:91(075.8)

**Писарчук Н. М. Технологии электронного обучения** [Электронный ресурс] : электрон. учеб.-метод. комплекс для спец.: 1-33 01 02 «Геоэкология»; 1-31 02 01 «География (по направлениям)», направления спец.: 1-31 02 01-02 «География (научно-педагогическая деятельность)», 1-31 02 01-05 «География (геодемография)» / Н. М. Писарчук, М. М. Ермолович ; БГУ. Электрон. текстовые дан. Минск : БГУ, 2021. 60 с. : табл. Библиогр.: с. 60. Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/267617>. Загл. с экрана. Деп. в БГУ 07.09.2021, № 008907092021.

Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) по учебной дисциплине «Технологии электронного обучения» предназначен для студентов специальностей 1-33 01 02 «Геоэкология», 1-31 02 01 «География (по направлениям)», направления специальности 1-31 02 01-02 «География (научно-педагогическая деятельность)», 1-31 02 01-05 «География (геодемография)».

Содержание ЭУМК предполагает создание условий, содействующих освоению студентами принципов работы с различными онлайн-сервисами для обеспечения полноты процесса обучения и становления специалиста-географа.

УДК 91:004(075.8)

**ГИС-анализ и моделирование** [Электронный ресурс] : электрон. учеб.-метод. комплекс для спец.: 1-31 02 03 «Космоаэрокартография»; 1-56 02 02 «Геоинформационные системы (по направлениям)», направления спец.: 1-56 02 02-01 «Геоинформационные системы (земельно-кадастровые)», 1-56 02 02-02 «Геоинформационные системы (специальные)» / БГУ ; сост. Д. М. Курлович. Электрон. текстовые дан. Минск : БГУ, 2021. 39 с. : ил. Библиогр.: с. 39. Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/268093>. Загл. с экрана. Деп. в БГУ 10.09.2021, № 009110092021.

Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) предназначен для студентов, обучающихся по специальностям 1-31 02 03 «Космоаэрокартография», 1-56 02 02 «Геоинформационные системы (по на-

правлениям)». Содержание ЭУМК предполагает повышение эффективности управления образовательным процессом и самостоятельной работой студентов по освоению учебной дисциплины «ГИС-анализ и моделирование» с помощью внедрения в образовательный процесс инновационных образовательных технологий, обеспечение качественной подготовки высококвалифицированных специалистов.

*УДК 528.9:004(075.8)*

**Компьютерная графика и оформление карт** [Электронный ресурс] : электрон. учеб.-метод. комплекс для спец. 1-31 02 03 «Космоаэрокартография» / БГУ ; сост. А. Р. Герман. Электрон. текстовые дан. Минск : БГУ, 2021. 106 с. : ил. Библиогр.: с. 104–106. Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/268513>. Загл. с экрана. Деп. в БГУ 20.09.2021, № 009420092021.

Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) «Компьютерная графика и оформление карт» предназначен для студентов, обучающихся по специальности 1-31 02 03 «Космоаэрокартография».

В ЭУМК представлены основные теоретические вопросы компьютерной графики и оформления карт, тематика, содержание и методические рекомендации для выполнения практических работ, вопросы для контроля знаний. ЭУМК предназначен для повышения эффективности образовательного процесса и самостоятельной работы студентов.

*УДК 551.501:519.6(075.8)*

**Светашев А. Г. Численный анализ атмосферных процессов** [Электронный ресурс] : электрон. учеб.-метод. комплекс для спец. 1-31 02 02 «Гидрометеорология» / А. Г. Светашев, Н. В. Дорожко ; БГУ. Электрон. текстовые дан. Минск : БГУ, 2021. 96 с. : ил. Библиогр.: с. 93–95. Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/270693>. Загл. с экрана. Деп. в БГУ 25.10.2021, № 010225102021.

Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) предназначен для студентов специальности 1-31 02 02 «Гидрометеорология» для дневной формы обучения. Содержание ЭУМК предполагает изучение следующих вопросов: современное состояние теории и практики методов моделирования, анализа и прогноза погоды; физические основы моделирования погоды и климата; орбитальные методы исследования атмосферных процессов и параметров атмосферы; моделирование атмосферных процессов различных масштабов, связь между пространственными и временными масштабами; моделирование атмосферных процессов среднего масштаба; практическое освоение модели численного прогноза атмосферных процессов WRF; системы обработки и валидации результатов расчета; дополнительные возможности системы WRF, проблемы применения, перспективы развития методов численного прогноза атмосферных процессов.

