



БЕЛОРУССКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

ЖУРНАЛ  
БЕЛОРУССКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

# ГЕОГРАФИЯ ГЕОЛОГИЯ

---

JOURNAL  
OF THE BELARUSIAN STATE UNIVERSITY

# GEOGRAPHY and GEOLOGY

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

Выходит один раз в полугодие

---

# 1

# 2022

---

МИНСК  
БГУ

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

<b>Главный редактор</b>	<b>АНТИПОВА Е. А.</b> – доктор географических наук, профессор; профессор кафедры экономической и социальной географии факультета географии и геоинформатики Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь. E-mail: antipova@bsu.by
<b>Заместитель главного редактора</b>	<b>КЛЕБАНОВИЧ Н. В.</b> – 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
<b>Ответственный секретарь</b>	<b>ГАГИНА Н. В.</b> – кандидат географических наук, доцент; заведующий кафедрой географической экологии факультета географии и геоинформатики Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь. E-mail: hahina@bsu.by
<b>Балтрунас В.</b>	Центр изучения природы, Вильнюс, Литва.
<b>Витченко А. Н.</b>	Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь.
<b>Донерт К.</b>	Европейский центр качества, Европейская ассоциация географов, Зальцбург, Германия.
<b>Еловичева Я. К.</b>	Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь.
<b>Зуй В. И.</b>	Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь.
<b>Калицкий Т.</b>	Институт географии Университета Яна Кохановского в Кельце, Кельце, Польша.
<b>Катровский А. П.</b>	Смоленский государственный университет, Смоленск, Россия.
<b>Курлович Д. М.</b>	Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь.
<b>Маркс Л.</b>	Варшавский университет, Варшава, Польша.
<b>Мезенцев К. В.</b>	Киевский национальный университет им. Тараса Шевченко, Киев, Украина.
<b>Нюсупова Г. Н.</b>	Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан.
<b>Пирожник И. И.</b>	Поморский университет, Слупск, Польша.
<b>Родионова И. А.</b>	Российский университет дружбы народов, Москва, Россия.
<b>Руденко Л. Г.</b>	Институт географии Национальной академии наук Украины, Киев, Украина.
<b>Сарменто Ж. К. В.</b>	Университет Миньо, Брага, Португалия.

## EDITORIAL BOARD

<b>Editor-in-chief</b>	<b>ANTIPOVA E. A.</b> , 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
<b>Deputy editor-in-chief</b>	<b>KLEBANOVICH N. V.</b> , 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
<b>Executive secretary</b>	<b>HAHINA N. V.</b> , 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
<b>Baltrūnas V.</b>	Nature Research Centre, Vilnius, Lithuania.
<b>Vitchenko A. N.</b>	Belarusian State University, Minsk, Belarus.
<b>Donert K.</b>	European Centre of Excellence, EUROGEO, Salzburg, Germany.
<b>Yelovicheva Ya. K.</b>	Belarusian State University, Minsk, Belarus.
<b>Zui V. I.</b>	Belarusian State University, Minsk, Belarus.
<b>Kalicki T.</b>	Institute of Geography of the Jan Kochanowski University in Kielce, Kielce, Poland.
<b>Katrovskii A. P.</b>	Smolensk State University, Smolensk, Russia.
<b>Kurlovich D. M.</b>	Belarusian State University, Minsk, Belarus.
<b>Marks L.</b>	University of Warsaw, Warsaw, Poland.
<b>Mezentsev K. V.</b>	Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine.
<b>Nyusupova G. N.</b>	al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan.
<b>Pirozhnik I. I.</b>	Akademia Pomorska, Slupsk, Poland.
<b>Rodionova I. A.</b>	Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia.
<b>Rudenko L. G.</b>	Institute of Geography of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine.
<b>Sarmento Zh. K. B.</b>	University of Minho, Braga, Portugal.

УДК 551.583

## ОЦЕНКА ВЕКОВОЙ И СОВРЕМЕННОЙ ТЕНДЕНЦИЙ ИЗМЕНЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ В НАХИЧЕВАНСКОЙ АВТОНОМНОЙ РЕСПУБЛИКЕ АЗЕРБАЙДЖАНА

Г. М. ГУСЕЙНОВ<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Министерство по чрезвычайным ситуациям Азербайджанской Республики,  
ул. М. Мушвига, 501, AZ1073, г. Баку, Азербайджан

Рассмотрены некоторые вопросы оценки вековой и современной тенденций выпадения атмосферных осадков на территории Нахичеванской Автономной Республики Азербайджана. Приведены краткие общие сведения об этом регионе. Для оценки вековой тенденции изменения количества атмосферных осадков использованы данные о годовой сумме осадков за 1891–2015 гг. по гидрометеорологической станции Нахичевань. Представлен график динамики годового количества атмосферных осадков за указанный период, а также прямолинейный и криволинейный тренды в рядах этого элемента, которые характеризуют особенности рассматриваемой динамики. Приведена оценка возможных изменений годового количества атмосферных осадков по гидрометеорологической станции Нахичевань за различные климатические периоды (1891–1910, 1911–1940, 1941–1971, 1972–2015). С учетом того что годовое количество осадков изменяется в широком диапазоне, рассчитана повторяемость разных градаций этого показателя за 1891–2015 гг. Так как территория рассматриваемого региона имеет сложный рельеф, были вычислены вертикальные градиенты атмосферных осадков по месяцам. С использованием уравнений связи рассчитано годовое количество атмосферных осадков для различных высот и выполнено сравнение полученных результатов с соответствующими величинами, представленными в других исследованиях.

**Ключевые слова:** атмосферные осадки; глобальные и региональные изменения климата; вековые и современные изменения; вертикальный градиент; градация; Нахичевань.

---

### Образец цитирования:

Гусейнов ГМ. Оценка вековой и современной тенденций изменения количества атмосферных осадков в Нахичеванской Автономной Республике Азербайджана. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология.* 2022;1:3–14.  
<https://doi.org/10.33581/2521-6740-2022-1-3-14>

### For citation:

Huseynov QM. Assessment of the century-long and current trends in the change in the amount of precipitation in the Nakhichevan Autonomous Republic of Azerbaijan. *Journal of the Belarussian State University. Geography and Geology.* 2022;1:3–14. Russian.  
<https://doi.org/10.33581/2521-6740-2022-1-3-14>

---

### Автор:

**Габил Мамед Гусейнов** – инженер-метеоролог метеорологического отдела авиационного отряда.

### Author:

**Qabil M. Huseynov**, engineer-meteorologist at the meteorological department, aviation team.  
[gabilhuseyn@mail.ru](mailto:gabilhuseyn@mail.ru)

## ASSESSMENT OF THE CENTURY-LONG AND CURRENT TRENDS IN THE CHANGE IN THE AMOUNT OF PRECIPITATION IN THE NAKHICHEVAN AUTONOMOUS REPUBLIC OF AZERBAIJAN

*Q. M. HUSEYNOV<sup>a</sup>*

<sup>a</sup>*Ministry of Emergency Situations of the Republic of Azerbaijan,  
501 M. Mushviq Street, Baku AZ1073, Azerbaijan*

Some issues of assessing the century-long and current state of the amount of atmospheric precipitation in the territory of the Nakhichevan Autonomous Republic of Azerbaijan are considered. Brief general information about this area is given. To assess the century-long tendency in the amount of atmospheric precipitation in the Nakhichevan hydrometeorological station, used the annual amount of atmospheric precipitation for the period 1891–2015. A graph of the dynamics of the annual amount of atmospheric precipitation, as well as the straight-line and curved-line trends in the series of this element, which characterise the features of the considered dynamics for 1891–2015, is presented. An assessment of possible changes in the annual amount of atmospheric precipitation for different climatic periods (1891–1910, 1911–1940, 1941–1971, 1972–2015) in the Nakhichevan hydrometeorological station is also presented. Taking into account the variability of annual precipitation in a large range, the frequency of occurrence of various gradations of this indicator for 1891–2015 was calculated. Due to the fact that the territory of the region under consideration has a complex relief, the values of the vertical gradients of atmospheric precipitation by months were calculated. Using the equations of relationship, the calculations of the annual amount of atmospheric precipitation for different heights are carried out and a comparison with the corresponding values is carried out. The results of calculations and assessment of the corresponding changes are presented.

**Keywords:** atmospheric precipitation; global and regional climate changes; secular and modern changes; vertical gradient; gradation; Nakhichevan.

### Введение

Нахичеванская Автономная Республика (АР), входящая в состав Азербайджанской Республики, является горным регионом (32,9 % площади находится на высоте 600–1000 м, 30,5 % – 1000–1500 м, 19,5 % – 1500–2000 м, 9,5 % – 2000–2500 м, 6,1 % – 2500–3000 м, 1,5 % – более 3000 м), часть территории располагается в межгорной котловине и на юго-западе Малого Кавказа (рис. 1).



Рис. 1. Месторасположение метеорологических станций в Нахичеванской АР

Fig. 1. Location of meteorological stations in the Nakhichevan Autonomous Republic

Гипсометрическое различие равнинной части и окружающих ее гор достигает 3300 м. Эта особенность имеет существенное значение для объяснения специфического пространственно-временного распределения приземной температуры воздуха на территории республики. В сочетании с циркуляционными особенностями региона формируются своеобразное поле средних годовых и сезонных температур воздуха и, соответственно, климатические условия территории [1; 2].

## Постановка проблемы

Почвенно-климатические условия на равнинной и предгорной частях территории Нахичеванской АР позволяют получать высокие урожаи сельскохозяйственных культур. Например, можно отметить, что по новым климатическим нормам (1961–1990) средняя годовая температура воздуха в этом регионе варьирует в пределах 11,5–14,3 °С, максимальная температура составляет 17,5–20,5 °С, минимальная – 6,0–9,1 °С. Среднегодовая относительная влажность воздуха колеблется в диапазоне 55,8–61,0 %. Годовая сумма атмосферных осадков варьирует от 207 мм (Джульфа) до 386 мм (Шахбуз) [3].

Однако для территории Нахичеванской АР с ее ярко выраженным континентальным климатом, приводящим, в частности, к значительным перепадам температур и количества атмосферных осадков, важную роль играют характеристики изменчивости приземной температуры воздуха и количества осадков. Неустойчивость погоды (например, смена влажных лет засушливыми, теплых зим суровыми) приводит к значительной изменчивости урожая сельскохозяйственных культур. В климатическом отношении рассматриваемая территория отличается весьма высокими ресурсами тепла. Теплообеспеченность уменьшается от равнинных районов в сторону горных зон. Однако параллельно с этими особенностями отчетливо проявляется нарастание дефицита и неустойчивости атмосферного увлажнения, особенно в период вегетации, что в значительной степени лимитирует величину урожая. Поэтому интенсификация земледелия в этом регионе реальна лишь при условии широкомасштабного систематического орошения земель с учетом пространственно-временного распределения количества атмосферных осадков.

Следует отметить, что недостаточность метеорологической информации, особенно в начале XXI в., сложный рельеф, почти полная изолированность территории от соседних регионов окружающими ее горными хребтами являются основными проблемами климатического исследования данной местности.

*Основная цель исследований* – оценить вековую и современную тенденции изменения количества атмосферных осадков на территории Нахичеванской АР, что позволит более рационально учитывать полученные результаты при планировании проведения сельскохозяйственных, мелиоративных, гидроэнергетических и других мероприятий.

## Материалы и методы исследования

Прежде всего следует провести анализ некоторых научных подходов к рассматриваемой проблеме. Многочисленные фундаментальные исследования климатических изменений подтверждают факт глобального потепления климата в результате антропогенных выбросов парниковых газов в приземную атмосферу в последние десятилетия XX в. В настоящее время в целях обнаружения изменения элементов климата и исследования особенностей их пространственно-временного распределения с использованием материалов инструментальных наблюдений, а также для предсказания поведения климатической системы в будущем и ее влияния на различные отрасли народного хозяйства применяются метод трендового анализа, метод разности этих элементов между двумя конкретными климатическими периодами [4–7] и методы математического моделирования, в частности модели общей циркуляции атмосферы (ОЦА) [8–11], палеоклиматические аналоги будущего, основанные на изменении климата в прошлом [12–14].

К тому же в климатических исследованиях характеристики климата рассматриваются за достаточно продолжительный период (обычно около 25–30 лет). Их оценки также можно получить путем осреднения данных за эти же временные промежутки. Кроме того, имеет место подход, представленный в работе [15], где использован метод разности за близкие климатические периоды – 1958–1977 и 1978–1997 гг.

Следует отметить, что линейный тренд слабо отражает закономерности межгодовой изменчивости в рядах климатических элементов. Более существенную роль играют колебания от десятилетий к десятилетиям. Эти особенности хорошо отражаются с помощью сглаженной линии. Традиционным методом сглаживания или фильтрации в целях исключения случайных колебаний и выявления закономерностей временного хода аномалии рассматриваемого климатического элемента является метод скользящего осреднения. При этом в зависимости от длины ряда период осреднения обычно выбирается в интервале от 5 до 11 лет [16]. В работе [17] осуществлена аппроксимация временных рядов количества атмосферных осадков полиномом шестой степени. В настоящем исследовании был выбран период осреднения 11 лет, что обусловлено отсутствием корреляции между смежными членами ряда. Аналогичные сглаживания будут использованы и в дальнейших расчетах.

Таким образом, можно отметить, что одной из теоретических основ оценки вековой и современной тенденций изменения количества атмосферных осадков являются широко применяемые в климатических исследованиях методы линейного тренда и разности.

В настоящей работе были использованы средние многолетние данные за 1891–2015 гг. по гидрометеорологической станции Нахичевань, а также данные за 1961–2015 гг. [18] по пяти гидрометеорологическим станциям (см. рис. 1): Ордубад (861 м), Джульфа (736 м), Нахичевань (885 м), Шахбуз (1205 м) и Шарур (812 м). Видно, что существующая сеть гидрометеорологических станций редка, горные районы слабо освещены в метеорологическом отношении.

## Краткая характеристика глобальных и региональных тенденций изменения количества атмосферных осадков

Исследование многолетних колебаний в режиме атмосферного увлажнения является одной из важнейших задач, так как наряду с другими климатическими элементами количество атмосферных осадков подвергается значительному пространственно-временному изменению. Средние и аномальные значения данного показателя зависят от особенностей общей циркуляции атмосферы, физико-географических условий территории, а также времени года. Все эти факторы в тесной взаимосвязи определяют пространственно-временное и межгодовое изменение количества осадков [5].

Результаты некоторых исследований показывают, что в XX в. в средних и высоких широтах Северного полушария (за исключением Восточной Азии) годовое количество атмосферных осадков увеличивалось со скоростью 0,5–1,0 % за 10 лет, а на суше субтропиков (10–30° с. ш.) уменьшалось со скоростью около 0,3 % за 10 лет. Вместе с тем к северу от широты 30° количество осадков увеличилось, а в тропиках уменьшилось [19]. Во второй половине XX в. увеличилась повторяемость сильных осадков, а площадь снежного покрова уменьшилась примерно на 10 % [20–22]. Наблюдаемую тенденцию изменения количества атмосферных осадков по материкам кратко можно охарактеризовать следующим образом. В Африке на южном берегу Средиземного моря годовое количество осадков уменьшилось, а на восточном берегу увеличилось [23]. На большей части Азии годовая сумма осадков увеличилась, в Центральной Азии уменьшились летние осадки, в отдельных регионах Южной и Восточной Азии возросла повторяемость интенсивности осадков [23]. По данным 52 гидрометеорологических станций, на территории Турции за период 1950–2004 гг. годовое количество осадков увеличилось в восточной части и уменьшилось в западной [24]. В центральных районах Европы, на юге Альпийских гор и в средиземноморской части годовое количество осадков уменьшилось, в юго-восточной части увеличилось. На территории США за период 1901–2015 гг. годовое количество осадков возрастало со скоростью 41,5 мм за 100 лет<sup>1</sup>. В регионе Британской Колумбии Канады также происходило увеличение годового количества осадков со скоростью 12 % за 100 лет<sup>2</sup>.

Анализ современной тенденции изменения количества атмосферных осадков в некоторых странах СНГ представлен ниже.

Одно из фундаментальных исследований причин и следствий глобального и регионального изменения климата проведено В. Ф. Логиновым [25]. В указанной монографии среди прочих рассмотрены вопросы изменения климата на территории России, Украины, Молдовы и Беларуси. Как отмечает В. Ф. Логинов, на протяжении более чем 100-летнего периода изменение осадков на территории Беларуси отличается большей пространственно-временной изменчивостью по сравнению с температурой. Так, в послевоенное время наблюдалось снижение количества осадков относительно довоенного уровня, тогда как в последние 15–20 лет на большей части страны происходит рост этого климатического показателя. По другим данным<sup>3</sup>, за последние 20–25 лет на территории Беларуси зафиксировано уменьшение количества атмосферных осадков в апреле (91 % нормы), июне (93 % нормы) и августе (93 % нормы), а незначительные увеличения отмечены в феврале, марте и октябре. На территории Молдовы в 1950–2001 гг. количество осадков почти не изменилось<sup>4</sup>.

За последние 50 лет в целом на всей территории России и в ее восточных регионах годовое и сезонное количество осадков уменьшилось, а в европейской части незначительно увеличилось [20; 21]. В работе [7] показано, что наблюдаются колебания количества осадков в Сибири с наибольшим ростом на севере региона, достигающим 30 мм за 10 лет. Такое увеличение в большей степени обусловлено ростом количества осадков в холодный период (ноябрь – апрель) до 27,3 мм за 10 лет и во второй половине теплого периода (август – октябрь) до 15 мм за 10 лет. На территории Сибири не прослеживается динамика числа дней с осадками (более 1 мм), за исключением северного региона, где наблюдается рост данного показателя (5 дней каждые 10 лет). Особенности формирования изменений атмосферных осадков на Восточно-Европейской равнине под влиянием долгопериодных колебаний температуры поверхности океана в Северной Атлантике и связанных с ними изменений крупномасштабной атмосферной циркуляции в Атлантико-Европейском секторе рассмотрены в работе [26]. Для оценки изменений атмосферных

<sup>1</sup>EPA's report on the environment (ROE) [Electronic resource]. URL: <https://www.epa.gov/roe/> (date of access: 21.03.2021).

<sup>2</sup>Indicators of climate change for British Columbia: 2016 update [Electronic resource]. URL: [https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/environment/research-monitoring-and-reporting/reporting/envreportbc/archived-reports/climate-change/climatechangeindicators-13sept2016\\_final.pdf](https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/environment/research-monitoring-and-reporting/reporting/envreportbc/archived-reports/climate-change/climatechangeindicators-13sept2016_final.pdf) (date of access: 21.03.2021).

<sup>3</sup>Изменение климата и безопасность в Восточной Европе. Республика Беларусь, Республика Молдова, Украина: региональная оценка [Электронный ресурс]. URL: [https://zoinet.org/wp-content/uploads/2018/02/climsec\\_EE\\_report\\_RU.pdf](https://zoinet.org/wp-content/uploads/2018/02/climsec_EE_report_RU.pdf) (дата обращения: 21.03.2021).

<sup>4</sup>Там же.

осадков (в том числе их жидкой и твердой фракций) использованы данные наземных наблюдений на метеорологических станциях России (месячные суммы осадков), спутниковые данные, а также данные реанализов, архивов сеточных данных, индексы телеконнекции и климатические индексы. Как отмечает автор указанной работы, при решении поставленных задач были получены новые оригинальные результаты. В частности, выявлена и исследована пространственная структура отклика сезонных осадков на Восточно-Европейской равнине на долгопериодные изменения температуры поверхности океана в Северной Атлантике. Отмечено, что наиболее чувствительные к этому влиянию регионы расположены на юго-востоке равнины. Во все сезоны года выявлена тесная связь ведущего режима осадков с индексом атлантической мультideкадной осцилляции. Установлено, что изменениями атмосферной циркуляции объясняется до 72 % изменчивости осадков зимой, до 69 % весной, до 64 % летом.

На территории Азербайджана также проводятся разнонаправленные исследования по оценке пространственно-временного изменения количества атмосферных осадков [3; 27]. В работе [27] для оценки изменчивости в многолетних рядах сезонных атмосферных осадков использован метод линейного тренда. В результате за 1971–1997 гг. зимой в целом отмечено статистически незначимое уменьшение количества осадков (–1...–21 мм), небольшое увеличение зафиксировано только в Ленкоранской зоне и на Большом Кавказе (2–10 мм). Весной наблюдалось повсеместное снижение уровня осадков (–11...–71 мм). В летний и осенний сезоны отмечено статистически незначимое изменение количества атмосферных осадков во всех физико-географических зонах. В работе [3] с помощью метода разности за периоды 1991–2005 и 1961–1990 гг. получено, что на территории Азербайджана повсеместно наблюдалось уменьшение количества атмосферных осадков в зимний (–3...–38 %), весенний (–2...–54 %) и летний (–2...–54 %) сезоны. В осенний же сезон на южном и северо-восточном склонах Большого Кавказа отмечено увеличение количества осадков на 3–15 %, а на остальной территории страны – уменьшение на 3–19 %. В работе [28] рассмотрены вопросы сезонного и годового пространственного распределения атмосферных осадков на территории Азербайджана, зависимость количества атмосферных осадков от циркуляционных процессов.

### Анализ результатов исследований

**Оценка вековой тенденции изменения количества атмосферных осадков по гидрометеорологической станции Нахичевань.** Для этого использованы данные о годовой сумме осадков за 1891–2015 гг. На рис. 2 представлен график динамики годового количества атмосферных осадков за указанный период, а также прямолинейный и криволинейный тренды в рядах этого элемента, которые характеризуют особенности рассматриваемой динамики.

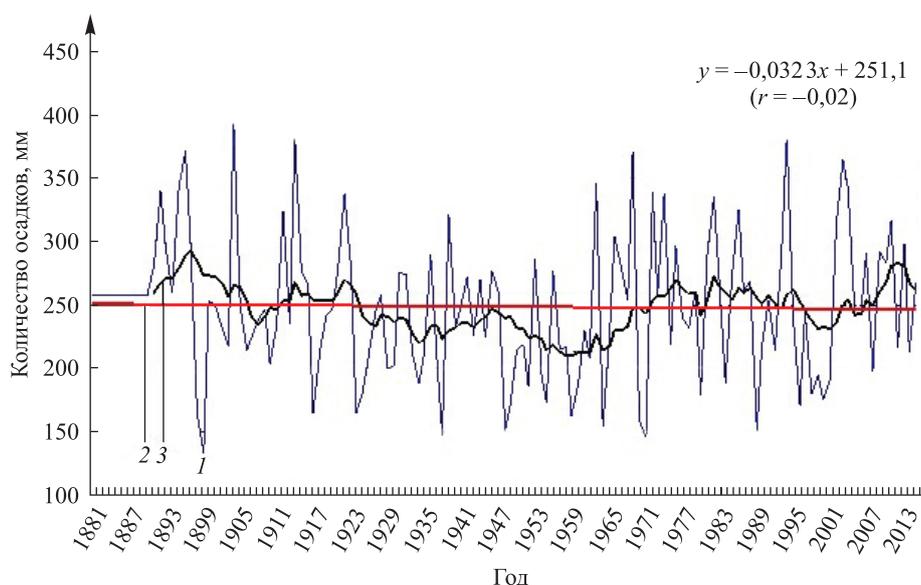


Рис. 2. Многолетняя динамика (1) и тенденция изменения годового количества атмосферных осадков за 1891–2015 гг. с использованием прямолинейного (2) и криволинейного (3) трендов

Fig. 2. Long-term dynamics (1) and the tendency of change of the annual amount of atmospheric precipitation for the 1891–2015 using rectilinear (2) and curvilinear (3) trends

Как видно из рис. 2, за рассматриваемый период отмечено статистически незначимое уменьшение годового количества атмосферных осадков на 4 мм, а также чередование коротко- и длиннопериодного увеличения и уменьшения осадков.

**Оценка возможных изменений годового количества атмосферных осадков по гидрометеорологической станции Нахичевань за различные климатические периоды.** В современных климатических исследованиях особый научный интерес представляют изменения температуры воздуха в периоды наиболее крупных глобальных климатических изменений, важнейшими из которых являются глобальное потепление 1930-х гг. и потепление последних десятилетий [29].

Для исследования были выбраны следующие климатические периоды, относящиеся к различным глобальным изменениям климата: 1891–1910 гг. (глобальное похолодание); 1911–1940 гг. (глобальное потепление); 1941–1971 гг. (глобальное похолодание); 1972–2015 гг. (глобальное потепление) [29]. Для каждого из них с использованием линейного тренда получены изменения годового количества атмосферных осадков. Некоторые статистические характеристики в рядах годового количества атмосферных осадков за рассматриваемые периоды представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Некоторые статистические характеристики изменения годового количества осадков в различные климатические периоды**

Table 1

**Some statistical characteristics of changes in annual precipitation in different climatic periods**

Период	Среднее значение, мм	Изменение, мм		Коэффициент вариации ( $C_v$ )	Коэффициент корреляции ( $r$ )
		За 10 лет	За период в целом		
1891–1910 (похолодание)	260,6	–42,6	–85,2	0,25	–0,381
1911–1940 (потепление)	243,4	–16,9	–50,7	0,23	–0,271
1941–1971 (похолодание)	229,6	+0,2	+0,6	0,25	0,000
1972–2015 (потепление)	256,2	+1,5	+6,6	0,22	0,033

Как следует из табл. 1, в 1891–1910 гг. осредненное годовое количество атмосферных осадков составило 260,6 мм. В этот период наблюдалось статистически незначимое ( $r = -0,381$ ) уменьшение годовых сумм осадков (–85,2 мм) со скоростью –42,6 мм за 10 лет. Из рис. 2 видно, что наибольшее количество осадков выпало в 1904 г. (397 мм), 1896 г. (371 мм), 1895 г. (343 мм) и 1892 г. (340 мм), а наименьшее – в 1899 г. (133 мм) и 1898 г. (165 мм).

За период 1911–1940 гг. средняя величина годового количества атмосферных осадков составила 243,4 мм. Наблюдалось статистически незначимое ( $r = -0,271$ ) уменьшение годовых сумм осадков (–50,7 мм) со скоростью –16,9 мм за 10 лет. Наибольшее количество осадков отмечено в 1914 г. (381 мм), 1922 г. (338 мм), 1912 г. (325 мм) и 1939 г. (321 мм), а наименьшее – в 1938 г. (148 мм), 1924 г. (164 мм), 1917 г. (165 мм), 1925 г. (181 мм) и 1934 г. (188 мм).

В 1941–1971 гг. среднее годовое количество осадков составило 229,6 мм, каких-либо изменений в их рядах не происходило. За этот период наибольшее количество осадков выпало в 1969 г. (372 мм), 1963 г. (346 мм) и 1966 г. (304 мм), а наименьшее – в 1971 г. (146 мм), 1948 г. (151 мм), 1964 г. (154 мм) и 1970 г. (159 мм).

В 1972–2015 гг. (последнее глобальное потепление) осредненное годовое количество осадков составило 256,2 мм. Было отмечено статистически незначимое ( $r = 0,033$ ) увеличение годовых сумм осадков на 6,6 мм. Наибольшее количество атмосферных осадков наблюдалось в 1994 г. (397 мм) и 2004 г. (381 мм), а наименьшее – в 1989 г. (150 мм) и 1997 г. (165 мм).

В заключение этого анализа можно отметить, что как наибольшее (397 мм), так и наименьшее (133 мм) годовое количество атмосферных осадков выпало в годы первого глобального похолодания.

**Повторяемость различных градаций годового количества атмосферных осадков.** С учетом того что годовое количество осадков изменяется в широком диапазоне, рассчитана повторяемость различных градаций этого показателя за 1891–2015 гг. и построена соответствующая диаграмма (рис. 3).

Как видно из рис. 3, повторяемость экстремально малого количества осадков (101–150 мм) составила 2,4 %, а экстремально большого количества осадков (351–400 мм) – 4,8 %. Наибольшая повторяемость наблюдалась в диапазонах 201–250 мм (32,0 %) и 251–300 мм (29,6 %). Таким образом, в 61,6 % случаев количество осадков менялось в пределах 201–300 мм.

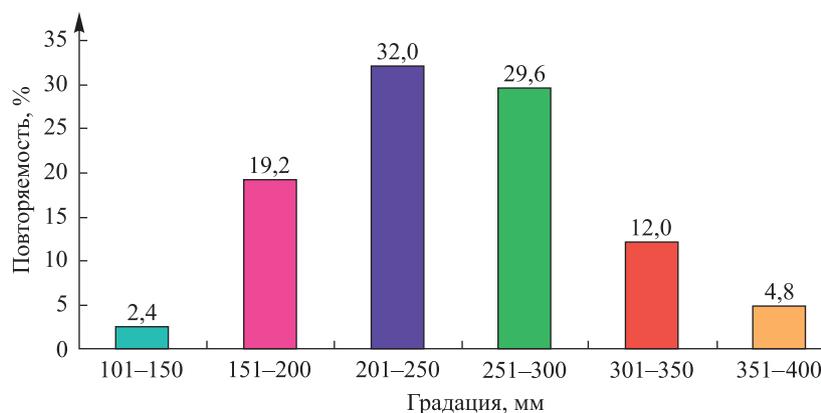


Рис. 3. Повторяемость различных градаций годового количества атмосферных осадков в зоне г. Нахичевани за 1891–2015 гг.

Fig. 3. The frequency of occurrence of various gradations of the annual amount of atmospheric precipitation in the zone of the city of Nakhichevan for 1891–2015

**Оценка современной тенденции изменения количества атмосферных осадков на территории Нахичеванской АР.** Особенности неравномерного распределения как атмосферных осадков, так и тенденций их изменения во времени можно объяснить рельефом местности, особенностями орографии, различной высотой, экспозицией и крутизной склонов, а также разным взаимодействием преобладающих потоков воздуха, т. е. характерной для данной территории циркуляцией атмосферы [30].

В связи с тем что рассматриваемый регион имеет сложный рельеф, были вычислены вертикальные градиенты атмосферных осадков по месяцам с использованием данных гидрометеорологических станций Нахичевань, Ордубад, Джульфа, Шахбуз, Шарур и Парагачай за 1984–1999 гг. В табл. 2 приведены величины вертикальных градиентов, уравнения связи между количеством осадков и высотой, а также коэффициенты корреляции этой связи.

Таблица 2

Уравнения связи между количеством атмосферных осадков и высотой, коэффициенты корреляции этой связи и вертикальные градиенты

Table 2

Relationship equations between the amount of atmospheric precipitation and altitude, correlation coefficients of this relationship and vertical gradients

Месяц	Уравнение связи	Коэффициент корреляции	Вертикальный градиент, мм на 100 м
Январь	$R = 0,014h + 3,7$	0,95	1,4
Февраль	$R = 0,022h - 2,0$	0,95	2,2
Март	$R = 0,026h + 5,8$	0,91	2,6
Апрель	$R = 0,033h + 9,1$	0,95	3,3
Май	$R = 0,038h + 6,2$	0,99	3,8
Июнь	$R = 0,015h + 12,1$	0,95	1,5
Июль	$R = 0,005h + 4,7$	0,70	0,5
Август	$R = 0,009h - 3,5$	0,98	0,9
Сентябрь	$R = 0,008h + 2,7$	0,80	0,8
Октябрь	$R = 0,016h + 9,0$	0,97	1,6
Ноябрь	$R = 0,016h + 11,1$	0,92	1,6
Декабрь	$R = 0,016h + 7,7$	0,89	1,6
Год	$R = 0,219h + 66,6$	0,96	21,9

Как видно из табл. 2, наибольшая величина вертикального градиента отмечена в мае (3,8 мм на 100 м), а наименьшая – в июле (0,5 мм на 100 м). Для годового количества осадков вертикальный градиент составляет 21,9 мм на 100 м. Коэффициенты корреляции связи между количеством атмосферных осадков и высотой для всех рассматриваемых месяцев и года в целом оказались высокими и очень высокими, поэтому вышеприведенные уравнения можно с успехом использовать для определения количества атмосферных осадков на различных высотах.

С использованием уравнений связи из табл. 2 рассчитаны годовые суммы атмосферных осадков для различных высот и выполнено их сравнение с соответствующими величинами из работы [31]. Полученные в данном исследовании значения оказались меньше аналогичных показателей из публикации [31]. Их разность для высоты 1000 м составляет 14 мм, для высоты 1500 м – 147 мм, для высоты 2000 м – 85 мм, для высоты 2500 м – 127 мм, для высоты 3000 м – 63 мм. Одной из возможных причин такого расхождения могут быть разные периоды осреднения количества атмосферных осадков.

**Оценка современной тенденции изменения месячных и годовых сумм осадков.** В связи с усилением глобального потепления со второй половины XX в. (особенно за последние 30 лет) оценку тенденции изменения количества атмосферных осадков целесообразно проводить за более короткий период. Поэтому был использован метод разности за 1961–1990 и 1991–2015 гг., а также метод линейного тренда за период 1961–2015 гг. При оценке изменения количества осадков методом разности для определения статистической значимости результатов применялся *t*-критерий Стьюдента, а при оценке методом линейного тренда – коэффициент корреляции уравнения линейного тренда [3]. Сразу следует отметить, что полученные по обоим методам результаты оказались статистически незначимыми. Несмотря на это, для качественной и частично количественной оценки общей ситуации их анализ можно считать целесообразным.

Как видно из табл. 3, в 1991–2015 гг. повсеместное уменьшение атмосферных осадков, по сравнению с уровнем 1961–1990 гг., отмечено в январе (–1,3...–5,8 мм), августе (–0,6...–3,6 мм) и октябре (–0,1...–12,3 мм), а повсеместное увеличение – в июле (+0,6...+5,1 мм), сентябре (+1,8...+6,7 мм) и ноябре (+0,1...+4,1 мм).

Таблица 3

Изменение количества атмосферных осадков по методу разности, мм

Table 3

Change in the amount of precipitation by the difference method, mm

Станция	Порядковый номер месяца											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Нахичевань	–1,3	–0,9	–5,9	+1,1	+6,0	–5,4	+3,1	–1,3	+4,9	–1,5	+4,1	–3,6
Ордубад	–5,8	+4,1	+0,3	–3,9	–2,3	–0,3	+1,2	–1,1	+1,8	–12,3	+1,4	–3,6
Джульфа	–1,7	+2,6	+3,7	+3,9	+10,2	+4,2	+5,1	–0,6	+5,5	–2,0	+2,1	+1,3
Шахбуз	–4,8	–6,3	–9,5	–8,7	–8,9	–4,7	+0,6	–3,6	+2,9	–10,3	+0,1	–10,5
Шарур	–1,5	–3,9	–5,4	+5,2	–3,6	–4,3	+3,6	–0,6	+6,7	–0,1	+1,8	–0,2

По методу линейного тренда за период 1961–2015 гг. повсеместное увеличение количества атмосферных осадков наблюдалось лишь в сентябре (+0,7...+10,1 мм), а уменьшение – только в январе (–2,1...–18,0 мм) (табл. 4). В июле, августе и ноябре (за исключением станции Шахбуз) отмечено увеличение, а в июне и декабре (за исключением станции Джульфа) – уменьшение количества атмосферных осадков.

Таблица 4

Изменение количества атмосферных осадков по методу линейного тренда, мм

Table 4

Change in the amount of precipitation by the linear trend method, mm

Станция	Порядковый номер месяца											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Нахичевань	–2,1	+0,1	–6,7	+0,1	+5,9	–9,6	+4,1	0,0	+6,8	+0,8	+0,8	–3,1
Ордубад	–9,4	+7,8	+0,9	–8,9	–3,9	–8,4	+1,2	+0,4	+0,8	–16,9	+4,4	–2,1

Станция	Порядковый номер месяца											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Джульфа	-18,0	+7,3	+7,2	+4,9	+15,8	+6,3	+10,7	+1,7	+10,2	-2,1	+6,0	+4,8
Шахбуз	-10,3	-9,9	-17,2	-24,4	-18,4	-11,0	-0,9	-6,0	+0,7	-15,1	-4,3	-13,9
Шарур	-3,1	-2,0	-6,9	+7,3	-6,6	-9,9	+6,2	+3,1	+10,1	+9,9	+2,1	-0,2

Проведенный анализ показывает, что на территории Нахичеванской АР по всем станциям и по всем месяцам в 31 случае отмечено увеличение, а в 29 случаях – уменьшение количества осадков. Также можно сказать, что наличие статистически незначимых колебаний в рядах атмосферных осадков указывает на периодический характер изменения в этих рядах [32].

Другая особенность пространственного распределения изменения количества атмосферных осадков заключается в том, что в Джульфе в десяти месяцах, в Нахичевани в восьми месяцах, а в Ордубаде и Шаруре в шести месяцах наблюдалось увеличение количества осадков, только в Шахбузе отмечено уменьшение этого климатического показателя на протяжении почти всего года (за исключением сентября). В течение 1961–2015 гг. годовое количество атмосферных осадков увеличилось в Джульфе (на 59,4 мм, или 29 % по отношению к норме [3]), Нахичевани (на 5,5 мм, или 2 %) и Шаруре (на 4,5 мм, или 2 %). Значительное уменьшение годового количества осадков наблюдалось в Ордубаде (на 48,5 мм, или 18 %) и Шахбузе (на 146,1 мм, или 38 %). Данную особенность можно проследить по многолетней динамике годового количества атмосферных осадков (рис. 4).

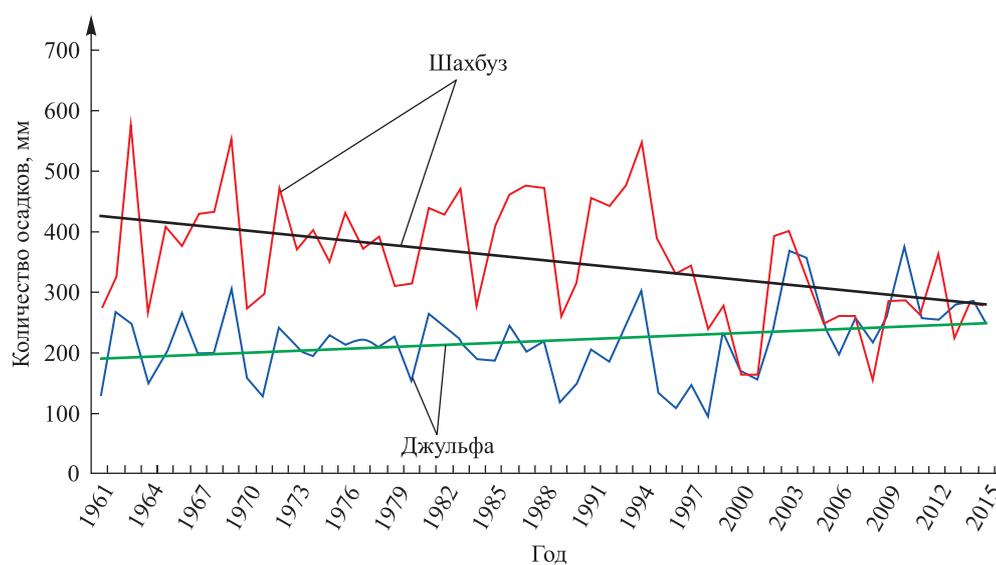


Рис. 4. Многолетняя динамика и тенденции изменения количества атмосферных осадков по гидрометеорологическим станциям Джульфа и Шахбуз

Fig. 4. Long-term dynamics and tendencies of change of the amount of atmospheric precipitation in the hydrometeorological stations of Julfa and Shahbuz

В связи с тем что теплый период года имеет большое хозяйственное значение, проведен сравнительный анализ количества атмосферных осадков за теплый (апрель – октябрь) и холодный (ноябрь – март) периоды года. Сопоставление осуществлялось по среднескользящим данным за 1961–1990 и 1991–2015 гг. (табл. 5).

Как видно из табл. 5, в 1991–2015 гг. годовое количество осадков уменьшилось по сравнению с уровнем 1961–1990 гг. в Нахичевани (-29,0 мм), Шаруре (-32,2 мм) и Шахбузе (-73,1 мм), а увеличилось в Джульфе (+1,2 мм) и Ордубаде (+27,0 мм). На этом фоне наблюдались уменьшение количества осадков за теплый период в Шаруре (-10,2 мм), Нахичевани (-23,8 мм) и Шахбузе (-37,1 мм) и его увеличение в Джульфе (+5,7 мм) и Ордубаде (+21,8 мм). Рост количества атмосферных осадков за холодный период отмечен только в Ордубаде (+5,6 мм).

Результаты оценки изменения количества атмосферных осадков за теплый  
и холодный периоды и в целом за год методом разницы, мм

Table 5

The results of assessing the change in the amount of atmospheric precipitation for the warm,  
cold periods and in general for the year by the method of difference, mm

Станция	Теплый период (апрель – октябрь)			Холодный период (ноябрь – март)			Год в целом		
	1961–1990	1991–2015	Разница	1961–1990	1991–2015	Разница	1961–1990	1991–2015	Разница
Нахичевань	163,1	139,3	–23,8	114,0	108,8	–5,2	277,1	248,1	–29,0
Ордубад	127,0	148,8	+21,8	80,1	85,7	+5,6	207,1	234,1	+27,0
Джульфа	150,0	155,7	+5,7	105,1	96,6	–8,5	255,1	256,3	+1,2
Шахбуз	226,5	189,4	–37,1	160,2	127,6	–32,6	387,5	314,4	–73,1
Шарур	166,7	156,5	–10,2	117,3	97,6	–19,7	284,0	251,8	–32,2

Также можно отметить, что в 1991–2015 гг. отношение количества осадков за теплый период к их годовому количеству в Ордубаде составило 63,6 %, в Шаруре – 62,1 %, в Джульфе – 60,7 %, в Шахбузе – 60,2 %, в Нахичевани – 56,1 %. Таким образом, за последние 25 лет 56,1–63,6 % атмосферных осадков выпадали в теплый период года.

### Выводы

Проведена оценка вековой (за 1891–2015 гг.) тенденции изменения количества атмосферных осадков по гидрометеорологической станции Нахичевань, а также возможных изменений годового количества атмосферных осадков по гидрометеорологической станции Нахичевань за различные климатические периоды (1891–1910, 1911–1940, 1941–1971, 1972–2015), повторяемости различных градаций (101–150, 151–200, 201–250, 251–300, 301–350, 351–400 мм) годового количества атмосферных осадков, современной тенденции изменения месячных и годовых сумм атмосферных осадков на территории Нахичеванской АР, вычислены вертикальные градиенты месячных и годовых сумм атмосферных осадков, для этих периодов получены статистические уравнения зависимости количества осадков от высоты местности. Представленные оценки имеют прикладной характер. Их с успехом можно использовать при оптимальном планировании и возделывании пожнивных сельскохозяйственных культур, обосновании поливного режима, оценке количества атмосферных осадков на различных высотах рассматриваемой территории и т. д.

### Библиографические ссылки

1. Babayev SY. *Naxçıvan Muxtar Respublikasının coğrafiyası*. Bakı: Elm; 1999. 298 s.
2. Nacıyev İM, İsmayılov B. *Naxçıvan Muxtar Respublikası – 90: quruculuq salnaməsi*. Naxçıvan: Əcəmi; 2014. 184 s.
3. Səfərov SH, Mahmudov RN. *Müasir iqlim dəyişmələri və Azərbaycan*. İmanov FƏ, Mikayıloğlu S, redaktorlar. Bakı: Ziya; 2011. 312 s.
4. Груза ГВ, Ранькова ЭЯ, Рочева ЭВ. Анализ глобальных данных об изменении приземной температуры воздуха за период инструментальных наблюдений. *Метеорология и гидрология*. 1989;1:22–31.
5. Ефимова НА, Строкина ЛА. Изменение аномалий приземной температуры воздуха на территории России с 1981 по 1993 г. *Метеорология и гидрология*. 1998;7:114–119.
6. Ранькова ЭЯ, Груза ГВ. Индикаторы изменений климата России. *Метеорология и гидрология*. 1998;1:5–18.
7. Сафаров СГ. Основные этапы создания метеорологической информационной базы в Азгоскомгидромете. В: Веселов ВМ, Шаймарданов МЗ, редакторы. *Труды Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации – мирового центра данных. Выпуск 170*. Обнинск: Гидрометеиздат; 2002. с. 230–239.
8. Boer GJ, McFarlane NA, Lazare M. Greenhouse gas-induced climate change simulated with the CCC second-generation general circulation model. *Journal of Climate*. 1992;5(10):1045–1077. DOI: 10.1175/1520-0442(1992)005<1045:GGCCSW>2.0.CO;2.
9. Simulation of regional climate change models and regional modeling techniques. In: Houghton JT, Meira Filho LG, Callander BA, Harris N, Kattenberg A, Maskell K, editors. *Climate change 1995: the science of climate change. Contribution of Working Group I to the second assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press; 1996. p. 443–482.

10. Wigley TML, Jones PD, Kelly PM. Scenario for a warm, high-CO<sub>2</sub> world. *Nature*. 1980;283(5742):17–21. DOI: 10.1038/283017a0.
11. Williams LJ, Shaw D, Mendelson R. Evaluating GCM output with impact models. *Climate Change*. 1998;39(1):111–133. DOI: 10.1023/A:1005369006034.
12. Будыко МИ, Израэль ЮА, редакторы. *Антропогенные изменения климата*. Ленинград: Гидрометеониздат; 1987. 406 с.
13. Будыко МИ, Борзенкова ИИ, Менжулин ГВ, Селяков КИ. Предстоящие изменения регионального климата. *Известия Российской академии наук. Серия географическая*. 1992;4:36–52.
14. Мамедов АВ. Климаты и ландшафты Закавказья в плиоцене. *Известия Академии наук Азербайджанской ССР. Серия наук о земле*. 1990;2:98–106.
15. *Climate change 1995: the science of climate change. Summary for policymakers and technical summary of the Working Group I report*. Geneva: World Meteorological Organization; 1996. 56 p. Co-published by the United Nations Environment Programme.
16. Анисимов ОА, Поляков ВЮ. К прогнозу изменения температуры воздуха для первой четверти XXI столетия. *Метеорология и гидрология*. 1999;2:25–31.
17. Чередниченко Александр В, Чередниченко Алексей В, Чередниченко ВС. Современные климатические циклы во временных рядах температуры и осадков над Казахстаном. *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*. 2017;4:15–34.
18. Гордов ЕП, Богомолов ВЮ, Генина ЕЮ, Шульгина ТМ. Анализ региональных климатических процессов Сибири: подход, данные и некоторые результаты. *Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Информационные технологии*. 2011;9(1):56–66.
19. Переведенцев ЮП, Верещагин МА, Шанталинский КМ, Наумов ЭП, Хабутдинов ЮГ. *Изменения климатических условий и ресурсов Среднего Поволжья*. Наумов ЭП, редактор. Казань: Центр инновационных технологий; 2011. 296 с.
20. Аламанов СК, Лелевкин ВМ, Подрезов ОА, Подрезов АО. *Изменение климата и водные проблемы в Центральной Азии*. Москва: [б. и.]; 2006. 190 с.
21. Переведенцев ЮП, Гоголь ФВ, Наумов ЭП, Шанталинский КМ. Глобальные и региональные изменения климата на рубеже XX и XXI столетий. *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*. 2007;2:5–12.
22. Dore MHI. Climate change and changes in global precipitation patterns: what do we know? *Environment International*. 2005;31(8):1167–1181. DOI: 10.1016/j.envint.2005.03.004.
23. Никуличев ЮВ. *Глобальные климатические изменения: новые вызовы и география изменений. Специализированная информация*. Москва: [б. и.]; 2016. 45 с.
24. Tayanç M, İm U, Doğruel M, Karaca M. Climate change in Turkey for the last half century. *Climatic Change*. 2009;94(3–4): 483–502. DOI: 10.1007/s10584-008-9511-0.
25. Логинов ВФ. *Глобальные и региональные изменения климата: причины и следствия*. Минск: ТетраСистемс; 2008. 496 с.
26. Черенкова ЕА. *Изменения атмосферных осадков на Восточно-Европейской равнине и их связь с долгопериодными колебаниями климата в Северной Атлантике [диссертация]*. Москва: [б. и.]; 2019. 302 с.
27. Сафаров СГ. *Современная тенденция изменения температуры воздуха и атмосферных осадков в Азербайджане*. Баку: Элм; 2000. 299 с.
28. Мамедов АС. *Современные климатические изменения в Азербайджане и их прогнозирование*. Баку: МБМ; 2015. 328 с.
29. Логинов ВФ, редактор. *Климат Беларуси*. Минск: Институт геологических наук НАН Беларуси; 1996. 234 с.
30. Мадатзаде АА, Шихлинский ЭМ, редакторы. *Климат Азербайджана*. Баку: Издательство Академии наук Азербайджанской ССР; 1968. 343 с.
31. Рагимов ХШ. *Современные и ожидаемые условия естественного увлажнения на территории Азербайджана. Coğrafiya və təbii resurslar*. 2015;1:41–48 (на азерб.).
32. Литвинова ОС, Гуляева НВ. Анализ временных рядов осадков Обь-Иртышского междуречья в XX – начале XXI в. *Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата*. 2010;1(1):45–54.