*УДК 332.3:330.43(075.8)+528.46(075.8)*

**Карпиченко А. А. Математические методы в землеустройстве** [Электронный ресурс] : электрон. учеб.-метод. комплекс для спец. 1-56 02 02 «Геоинформационные системы (по направлениям)», направления спец.: 1-56 02 02-01 «Геоинформационные системы (земельно-кадастровые)», 1-56 02 02-02 «Геоинформационные системы (специальные)» / А. А. Карпиченко ; БГУ. Электрон. текстовые дан. Минск : БГУ, 2021. 50 с. : табл. Библиогр.: с. 47–48. Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/271153>. Загл. с экрана. Деп. в БГУ 28.10.2021, № 010428102021.

Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) предназначен для студентов, обучающихся по специальности 1-56 02 02 «Геоинформационные системы». Содержание ЭУМК посвящено методическим правилам применения математических методов для решения землеустроительных задач, способствует формированию у студентов навыков в области математического анализа и моделирования, обработки результатов полевых и экспериментальных исследований, оценки степени их достоверности.

*УДК 911.2(082)+91(072)(082)+373.5.016:91(082)*

**Региональная физическая география в новом столетии. Роль личности в становлении географического образования** [Электронный ресурс] : сб. науч. работ (посвящ. памяти Петра Анисимовича Митраховича). Вып. 13 / БГУ ; [редкол.: Е. В. Матюшевская (гл. ред.), В. А. Жибуль]. Электрон. текстовые дан. Минск : БГУ, 2021. 76 с. : ил. Библиогр. в тексте. Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/272146>. Загл. с экрана. Деп. в БГУ 23.11.2021, № 011923112021.

Сборник научных работ преподавателей, магистрантов и студентов факультета географии и геоинформатики Белорусского государственного университета, учителей и учащихся средних общеобразовательных учреждений, сотрудников учебных и научно-исследовательских учреждений Республики Беларусь содержит результаты научно-исследовательской и учебно-методической работы специалистов в области физической географии и смежных наук, методики преподавания географических и экологических дисциплин в средней и высшей школе. Сборник посвящен памяти кандидата биологических наук, доцента Петра Анисимовича Митраховича. Сборник научных работ рекомендуется преподавателям географических дисциплин высших учебных заведений, ученым и исследователям в области современной физической и эволюционной географии, геоэкологии, топонимики, педагогических наук, а также студентам, магистрантам и аспирантам географических и смежных специальностей.

## СОДЕРЖАНИЕ

### ГЕОГРАФИЯ

<i>Родионова И. А., Антипова Е. А.</i> Сдвиги в географической и товарной структуре производства и мирового экспорта высокотехнологичной промышленной продукции с различной степенью интенсивности НИОКР.....	3
<i>Лазовик Г. С., Топаз А. А.</i> Оценка эрозионной опасности почв и ее картографирование с использованием ГИС-технологий.....	18
<i>Данилович И. С., Пискунович Н. Г.</i> Экстремальные проявления в режиме увлажнения на территории Беларуси в условиях трансформации климата.....	32
<i>Марцинкевич Г. И., Счастливая И. И., Карпиченко А. А., Воробьев Д. С.</i> Формирование и оценка экологических рисков урболоаншафтов в промышленных городах Беларуси.....	45
<i>Антипова Е. А., Шавель А. Н., Запрудский И. И., Безрученко А. П.</i> Экономико-географическая оценка демографической ситуации и экономического потенциала межстоличья белорусско-российского приграничного региона.....	63
<i>Матюшевская Е. В., Киселев В. Н., Яротов А. Е.</i> О причинах усыхания сосны в Белорусском Полесье.....	82

### ГЕОЛОГИЯ

<i>Тойбнер Е. А., Самодуров В. П.</i> Количественная петрография: подходы и приложения.....	91
<i>Конищев В. С., Ковхута А. М.</i> Критерии и перспективы алмазности Витебского гранулитового массива.....	102

### ТЕМАТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

#### К 100-летию со дня основания БГУ

<i>Губин В. Н.</i> Развитие научной школы геотектоники в сфере геологического образования на факультете географии и геоинформатики БГУ.....	114
<i>Марцинкевич Г. И.</i> Ландшафтная научная школа БГУ и ее роль в образовательной, общественной и социальной сфере Республики Беларусь.....	117
<i>Антипова Е. А.</i> Научная школа социально-экономической географии БГУ: история, традиции и современность.....	122
Аннотации депонированных в БГУ работ.....	126