## References

1. Babayev SY. *Naxçıvan Muxtar Respublikasının coğrafiyası*. Bakı: Elm; 1999. 298 s.
2. Hacıyev İM, İsmayilov B. *Naxçıvan Muxtar Respublikası – 90: quruculuq salnaməsi*. Naxçıvan: Əcəmi; 2014. 184 s.
3. Səfərov SH, Mahmudov RN. *Müasir iqlim dəyişmələri və Azərbaycan*. İmanov FƏ, Mikayıloğlu S, redaktorlar. Bakı: Ziya; 2011. 312 s.
4. Gruza GV, Ran'kova EYa, Rocheva EV. [Analysis of global data on changes in surface air temperature over the period of instrumental observations]. *Meteorologiya i gidrologiya*. 1989;1:22–31. Russian.
5. Efimova NA, Strokina LA. [Changes in surface air temperature anomalies in Russia from 1981 to 1993]. *Meteorologiya i gidrologiya*. 1998;7:114–119. Russian.
6. Ran'kova EYa, Gruza GV. [Indicators of climate change in Russia]. *Meteorologiya i gidrologiya*. 1998;1:5–18. Russian.
7. Safarov SG. [The main stages of creating a meteorological information base in the Azgoskomgidromet]. In: Veselov VM, Shaimardanov MZ, editors. *Trudy Vserossiiskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta gidrometeorologicheskoi informatsii – mirovogo tsentra damnykh. Vypusk 170* [Proceedings of the All-Russian Research Institute of Hydrometeorological Information – World Data Center. Issue 170]. Obninsk: Gidrometeoizdat; 2002. p. 230–239. Russian.
8. Boer GJ, McFarlane NA, Lazare M. Greenhouse gas-induced climate change simulated with the CCC second-generation general circulation model. *Journal of Climate*. 1992;5(10):1045–1077. DOI: 10.1175/1520-0442(1992)005<1045:GGCCSW>2.0.CO;2.
9. Simulation of regional climate change models and regional modeling techniques. In: Houghton JT, Meira Filho LG, Callander BA, Harris N, Kattenberg A, Maskell K, editors. *Climate change 1995: the science of climate change. Contribution of Working Group I to the second assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press; 1996. p. 443–482.
10. Wigley TML, Jones PD, Kelly PM. Scenario for a warm, high-CO<sub>2</sub> world. *Nature*. 1980;283(5742):17–21. DOI: 10.1038/283017a0.

11. Williams LJ, Shaw D, Mendelson R. Evaluating GCM output with impact models. *Climate Change*. 1998;39(1):111–133. DOI: 10.1023/A:1005369006034.
12. Budyko MI, Izrael' YuA, editors. *Antropogennye izmeneniya klimata* [Anthropogenic climate change]. Leningrad: Gidrometeoizdat; 1987. 406 p. Russian.
13. Budyko MI, Borzenkova II, Menzhulin GV, Selyakov KI. [Upcoming changes in the regional climate]. *Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Seriya geograficheskaya*. 1992;4:36–52. Russian.
14. Mamedov AV. [Climates and landscapes of Transcaucasia in the Pliocene]. *Izvestiya Akademii nauk Azerbaidzhanskoi SSR. Seriya nauk o zemle*. 1990;2:98–106. Russian.
15. *Climate change 1995: the science of climate change. Summary for policymakers and technical summary of the Working Group I report*. Geneva: World Meteorological Organization; 1996. 56 p. Co-published by the United Nations Environment Programme.
16. Anisimov OA, Polyakov VYu. [To the forecast of air temperature changes for the first quarter of the 21<sup>st</sup> century]. *Meteorologiya i gidrologiya*. 1999;2:25–31. Russian.
17. Cherednichenko Alexander V, Cherednichenko Aleksey V, Cherednichenko VS. [Modern climatic cycles in time series of temperature and precipitation over Kazakhstan]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografiya. Geoekologiya*. 2017;4:15–34. Russian.
18. Gordov EP, Bogomolov VYu, Genina EYu, Shulgina TM. Analysis of regional climate processes in Siberia: method, data and some results. *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Informatsionnye tekhnologii*. 2011;9(1):56–66. Russian.
19. Perevedentsev YuP, Vereshchagin MA, Shantalinskii KM, Naumov EP, Khabutdinov YuG. *Izmeneniya klimaticheskikh uslovii i resursov Srednego Povolzh'ya* [Changes in climatic conditions and resources of the Middle Volga region]. Naumov EP, editor. Kazan: Tsentri innovatsionnykh tekhnologii; 2011. 296 p. Russian.
20. Alamanov SK, Lelevkin VM, Podrezov OA, Podrezov AO. *Izmenenie klimata i vodnye problemy v Tsentral'noi Azii* [Climate change and water problems in Central Asia]. Moscow: [s. n.]; 2006. 190 p. Russian.
21. Perevedentsev YuP, Gogol' FV, Naumov EP, Shantalinskii KM. [Global and regional climate change at the turn of the 20<sup>th</sup> and 21<sup>st</sup> centuries]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografiya. Geoekologiya*. 2007;2:5–12. Russian.
22. Dore MHI. Climate change and changes in global precipitation patterns: what do we know? *Environment International*. 2005;31(8):1167–1181. DOI: 10.1016/j.envint.2005.03.004.
23. Nikulichev YuV. *Global'nye klimaticheskie izmeneniya: novye vyzovy i geografiya izmenenii. Spetsializirovannaya informatsiya* [Global climatic changes: new challenges and geography of changes. Specialised information]. Moscow: [s. n.]; 2016. 45 p. Russian.
24. Tayanc M, İm U, Doğruel M, Karaca M. Climate change in Turkey for the last half century. *Climatic Change*. 2009;94(3–4): 483–502. DOI: 10.1007/s10584-008-9511-0.
25. Loginov VF. *Global'nye i regional'nye izmeneniya klimata: prichiny i sledstviya* [Global and regional climate change: causes and consequences]. Minsk: TetraSystems; 2008. 496 p. Russian.
26. Cherenkova EA. *Izmeneniya atmosferykh osadkov na Vostochno-Evropeiskoi ravnine i ikh svyaz' s dolgoperiodnymi kolebaniyami klimata v Severnoi Atlantike* [Changes in atmospheric precipitation in the East European Plain and their relationship with long-term climate fluctuations in the North Atlantic] [dissertation]. Moscow: [s. n.]; 2019. 302 p. Russian.
27. Safarov SG. *Sovremennaya tendentsiya izmeneniya temperatury vozdukhha i atmosferykh osadkov v Azerbaidzhane* [Modern tendency of air temperature and precipitation changes in Azerbaijan]. Baku: Elm; 2000. 299 p. Russian.
28. Mamedov AS. *Sovremennye klimaticheskie izmeneniya v Azerbaidzhane i ikh prognozirovanie* [Modern climatic changes in Azerbaijan and their forecasting]. Baku: MBM; 2015. 328 p. Russian.
29. Loginov VF, editor. *Klimat Belarusi* [Climate of Belarus]. Minsk: Institut geologicheskikh nauk NAN Belarusi; 1996. 234 p. Russian.
30. Madatzade AA, Shikhliniskii EM, editors. *Klimat Azerbaidzhana* [Climate of Azerbaijan]. Baku: Izdatel'stvo Akademii nauk Azerbaidzhanskoi SSR; 1968. 343 p. Russian.
31. Rahimov KhSh. The current and expected natural moistening conditions in the territory of Azerbaijan. *Geography and Natural Resources*. 2015;1:41–48. Azerbaijanian.
32. Litvinova OS, Gulyaeva NV. The analysis of time numbers of deposits Ob-Irtys interflaves in XX – beginning XXI centuries. *Environmental Dynamics and Global Climate Change*. 2010;1(1):45–54. Russian.

Получена 12.04.2021 / исправлена 16.06.2021 / принята 01.10.2021.  
Received 12.04.2021 / revised 16.06.2021 / accepted 01.10.2021.

## СОПРЯЖЕННОСТЬ ИЗМЕНЕНИЙ УРОЖАЙНОСТИ ЗЕРНОВЫХ И ЗЕРНОБОБОВЫХ КУЛЬТУР И УРОВНЯ ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ ПО РАЙОНАМ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Н. В. КЛЕБАНОВИЧ<sup>1)</sup>, А. Л. КИНДЕЕВ<sup>1)</sup>

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

Рассматриваются территориальные и структурные изменения урожайности зерновых и зернобобовых культур по районам Республики Беларусь, а также различия в дозах внесения минеральных удобрений по отдельным видам с 2014 по 2018 г. Цель исследования – определение степени влияния удобрений на динамику урожайности за исследуемый период и анализ причин изменений уровня урожаев зерновых и зернобобовых культур в районах страны. В основе работы лежат статистические методы исследования – корреляционный и регрессионный анализ связи минеральных удобрений с урожайностью. Корреляционный анализ показал значительную обратную линейную зависимость динамики урожаев от балла плодородия (коэффициент корреляции  $-0,66$ ), доказав, что более плодородные почвы теряют в сборах зерновых и зернобобовых культур практически в 2 раза по сравнению с менее пригодными землями. Регрессионный анализ подтвердил существенное влияние минеральных удобрений (коэффициент детерминации 56 %) на итоговые сборы зерновых и зернобобовых культур. Новизна исследования состоит в математической формализации стохастической зависимости урожайности зерновых и зернобобовых культур от уровня применения отдельных видов минеральных удобрений и установлении ее линейного характера. С помощью ГИС-технологий выявлены территориальные различия в эффективности использования удобрений под зерновые и зернобобовые культуры по административным районам Республики Беларусь и выделены три кластера продуктивности в стране – высокопродуктивный юго-запад (Гродненская и Брестская области, а также прилегающие к ним районы Минской области), продуктивный юго-восток (Гомельская и Могилёвская области с приграничными районами соседних областей) и низкопродуктивный север (Витебская область с северными районами Минской и Гродненской областей).

**Ключевые слова:** урожайность; зерновые культуры; зернобобовые культуры; Республика Беларусь; применение удобрений; плодородие почвы; корреляционный анализ; регрессионный анализ.

### Образец цитирования:

Клебанович НВ, Киндеев АЛ. Сопряженность изменений урожайности зерновых и зернобобовых культур и уровня применения удобрений по районам Республики Беларусь. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология.* 2022;1:15–27. <https://doi.org/10.33581/2521-6740-2022-1-15-27>

### For citation:

Klebanovich NV, Kindeev AL. Connectivity of change in yield of grain and leguminous crops and level of application of fertilisers by district of the Republic of Belarus. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology.* 2022;1: 15–27. Russian. <https://doi.org/10.33581/2521-6740-2022-1-15-27>

### Авторы:

**Николай Васильевич Клебанович** – доктор сельскохозяйственных наук, профессор; профессор кафедры почвоведения и геоинформационных систем факультета географии и геоинформатики.

**Аркадий Леонидович Киндеев** – младший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории экологии ландшафтов факультета географии и геоинформатики.

### Authors:

**Nikolay V. Klebanovich**, doctor of science (agricultural sciences), full professor; professor at the department of soil science and land information systems, faculty of geography and geoinformatics.

*n\_klebanovich@inbox.ru*

**Arkady L. Kindeev**, junior researcher at the laboratory of landscape ecology, faculty of geography and geoinformatics.

*akindeev@tut.by*

## CONNECTIVITY OF CHANGE IN YIELD OF GRAIN AND LEGUMINOUS CROPS AND LEVEL OF APPLICATION OF FERTILISERS BY DISTRICT OF THE REPUBLIC OF BELARUS

*N. V. KLEBANOVICH<sup>a</sup>, A. L. KINDEEV<sup>a</sup>*

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

*Corresponding author: A. L. Kindeev (akindeev@tut.by)*

The article discusses territorial and structural changes in the productivity of grain and leguminous crops in the districts of the Republic of Belarus, as well as differences in the doses of mineral fertilisers for certain types from 2014 to 2018. The aim of the study is to determine the degree of influence of fertilisers on the dynamics of productivity for the studied period and to analyse the reasons for changes in the level of yields of grain and leguminous crops in the regions of the country. The work is based on statistical research methods – correlation and regression analysis of the relationship between mineral fertilisers and productivity were carried out. Correlation analysis showed a significant inverse linear dependence of the yield dynamics on the fertility score (correlation coefficient –0.66), proving that more fertile soils lose in harvests of grain and leguminous crops are almost 2 times in comparison with less suitable land. Regression analysis confirmed the significant effect of mineral fertilisers (determination coefficient 56 %) on the final harvests of grain and leguminous crops. The novelty of the research lies in the mathematical formalisation of the stochastic dependence of the yield of grain and leguminous crops on the level of application of certain types of mineral fertilisers and the establishment of its linear character. With the help of GIS technologies, territorial differences in the effectiveness of the use of fertilisers for grain and leguminous crops in the administrative regions of the Republic of Belarus were established and three clusters of productivity in the country were identified – highly productive south-west (Grodno Region, Brest Region and adjacent districts of Minsk Region), productive south-east (Gomel Region and Mogilev Region with border areas of neighbouring regions) and low-productive north (Vitebsk Region with northern regions of Minsk Region and Grodno Region).

**Keywords:** productivity; fertiliser application; grain crops; leguminous crops; Republic of Belarus; soil fertility; correlation analysis; regression analysis.

### Введение

**Актуальность темы исследования.** Одна из важнейших стратегических целей, продекларированных в Национальной стратегии устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 г., – формирование конкурентоспособного на мировом рынке и экологически безопасно-го производства сельскохозяйственных продуктов, необходимых для поддержания достигнутого уровня продовольственной безопасности, обеспечения полноценного питания и здорового образа жизни населения при сохранении плодородия почв [1].

Условием эффективного развития любой отрасли экономики, в том числе сельского хозяйства, является устойчивость производства. В первую очередь это обусловлено тем, что сельское хозяйство выступает главным производителем продуктов питания, т. е. основным источником жизнеобеспечения людей, и поэтому любые перебои в производстве весьма ощутимо сказываются на уровне жизни населения. Кроме того, большинство продуктов сельского хозяйства не подлежат длительному хранению и не могут накапливаться в запасах [2].

Главным критерием, отражающим эффективность работы агропромышленного комплекса (АПК) в стране, является урожайность зерновых и зернобобовых культур как основной группы возделываемых культур (до половины и более посевных площадей). За последние годы сложилось представление, что при среднем уровне эффективного плодородия почв сельскохозяйственных земель Беларуси [3] культура земледелия в республике сформирована и находится на достаточно высоком уровне, о чем свидетельствуют одни из самых больших показателей урожайности среди стран СНГ.

В условиях плановой экономики в Республике Беларусь каждый год достигаются установленные показатели по валовым сборам зерновых культур, но при этом не акцентируется внимание на динамике такого относительного показателя, как урожайность (т. е. сбор зерна на гектар посевных площадей, который объективно отражает эффективность ведения растениеводства в стране).

Уровень получаемых урожаев в республике складывается из двух основных показателей – урожайности за счет исходного плодородия почвы и урожайности, полученной в результате проведения научно обоснованных агротехнических и организационных мероприятий по рациональному применению удобрений под сельскохозяйственные культуры [4]. Первый из этих показателей может быть вычислен исходя из кадастрового балла земель и является относительно стабильной величиной. В Республике Беларусь расчетное плодородие почвы колеблется от 12–16 ц/га в Витебской области до 20–24 ц/га в Гродненской области и ряде районов Минской области при среднем показателе по стране 16–20 ц/га [5].

**Степень изученности вопроса.** Более динамичной и подверженной воздействию является та часть урожая, которая может быть получена за счет удобрений. Обычно на 1 кг действующего вещества минеральных удобрений удается получить 5–6 кг зерна и более, что полностью окупает затраты на их применение. При выращивании пшеницы на различных почвах Индии окупаемость 1 кг минеральных удобрений составила от 4,9 до 11,1 кг зерна, а при выращивании риса – от 8,1 до 11,3 кг [6]. В то же время индийские ученые отмечают снижение окупаемости удобрений со временем – с 48 кг в 1970–1971 гг. до 10 кг в 2007–2008 гг. [7]. В США, наоборот, наблюдается тенденция к росту окупаемости удобрений урожаем по мере улучшения качества самих удобрений, оптимизации доз внесения, внедрения более отзывчивых на удобрения сортов. Так, с середины 1970-х до начала 2000-х гг. средняя эффективность использования азотных удобрений под кукурузу возросла с 49 до 73 кг зерна на 1 кг азота [8]. В пяти частях Китая за 20 лет (1992–2012) окупаемость удобрений урожаем зерна изменилась по-разному: при повсеместном наращивании объемов внесения в Северо-Восточном Китае отмечено небольшое увеличение – с 23,6 до 24,8 кг на 1 кг минеральных удобрений, а в Центральном Китае зафиксировано максимальное снижение – с 17,8 до 14,9 кг на 1 кг удобрений [9].

Отмечается, что окупаемость 1 кг минеральных удобрений снижалась до 2,5 раза как с увеличением доз фосфорных и калийных удобрений в диапазоне 30–120 кг действующего вещества на 1 га (далее – кг/га д. в.), так и с повышением обеспеченности и легких, и суглинистых дерново-подзолистых почв подвижными формами элементов [10].

Как правило, урожайность зерновых культур тесно коррелирует с уровнем применения удобрений. Так, например, коэффициенты корреляции между уровнем применения минеральных удобрений и урожайностью зерновых культур в Курской области составили 0,64 в 1990 г. и 0,77 в 2000 г. (для органических удобрений – 0,67 и 0,76 соответственно) [11]. Урожайность зерновых может быть увеличена за счет использования улучшенного управления питательными веществами, повышения эффективности применения питательных веществ удобрений [12; 13]. Внесение полного минерального удобрения окупается лучше, чем раздельное использование азотных, фосфорных или калийных удобрений [14]. В опытах на Южном Урале в севообороте яровая пшеница – яровая пшеница – ячмень максимальная окупаемость минеральных удобрений урожаем при внесении  $N_{30}P_{30}$  была 5,3 кг зерновых единиц в среднем за 3 года, а с увеличением доз окупаемость снижалась [15]. При использовании полного минерального удобрения в дозе 127,5 кг/га была достигнута максимальная окупаемость удобрений – 6,7 кг зерновых единиц, при удвоении дозы она снижалась до 4,4 кг [16].

В целом если речь идет о зерновых колосовых культурах, то чаще всего окупаемость 1 кг минеральных удобрений составляет около 6 кг, как показало обобщение данных примерно 500 опытов в разных странах [17].

Белорусские ученые также неоднократно проводили анализ урожайных данных в контексте применения удобрений [18–22]. Так, за период 2004–2008 гг. среднегодовые дозы минеральных удобрений варьировались по районам от 150 до 348 кг/га. Продуктивность пашни была в положительной корреляционной связи ( $R^2 = 0,42$ ) с дозами удобрений, и расчетная окупаемость 1 кг минеральных удобрений составила 7,9 кормовой единицы, а фактическая окупаемость за период 2004–2008 гг. – в среднем 8,3 кормовой единицы [22].

**Цели исследования.** Очевидно, что высокий уровень урожайности любой культуры, как итоговый показатель деятельности всего АПК, складывается из массы лимитирующих факторов – от погодных условий при посеве семян, внесении удобрений и сборе урожая, геоморфологических особенностей территории до исправности сельскохозяйственной техники и квалификации рабочих. Анализ такого многообразия факторов в рамках одной статьи невозможен, поэтому наша цель – оценить степень влияния удобрений, которые имеют значительную пространственно-временную дифференциацию по дозам внесения в административных районах Республики Беларусь с 2014 по 2018 г., на динамику урожайности за исследуемый период и проанализировать причины изменений уровня урожая зерновых и зернобобовых культур в районах страны.

### Материалы и методы исследования

В основу работы положены статистические методы исследования, позволяющие определить силу взаимосвязи между переменными и степень влияния одной из них на другую. К таким методам относятся:

- корреляционный анализ (устанавливает форму и тесноту зависимости между случайными переменными);
- регрессионный анализ (математически описывает выявленную зависимость, т. е. дает возможность численно оценить одни параметры через другие) [23].

Построение картограмм осуществлялось с помощью инструментов программного обеспечения *ArcGIS* (приложение *ArcMap*).

Источниками информации для проведения исследования послужили статистический сборник «Сельское хозяйство Республики Беларусь» [24], данные об использовании удобрений и пестицидов за 2014–2018 гг.<sup>1</sup>, а также данные кадастровой оценки сельскохозяйственных земель [25].

### Результаты и их обсуждение

С 2014 по 2018 г. в разрезе областей прослеживается общая тенденция к снижению всех показателей, представленных в табл. 1. В 2014 г. удельные сборы зерновых и зернобобовых культур составляли от 25,5 ц/га в Витебской области до 46,2 ц/га в Гродненской области, также выделялась Гомельская область (34,0 ц/га), в остальных областях значения урожайности были примерно равны. К 2015 г. положительная тенденция сложилась в Гродненской области, значительно выросли урожаи в Витебской области (до 33,3 ц/га), превысив данный показатель в Гомельской и Могилёвской областях. Далее последовал спад урожайности, который продолжился вплоть до 2018 г. с небольшим подъемом в 2017 г., при этом позиции областей по урожайности остались такими же, как и в 2014 г. В большинстве областей снижение уровня урожаев в среднем колеблется в диапазоне 10–13 ц/га, исключением являются Гродненская область, для которой спад урожайности составил 16,2 ц/га, и Витебская область, где после резкого подъема в 2015 г. сборы с гектара вернулись примерно на уровень 2014 г., снизившись всего на 2,6 ц/га. В общем по стране с 2014 г. урожайность уменьшилась с 36,6 до 26,8 ц/га.

Таблица 1

Динамика урожайности зерновых и зернобобовых культур  
и уровень применения минеральных удобрений по областям Республики Беларусь

Table 1

Dynamics of the yield of grain and leguminous crops  
and the level of application of mineral fertilisers by regions of the Republic of Belarus

Область	Показатели	Год					Разница между 2014 и 2018 гг.
		2014	2015	2016	2017	2018	
Брестская	Урожайность, ц/га	39,2	38,3	34,2	34,8	29,4	-9,8
	Доза внесения минеральных удобрений, кг/га д. в.	237	204	181	180	186	-51
	В том числе:						
	азотных	85	80	72	81	81	-4
	фосфорных	34	26	19	19	23	-11
Витебская	Урожайность, ц/га	25,5	33,3	24,4	28,2	22,9	-2,6
	Доза внесения минеральных удобрений, кг/га д. в.	215	199	126	115	140	-75
	В том числе:						
	азотных	70	78	59	66	66	-4
	фосфорных	26	33	9	9	14	-12
Гомельская	Урожайность, ц/га	34,0	28,4	30,2	28,0	23,5	-10,5
	Доза внесения минеральных удобрений, кг/га д. в.	229	205	146	140	173	-56
	В том числе:						
	азотных	84	91	62	74	76	-8
	фосфорных	32	33	17	17	26	-6
	калийных	113	81	67	49	71	-42

<sup>1</sup>Об использовании удобрений и пестицидов под урожай 2014 года в Республике Беларусь : стат. бюл. / Нац. стат. ком. Респ. Беларусь. Минск, 2015 ; Об использовании удобрений и пестицидов под урожай 2015 года в Республике Беларусь : стат. бюл. / Нац. стат. ком. Респ. Беларусь. Минск, 2016 ; Об использовании удобрений и пестицидов под урожай 2016 года в Республике Беларусь : стат. бюл. / Нац. стат. ком. Респ. Беларусь. Минск, 2017 ; Об использовании удобрений и пестицидов под урожай 2017 года в Республике Беларусь : стат. бюл. / Нац. стат. ком. Респ. Беларусь. Минск, 2018 ; Об использовании удобрений и пестицидов под урожай 2018 года в Республике Беларусь : стат. бюл. / Нац. стат. ком. Респ. Беларусь. Минск, 2019.

Окончание табл. 1  
 Ending table 1

Область	Показатели	Год					Разница между 2014 и 2018 гг.
		2014	2015	2016	2017	2018	
Гродненская	Урожайность, ц/га	46,2	47,5	35,4	39,7	30,0	-16,2
	Доза внесения минеральных удобрений, кг/га д. в.	298	275	199	228	251	-47
	В том числе:						
	азотных	117	112	91	111	118	+1
	фосфорных	47	40	17	23	26	-21
калийных	134	123	91	94	107	-27	
Минская	Урожайность, ц/га	38,5	38,4	33,1	35,0	28,5	-10
	Доза внесения минеральных удобрений, кг/га д. в.	241	235	207	187	204	-37
	В том числе:						
	азотных	87	91	83	89	90	+3
	фосфорных	36	36	26	20	30	-6
калийных	118	108	98	78	84	-34	
Могилёвская	Урожайность, ц/га	38,6	31,9	30,6	33,4	25,2	-13,4
	Доза внесения минеральных удобрений, кг/га д. в.	220	181	155	121	146	-74
	В том числе:						
	азотных	77	72	57	64	62	-15
	фосфорных	36	18	17	11	22	-14
калийных	107	91	81	46	62	-45	

Наряду со спадом урожайности во всех областях по сравнению с уровнем 2014 г. снизились дозы внесения минеральных удобрений. Так, в 2018 г. количество вносимых удобрений в Могилёвской и Витебской областях уменьшилось на 74–75 кг/га д. в., в Минской области – на 37 кг/га д. в., в других областях – примерно на 50 кг/га д. в. Анализ статистики по отдельным видам минеральных удобрений показывает резкое снижение доз внесения калийных удобрений (от –27 до –59 кг/га д. в. в Гродненской и Витебской областях соответственно). При этом уровень применения всех минеральных удобрений после 2017 г. начал возвращаться к уровню 2014 г. Например, в Гродненской и Минской областях наблюдается незначительное положительное сальдо по внесению азотных удобрений (+1 и +3 кг/га д. в. соответственно). По внесению фосфорных удобрений в 2018 г. лидирует Минская область (30 кг/га д. в.), почти достигнув показателя 2014 г., другие области приблизились к исходному уровню примерно на 60 %.

По полученным данным прослеживается очевидная закономерность: Витебская и Могилёвская области, традиционно имеющие худшие показатели экономической эффективности применения удобрений (чистый доход от удобрений и его производные – чистый доход на один рубль произведенных затрат и на единицу внесенных удобрений, рентабельность), вносят удобрений меньше, чем другие области, а Минская область быстрее выходит на высокие показатели 2014 г. Максимальные значения доз азотных удобрений в Гродненской области объясняются близостью предприятия по их производству («Гродно Азот»).

Известно, что значительная доля получаемого в итоге урожая зависит от количества внесенных удобрений [5; 14; 19–22]. Однако мы видим, что Витебская область в 2018 г. внесла на 75 кг/га д. в. меньше, чем в 2014 г., но при этом разница между урожайностью в 2014 и 2018 гг. составила всего 2,6 ц/га, а, например, Гродненская область, снизив дозу внесения удобрений на 47 кг/га д. в., лишилась 16,2 ц/га урожая. С другой стороны, в Могилёвской области урожайность упала на 13,4 ц/га при уменьшении дозы удобрений на 74 кг/га д. в. Это косвенно подтверждает известный факт, говорящий о том, что на менее плодородных почвах, которые сосредоточены на севере республики, эффективность удобрений значительно ниже, чем на более плодородных почвах, представленных на юго-западе страны и в центральной части Предполесья. В связи с этим существенное уменьшение дозировок минеральных удобрений не привело к сильным изменениям уровня урожайности. Для статистического подтверждения данного тезиса построен регрессионный график и рассчитаны коэффициенты детерминации и корреляции (рис. 1). Для репрезентативности результатов использовались данные по административным районам Республики Беларусь.

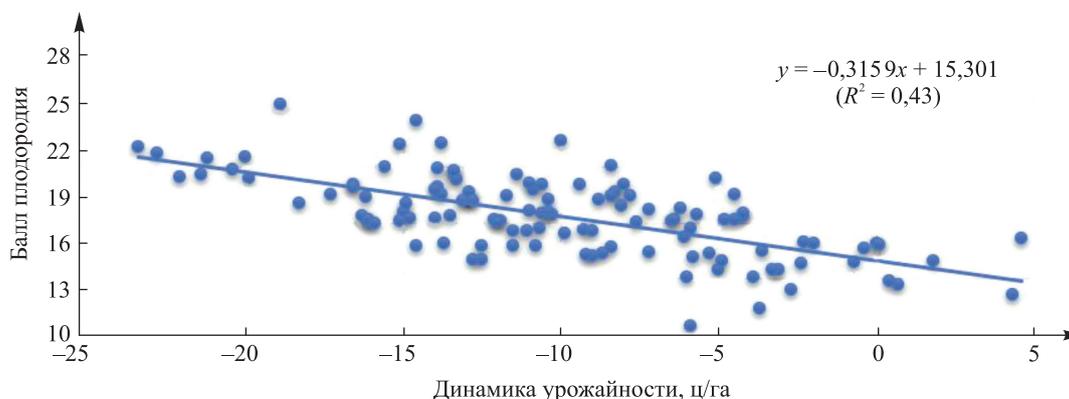


Рис. 1. Зависимость изменения урожайности зерновых и зернобобовых культур в административных районах Республики Беларусь в 2018 г. по сравнению с уровнем 2014 г. от балла плодородия почв

Fig. 1. Dependence of the change in the yield of grain and leguminous crops in the administrative regions of the Republic of Belarus in 2018 compared to the level of 2014 from the point of soil fertility

Полученный график отражает значительную обратную линейную зависимость динамики урожая от балла плодородия (коэффициент корреляции  $-0,66$ ), т. е. на плодородных почвах потери в сборах зерновых и зернобобовых культур практически в 2 раза превышают аналогичный показатель на менее пригодных землях. В ряде районов с самыми низкими баллами плодородия наблюдается положительная динамика урожайности. При коэффициенте детерминации  $R^2 = 0,43$  полученным уравнением регрессии ( $y = -0,3159x + 15,301$ ) можно объяснить только 43 % величины снижения урожайности зерновых и зернобобовых культур в районах страны.

Это ставит перед нами задачу провести количественную оценку степени влияния минеральных удобрений на урожайность зерновых и зернобобовых культур. Во избежание случайных совпадений, которые могут привести к неверной трактовке результатов, и корреляционный анализ, и регрессионный анализ выполнялись как для каждого года в отдельности, так и по средним значениям показателей за исследуемый период (табл. 2).

Таблица 2

**Корреляционная матрица урожайности зерновых и зернобобовых культур с долей внесенных удобрений**

Table 2

**Correlation matrix of productivity of grain and leguminous crops with the proportion of applied fertilisers**

Показатели	Год	Минеральные удобрения				Органические удобрения
		Азотные	Фосфорные	Калийные	В целом	
Урожайность	2014	0,80	0,58	0,17	0,70	0,65
	2015	0,58	0,34	0,48	0,58	0,48
	2016	0,76	0,57	0,40	0,70	0,62
	2017	0,77	0,53	0,55	0,70	0,55
	2018	0,65	0,49	0,53	0,65	0,61
Среднее значение урожайности	—	0,79	0,60	0,58	0,75	0,68

Примечание. В данном случае подразумевается не среднее арифметическое полученных коэффициентов за 5 лет, а расчет корреляции между усредненными данными.

Как и предполагалось, значения коэффициента корреляции в разные годы имеют ряд существенных отличий при рассмотрении отдельных видов удобрений. В 2014 г. корреляция с калийными удобрениями отсутствует (0,17), по фосфорным и азотным удобрениям выбивается 2015 г., где корреляция хотя

и осталась в доверительных пределах значимости (0,34 и 0,58), но сильно снизилась по отношению к ее величине в другие годы. Для объективности, кроме расчета коэффициента корреляции для минеральных удобрений, было решено рассчитать аналогичный показатель для органических удобрений. Взаимосвязь между урожайностью и органическими удобрениями можно оценить как самую стабильную (от 0,48 до 0,65 по годам). Вследствие уменьшения корреляции с отдельными видами удобрений в 2015 г. снизилось и общее значение коэффициента корреляции урожайности с минеральными удобрениями (0,58). По этой причине силу взаимосвязи между урожайностью и удобрениями наиболее репрезентативно будет отражать коэффициент корреляции, рассчитанный по средним значениям за исследуемый период и составивший 0,75, что говорит о сильной взаимосвязи между показателями. В отдельности выделяются азотные удобрения (0,79), незначительно меньше коррелируют органические удобрения (0,68), замыкают ряд фосфорные и калийные удобрения (0,60 и 0,58 соответственно). Несмотря на разницу между значениями, можно констатировать, что корреляция между урожайностью и вносимыми удобрениями может расцениваться как прямая и высокозначимая.

Логическим продолжением корреляционного анализа является регрессионный анализ, который развивает и углубляет представление о корреляционной связи. Полученные уравнения регрессии и коэффициенты детерминации ( $R^2$ ) представлены в табл. 3.

Таблица 3

Регрессионные зависимости урожайности зерновых и зернобобовых культур с долей внесенных удобрений

Table 3

Regression dependences of the productivity of grain and leguminous crops with the proportion of applied fertilisers

Показатели	Год	Минеральные удобрения				Органические удобрения
		Азотные	Фосфорные	Калийные	В целом	
Урожайность	2014	$y = 0,3176x + 8,75$ ( $R^2 = 0,55$ )	$y = 0,5241x + 17,8$ ( $R^2 = 0,45$ )	$y = 0,1899x + 13,4$ ( $R^2 = 0,12$ )	$y = 0,1513x - 0,043$ ( $R^2 = 0,49$ )	$y = 2,2042x + 24,9$ ( $R^2 = 0,42$ )
	2015	$y = 0,2808x + 11,2$ ( $R^2 = 0,33$ )	$y = -0,0364x + 37,5$ ( $R^2 = 0,02$ )	$y = 0,2119x + 14,7$ ( $R^2 = 0,23$ )	$y = 0,1189x + 9,90$ ( $R^2 = 0,33$ )	$y = 1,7626x + 28,0$ ( $R^2 = 0,23$ )
	2016	$y = 0,2845x + 10,8$ ( $R^2 = 0,58$ )	$y = 0,4086x + 23,4$ ( $R^2 = 0,32$ )	$y = 0,1303x + 19,9$ ( $R^2 = 0,16$ )	$y = 0,1165x + 10,9$ ( $R^2 = 0,49$ )	$y = 1,7241x + 22,1$ ( $R^2 = 0,38$ )
	2017	$y = 0,2852x + 9,49$ ( $R^2 = 0,59$ )	$y = 0,4012x + 25,5$ ( $R^2 = 0,29$ )	$y = 0,1576x + 22,1$ ( $R^2 = 0,30$ )	$y = 0,1061x + 15,2$ ( $R^2 = 0,49$ )	$y = 1,6653x + 24,0$ ( $R^2 = 0,30$ )
	2018	$y = 0,1883x + 10,692$ ( $R^2 = 0,42$ )	$y = 0,2895x + 18,979$ ( $R^2 = 0,24$ )	$y = 2,0823x + 19,979$ ( $R^2 = 0,29$ )	$y = 0,0842x + 10,6$ ( $R^2 = 0,43$ )	$y = 1,3752x + 18,733$ ( $R^2 = 0,37$ )
Среднее значение урожайности	–	$y = 0,3111x + 7,08$ ( $R^2 = 0,63$ )	$y = 0,4832x + 20,17$ ( $R^2 = 0,36$ )	$y = 0,2293x + 12,1$ ( $R^2 = 0,34$ )	$y = 0,1331x + 6,46$ ( $R^2 = 0,57$ )	$y = 2,1726x + 21,5$ ( $R^2 = 0,47$ )

Результаты построения регрессионных графиков (не приводятся в связи с большой громоздкостью) показали, что во всех случаях наибольший коэффициент детерминации наблюдался при использовании линейного тренда. Логичным является наличие наибольшего коэффициента детерминации у азотных удобрений, значения которого находятся в диапазоне 0,42–0,60 и достигают 0,63 при усредненных показателях. Исключением является 2015 г., где взаимосвязь как азотных, так и других видов удобрений значительно снизилась. Гипотетически снижение коэффициента детерминации в 2015 г. можно объяснить уменьшением количества атмосферных осадков (550 мм в год, что является минимальным значением за последние 20 лет [26]), которое привело к снижению фотосинтетической активности растений и, как следствие, худшему отклику на вносимые удобрения. По отдельным годам практически отсутствует взаимосвязь урожайности с калийными удобрениями, только к 2017 г. значения  $R^2$  достигли 0,29, т. е. лишь 29 % урожайности можно описать, используя данные уравнения регрессии. В целом регрессионную

зависимость урожайности от доз минеральных и органических удобрений за исследуемый период можно оценить как значимую ( $R^2$  равен 0,56 и 0,46 соответственно).

Полученные результаты подтверждают значительную взаимосвязь между величиной получаемых урожаев и вносимыми удобрениями. В агрономической науке считается, что удобрения обеспечивают 40–60 % урожайности зерновых и зернобобовых культур. Наши расчеты доказывают справедливость выдвинутого тезиса для Республики Беларусь: можно констатировать, что минеральные удобрения имеют сильную корреляционную связь с продуктивностью и детерминируют 56 % урожаев, полученных за 2014–2018 гг.

После 2015 г. как в разрезе областей, так и в разрезе районов уменьшились дозы внесения удобрений. Особенно резко снизились количества фосфорных удобрений: в Шумилинском, Браславском, Верхнедвинском и Россонском районах в 2016 г. и Октябрьском, Глусском, Бобруйском, Мстиславском, Дрибинском, Россонском, Докшицком и Ушачском районах в 2017 г. фосфорные удобрения не вносились вообще<sup>2</sup>.

В 2018 г. ситуация улучшилась: в большинстве районов дозы фосфорных удобрений составили от 15 до 30 кг/га, притом что остались 34 района, в которых внесли менее 15 кг/га. Тем не менее в ряде административных районов Могилёвской и Минской областей наблюдается положительная динамика по внесению данного вида удобрений по отношению к уровню 2014 г. Максимальный прирост (более чем 30 кг/га) отмечен в Краснопольском, Славгородском, Костюковичском и Кричевском районах.

Внесение азотных удобрений при незначительных количественных изменениях за исследуемый период имело ряд структурных сдвигов. Подавляющее большинство районов Могилёвской и Гомельской областей снизили уровень применения данного вида удобрений, тогда как в Витебской и Гродненской областях преобладают районы, увеличившие дозы азота. Таким образом, территорию страны можно условно разделить на две части – северо-западную с положительной динамикой внесения азотных удобрений и юго-восточную с отрицательной динамикой.

При значительном уменьшении доз фосфорных и калийных удобрений констатируется общая отрицательная динамика внесения минеральных удобрений (108 из 118 районов), что не могло не отразиться на изменении урожайности зерновых и зернобобовых культур (рис. 2). За исследуемый период наименьшим различием по сравнению с уровнем 2014 г. характеризуются районы Витебской области, где колебания урожайности составили  $\pm 5$  ц/га, что может говорить об устоявшихся урожаях в данном регионе при однородном исходном уровне плодородия почв (12–16 ц/га). Однако в Верхнедвинском, Миорском, Поставском и Бешенковичском районах урожайность зерновых и зернобобовых культур в 2015 г. можно оценить как среднюю (30–35 ц/га) и выше среднего (более 35 ц/га). Данный факт говорит о том, что при очевидной корреляции плодородия почвы с урожайностью оно не является единственной причиной пониженных урожаев в другие годы: колебания урожайности в Республике Беларусь незначительно зависят от природных факторов и являются функцией многих переменных [27].

На большей части территории страны прослеживаются более значительные отрицательные изменения урожайности (исключение – Наровлянский район Гомельской области (+4,6 ц/га)). Подавляющее большинство районов (56), относящихся к центральной и северо-восточной частям Беларуси, с 2014 по 2018 г. потеряли от 10 до 20 ц/га зерна. В 64 районах не был достигнут уровень урожайности 25 ц/га, что для этой части страны можно расценивать как очень низкий показатель, практически сравнявшийся с урожайностью за счет плодородия почв (16–24 ц/га). Наиболее значительные изменения произошли в Гродненском (–20,0 ц/га), Слонимском (–20,4 ц/га), Зельвенском (–21,2 ц/га), Могилёвском (–21,4 ц/га), Ляховичском (–22,1 ц/га), Берестовицком (–22,8 ц/га) и Волковысском (–23,4 ц/га) районах.

Почвы всех этих районов являются одними из самых плодородных в стране (20–24 ц/га), позволяя получать урожаи более 45 ц/га. В ряде районов в 2014 г. урожайность достигала 50 ц/га (Волковысский, Могилёвский, Зельвенский районы), 60 ц/га (Берестовицкий район) и 70 ц/га (Гродненский район). Несмотря на высокие показатели, к 2018 г. из перечисленных районов только Гродненскому и Берестовицкому районам удалось выйти на урожайность выше 40 ц/га.

Стоит отметить, что ни один из этих районов не относится к группе с наибольшим снижением доз внесения минеральных удобрений за исследуемый период, так же как и ряд других районов страны с наиболее плодородными почвами. Вышеизложенное говорит о том, что присутствует управленческо-технологический фактор ведения сельскохозяйственного производства. Это подтверждают расхождения показателей урожайности в разных районах на почвах одинакового уровня плодородия и значительное уменьшение получаемых урожаев по годам, для нивелирования которых необходима действенная система мер в сфере отраслевого управления [28].

<sup>2</sup>Об использовании удобрений и пестицидов под урожай 2016 года... ; Об использовании удобрений и пестицидов под урожай 2017 года...

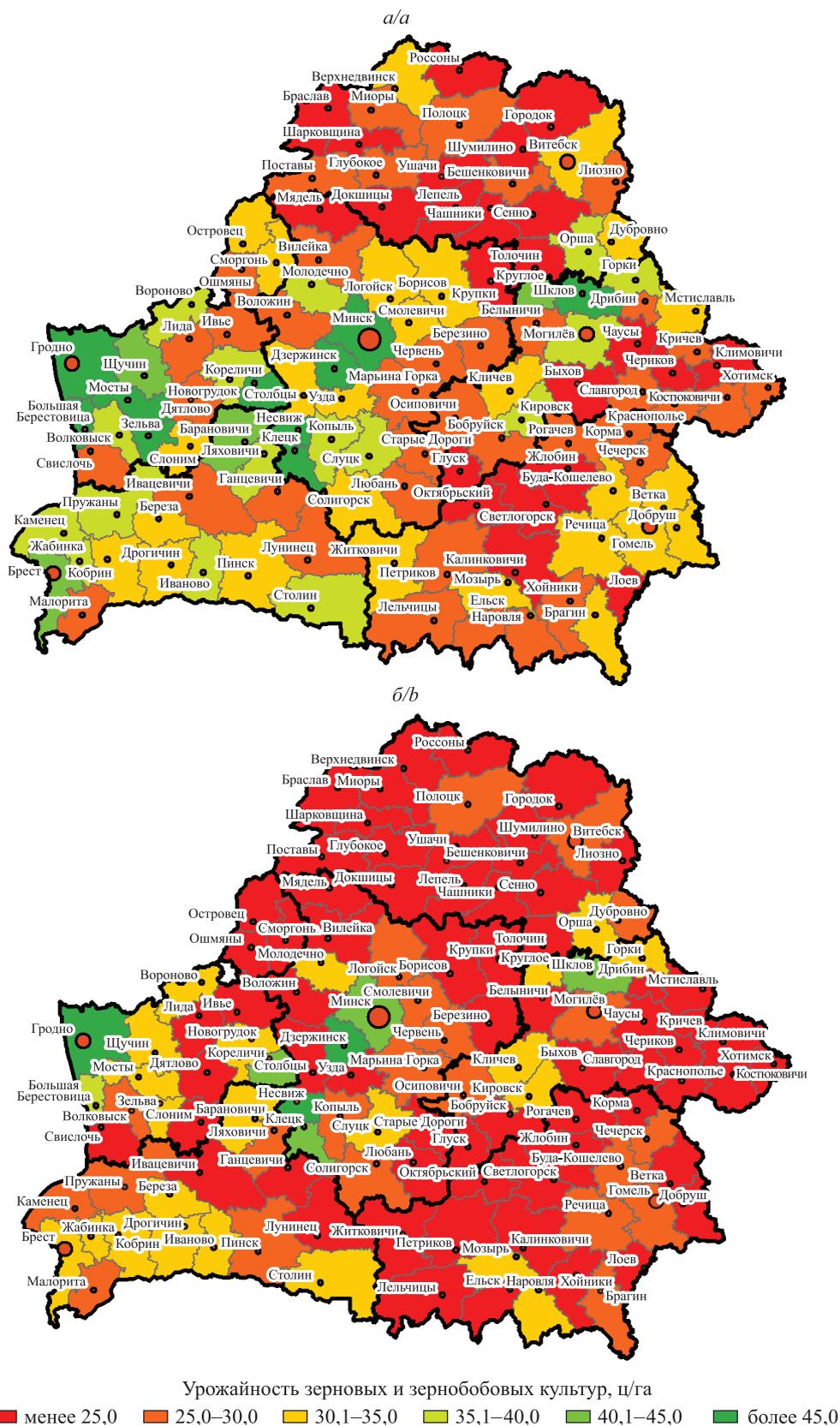


Рис. 2. Урожайность зерновых и зернобобовых культур в административных районах Республики Беларусь (начало): а – 2014 г.; б – 2018 г.

Fig. 2. Productivity of grain and leguminous crops in the administrative regions of the Republic of Belarus (beginning): a – 2014; b – 2018

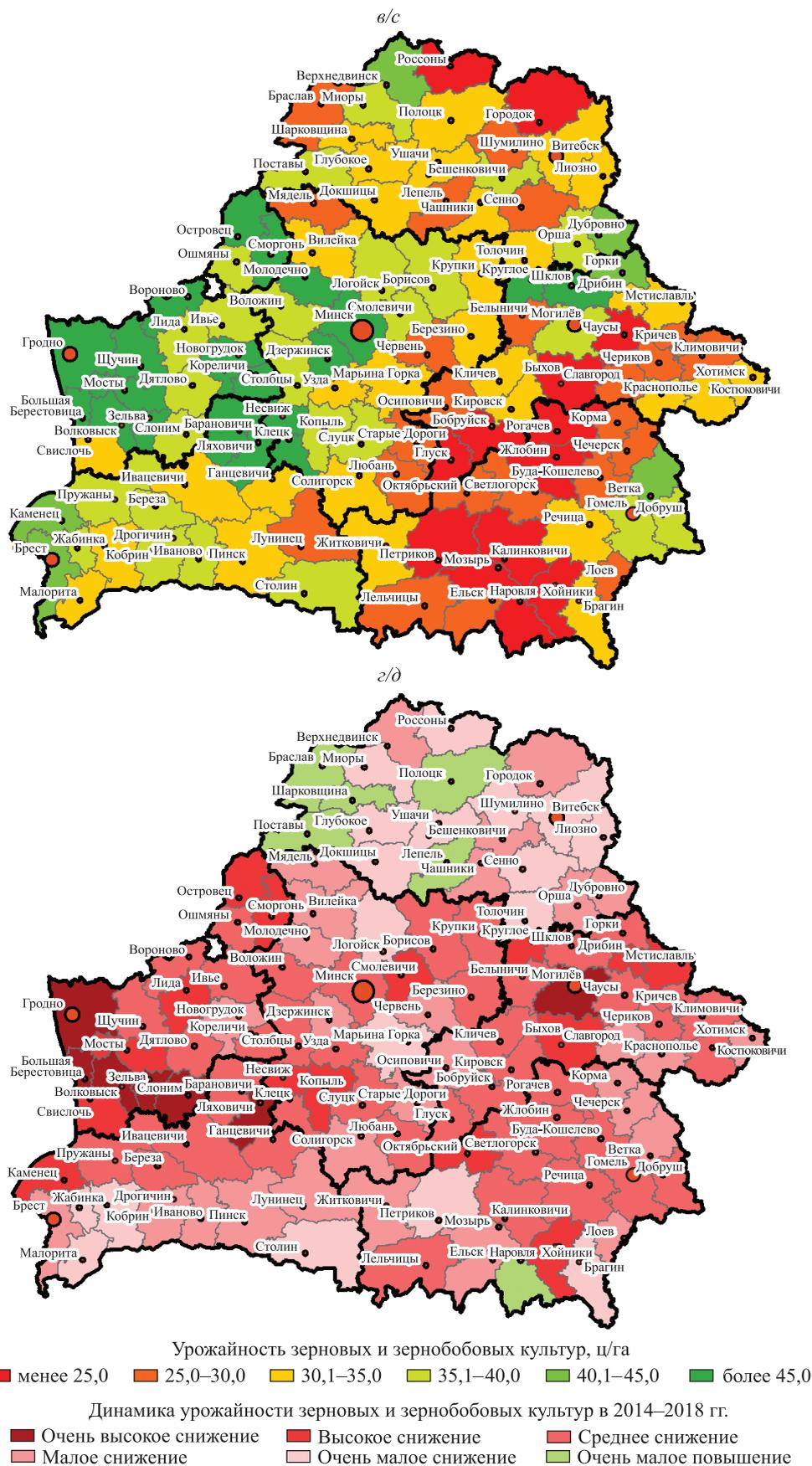


Рис. 2. Урожайность зерновых и зернобобовых культур в административных районах Республики Беларусь (окончание):  
 в – среднее арифметическое значение за 5 лет; г – динамика в 2014–2018 гг.