## CONTENTS

### GEOGRAPHY

<i>Rodionova I. A., Antipova E. A.</i> Shifts in the geographical and commodity structure of production and world export of high-technology industrial products with different R&D intensity .....	3
<i>Lazovik H. S., Topaz A. A.</i> Assessment of soil erosion hazard and its mapping using GIS technologies...	18
<i>Danilovich I. S., Piskunovich N. G.</i> Precipitation extremes over territory of Belarus under current climate change.....	32
<i>Martsinkevich G. I., Shchasnaya I. I., Karpichenka A. A., Varabyou D. S.</i> Formation and assessment of ecological risks of urban landscapes in industrial cities of Belarus.....	45
<i>Antipova E. A., Shavel A. N., Zaprudski I. I., Bezruchonak A. P.</i> Economic-geographical assessment of the demographic situation and economic potential of the inter-capital Belarusian-Russian borderlands ...	63
<i>Matsiusheuskaya K. V., Kisialiou V. N., Yarotau A. E.</i> About the causes of pine drying in the Belarusian Polesje .....	82

### GEOLOGY

<i>Taeubner A. A., Samodurov V. P.</i> Quantitative petrography: approaches and applications .....	91
<i>Konishchev V. S., Kovkhuto A. M.</i> Criteries and prospects of diamonds of the Vitebsk granulite massif ...	102

### SPECIAL TOPIC SECTION

#### To the 100<sup>th</sup> anniversary of the Belarusian State University foundation

<i>Gubin V. N.</i> Development of the scientific school of geotectonics in the sphere of geological education at the faculty of geography and geoinformatics of the Belarusian State University .....	114
<i>Martsinkevich G. I.</i> Landscape scientific school of the Belarusian State University and its role in the educational, public and social sphere of the Republic of Belarus .....	117
<i>Antipova E. A.</i> Scientific school of socio-economic geography of the Belarusian State University: history, traditions and modernity.....	122
Indicative abstracts of the papers deposited in BSU.....	126

*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.  
№ 2. 2021**

Учредитель:  
Белорусский государственный университет

Юридический адрес: пр. Независимости, 4,  
220030, г. Минск.

Почтовый адрес: пр. Независимости, 4,  
220030, г. Минск.

Тел. 259-70-74, 259-70-75.

E-mail: [jgeo@bsu.by](mailto:jgeo@bsu.by)

URL: <https://journals.bsu.by/index.php/geography>

«Журнал Белорусского государственного  
университета. География. Геология»  
издается с января 1969 г.  
До 2017 г. выходил под названием «Вестник БГУ.  
Серия 2, Химия. Биология. География»  
(ISSN 2308-9164).

Редактор *О. А. Семенец*  
Технический редактор *Д. Ф. Когут*  
Корректор *Л. А. Меркуль*

Подписано в печать 30.11.2021.  
Тираж 100 экз. Заказ 578.

Республиканское унитарное предприятие  
«Информационно-вычислительный центр  
Министерства финансов Республики Беларусь».  
ЛП № 02330/89 от 03.03.2014.  
Ул. Кальварийская, 17, 220004, г. Минск.

© БГУ, 2021

**Journal  
of the Belarusian State University. Geography and Geology.  
No. 2. 2021**

Founder:  
Belarusian State University

Registered address: 4 Niezaliežnasci Ave.,  
Minsk 220030.

Correspondence address: 4 Niezaliežnasci Ave.,  
Minsk 220030.

Tel. 259-70-74, 259-70-75.

E-mail: [jgeo@bsu.by](mailto:jgeo@bsu.by)

URL: <https://journals.bsu.by/index.php/geography>

«Journal of the Belarusian State University.  
Geography and Geology»  
published since January, 1969.  
Until 2017 named «Vestnik BGU.  
Seriya 2, Khimiya. Biologiya. Geografiya»  
(ISSN 2308-9164).

Editor *O. A. Semenets*  
Technical editor *D. F. Kogut*  
Proofreader *L. A. Merkul'*

Signed print 31.11.2021.  
Edition 100 copies. Order number 578.

Republican Unitary Enterprise  
«Informatsionno-vychislitel'nyi tsentr  
Ministerstva finansov Respubliki Belarus'».  
License for publishing No. 02330/89, 3 March 2014.  
17 Kal'varyjskaja Str., Minsk 220004.

© BSU, 2021