Fig. 2. Productivity of grain and leguminous crops in the administrative regions of the Republic of Belarus (ending):  
 с – arithmetic mean over 5 years; д – dynamics in 2014–2018

Различия в техническом и материальном оснащении хозяйств, разные подходы к управлению и ведению сельскохозяйственной деятельности, климатические изменения последних лет и ряд других переменных, влияющих на урожайность сельскохозяйственных культур, не позволяют оценить реальный уровень производства по одному году. Это наглядно доказывают даже две картограммы за 2014 и 2018 гг. (см. рис. 2, а и б), различия между которыми колоссальны. Более репрезентативную оценку продуктивности тех или иных районов дает картограмма средних арифметических значений урожайности за исследуемый период (см. рис. 2, в).

По усредненным данным всю страну можно разделить на три региона – высокопродуктивный юго-запад (Гродненская и Брестская области, а также прилегающие к ним районы Минской области), продуктивный юго-восток (Гомельская и Могилёвская области с приграничными районами соседних областей) и низкопродуктивный север (Витебская область с северными районами Минской и Гродненской областей). При этом внутри данных регионов можно выделить кластеры как с высокими, так и с низкими показателями урожайности.

В юго-западном регионе большинство районов имеют повышенный уровень урожайности (более 40 ц/га) с вкраплениями низкопродуктивных районов, образующих кластер в северной части региона (Воложинский, Ошмянский, Ивьевский, Лидский, Дятловский районы) с урожайностью ниже среднего (25–30 ц/га). Юго-восточный регион отличается большей пестротой урожайности: в центре – низкопродуктивный кластер (Глусский, Октябрьский, Светлогорский, Калинковичский и Жлобинский районы) с урожайностью менее 25 ц/га, на севере – высокопродуктивный кластер (Круглянский, Шкловский, Горецкий, Оршанский и Могилёвский районы) с урожайностью более 40 ц/га. Северный регион однороден, большинство районов разделены на две группы: с очень низкой (менее 25 ц/га) и низкой (25–30 ц/га) урожайностью. Исключением можно считать три района Минской области – Логойский, Борисовский, Смолевичский.

### Заключение

Установлено, что зависимость между уровнем применения минеральных удобрений и урожайностью зерновых и зернобобовых культур носит сложный характер. Снижение доз внесения удобрений по районам Республики Беларусь с 2014 по 2018 г. привело к более существенным депрессиям урожайности зерна на плодородных почвах по сравнению с таковыми на менее плодородных почвах. Так, все районы со спадом урожая более чем 20 ц/га имеют высокий балл плодородия.

Новизна исследования состоит в математической формализации стохастической зависимости урожайности зерновых и зернобобовых культур от уровня применения отдельных видов минеральных удобрений и установлении ее линейного характера. Подтвердилась исходная гипотеза о наиболее существенном влиянии на урожайность зерна азотных удобрений (коэффициент корреляции 0,79), но и влияние фосфорных (0,60), калийных (0,58) и даже органических (0,68) удобрений было весьма значимым. В целом за 2014–2018 гг. минеральные удобрения детерминировали 56 % урожая зерна в стране.

Выявлены территориальные особенности эффективности производства зерна по административным районам Республики Беларусь. Самые высокие уровни урожайности зерновых и зернобобовых культур тяготеют к плодородным почвам в центре и на западе страны, но примерно в тех же районах зафиксировано и наибольшее снижение урожая с 2014 по 2018 г., связанное с уменьшением доз вносимых удобрений.

### Библиографические ссылки

1. Министерство экономики Республики Беларусь, Научно-исследовательский экономический институт Министерства экономики Республики Беларусь. *Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 года*. Минск: Научно-исследовательский экономический институт Министерства экономики Республики Беларусь; 2017. 143 с.
2. Волчек В. Статистический анализ устойчивости сельскохозяйственного производства. *Экономический вестник (Эковест)*. 2001;4:627–642.
3. Клебанович НВ. *Почвоведение и земельные ресурсы*. Минск: БГУ; 2013. 343 с.
4. Лапа ВВ, Емельянова ВН, Леонов ФН, Рак МВ, Золотарь АК, Шибанова ИВ и др. *Система применения удобрений*. Лапа ВВ, редактор. Гродно: Гродненский государственный аграрный университет; 2011. 418 с.
5. Клебанович НВ, Киндеев АЛ. Оценка эффективности применения удобрений в районах Республики Беларусь. *Земля Беларуси*. 2017;3:37–45.
6. Fertilizer and Plant Nutrition Service, Land and Water Development Division. *Maximizing fertilizer use efficiency*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations; 1983. VI, 50 p. (FAO fertilizer and plant nutrition bulletin; 6).
7. Aulakh MS, Benbi DK. Enhancing fertilizer use efficiency. In: *Fertilizer security – a prerequisite for food security. Papers presented at the FAI annual seminar; 2008 December 4–6; New Delhi, India*. New Delhi: Fertiliser Association of India; 2008. p. SII-4/1–SII-4/23.

8. Fixen PE, West FB. Nitrogen fertilizers: meeting contemporary challenges. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*. 2002;31(2):169–176. DOI: 10.1579/0044-7447-31.2.169.
9. Wang X, Cai D, Grant C, Hoogmoed WB, Oenema O. Changes in regional grain yield responses to chemical fertilizer use in China over the last 20 years. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 2018;18(2):312–328.
10. Шафран СА, Козенчева ЕС. Окупаемость минеральных удобрений прибавкой урожая картофеля на почвах нечерноземной зоны с разными агрохимическими свойствами. *Плодородие*. 2015;1:8–10.
11. Глазовский НФ, Гордеев АВ, Сдасюк ГВ, редакторы. *Устойчивое развитие сельского хозяйства и сельских территорий. Зарубежный опыт и проблемы России*. Москва: Товарищество научных изданий КМК; 2005. 615 с.
12. Limin Chuan, Ping He, Tongke Zhao, Huaiguo Zheng, Xinpeng Xu. Agronomic characteristics related to grain yield and nutrient use efficiency for wheat production in China. *PLoS One*. 2016;11(9):e0162802. DOI: 10.1371/journal.pone.0162802.
13. Imran M, Gurmani ZA. Role of macro and micro nutrients in the plant growth and development. *Science, Technology and Development*. 2011;30(3):36–40.
14. Fertilizer and Plant Nutrition Service, Land and Water Development Division. *Crop production levels and fertilizer use*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations; 1981. IX, 69 p. (FAO fertilizer and plant nutrition bulletin; 2).
15. Plotnikov AM, Sukhanova SF, Sazhina SV, Sozinov AV, Postovalov AA. Economic efficiency of fertilizer system in field crop rotation of the Trans-Urals. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020;422:012030. DOI: 10.1088/1755-1315/422/1/012030.
16. Окорков ВВ. Некоторые пути повышения эффективности применения удобрений. *Приложение к журналу «Современные наукоемкие технологии»*. 2008;3:64–72.
17. Schütz L, Gattinger A, Meier M, Müller A, Boller T, Mäder P, et al. Improving crop yield and nutrient use efficiency via biofertilization – a global meta-analysis. *Frontiers in Plant Science*. 2018;8:2204. DOI: 10.3389/fpls.2017.02204.
18. Конончук ВВ, Иовик ЛН. Эконометрический анализ использования различных видов органических удобрений в формировании урожайности сельскохозяйственных культур. *Экологический вестник*. 2016;2:104–109.
19. Богдевич ИМ, Терещенко НД. Эффективность использования удобрений под зерновые культуры в зависимости от плодородия почв и экономических условий хозяйств Гомельской области. *Почвоведение и агрохимия*. 2007;1:112–120.
20. Терещенко НД. Влияние почвенно-агрохимических и экономических условий на урожайность зерновых культур и окупаемость удобрений. *Почвоведение и агрохимия*. 2007;2:133–141.
21. Васильюк ГВ, Германович ТМ. Оценка экономической и агрономической эффективности минеральных удобрений, внесенных под зерновые и зернообовые культуры. *Агроекономика*. 2004;4:50–54.
22. Богдевич ИМ, Терещенко НД. Продуктивность пашни и эффективность удобрений в зависимости от почвенно-агрохимических и экономических факторов. *Почвоведение и агрохимия*. 2009;2:79–92.
23. Чертко НК, Карпиченко АА. *Математические методы в географии*. Минск: БГУ; 2009. 199 с.
24. Национальный статистический комитет Республики Беларусь. *Сельское хозяйство Республики Беларусь* [Интернет]. Минск: [б. и.]; 2019 [процитировано 10 марта 2021 г.]. 211 с. Доступно по: <https://www.belstat.gov.by/upload/iblock/cd8/cd8827937d14602dc05d3c32081c0b47.pdf>.
25. Мороз ГМ, Дробыш СВ, Зданович ТН, Угначева НВ, Теренева АП, Павлюкевич ОА и др. *Кадастровая оценка сельскохозяйственных земель сельскохозяйственных организаций и крестьянских (фермерских) хозяйств: методика, технология, практика*. Мороз ГМ, Лапа ВВ, редакторы. Минск: ИВЦ Минфина; 2017. 208 с.
26. В.2. Атмосферные осадки. В: *Индикаторы Совместной системы экологической информации* [Интернет]. Минск: Национальный статистический комитет Республики Беларусь; 2020 [процитировано 2 апреля 2020 г.]. Доступно по: <https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/makroekonomika-i-okruzhayushchaya-sreda/okruzhayushchaya-sreda/sovместnaya-sistema-ekologicheskoi-informatsii2/b-izmenenie-klimata/v-2-atmosfernye-osadki/>.
27. Клебанович НВ, Прокопович СН. Территориальные особенности эффективности сельскохозяйственного производства по административным районам Беларуси. В: Пирожник ИИ, Антипова ЕА, Власов БП, Витченко АН, Клебанович НВ, Смоляков ГС и др., редакторы. *Географические науки в обеспечении стратегии устойчивого развития в условиях глобализации (к 100-летию со дня рождения профессора Н. Т. Романовского) = Geographical sciences in realization of sustainable development strategy in globalizing world (to the 100<sup>th</sup> anniversary of professor N. T. Romanovskij)*. Материалы Международной научно-практической конференции; 25–28 октября 2012 г.; Минск, Беларусь. Минск: Издательский центр БГУ; 2012. с. 103–105.
28. Мороз Г. Плодородие сельскохозяйственных земель и его влияние на эффективность производства сельскохозяйственной продукции. *Земля Беларуси*. 2015;1:27–33.

## References

1. Ministry of Economy of the Republic of Belarus, Economic Research Institute of the Ministry of Economy of the Republic of Belarus. *Natsional'naya strategiya ustoichivogo sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya Respubliki Belarus' na period do 2030 goda* [National strategy for sustainable socio-economic development of the Republic of Belarus for the period up to 2030]. Minsk: Economic Research Institute of the Ministry of Economy of the Republic of Belarus; 2017. 143 p. Russian.
2. Volchek V. [Statistical analysis of the sustainability of agricultural production]. *Ekonomicheskii vestnik (Ekovest)*. 2001;4: 627–642. Russian.
3. Klebanovich NV. *Pochvovedenie i zemel'nye resursy* [Soil science and land resources]. Minsk: Belarusian State University; 2013. 343 p. Russian.
4. Lapa VV, Emel'yanova VN, Leonov FN, Rak MV, Zolotar' AK, Shibanova IV, et al. *Sistema primeneniya udobrenii* [Fertilizer application system]. Lapa VV, editor. Grodno: Grodno State Agrarian University; 2011. 418 p. Russian.
5. Klebanovich NV, Kindeev AL. Evaluation of fertilizer applications in areas of the Republic of Belarus. *Zemlya Belarusi*. 2017;3:37–45. Russian.
6. Fertilizer and Plant Nutrition Service, Land and Water Development Division. *Maximizing fertilizer use efficiency*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations; 1983. VI, 50 p. (FAO fertilizer and plant nutrition bulletin; 6).
7. Aulakh MS, Benbi DK. Enhancing fertilizer use efficiency. In: *Fertilizer security – a prerequisite for food security. Papers presented at the FAI annual seminar; 2008 December 4–6; New Delhi, India*. New Delhi: Fertiliser Association of India; 2008. p. SII-4/1–SII-4/23.

8. Fixen PE, West FB. Nitrogen fertilizers: meeting contemporary challenges. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*. 2002;31(2):169–176. DOI: 10.1579/0044-7447-31.2.169.
9. Wang X, Cai D, Grant C, Hoogmoed WB, Oenema O. Changes in regional grain yield responses to chemical fertilizer use in China over the last 20 years. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 2018;18(2):312–328.
10. Shafran SA, Kozeicheva ES. Recoupmnt of mineral fertilizers by potato yield gain on soils with different agrochemical properties in the nonchernozemic zone. *Plodородie*. 2015;1:8–10. Russian.
11. Glazovskii NF, Gordeev AV, Sdasyuk GV, editors. *Ustoichivoe razvitie sel'skogo khozyaistva i sel'skikh territorii. Zarubezhnyi opyt i problemy Rossii* [Sustainable development of agriculture and rural areas. Foreign experience and problems of Russia]. Moscow: KMK Scientific Press Ltd.; 2005. 615 p. Russian.
12. Limin Chuan, Ping He, Tongke Zhao, Huaiguo Zheng, Xinpeng Xu. Agronomic characteristics related to grain yield and nutrient use efficiency for wheat production in China. *PLoS One*. 2016;11(9):e0162802. DOI: 10.1371/journal.pone.0162802.
13. Imran M, Gurmani ZA. Role of macro and micro nutrients in the plant growth and development. *Science, Technology and Development*. 2011;30(3):36–40.
14. Fertilizer and Plant Nutrition Service, Land and Water Development Division. *Crop production levels and fertilizer use*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations; 1981. IX, 69 p. (FAO fertilizer and plant nutrition bulletin; 2).
15. Plotnikov AM, Sukhanova SF, Sazhina SV, Sozinov AV, Postovalov AA. Economic efficiency of fertilizer system in field crop rotation of the Trans-Urals. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020;422:012030. DOI: 10.1088/1755-1315/422/1/012030.
16. Okorkov VV. Some way of increasing to efficiency of the using the fertilizers. *Supplement to the Journal «Modern High Technologies»*. 2008;3:64–72. Russian.
17. Schütz L, Gattinger A, Meier M, Müller A, Boller T, Mäder P, et al. Improving crop yield and nutrient use efficiency via biofertilization – a global meta-analysis. *Frontiers in Plant Science*. 2018;8:2204. DOI: 10.3389/fpls.2017.02204.
18. Kononchuk VV, Iovik LN. Econometric analysis using various types of organic fertilisers in crop yields. *Ekologicheskii vestnik*. 2016;2:104–109. Russian.
19. Bogdevich IM, Tereshchenko ND. [Efficiency of using fertilizers for grain crops depending on soil fertility and economic conditions of farms in the Gomel Region]. *Pochvovedenie i agrokhimiya*. 2007;1:112–120. Russian.
20. Tereshchenko ND. [The influence of soil-agrochemical and economic conditions on the yield of grain crops and the payback of fertilizers]. *Pochvovedenie i agrokhimiya*. 2007;2:133–141. Russian.
21. Vasilyuk GV, Germanovich TM. [Evaluation of the economic and agronomic efficiency of mineral fertilizers applied for grain and leguminous crops]. *Agroekonomika*. 2004;4:50–54. Russian.
22. Bogdevich IM, Tereshchenko ND. Productivity of arable land and fertilizer efficiency in relation to soil fertility and economy factors. *Pochvovedenie i agrokhimiya*. 2009;2:79–92. Russian.
23. Chertko NK, Karpichenko AA. *Matematicheskie metody v geografii* [Mathematical methods in geography]. Minsk: Belarusian State University; 2009. 199 p. Russian.
24. National Statistical Committee of the Republic of Belarus. *Sel'skoe khozyaistvo Respubliki Belarus'* [Agriculture of the Republic of Belarus] [Internet]. Minsk: [s. n.]; 2019 [cited 2021 March 10]. 211 p. Available from: <https://www.belstat.gov.by/upload/iblock/cd8/cd8827937d14602dc05d3c32081c0b47.pdf>. Russian.
25. Moroz GM, Drobyshev SV, Zdanovich TN, Ugnacheva NV, Tereneva AP, Pavlyukevich OA, et al. *Kadastruvaya otsenka sel'skokozyaistvennykh zemel' sel'skokhozyaistvennykh organizatsii i krest'yanskikh (fermerskikh) khozyaistv: metodika, tekhnologiya, praktika* [Cadastral assessment of agricultural lands of agricultural organizations and peasant (farmer) households: methodology, technology, practice]. Moroz GM, Lapa VV, editors. Minsk: IVTs Minfina; 2017. 208 p. Russian.
26. [B.2. Precipitation]. In: *Indikatoriy Sovmestnoi sistemy ekologicheskoi informatsii* [Indicators of the Shared Environmental Information System] [Internet]. Minsk: National Statistical Committee of the Republic of Belarus; 2020 [cited 2020 April 2]. Available from: <https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/makroekonomika-i-okruzhayushchaya-sreda/okruzhayushchaya-sreda/sovmestnaya-sistema-ekologicheskoi-informatsii2/b-izmenenie-klimata/v-2-atmosfernye-osadki/>. Russian.
27. Klebanovich NV, Prokopovich SN. [Territorial features of the efficiency of agricultural production in the administrative regions of Belarus]. In: Pirozhnik II, Antipova EA, Vlasov BP, Vitchenko AN, Klebanovich NV, Smolyakov GS, et al., editors. *Geographical sciences in realization of sustainable development strategy in globalizing world (to the 100<sup>th</sup> anniversary of professor N. T. Romanovskij)*. *Proceedings of the International scientific and practical conference; 2012 October 25–28; Minsk, Belarus*. Minsk: Publishing Center of the Belarusian State University; 2012. p. 103–105. Russian.
28. Moroz G. Fertility of agricultural lands and its impact on the efficiency of agricultural production. *Zemlya Belarusi*. 2015;1:27–33. Russian.

Получена 13.05.2021 / исправлена 30.09.2021 / принята 24.03.2022.  
Received 13.05.2021 / revised 30.09.2021 / accepted 24.03.2022.

## СТРУКТУРА ПРИРОДНЫХ ЛАНДШАФТОВ И ЕЕ РОЛЬ В СОЗДАНИИ СХЕМЫ ЛАНДШАФТНОГО РАЙОНИРОВАНИЯ БЕЛАРУСИ

И. И. СЧАСТНАЯ<sup>1)</sup>, Д. С. ВОРОБЬЕВ<sup>1)</sup>

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

Представлены результаты систематизации и картографирования природных ландшафтов Беларуси, изучением которых отечественные исследователи занимаются с 1960-х гг. За это время накоплен значительный картографический и литературный материал, касающийся особенностей распространения ландшафтов республики, набора классификационных единиц и единиц районирования, подходов к их выделению и картографированию. Однако появление в начале XXI в. новых методов исследования вместе с возможностью использования современных технологий определило необходимость уточнения и детализации многих картографических ландшафтных разработок. В этот же период (2006–2015) в Беларуси создана серия настенных физико-географических карт масштаба 1 : 500 000 и получена уточненная информация об особенностях территориального распространения ряда компонентов природы. Появление такой информации наряду с имеющимися данными дистанционного зондирования Земли и возможностью применения геоинформационных технологий позволило разработать новые, детализированные варианты карт природных ландшафтов для учреждений как высшего, так и общего среднего образования с использованием 6 классификационных единиц. Одна из них – карта для учреждений высшего образования масштаба 1 : 500 000 – послужила основой для анализа и выявления закономерностей пространственного распространения природных территориальных комплексов в ранге подтипов, групп родов, родов и видов ландшафтов. Установлено увеличение количества основных классификационных единиц – родов (с 20 до 22) и видов (с 105 до 107) – в пределах 2 подтипов, а также значительное изменение их площади, границ и особенностей территориального распространения. Полученные результаты стали основой для уточнения распространения региональных комплексов, что привело к составлению нового варианта схемы ландшафтного районирования. Выявлено, что количество провинций осталось прежним, однако уточнены их названия, границы и площади (изменились в пределах 1–5 %). Количество ландшафтных районов уменьшилось с 56 до 53, их границы, площади и названия существенно изменились.

**Ключевые слова:** природный ландшафт; структура природных ландшафтов; классификация ландшафтов; классификационные единицы; ландшафтное районирование; таксоны ландшафтного районирования.

### Образец цитирования:

Счастливая ИИ, Воробьев ДС. Структура природных ландшафтов и ее роль в создании схемы ландшафтного районирования Беларуси. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология.* 2022;1:28–41. <https://doi.org/10.33581/2521-6740-2022-1-28-41>

### For citation:

Shchasnaya II, Varabyou DS. The structure of natural landscapes and its role in the development of the landscape zoning scheme of Belarus. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology.* 2022;1:28–41. Russian. <https://doi.org/10.33581/2521-6740-2022-1-28-41>

### Авторы:

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

### Authors:

**Iryna I. Shchasnaya**, PhD (geography), docent; associate professor at the department of geographical ecology, faculty of geography and geoinformatics.  
[irina.schasnaya@gmail.com](mailto:irina.schasnaya@gmail.com)  
<https://orcid.org/0000-0001-6228-8861>  
**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>

# THE STRUCTURE OF NATURAL LANDSCAPES AND ITS ROLE IN THE DEVELOPMENT OF THE LANDSCAPE ZONING SCHEME OF BELARUS

*I. I. SHCHASNAYA<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 article presents the results of systematisation and mapping of the natural landscapes of Belarus, which domestic researchers have been engaged since the 1960s. During this time, considerable cartographic and literary material concerning the peculiarities of distribution, a set of classification units and zoning units, approaches to their allocation and mapping has been accumulated. However, the appearance at the beginning of the 21<sup>st</sup> century of new research methods along with the possibility of using modern technologies determined the need to refine and detail many cartographic landscape developments. At the same period (2006–2015), a series of 1 : 500 000 scale wall-mounted physical and geographical maps was created in Belarus and updated information was obtained about the features of the territorial distribution of a number of components of nature. The appearance of such information, along with the available data of remote sensing of the Earth and the possibility of application of geoinformation technologies, also allowed the development of new, detailed versions of maps of natural landscapes, both for institutions of higher and general secondary education using 6 classification units. One of them – map for institutions of higher education on a scale of 1 : 500 000 – served as the basis for the analysis and identification of patterns of spatial distribution of natural territorial complexes in the rank of subtypes, groups of genera, genera and species of landscapes. An increase in the number of main classification units was found – genera (from 20 to 22) and species (from 105 to 107) – within the 2 subtypes, as well as a significant change in their area, boundaries and features of spatial distribution. The obtained results served as a basis for clarifying the distribution of regional complexes, which led to the compilation of a new version of the landscape zoning scheme. It was revealed that the number of provinces remained the same, their borders were clarified (the areas changed within 1–5 %) and names. The number of landscape districts has decreased from 56 to 53, their borders, areas and names have changed significantly.

**Keywords:** natural landscape; structure of natural landscapes; classification of landscapes; classification units; landscape zoning; taxa of landscape zoning.

## Введение

Изучение ландшафтов и их пространственной организации интересовало географов мира с давних времен. Работы этого направления появились в первой половине XX в. сначала за рубежом, затем на русскоязычном пространстве. Особенно интенсивно процесс изучения ландшафтов стал развиваться в 1965–1990 гг. Данный период развития ландшафтоведения в литературе часто называют этапом выявления, накопления и систематизации ландшафтной информации. Именно в это время начались работы по изучению ландшафтов Беларуси и особенностей их территориального распространения, которые тесно связаны с именем В. А. Дементьева. Им впервые была разработана методология ландшафтных исследований, включающая методику полевых исследований, типологию и классификацию природных ландшафтов. Именно В. А. Дементьев предложил выделять ландшафт и каждую его морфологическую единицу с учетом ведущего фактора. Набор природных ландшафтов, выявленный в процессе полевых исследований по данной методике, лег в основу первой классификации ландшафтов Беларуси, также разработанной В. А. Дементьевым. Она представлена одной классификационной ступенью с выделением 10 типов ландшафтов [1].

Дальнейшее изучение ландшафтов Беларуси, особенностей их горизонтального строения и территориального распространения повлекло за собой публикацию в 1984 г. первой настенной ландшафтной карты Беларуси масштаба 1 : 600 000 (авторы – Н. К. Клицунова, Г. И. Марцинкевич, Г. Т. Хараничева, Л. В. Логинова) [2], подробно описанной в монографии «Ландшафты Белоруссии» [3]. По своему содержанию это классификационная карта, на которой отражены 7 типологических единиц, одни из основных среди них – роды (20) и виды (105) ландшафтов. В это же время указанными авторами на основе классификационной ландшафтной карты разработана первая схема ландшафтного районирования с набором региональных комплексов. На ней представлены 5 ландшафтных провинций и 55 ландшафтных районов (позже их количество было увеличено до 56).

Появление в начале XXI в. новых методов, технологий, а также результатов изучения компонентов природы обусловило необходимость и возможность уточнения количества природных ландшафтов Беларуси, их структуры и специфики территориального распространения. Такая работа была выпол-

нена, и в 2015 г. опубликована новая настенная ландшафтная карта для высших учебных заведений масштаба 1 : 500 000 (авторы – Г. И. Марцинкевич, И. И. Счастливая, И. П. Усова) [4]. Анализ полученных картографических данных выявил изменения в содержании карты по сравнению с картой 1984 г. Они заключались в уменьшении набора классификационных единиц (с 7 до 6), появлении новых комплексов в ранге рода (озерно-аллювиальные, озерно-болотные), увеличении количества выделенных родов (с 20 до 22) и видов (с 105 до 107), изменении их границ и особенностей территориального распространения. Это повлекло за собой необходимость создания новой схемы ландшафтного районирования, которая и была составлена на основе классификационных разработок. Анализ данной схемы показал уменьшение количества (с 56 до 53), изменение границ и названий ландшафтных районов, уточнение названий и детализацию границ 5 ландшафтных провинций.

Цель настоящего исследования – выявление структуры природных ландшафтов, выделенных на карте [4], и обоснование ее применения для разработки схемы ландшафтного районирования.

Задачи исследования – провести сравнительно-географический и картографический анализ созданных на протяжении 18 лет (1984–2002) карт природных ландшафтов и схем ландшафтного районирования, выявить связь классификационных единиц природных ландшафтов и таксонов ландшафтного районирования, составить новую схему ландшафтного районирования в соответствии с изменениями на карте природных ландшафтов (2015).

Систематизация и пространственная организация ландшафтов Беларуси, методология и методы их изучения активно используются при выполнении современных ландшафтных исследований в нашей стране. Эти исследования послужили основой для углубленного анализа и оценки типичных и редких комплексов республики [5], разработки методики картографирования и типологии ландшафтов особо охраняемых природных территорий с применением новых технологий [6], выявления строения и структуры городских ландшафтов [7] и оценки их экологических рисков [8].

## Обзор литературы

Начало систематизации и изучению пространственной организации ландшафтов заложили географы, по праву считающиеся сегодня первыми исследователями-ландшафтоведами. Наиболее известны труды З. Пассарге (S. Passarge) – знаменитого немецкого ученого и путешественника, который в своих работах начала XX в. предложил вариант пространственной организации региональных ландшафтов Африки [9] и уделял большое внимание изучению типологических комплексов [10]. Однако в целом для этого периода характерно стремление ограничить сферу географии изучением региональных процессов и явлений в рамках отдельных государств, что проявилось в направлении исследований географов разных стран. Одну из первых попыток разделить 48 континентальных штатов и территорий на физико-географические районы сделал американский исследователь Дж. У. Поуэлл (J. W. Powell) в конце XIX в. Он выделил 16 районов, причем некоторые из них подразделил на более мелкие части [11]. У. М. Дэвис (W. M. Davis) чуть позже сделал соответствующую карту [12].

В начале XX в. В. Л. Г. Джоург (W. L. G. Joerg) проанализировал серию карт районирования США и составил собственную карту, объединив на ней наиболее удачные характеристики. Автор пользовался термином «природный район», считая, что это любая часть земной поверхности с однородными природными условиями. В те годы не придавалось особого значения масштабу или степени генерализации при выделении районов, поэтому районы, выделенные В. Л. Г. Джоургом, были однородными лишь в силу определения [13]. В это же время в Чикаго проводилась сессия Ассоциации американских географов, посвященная вопросам районирования. Один из наиболее интересных докладов сделал Н. М. Феннеман (N. M. Fenneman) [14], который чуть позже составил и опубликовал карту с детальным перечнем характеристик каждого района в масштабе 1 : 7 000 000 [15].

Идея деления территории страны на ряд мелких комплексов доминировала и во французской географической школе, основанной П. Видалем де ла Блашем (P. Vidal de la Blache). Он предлагал сосредоточить внимание на тесных взаимосвязях между человеком и непосредственно окружающей его средой путем изучения небольших однородных территорий (*пays*) [16]. Эта мысль была подхвачена Л. Галлуа (L. Gallois), который в своей работе рассмотрел все идеи районного подхода во Франции [17].

Британские географы в начале XX в. также делали попытки выделения схематических районов, но для большей территории. Одна из первых попыток такого рода принадлежит Э. Дж. Гербертсону (A. J. Herbertson). Он разработал свою сетку основных природных районов Земли, которые определялись им как ассоциация форм рельефа, климата и растительности [18]. Еще одна классификация районов была предложена Дж. Ф. Анстедом (J. F. Unstead). Географические районы в ней выделялись по принципу уравнивания природных и человеческих факторов. Дж. Ф. Анстед утверждал, что при выделении районов может допускаться разная степень генерализации, начиная с самых мелких, непосредственно

обозреваемых подразделений территории. После этого он их объединял в субрайоны, малые районы и крупные (основные) районы [19]. Британские географы и во второй половине XX в. активно работали в области региональных исследований. Осознание трудности определения однородных территорий привело их к использованию более усложненных методов идентификации и анализа районов, что хорошо отражено в работе П. Хаггета (P. Haggett) [20].

В Германии ландшафтные исследования развивались в двух часто связанных между собой направлениях. В рамках первого направления большое внимание уделялось вопросам районирования. Одним из первых немецких ученых, сконцентрировавшихся на этой проблеме в конце XIX в., был Ф. фон Рихтгофен (F. von Richthofen). Он выдвинул идею, что наряду с изучением территории всего земного шара необходимо анализировать мелкие участки земной поверхности разных размеров. Эти участки он называл *Erdteile* (главное подразделение Земли), *Länder* (основные районы), *Landschaften* (мелкие районы) и *Örtlichkeiten* (местности) [21]. В начале XX в. эту идею стал развивать А. Геттнер (A. Hettner), обративший внимание на изменчивость облика земной поверхности, которую позднее стали называть пространственной дифференциацией. А. Геттнер обнаружил, что на Земле существуют как неоднородные районы, отличающиеся от своего окружения, так и районы, обнаруживающие определенную степень однородности в пределах границ, поддающихся выделению [22].

Второе направление – это исследование, систематизация и картографирование ландшафтов. Продолжая традиции З. Пассарге, немецкие географы занимались исследованиями ландшафтов очень тщательно и внесли большой вклад в совершенствование методов их выделения и изучения. В середине XX в. опубликована монография И. Г. Шульце (J. H. Schultze) о ландшафтах восточной части Германии (в те годы ГДР), в которой представлена и карта районов масштаба 1 : 1 000 000 [23]. В это же время был издан сборник работ по физической географии под редакцией Э. Неефа (E. Neef), куда вошли все значимые исследования немецких географов XX в. [24].

Советские исследователи в первой половине XX в. также активно занимались изучением пространственной организации ландшафта, что подтверждается фундаментальным трудом Л. С. Берга, выдержавшим несколько переизданий [25]. Однако расцвет исследований данного направления пришелся на 1965–1990 гг. Именно в это время большое количество ученых занимаются изучением дифференциации географической оболочки, развития и размещения географических комплексов разного порядка (зон, ландшафтов и пр.). Основные работы ведутся в области морфологии, систематики ландшафтов и ландшафтного районирования, долгие годы отождествлявшегося с физико-географическим районированием. Таких взглядов придерживались многие российские исследователи, в том числе Ф. Н. Мильков [26; 27], А. Г. Исаченко [28], Н. И. Михайлов [29], В. И. Прокаев [30] и др. Безусловно, два вида районирования имеют ряд сходств – общую цель (выявление пространственной неоднородности территории), одинаковые таксономические единицы (провинция, район) и принципы. Однако есть между ними и некоторые различия, и в первую очередь то, что ландшафтное районирование производится только на основе ландшафтной карты, а физико-географическое районирование – с опорой на тематические карты природы. Однако во второй половине XX в. большое количество ученых стали склоняться к мысли о возможности разработки ландшафтного районирования как самостоятельного вида комплексного районирования [31–33]. Эта идея просматривается в разработках А. Е. Фединой [34] и явно обозначена в статье И. П. Кадильниковой [35]. Именно И. П. Кадильников впервые четко сформулировал мысль о необходимости различать физико-географическое и ландшафтное районирование. Также он предложил использовать в качестве основы для дальнейшей систематизации ландшафтов их классификацию и разработал основные критерии выделения таксонов районирования – разнообразные классификационные единицы.

Начало ландшафтными исследованиям на территории Беларуси в 1920-х гг. положили работы профессора БГУ А. А. Смолича. Очень значительным трудом является его статья «Тыпы геаграфічных краявідаў Беларусі» [36]. В ней автор отметил, что считает географический ландшафт (белорус. *краявід*) основным объектом изучения географической науки. Огромную роль в развитии ландшафтоведения также сыграла статья А. А. Смолича о сельскохозяйственном районировании Беларуси [37], являющаяся первой работой по районированию на территории республики. Последователями А. А. Смолича в 1930-х гг. были геологи А. М. Жирмунский [38] и Н. Ф. Блюдохо [39], исследования которых значительно расширили сведения о белорусских ландшафтах. Дальнейшее изучение природных комплексов Беларуси связано с именем В. А. Дементьева, под руководством которого были проведены полевые исследования, разработана методика картографирования ландшафтов, создана первая классификация [1]. Весь комплекс исследований, выполненных в середине XX в., привел к созданию и публикации в 1984 г. первой настенной ландшафтной карты масштаба 1 : 600 000 [2]. Создание карты потребовало изучения соподчинения ландшафтов, их расположения в пределах иерархии ландшафтных комплексов и в конечном итоге разработки классификации ландшафтов.

На карте выделены 7 классификационных единиц (класс – тип – подтип – группа родов – род – подрод – вид) и показано распространение 20 родов ландшафтов, многие из которых были картографированы впервые. В границах родов выявлены 105 видов ландшафтов. Публикация настенной ландшафтной карты обострила интерес к изучению природных комплексов Беларуси, что выразилось в активной разработке и публикации ландшафтных карт разных масштабов в энциклопедических изданиях, среди которых по охвату ландшафтного материала выделяется пятитомник «Энциклопедия природы Беларуси» [40]. Кроме того, ландшафтные карты широко представлены в разнообразных географических атласах, наиболее значимый из них – «Национальный атлас Беларуси», в котором есть отдельный раздел, посвященный ландшафтным разработкам [41].

Опираясь на эти наработки и труды В. А. Дементьева в области физико-географического районирования Беларуси [42; 43], отечественные исследователи разработали свое представление о сущности ландшафтного районирования [44]. Они же создали первую схему районирования, которая с небольшими дополнениями и изменениями [45; 46] активно использовалась до последнего десятилетия.

### Материалы и методы исследования

Результаты изучения структуры природных ландшафтов Беларуси как базы для создания схемы ландшафтного районирования приведены по расчетам данных опубликованной настенной карты для высших учебных заведений масштаба 1 : 500 000 [4].

Основа исследования – системный и ландшафтный научные подходы. С применением методов классификации, районирования, а также картографического, картометрического, дистанционного, геоинформационного и других методов, привлечением данных серии физикогеографических карт [47–50] и дистанционного зондирования Земли<sup>1</sup> выделены природные ландшафты в более крупном масштабе (1 : 500 000) по сравнению с предыдущими разработками (1 : 600 000), проведена их классификация и изучена структура. На карте отражены 6 классификационных ступеней: класс – тип – подтип – группа родов – род – вид. Высшая классификационная единица – класс ландшафтов – выделяется по крупным морфоструктурным особенностям территории, тип – по климатическим и биотическим различиям, подтип – по растительному покрову, отличающемуся в северных и южных районах Беларуси. Род ландшафтов объединяет участки, сходные по генезису и времени образования. Приуроченность их к определенному высотному уровню позволяет сформировать группы родов. Ведущим признаком выделения вида ландшафтов как самой мелкой единицы классификации выступает мезорельеф. Классификационная карта послужила основой для разработки схемы ландшафтного районирования, на которой выделены два таксона – провинция и район.

В процессе районирования вначале были выявлены ландшафтные районы, включающие набор генетически однородных и территориально близких видов ландшафтов. Районы, схожие по набору родов ландшафтов, образуют провинцию.

Выделение единиц районирования осуществлено с применением инструментов управления данными пакета *ArcGIS Pro 2.9* посредством агрегирования пространственных объектов на основе заданных атрибутов. Изучение структуры ландшафтных комплексов (как классификационных единиц, так и единиц районирования) выполнено с использованием инструментов модуля *Spatial Analyst* указанного программного пакета путем создания перекрестной таблицы площадей между наборами данных.

### Результаты и их обсуждение

На ландшафтной карте [4] отражены 6 классификационных единиц (класс – тип – подтип – группа родов – род – вид), на предыдущих картах их было 7. В общей сложности на ней представлены 1 класс (равнинные), 1 тип (умеренно континентальные лесные), 2 подтипа (подтаежные и полесские – 70 и 30 % площади страны соответственно), 3 группы родов (возвышенные, средневысотные и низменные), 22 рода в рамках 2 подтипов (или 14 основных родов без разделения по подтипам), 107 видов. При краткой характеристике родов ландшафтов по группам дается сокращенное название ландшафтного комплекса (полное их название приведено на настенной ландшафтной карте [4]).

*Возвышенные ландшафты* (приурочены к абсолютным отметкам более 200 м) в пределах 2 подтипов занимают 16 % территории республики. В группе 5 родов (на первой ландшафтной карте их было 6), повторяющихся в пределах 2 подтипов. Группировка комплексов без учета подтипов позволила выделить в рамках группы на территории республики 4 рода (рис. 1, а) (ранее их было 5).

<sup>1</sup>EarthExplorer [Electronic resource]. URL: <https://earthexplorer.usgs.gov> (date of access: 17.10.2021).

Среди родов группы доминируют *холмисто-моренно-эрозионные* ландшафты, занимающие 50 % площади группы. Горизонтальное строение представлено 12 видами, среди которых преобладают мелко-, средне- и крупно-холмисто-грядовые комплексы, занимающие более 45 % площади рода. *Холмисто-моренно-озерные* комплексы широко представлены в Поозерье и распространены на 19 % площади группы. В горизонтальном строении ландшафтов представлены 4 вида, среди которых доминируют мелко- и средне-холмисто-грядовые комплексы, занимающие около 80 % площади рода. *Камово-моренные* ландшафты, занимающие 19 % площади группы, также доминируют в Белорусском Поозерье. Горизонтальное строение ландшафтов достаточно простое: выделяются 6 видов, среди которых доминируют мелко- и средне-холмисто-грядовые комплексы, занимающие около 45 % площади рода, высок удельный вес мелко-холмисто-котловинных комплексов (15–20 %). *Лёссовые* ландшафты распространены на крайнем востоке республики и занимают 12 % площади возвышенных ландшафтов. Своеобразно горизонтальное строение лёссовых ландшафтов. Здесь выделены 5 видов, среди которых доминируют мелко-холмисто-увалистые (более 40 %) ландшафты.

*Средневысотные ландшафты* (приурочены к абсолютным отметкам 150–200 м) являются наиболее распространенной группой природных территориальных комплексов, занимающей 52 % площади Беларуси. В пределах 2 подтипов в группе выделяются 7 родов ландшафтов (ранее их было 8). Число основных родов ландшафтов, встречающихся в стране без учета выделения подтипов, сократилось с 5 до 4 (рис. 1, б). Для средневысотных ландшафтов характерно большое разнообразие видов (5–19) в каждом роде ландшафтов.

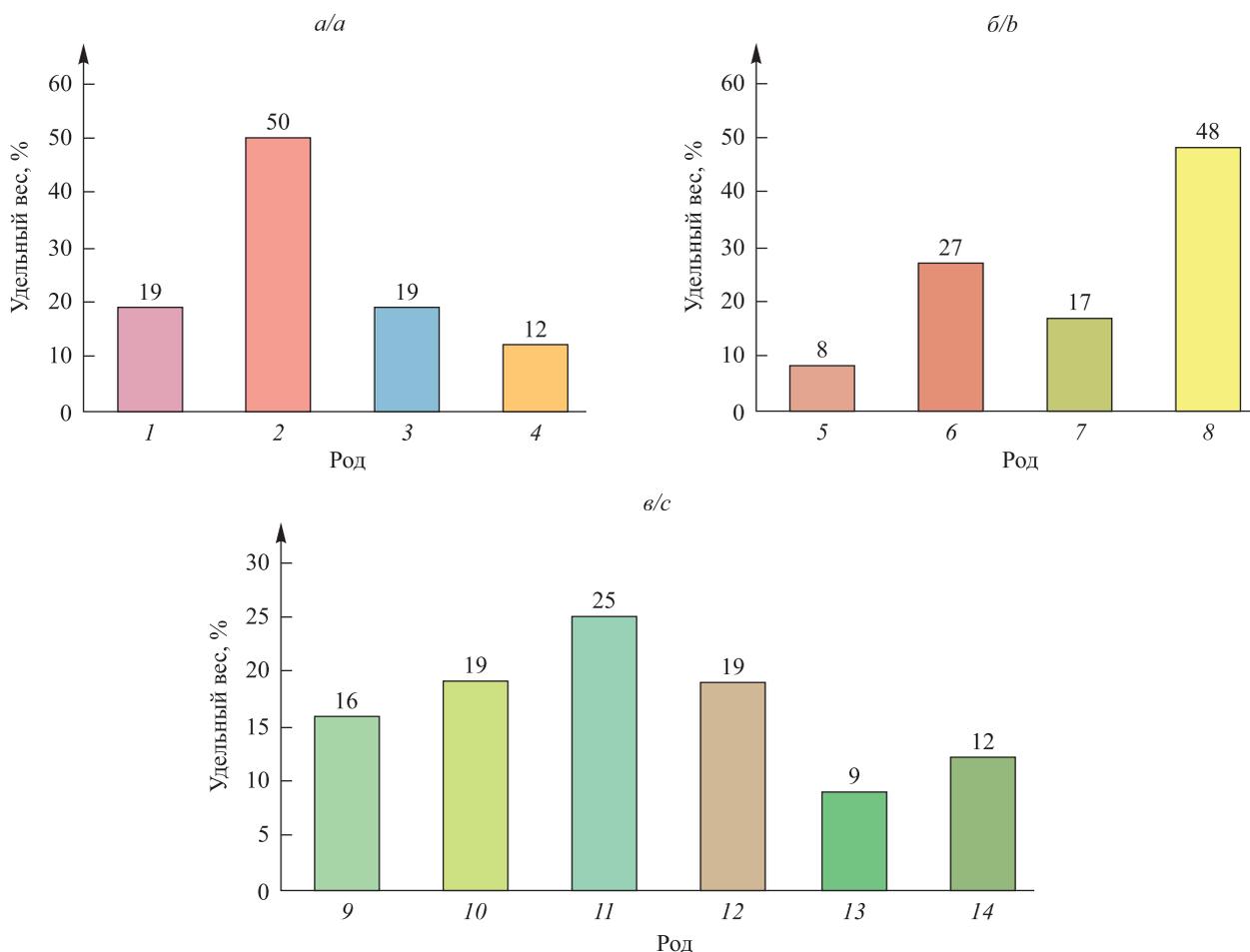
Доминируют *водно-ледниковые* ландшафты, занимая 48 % площади группы и 25 % территории страны. Они имеют достаточно сложное горизонтальное строение: выделены 19 видов с доминированием плосковолнистых (около 40 %), волнистых (более 25 %) и плоских (около 20 %) комплексов (суммарно примерно 85 % площади рода). *Моренно-озерные* ландшафты представлены на 8 % площади описываемой группы. В их горизонтальном строении выделены 5 видов, среди которых доминируют волнистые комплексы с камами, озами, ложбинами (более 30 % площади рода). *Вторично-моренные* ландшафты распространены на 27 % территории описываемой группы (14 % территории Беларуси). В их горизонтальном строении вычленяются 9 видов с доминированием волнистых (30 % площади рода) и холмисто-волнистых (около 35 %) природных территориальных комплексов. *Моренно-зандровые* ландшафты чаще встречаются в центральной и южной частях Беларуси, занимая 17 % площади описываемой группы. Среди 11 видов ландшафтов господствуют плосковолнистые комплексы (более 30 %), широко распространены (до 20 %) волнисто-увалистые и холмисто-волнистые природные территориальные комплексы.

*Низменные ландшафты* (приурочены к абсолютным отметкам менее 150 м) занимают 32 % площади страны. В их строении принимают участие 10 родов (ранее их было 7), основные из них (6) широко представлены на территории республики (рис. 1, в). Низменные природные территориальные комплексы отличаются достаточно простым набором видов (2–8 единиц).

Доминируют *озерно-аллювиальные* ландшафты, занимая 25 % площади группы. Они встречаются повсеместно, но чаще представлены на юге страны. Среди 8 видов преобладают плосковолнистые и плоские комплексы с котловинами и дюнами (около 80 % площади рода). *Озерно-ледниковые* ландшафты распространены на 16 % площади описываемой группы. Среди 6 видов преобладают плосковолнистые комплексы (около 45 % площади рода). *Аллювиальные террасированные* ландшафты занимают 19 % площади описываемой группы. Среди 8 видов преобладают плосковолнистые комплексы с дюнами (более 60 %). *Озерно-болотные* ландшафты занимают 19 % площади группы. Среди 8 видов доминантами выступают плосковолнистые природные территориальные комплексы с дюнами и котловинами (более 60 %). *Пойменные* ландшафты присутствуют в поймах крупных рек, занимая 9 % площади группы. В структуре рода представлены плоские и гривистые природные территориальные комплексы, имеющие равный удельный вес. *Речные долины* приурочены к долинам рек, имеющих узкую пойму и незначительные по площади надпойменные террасы, и занимают 12 % площади группы. Доминируют комплексы в пределах северной и центральной частей Беларуси. В горизонтальном строении среди 2 видов преобладают долины с плоской поймой, занимающие около 70 % площади рода.

С опорой на изученную структуру природных ландшафтов и специфику их территориального распространения создана новая схема ландшафтного районирования [45].

Выделены 5 провинций, в границах каждой из них преобладают от 2 до 3 неповторяющихся родов ландшафтов (рис. 2).



*Рис. 1.* Структура групп родов природных ландшафтов Беларуси:  
*а* – возвышенные ландшафты (1 – холмисто-моренно-озерные, 2 – холмисто-моренно-эрозионные, 3 – каменно-моренные, 4 – лёссовые);  
*б* – средневисотные ландшафты (5 – моренно-озерные, 6 – вторично-моренные, 7 – моренно-зандровые, 8 – водно-ледниковые);  
*в* – низменные ландшафты (9 – озерно-ледниковые, 10 – аллювиальные террасированные, 11 – озерно-аллювиальные, 12 – озерно-болотные, 13 – пойменные, 14 – речные долины)

*Fig. 1.* Structure of groups of genera of natural landscapes of Belarus:  
*a* – elevated landscapes (1 – hilly-moraine-lacustrine, 2 – hilly-moraine-erosion, 3 – kame-moraine, 4 – loess);  
*b* – medium-altitude landscapes (5 – moraine-lacustrine, 6 – secondary-moraine, 7 – moraine-outwash, 8 – water-glacial);  
*c* – lowland landscapes (9 – lacustrine-glacial, 10 – alluvial terraced, 11 – lacustrine-alluvial, 12 – lacustrine-bog, 13 – floodplain, 14 – river valleys)

Детальное рассмотрение состава родов ландшафтов в пределах провинций позволяет выявить присутствие определенного количества родов и наиболее характерные для каждой из них комплексы. Так, в границах Поозерской провинции представлены 11 родов ландшафтов, среди которых доминируют озерно-ледниковые, моренно-озерные и холмисто-моренно-озерные комплексы. На территории Белорусской возвышенной провинции распространены 9 родов ландшафтов с преобладанием холмисто-моренно-эрозионных и вторично-моренных комплексов. В Предполесской провинции среди присутствующих на этом пространстве 10 родов доминируют водно-ледниковые и моренно-зандровые ландшафты. В пределах Восточно-Белорусской провинции из 9 родов наибольшее распространение получили вторично-моренные и лёссовые ландшафты. Полесская провинция отличается небольшим (8 единиц), но разнообразным составом родов ландшафтов, наряду с водно-ледниковыми комплексами на ее территории доминируют озерно-аллювиальные и аллювиальные террасированные ландшафты. Выявление доминирующих родов ландшафтов в пределах провинций позволило уточнить название каждой из них. Всего в Беларуси выделено 5 провинций и 53 ландшафтных района (рис. 3).

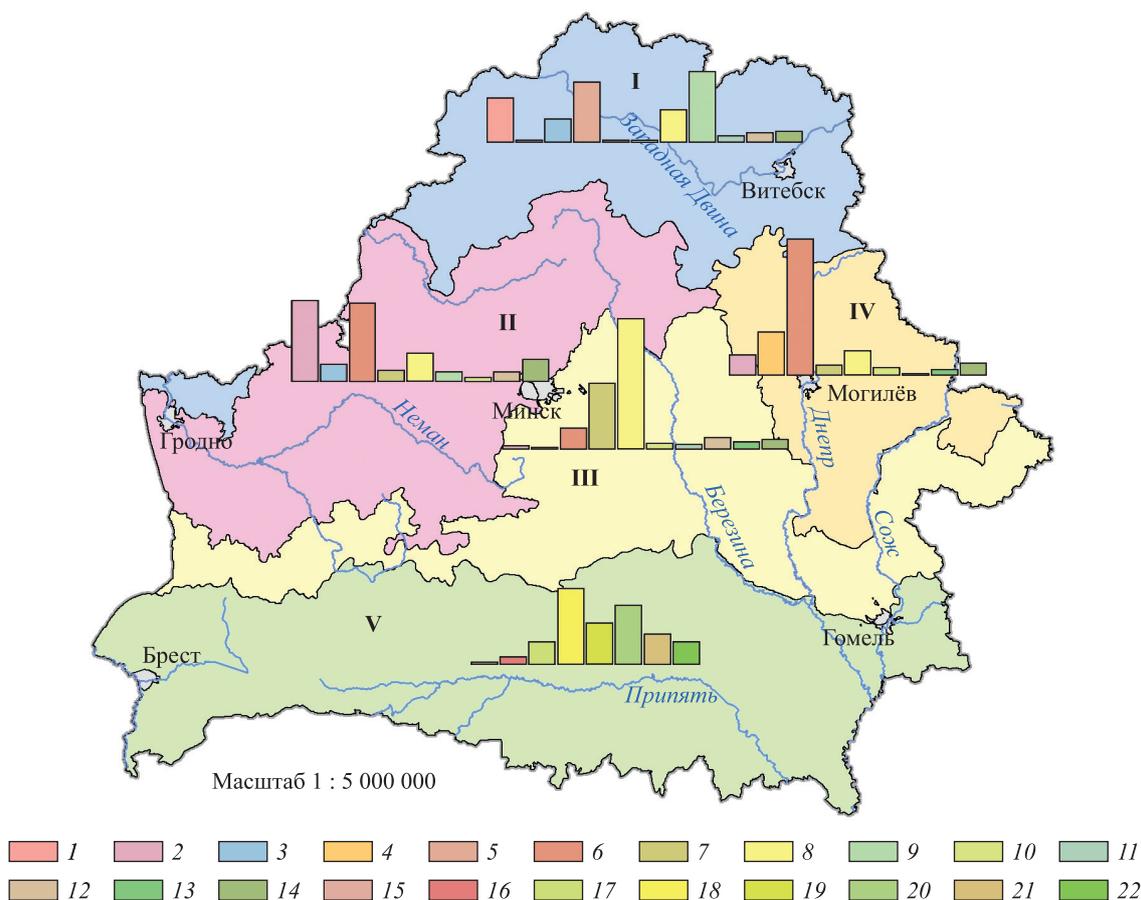


Рис. 2. Разнообразие родов природных ландшафтов Беларуси в пределах провинций: I–V – номера провинций (I – Поозерская, II – Белорусская возвышенная, III – Предполеская, IV – Восточно-Белорусская, V – Полеская); 1–22 – номера родов ландшафтов (соответствуют номерам родов в условных обозначениях к настенной ландшафтной карте [4])

Fig. 2. Variety of natural landscapes of Belarus at the rank of genus within the provinces: I–V – province numbers (I – Poozerskaya, II – Belarusian elevated, III – Predpolesskaya, IV – East Belarusian, V – Poleskaya); 1–22 – genus numbers (correspond to the genus numbers in the legend to the wall landscape map [4])

Поозерская провинция озерно-ледниковых (27,1%), моренно-озерных (22,9%) и холмисто-моренно-озерных (16,8%) ландшафтов расположена на севере республики и занимает 17% ее площади. Для данной провинции наиболее типичны подтаежные средневысотные и низменные, в меньшей степени возвышенные ландшафты. В пределах провинции по сочетанию видов выделены 13 ландшафтных районов (цифры 1–13 на рис. 3).

Белорусская возвышенная провинция холмисто-моренно-эрозионных (31,0%) и вторично-моренных (30,0%) ландшафтов расположена в центральной части республики и занимает 21% ее территории. Отличительной особенностью является сложная ландшафтная структура с господством подтаежных возвышенных и средневысотных комплексов. Разнообразие видов ландшафтов позволило выделить в провинции 13 ландшафтных районов (цифры 14–26 на рис. 3).

Предполеская провинция водно-ледниковых (50,0%) и моренно-зандровых (25,4%) ландшафтов пересекает территорию республики узкой полосой в широтном направлении, занимая 22% ее площади. Оригинальные моренно-зандровые комплексы, представленные чередованием участков разного генезиса и массово встречающиеся только в этой части страны, определяют неповторимость данной провинции. Для нее характерны подтаежные, преимущественно средневысотные ландшафты. Виды природных территориальных комплексов сгруппированы в 9 ландшафтных районов (цифры 27–35 на рис. 3).

Восточно-Белорусская провинция вторично-моренных и лёссовых (в сумме 70,0%) ландшафтов – наименьшая по площади провинция (10% территории республики), представленная на крайнем востоке Беларуси. Это единственная провинция, где встречаются лёссовые ландшафты, определяющие ее своеобразие. Характерная особенность ландшафтного строения – преобладание подтаежных средневысотных и возвышенных ландшафтов, незначительная доля низменных ландшафтов. Виды природных территориальных комплексов, представленные в провинции, сгруппированы в 5 ландшафтных районов (цифры 36–40 на рис. 3).



Рис. 3. Районирование природных ландшафтов Беларуси: I–V – номера провинций; 1–53 – номера районов.

**I – Поозерская провинция озерно-ледниковых, моренно-озерных и холмисто-моренно-озерных ландшафтов:**

- 1 – Свенцяно-Нарочанский район мелкохолмистых и средне-холмисто-грядовых холмисто-моренно-озерных ландшафтов; 2 – Поставско-Глубокский район холмисто-волнистых моренно-озерных ландшафтов; 3 – Дисненский район плоских и плосковолнистых озерно-ледниковых ландшафтов; 4 – Браславский район волнистых и пологоволнистых моренно-озерных, мелко-холмисто-грядовых холмисто-моренно-озерных ландшафтов; 5 – Освейско-Езерищенский район мелкохолмистых камово-моренных, холмисто-волнистых водно-ледниковых ландшафтов; 6 – Полоцкий район холмисто-волнистых и плосковолнистых озерно-ледниковых ландшафтов; 7 – Городокский район средне- и мелко-холмисто-грядовых холмисто-моренно-озерных, холмисто-волнистых и пологоволнистых моренно-озерных ландшафтов; 8 – Суражский район плоских и волнистых озерно-ледниковых, волнистых и холмисто-волнистых водно-ледниковых ландшафтов; 9 – Витебский район плосковолнистых и волнистых моренно-озерных, платообразных и мелкохолмистых холмисто-моренно-озерных ландшафтов; 10 – Лучосинский район плосковолнистых и холмисто-волнистых озерно-ледниковых, волнистых водно-ледниковых ландшафтов; 11 – Среднедвинский район холмисто-волнистых и плосковолнистых моренно-озерных ландшафтов; 12 – Ушачский район мелко- и средне-холмисто-грядовых холмисто-моренно-озерных ландшафтов; 13 – Котринский район бугристо-волнистых водно-ледниковых ландшафтов.

**II – Белорусская возвышенная провинция холмисто-моренно-эрозионных и вторично-моренных ландшафтов:**

- 14 – Гродненский район мелко-холмисто-увалистых и среднехолмистых холмисто-моренно-эрозионных, холмисто-волнистых вторично-моренных ландшафтов; 15 – Волковысский район мелкохолмистых, средне- и крупно-холмисто-грядовых холмисто-моренно-эрозионных ландшафтов; 16 – Новогрудский район средне- и крупнохолмистых, мелко-холмисто-грядовых холмисто-моренно-эрозионных ландшафтов; 17 – Средненеманский район волнистых и плосковолнистых водно-ледниковых ландшафтов; 18 – Лидский район волнистых и холмисто-волнистых вторично-моренных ландшафтов; 19 – Верхненеманский район плосковолнистых моренно-зандровых ландшафтов; 20 – Ошмянский район средне- и крупно-холмисто-грядовых холмисто-моренно-эрозионных ландшафтов; 21 – Островецкий район волнистых и плосковолнистых водно-ледниковых ландшафтов; 22 – Вилейский район холмисто-волнистых и волнистых вторично-моренных ландшафтов; 23 – Верхнеберезинский район плоских и плосковолнистых озерно-болотных, холмисто-волнистых водно-ледниковых ландшафтов; 24 – Березинско-Бобрский район средне- и крупно-холмисто-грядовых камово-моренных, волнистых вторично-моренных ландшафтов; 25 – Минский район мелко-, средне- и крупнохолмистых холмисто-моренно-эрозионных ландшафтов; 26 – Столбцовско-Копыльский район волнистых и холмисто-увалистых вторично-моренных, мелкохолмистых холмисто-моренно-эрозионных ландшафтов.

**III – Предполесская провинция водно-ледниковых и моренно-зандровых ландшафтов:**

- 27 – Верхнеясельдский район волнистых и холмисто-волнистых водно-ледниковых ландшафтов; 28 – Барановичско-Солигорский район холмисто-волнистых вторично-моренных, плоских и плосковолнистых водно-ледниковых ландшафтов; 29 – Среднепечиский район плоских и плосковолнистых водно-ледниковых ландшафтов; 30 – Верхнепечиский район плосковолнистых и холмисто-волнистых водно-ледниковых ландшафтов; 31 – Борисовский район волнистых и плосковолнистых моренно-зандровых ландшафтов; 32 – Среднеберезинский район волнистых и волнисто-увалистых водно-ледниковых ландшафтов; 33 – Бобруйско-Рогачевский район плосковолнистых моренно-зандровых, плосковолнистых и холмисто-волнистых водно-ледниковых ландшафтов; 34 – Жлобинско-Светловичский район холмисто-увалистых моренно-зандровых, плосковолнистых водно-ледниковых ландшафтов; 35 – Сожско-Беседский район плоских и плосковолнистых водно-ледниковых, холмисто-волнистых моренно-зандровых ландшафтов.

**IV – Восточно-Белорусская провинция вторично-моренных и лёссовых ландшафтов:**

- 36 – Оршанско-Мстиславский район мелко-холмисто-волнистых и мелко-холмисто-увалистых лёссовых ландшафтов; 37 – Шкловский район волнисто-увалистых и плосковолнистых вторично-моренных ландшафтов; 38 – Могилёвский район волнистых вторично-моренных ландшафтов; 39 – Климовичский район плоских и мелкоувалистых вторично-моренных, плоских водно-ледниковых ландшафтов; 40 – Днепровский район волнистых и холмисто-волнистых вторично-моренных ландшафтов.

**V – Полесская провинция водно-ледниковых, озерно-аллювиальных и аллювиальных террасированных ландшафтов:**

- 41 – Высоковско-Пружанский район холмисто-волнистых вторично-моренных и моренно-зандровых ландшафтов; 42 – Мухавецкий район плоских озерно-аллювиальных, плоских и плосковолнистых водно-ледниковых ландшафтов; 43 – Прибужский район плоских водно-ледниковых ландшафтов; 44 – Ясельдско-Щарский район плосковолнистых водно-ледниковых и озерно-аллювиальных, плоских озерно-болотных ландшафтов; 45 – Загородский район холмисто-волнистых моренно-зандровых и волнистых водно-ледниковых ландшафтов; 46 – Пинско-Туровский район волнистых и плосковолнистых аллювиальных террасированных ландшафтов; 47 – Лунинецко-Житковичский район плоских озерно-аллювиальных ландшафтов; 48 – Оресский район плосковолнистых озерно-аллювиальных ландшафтов; 49 – Лельчицко-Ельский район плоских и плосковолнистых водно-ледниковых ландшафтов; 50 – Иппа-Тремлянский район плосковолнистых моренно-зандровых и водно-ледниковых ландшафтов; 51 – Приднепровский район плоских и плосковолнистых озерно-аллювиальных ландшафтов; 52 – Наровляно-Брагинский район плосковолнистых и волнисто-ложбинных аллювиальных террасированных ландшафтов; 53 – Днепровско-Сожский район плосковолнистых аллювиальных террасированных, плоских водно-ледниковых ландшафтов

*Fig. 3. Regionalisation of natural landscapes of Belarus: I–V – province numbers; 1–53 – district numbers.*

**I – Poozerskaya province of lacustrine-glacial, moraine-lacustrine and hilly-moraine-lacustrine landscapes:**

- 1 – Svetsyansko-Narochansky district of small-hilly and medium-hilly-ridge hilly-moraine-lacustrine landscapes; 2 – Postavsko-Gluboksky district of hilly-wave moraine-lacustrine landscapes; 3 – Disnensky district of flat and flat-wave lacustrine-glacial landscapes; 4 – Braslavsky district of wave and gentle-wave moraine-lacustrine landscapes, small-hilly-ridge hilly-moraine-lacustrine landscapes; 5 – Osveysko-Yezerishchensky district of small-hilly kame-moraine landscapes, hilly-wave water-glacial landscapes; 6 – Polotsky district of hilly-wave and flat-wave lacustrine-glacial landscapes; 7 – Gorodoksky district of medium-hilly and small-hilly-ridge hilly-moraine-lacustrine landscapes, hilly-wave and gentle-wave moraine-lacustrine landscapes; 8 – Surazhsky district of flat and wave lacustrine-glacial landscapes, wave and hilly-wave water-glacial landscapes; 9 – Vitebsky district of flat-wave and wave moraine-lacustrine landscapes, plateaus and small-hilly hilly-moraine-lacustrine landscapes; 10 – Luchosinsky district of flat-wave and hilly-wave lacustrine-glacial landscapes, wave water-glacial landscapes; 11 – Srednedvinsky district of hilly-wave and flat-wave moraine-lacustrine landscapes; 12 – Ushachsky district of small- and medium-hilly-ridge hilly-moraine-lacustrine landscapes; 13 – Kotrinsky district of bumpy-wave water-glacial landscapes.

**II – Belarusian elevated province of hilly-moraine-erosion and secondary-moraine landscapes:**

- 14 – Grodnensky district of small-hilly-ridge and medium-hilly hilly-moraine-erosion landscapes, hilly-wave secondary-moraine landscapes; 15 – Volkovyssky district of small-hilly, medium- and large-hilly-ridge hilly-moraine-erosion landscapes; 16 – Novogrudsky district of medium- and small-hilly, small-hilly-ridge hilly-moraine-erosion landscapes; 17 – Srednenemansky district of wave and flat-wave water-glacial landscapes; 18 – Lidsky district of wave and hilly-wave secondary-moraine landscapes; 19 – Verkhnenemansky district of flat-wave moraine-outwash landscapes; 20 – Oshmyansky district of medium- and large-hilly-ridge hilly-moraine-erosion landscapes; 21 – Ostrovetsky district of wave and flat-wave water-glacial landscapes; 22 – Vileysky district of hilly-wave and wave secondary-moraine landscapes; 23 – Verkhneberezinsky district of flat and flat-wave lacustrine-bog landscapes, hilly-wave water-glacial landscapes; 24 – Berezinsko-Bobrsky district of medium- and large-hilly-ridge kame-moraine landscapes, wave secondary-moraine landscapes; 25 – Minsky district of small-, medium- and large-hilly hilly-moraine-erosion landscapes; 26 – Stoltsovsko-Kopylsky district of wave and hilly-ridge secondary-moraine landscapes, small-hilly hilly-moraine-erosion landscapes.

**III – Predpolesskaya province of water-glacial and moraine-outwash landscapes:**

- 27 – Verkhneyaseldsky district of wave and hilly-wave water-glacial landscapes; 28 – Baranovichsko-Soligorsky district of hilly-wave secondary-moraine landscapes, flat and flat-wave water-glacial landscapes; 29 – Srednepetchsky district of flat and flat-wave water-glacial landscapes; 30 – Verkhnepetchsky district of flat- and hilly-wave water-glacial landscapes; 31 – Borisovsky district of wave and flat-wave moraine-outwash landscapes; 32 – Sredneberezinsky district of wave and wave-ridge water-glacial landscapes; 33 – Bobruysko-Rogachevsky district of flat-wave moraine-outwash landscapes, flat- and hilly-wave water-glacial landscapes; 34 – Zhlobinsky-Svetilovichsky district of hilly-ridge moraine-outwash landscapes, flat-wave water-glacial landscapes; 35 – Sozhsko-Besedsky district of flat and flat-wave water-glacial landscapes, hilly-wave moraine-outwash landscapes.

**IV – East Belarusian province of secondary-moraine and loess landscapes:**

- 36 – Orshansko-Mstislavsky district of small-hilly-wave and small-hilly-ridge loess landscapes; 37 – Shklovsky district of wave-ridge and flat-wave secondary-moraine landscapes; 38 – Mogilevsky district of wave secondary-moraine landscapes; 39 – Klimovichsky district of flat and small-ridge secondary-moraine landscapes, flat water-glacial landscapes; 40 – Dneprovsky district of wave and hilly-wave secondary-moraine landscapes.

**V. Polesskaya province of water-glacial, lacustrine-alluvial and alluvial terraced landscapes:**

- 41 – Vysokovsko-Pruzhansky district of hilly-wave secondary-moraine and moraine-outwash landscapes; 42 – Mukhavetsky district of flat lacustrine-alluvial landscapes, flat and flat-wave water-glacial landscapes; 43 – Pribuzhsky district of flat water-glacial landscapes; 44 – Yaseldsko-Scharsky district of flat-wave water-glacial and lacustrine-alluvial landscapes, flat lacustrine-bog landscapes; 45 – Zagorodsky district of hilly-wave moraine-outwash and wave water-glacial landscapes; 46 – Pinsko-Turovsky district of flat and flat-wave alluvial terraced landscapes; 47 – Luninetsko-Zhitkovichsky district of flat lacustrine-alluvial landscapes; 48 – Oressky district of flat-wave lacustrine-alluvial landscapes; 49 – Lelchitsko-Yelsky district of flat and flat-wave water-glacial landscapes; 50 – Ippa-Tremlyansky district of flat-wave moraine-outwash and water-glacial landscapes; 51 – Pridneprovsky district of flat and flat-wave lacustrine-alluvial landscapes; 52 – Narovlyansko-Braginsky district of flat-wave and wave-hollow alluvial terraced landscapes; 53 – Dneprovsko-Sozhsky district of flat-wave alluvial terraced landscapes, flat water-glacial landscapes

Полесская провинция водно-ледниковых (29,1 %), озерно-аллювиальных (22,6 %) и аллювиальных террасированных (16,0 %) ландшафтов находится на юге республики и занимает доминирующее положение в стране (30 % ее площади). Провинция выделяется распространением полесских ландшафтов, среди которых наряду с доминирующими комплексами, вынесенными в название, широко представлены озерно-болотные комплексы (11,5 %). Для Полесья типичны низменные ландшафты, в меньшей мере распространены средневысотные ландшафты. Своеобразие ландшафтной структуры четко выражено и на уровне видов ландшафтов, что позволило выделить на территории провинции 13 ландшафтных районов (цифры 41–53 на рис. 3).

### Заключение

Представлены новые результаты исследования пространственной организации ландшафтов Беларуси, которые позволили уточнить границы выделенных классификационных единиц и особенности их распространения. С опорой на эти данные создана новая схема ландшафтного районирования с выделением двух таксонов (провинция, район).

Анализ структуры классификационных единиц карты природных ландшафтов [4] выявил, что в группе возвышенных ландшафтов в результате объединения камово-моренно-озерных и камово-моренно-эрозионных комплексов в один род (камово-моренные комплексы) число родов уменьшилось на единицу. В группе средневысотных ландшафтов количество родов также сократилось на единицу: водно-ледниковые комплексы с озерами включены в состав вторичных водно-ледниковых комплексов и на карте выделены под названием водно-ледниковых. В группе низменных ландшафтов уточнено происхождение группы нерасчлененных природных комплексов, которые в соответствии с фактором вычленения разделены на 2 рода ландшафтов – озерно-аллювиальные и озерно-болотные.

Выполненный пространственный анализ картографических материалов свидетельствует, что площади и система пространственной организации единиц классификации существенно изменились. Среди родов ландшафтов Беларуси представлены ландшафты-доминанты (40,0 % площади страны) – водно-ледниковые и вторично-моренные (более 15,0 % каждый); ландшафты-субдоминанты (36,5 %) – моренно-зандровые, аллювиальные террасированные, озерно-аллювиальные, холмисто-моренно-эрозионные и др. (5,0–15,0 % каждый); редкие ландшафты (23,5 %) – моренно-озерные, пойменные, озерно-болотные, камово-моренные, холмисто-моренно-озерные и пр. (менее 5,0 % каждый).

Анализ региональных комплексов отразил существование 5 ландшафтных провинций и уменьшение количества ландшафтных районов до 53. Откорректированы названия районов и Полесской провинции, уточнены границы и площади провинций и районов.

На основе первой ландшафтной карты масштаба 1 : 600 000 созданы два варианта схемы ландшафтного районирования [2; 41; 45]. Подходы к выделению единиц районирования за этот период несколько изменились. На первой схеме районы (55) выявлялись по доминирующим родам ландшафтов как ведущему фактору выделения с добавлением растительного покрова. В рамках второго варианта районы (56) вычленялись по видам доминирующих родов с учетом растительного покрова. При составлении новой схемы районирования, разработанной на основе последнего варианта классификационной карты [4], внимание акцентируется на ведущем факторе выделения 53 районов – доминирующих видах ландшафта.

Сравнение названий районов на первых двух вариантах схем районирования показало, что они существенно различаются, это закономерно происходит при изменении подхода к ландшафтной разработке. Предлагаемый вариант схемы районирования также отличается от предыдущих разработок. Изменение границ классификационных единиц в ранге рода и вида ландшафта повлекло за собой значительное изменение количества районов, их состава и названий в рамках провинций. В Поозерской и Полесской провинциях набор районов сократился с 14 до 13 и с 15 до 13 соответственно. В остальных провинциях количество районов осталось прежним (Белорусская возвышенная провинция включает 13 районов, Предполесская провинция – 9, Восточно-Белорусская провинция – 5). Выполненные подробные расчеты структуры природных ландшафтов в рамках ландшафтных районов позволили дать каждому из них точное и обоснованное название, существенно отличающееся от предыдущего. В итоге около половины районов получили новое название, у остальных же районов названия были уточнены.

На современном этапе развития науки сильно возросла значимость ландшафтных исследований. В Беларуси они продолжают развиваться, их результаты, в том числе полученные уточненные данные о пространственной организации типологических и региональных ландшафтов, активно используются в образовательном процессе [51], научных и проектных разработках для целей градостроительства, природопользования, охраны окружающей среды.

## Библиографические ссылки

1. Дементьев ВА, Марцинкевич ГИ. *Ландшафты северной и средней Белоруссии (опыт классификации)*. Минск: Издательство БГУ; 1968. 30 с.
2. Клицунова НК, Марцинкевич ГИ, Хараничева ГТ, Логинова ЛВ, картографы. *Ландшафтная карта Белорусской ССР [карта]*. Вешнякова ГВ, Исаченко АГ, редакторы. Москва: Главное управление геодезии и картографии СССР; 1984. 2 листа: 1 : 600 000; 104 × 71 см; цветная.
3. Марцинкевич ГИ, Клицунова НК, Хараничева ГТ, Якушко ОФ, Логинова ЛВ. *Ландшафты Белоруссии*. Марцинкевич ГИ, Клицунова НК, редакторы. Минск: Университетское; 1989. 239 с.
4. Марцинкевич ГИ, Счастливая ИИ, Усова ИП, картографы. *Республика Беларусь. Ландшафтная карта [карта]*. Нестеровская ЮМ, редактор. Минск: Белкартография; 2015. 1 лист: 1 : 500 000; 122 × 153 см; цветная.
5. Марцинкевич ГИ, Кузьмин СИ, Давыдик ЕЕ, Бобко АВ. Методологические проблемы и подходы к выявлению и оценке типичных и редких ландшафтов Республики Беларусь. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология*. 2020;2:34–46. DOI: 10.33581/2521-6740-2020-2-34-46.
6. Марцинкевич ГИ, Гагина НВ, Курлович ДМ, Ковалевская ОМ. Структура и картографирование ландшафтов Национального парка «Припятский» с использованием геоинформационных технологий. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология*. 2021;1:65–74. DOI: 10.33581/2521-6740-2021-1-65-74.
7. Марцинкевич ГИ, Счастливая ИИ. Закономерности и тенденции формирования полифункциональной структуры городских ландшафтов Беларуси. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология*. 2017;1:99–108.
8. Марцинкевич ГИ, Счастливая ИИ, Карпиченко АА, Воробьев ДС. Формирование и оценка экологических рисков урбандиафтов в промышленных городах Беларуси. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология*. 2021;2:45–62. DOI: 10.33581/2521-6740-2021-2-45-62.
9. Passarge S. *Südafrika. Eine Landes-, Volks- und Wirtschaftskunde*. Leipzig: Quelle & Meyer; 1908. 368 S.
10. Passarge S. *Die Grundlagen der Landschaftskunde. Ein Lehrbuch und eine Anleitung zu landschaftskundlicher Forschung und Darstellung*. Hamburg: L. Friederichsen & Co.; 1919–1920. 3 Bände.
11. Powell JW. Physiographic regions of the United States. In: *National geographic monographs, prepared under the auspices of the National Geographic Society. Volume 1*. New York: American Book Company; 1895. p. 65–100.
12. Davis WM. The United States of America. In: Mill HR, editor. *The international geography*. New York: D. Appleton and Company; 1899. p. 710–773.
13. Joerg WLG. The subdivision of North America into natural regions: a preliminary inquiry. *Annals of the Association of American Geographers*. 1914;4:55–83. DOI: 10.1080/00045601409356977.
14. Fenneman NM. Physiographic boundaries within the United States. *Annals of the Association of American Geographers*. 1914; 4:84–134. DOI: 10.1080/00045601409356978.
15. Fenneman NM. Physiographic divisions of the United States. *Annals of the Association of American Geographers*. 1916;6:19–98. DOI: 10.1080/00045601609357047.
16. Vidal de la Blache P. *Tableau de la géographie de la France*. Paris: Hachette; 1903. 395 p.
17. Gallois L. *Régions naturelles et noms de pays: étude sur la région parisienne*. Paris: A. Colin; 1908. 356 p.
18. Herbertson AJ. The major natural regions: an essay in systematic geography. *The Geographical Journal*. 1905;25(3):300–310. DOI: 10.2307/1776338.
19. Unstead JF. A synthetic method of determining geographical regions. *The Geographical Journal*. 1916;48(3):230–242. DOI: 10.2307/1779871.
20. Haggett P. *Locational analysis in human geography*. New York: St. Martin's Press; 1966. 339 p.
21. von Richthofen F. *Führer für Forschungsreisende*. Berlin: Robert Oppenheim; 1886. 745 S.
22. Геттнер А. *География: ее история, сущность и методы*. Торнеус ЕА, переводчик; Баранский Н, редактор. Ленинград: Государственное издательство; 1930. 416 с.
23. Schultze JH. *Die naturbedingten Landschaften der Deutschen Demokratischen Republik*. Gotha: Geographisch-kartographische Anstalt; 1955. 329 S. (Ergänzungsheft zu Petermanns geographische Mitteilungen; 257).
24. Neef E, Herausgeber. *Das Gesicht der Erde*. Leipzig: Brockhaus; 1956. 980 S.
25. Берг ЛС. *Ландшафтно-географические зоны СССР. Часть 1*. Москва: Сельхозгиз; 1931. 401 с.
26. Мильков ФН. *Физико-географический район и его содержание (на примере Русской равнины)*. Москва: Географгиз; 1956. 221 с.
27. Мильков ФН. *Физическая география: учение о ландшафте и географическая зональность*. Воронеж: Издательство Воронежского государственного университета; 1986. 328 с.
28. Исаченко АГ. *Ландшафтоведение и физико-географическое районирование*. Москва: Высшая школа; 1991. 366 с.
29. Михайлов НИ. *Физико-географическое районирование*. Москва: Издательство Московского университета; 1985. 184 с.
30. Прокаев ВИ. *Физико-географическое районирование*. Москва: Просвещение; 1983. 176 с.
31. Козин ВВ, Москвина НН. Дробное ландшафтное районирование Ханты-Мансийского автономного округа. В: *Проблемы географии и экологии Западной Сибири. Выпуск 3*. Тюмень: Издательство Тюменского государственного университета; 1998. с. 3–38.
32. Михеев ВС. *Ландшафтный синтез географических знаний*. Новосибирск: Наука; 2001. 216 с.
33. Козин ВВ. Районирование физико-географическое или ландшафтное: чему отдать предпочтение? В: *Проблемы географии и экологии Западной Сибири. Выпуск 1*. Тюмень: Издательство Тюменского государственного университета; 1996. с. 3–10.
34. Федина АЕ. *Физико-географическое районирование*. 2-е издание. Гвоздецкий НА, редактор. Москва: Издательство Московского университета; 1981. 128 с.
35. Кадильников ИП. О необходимости различия ландшафтного и физико-географического районирования. В: *Ученые записки Башкирского университета. Серия географическая. Выпуск 68, номер 5*. Уфа: Издательство Башкирского университета; 1974. с. 3–17.
36. Смоліч А. Тыпы геаграфічных краявідаў Беларусі. У: *Навуковы зборнік Інстытута беларускай культуры*. Мінск: [б. в.]; 1925. с. 155–165.
37. Смоліч А. *Сельскагаспадарчыя раёны Беларускай Сав[еўкай] Сац[ыялістычнай] Рэспублікі ў 1927–1928 гадах. Папярэдня схема і метадалагічныя ўвагі*. Мінск: [б. в.]; 1929. 103 с.

38. Жирмунский АМ. *Геологический очерк БССР и западной области РСФСР*. Москва: Геологическое издательство Главного геолого-разведочного управления; 1930. 60 с.
39. Бліодухо МТ. *Матэрыялы да геалагічнага і геамарфалагічнага апісання тэрыторыі БССР*. Мінск: Выдавецтва Беларускай акадэміі навук; 1935. 38 с.
40. Шамякін ПІ, рэдактар. *Энцыклапедыя прыроды Беларусі*. Мінск: БелСЭ; 1983–1986. 5 тамоў.
41. Марцінкевіч ГІ, рэдактар. *Ландшафты*. У: Камітэт па зямельных рэсурсах, геадэзіі і картаграфіі пры Савеце Міністраў Беларусі. *Нацыянальны атлас Беларусі*. Мінск: Белкартаграфія; 2002. с. 142–152.
42. Дементьев ВА. Система физико-географических районов Белоруссии. В: Трухан ИИ, редактор. *Физическая и экономическая география [БССР]*. Минск: Издательство Белгосуниверситета; 1960. с. 3–38.
43. Романовский НТ, редактор. *География Белоруссии*. 2-е издание. Минск: Высшая школа; 1977. 319 с.
44. Марцінкевіч ГІ. Ландшафтное районирование как научная основа региональных схем мелиорации. В: Академия наук СССР, Московский филиал Географического общества СССР. *Мелиорация ландшафтов*. Москва: МФГО; 1988. с. 68–74.
45. Марцінкевіч ГІ, Клицунова НК, Счастливая ИИ, Якушко ОФ. Теоретические проблемы и результаты комплексного географического районирования территории Беларуси. У: Пірожнік П, рэдактар. *Выбраныя навуковыя працы Беларускага дзяржаўнага ўніверсітэта. Том 7. Біялогія, геаграфія*. Мінск: БДУ; 2001. с. 333–356.
46. Марцінкевіч ГІ, Счастливая ИИ. *Ландшафтоведение*. Минск: ИВЦ Минфина; 2014. 252 с.
47. Санько АФ, Кухарчик ЮВ, Пашкевич ДА, Хомич АЕ, картографы. *Республика Беларусь. Геологическая карта четвертичных отложений [карта]*. Нестеровская ЮМ, редактор. Минск: Белкартография; 2015. 1 лист: 1 : 500 000; 153 × 171 см; цветная.
48. Марына ЛВ, Гледко ЮА, Топаз АА, картографы. *Республика Беларусь. Геоморфологическая карта [карта]*. Нестеровская ЮМ, редактор. Минск: Белкартография; 2014. 1 лист: 1 : 500 000; 119 × 172 см; цветная.
49. Клебанович НВ, Прокопович СН, Сорокин АА, картографы. *Республика Беларусь. Почвенная карта [карта]*. Малышева АС, редактор. Минск: Белкартография; 2015. 1 лист: 1 : 500 000; 153 × 161 см; цветная.
50. Министерство лесного хозяйства Республики Беларусь. *Республика Беларусь. Карта лесов [карта]*. Мадзевская ГА, Змачинская ВА, редакторы. Минск: Белкартография; 2006. 2 листа: 1 : 500 000; 116 × 69 см; цветная.
51. Счастливая ИИ, Воробьев ДС. *Ландшафтоведение*. Минск: БГУ; 2021. 119 с.

## References

1. Demytyev VA, Martsinkevich GI. *Landshafty severnoi i srednei Belorussii (opyt klassifikatsii)* [Landscapes of northern and middle Belarus (classification experience)]. Minsk: Publishing House of the Belarusian State University; 1968. 30 p. Russian.
2. Klitsunova NK, Martsinkevich GI, Kharanicheva GT, Loginova LV, cartographers. *Landshaftnaya karta Belorusskoi SSR* [Landscape map of the Byelorussian SSR] [map]. Veshnyakova GV, Isachenko AG, editors. Moscow: Glavnoe upravlenie geodezii i kartografii SSSR; 1984. 2 sheets: 1 : 600 000; 104 × 71 cm; color. Russian.
3. Martsinkevich GI, Klitsunova NK, Kharanicheva GT, Yakushko OF, Loginova LV. *Landshafty Belorussii* [Landscapes of Belarus]. Martsinkevich GI, Klitsunova NK, editors. Minsk: Universitetskoe; 1989. 239 p. Russian.
4. Martsinkevich GI, Shchasnaya II, Usova IP, cartographers. *Respublika Belarus'. Landshaftnaya karta* [Republic of Belarus. Landscape map] [map]. Nesterovskaya YuM, editor. Minsk: Belkartografiya; 2015. 1 sheet: 1 : 500 000; 122 × 153 cm; color. Russian.
5. Martsinkevich GI, Kuzmin SI, Davydik EE, Babko AV. Methodological problems and approaches to identifying and evaluating typical and rare landscapes of the Republic of Belarus. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology*. 2020;2:34–46. Russian. DOI: 10.33581/2521-6740-2020-2-34-46.
6. Martsinkevich GI, Hahina NV, Kurlovich DM, Kovalevskaya OM. Structure and mapping of landscapes of the Prip'yatsky National Park using geoinformation technologies. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology*. 2021;1:65–74. Russian. DOI: 10.33581/2521-6740-2021-1-65-74.
7. Martsinkevich GI, Shchasnaya II. Regularities and tendencies of forming of multifunctional structure of urban landscapes in Belarus. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology*. 2017;1:99–108. Russian.
8. 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. DOI: 10.33581/2521-6740-2021-2-45-62.
9. Passarge S. *Südafrika. Eine Landes-, Volks- und Wirtschaftskunde*. Leipzig: Quelle & Meyer; 1908. 368 S.
10. Passarge S. *Die Grundlagen der Landschaftskunde. Ein Lehrbuch und eine Anleitung zu landschaftskundlicher Forschung und Darstellung*. Hamburg: L. Friederichsen & Co.; 1919–1920. 3 Bände.
11. Powell JW. Physiographic regions of the United States. In: *National geographic monographs, prepared under the auspices of the National Geographic Society. Volume 1*. New York: American Book Company; 1895. p. 65–100.
12. Davis WM. The United States of America. In: Mill HR, editor. *The international geography*. New York: D. Appleton and Company; 1899. p. 710–773.
13. Joerg WLG. The subdivision of North America into natural regions: a preliminary inquiry. *Annals of the Association of American Geographers*. 1914;4:55–83. DOI: 10.1080/00045601409356977.
14. Fenneman NM. Physiographic boundaries within the United States. *Annals of the Association of American Geographers*. 1914;4:84–134. DOI: 10.1080/00045601409356978.
15. Fenneman NM. Physiographic divisions of the United States. *Annals of the Association of American Geographers*. 1916;6:19–98. DOI: 10.1080/00045601609357047.
16. Vidal de la Blache P. *Tableau de la géographie de la France*. Paris: Hachette; 1903. 395 p.
17. Gallois L. *Régions naturelles et noms de pays: étude sur la région parisienne*. Paris: A. Colin; 1908. 356 p.
18. Herbertson AJ. The major natural regions: an essay in systematic geography. *The Geographical Journal*. 1905;25(3):300–310. DOI: 10.2307/1776338.
19. Instead JF. A synthetic method of determining geographical regions. *The Geographical Journal*. 1916;48(3):230–242. DOI: 10.2307/1779871.
20. Haggett P. *Locational analysis in human geography*. New York: St. Martin's Press; 1966. 339 p.
21. von Richthofen F. *Führer für Forschungsreisende*. Berlin: Robert Oppenheim; 1886. 745 S.

22. Hettner A. *Die Geographie: ihre Geschichte, ihr Wesen und ihre Methoden*. Breslau: F. Hirt; 1927. 463 S. Russian edition: Hettner A. *Geografiya: ee istoriya, sushchnost' i metody*. Torneus EA, translator; Baranskii N, editor. Leningrad: Gosudarstvennoe izdatel'stvo; 1930. 416 p.
23. Schultze JH. *Die naturbedingten Landschaften der Deutschen Demokratischen Republik*. Gotha: Geographisch-kartographische Anstalt; 1955. 329 S. (Ergänzungsheft zu Petermanns geographische Mitteilungen; 257).
24. Neef E, Herausgeber. *Das Gesicht der Erde*. Leipzig: Brockhaus; 1956. 980 S.
25. Berg LS. *Landshaftno-geograficheskie zony SSSR. Chast' I* [Landscape and geographical zones of the USSR. Part 1]. Moscow: Sel'khozgiz; 1931. 401 p. Russian.
26. Mil'kov FN. *Fiziko-geograficheskii raion i ego sodержanie (na primere Russkoi ravniny)* [Physical and geographical region and its content (on the example of the Russian Plain)]. Moscow: Geografiz; 1956. 221 p. Russian.
27. Mil'kov FN. *Fizicheskaya geografiya: uchenie o landshafte i geograficheskaya zonal'nost'* [Physical geography: the doctrine of the landscape and geographical zonality]. Voronezh: Publishing House of the Voronezh State University; 1986. 328 p. Russian.
28. Isachenko AG. *Landshaftovedenie i fiziko-geograficheskoe raionirovanie* [Landscape studies and physical and geographical regionalisation]. Moscow: Vysshaya shkola; 1991. 366 p. Russian.
29. Mikhailov NI. *Fiziko-geograficheskoe raionirovanie* [Physical and geographical regionalisation]. Moscow: Izdatel'stvo Moskovskogo universiteta; 1985. 184 p. Russian.
30. Prokaev VI. *Fiziko-geograficheskoe raionirovanie* [Physical and geographical regionalisation]. Moscow: Prosveshchenie; 1983. 176 p. Russian.
31. Kozin VV, Moskvina NN. [Fractional landscape zoning of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug]. In: *Problemy geografii i ekologii Zapadnoi Sibiri. Vypusk 3* [Problems of geography and ecology of Western Siberia. Issue 3]. Tyumen: Publishing House of the Tyumen State University; 1998. p. 3–38. Russian.
32. Mikheev VS. *Landshaftnyi sintez geograficheskikh znaniy* [Landscape synthesis of geographical knowledge]. Novosibirsk: Nauka; 2001. 216 p. Russian.
33. Kozin VV. [Physical-geographical or landscape zoning: which should be preferred?]. In: *Problemy geografii i ekologii Zapadnoi Sibiri. Vypusk 1* [Problems of geography and ecology of Western Siberia. Issue 1]. Tyumen: Publishing House of the Tyumen State University; 1996. p. 3–10. Russian.
34. Fedina AE. *Fiziko-geograficheskoe raionirovanie* [Physical and geographical regionalisation]. 2<sup>nd</sup> edition. Gvozdetskii NA, editor. Moscow: Izdatel'stvo Moskovskogo universiteta; 1981. 128 p. Russian.
35. Kadilnikov IP. [On the need to distinguish between landscape and physical and geographical zoning]. In: *Uchenye zapiski Bashkirskogo universiteta. Seriya geograficheskaya. Vypusk 68, nomer 5* [Scientific notes of the Bashkir University. Geographic series. Issue 68, number 5]. Ufa: Izdatel'stvo Bashkirskogo universiteta; 1974. p. 3–17. Russian.
36. Smolich A. [Types of geographical landscapes of Belarus]. In: *Navukovy zbornik Instytutu belaruskaj kul'tury* [Scientific collection of the Institute of Belarusian Culture]. Minsk: [s. n.]; 1925. p. 155–165. Belarusian.
37. Smolich A. *Sel'skagospadarchyja rajony Belaruskaj Sav[reckaj] Sac[ylalystychnaj] Rjespubliki w 1927–1928 gadah. Papjarjednaja shema i metodologichnyja wvagi* [Agricultural districts of the Belarusian Soviet Socialist Republic in 1927–1928. Preliminary scheme and methodological considerations]. Minsk: [s. n.]; 1929. 103 p. Belarusian.
38. Zhirmunsky AM. *Geologicheskii ocherk BSSR i zapadnoi oblasti RSFSR* [Geological sketch of the BSSR and the western region of the RSFSR]. Moscow: Geologicheskoe izdatel'stvo Glavnogo geologo-razvedochnogo upravleniya; 1930. 60 p. Russian.
39. Bliodukho MT. *Matjeryjaly da gealagichnaga i geamarfalagichnaga apisannja tjerytoryi BSSR* [Materials for geological and geomorphological description of the territory of the BSSR]. Minsk: Vydavectva Belaruskaj akadzemii navuk; 1935. 38 p. Belarusian.
40. Shamjakin IP, editor. *Jencyklapedyja pryrody Belarusi* [Encyclopedia of nature of Belarus]. Minsk: BelSJe; 1983–1986. 5 volumes. Belarusian.
41. Martsinkevich GI, editor. [Landscape]. In: Committee on Land Resources, Geodesy and Cartography under the Council of Ministers of Belarus. *Nacyjanal'ny atlas Belarusi* [National atlas of Belarus]. Minsk: Belkartografiya; 2002. p. 142–152. Belarusian.
42. Dementjev VA. [The system of physical and geographical regions of Belarus]. In: Trukhan II, editor. *Fizicheskaya i ekonomicheskaya geografiya [BSSR]* [Physical and economic geography of the BSSR]. Minsk: Izdatel'stvo Belgosuniversiteta; 1960. p. 3–38. Russian.
43. Romanovsky NT, editor. *Geografiya Belorussii* [Geography of Belarus]. 2<sup>nd</sup> edition. Minsk: Vysshaya shkola; 1977. 319 p. Russian.
44. Martsinkevich GI. [Landscape zoning as a scientific basis for regional reclamation schemes]. In: Academy of Sciences of the USSR, Moscow branch of the Geographical Society of the USSR. *Melioratsiya landshaftov* [Land reclamation]. Moscow: MFGO; 1988. p. 68–74. Russian.
45. Martsinkevich GI, Klitsunova NK, Shchasnaya II, Yakushko OF. [Theoretical problems and results of complex geographic zoning of the territory of Belarus]. In: Pirozhnik II, editor. *Vybranyja navukovyja pracy Belaruskaga dzjarzhawnaga univertsiteta. Tom 7. Bijalogija, geografija* [Selected scientific works of the Belarusian State University. Volume 7. Biology, geography]. Minsk: Belarusian State University; 2001. p. 333–356. Russian.
46. Martsinkevich GI, Shchasnaya II. *Landshaftovedenie* [Landscape studies]. Minsk: IVTs Minfina; 2014. 252 p. Russian.
47. Sanko AF, Kukharchik YuV, Pashkevich DA, Khomich AE, cartographers. *Respublika Belarus'. Geologicheskaya karta chetvertichnykh otlozhenii* [Republic of Belarus. Geological map of Quaternary sediments] [map]. Nesterovskaya YuM, editor. Minsk: Belkartografiya; 2015. 1 sheet: 1 : 500 000; 153 × 171 cm; color. Russian.
48. Maryina LV, Gledko YuA, Topaz AA, cartographers. *Respublika Belarus'. Geomorfologicheskaya karta* [Republic of Belarus. Geomorphological map] [map]. Nesterovskaya YuM, editor. Minsk: Belkartografiya; 2014. 1 sheet: 1 : 500 000; 119 × 172 cm; color. Russian.
49. Klebanovich NV, Prokopovich SN, Sorokin AA, cartographers. *Respublika Belarus'. Pochvennaya karta* [Republic of Belarus. Soil map] [map]. Malysheva AS, editor. Minsk: Belkartografiya; 2015. 1 sheet: 1 : 500 000; 153 × 161 cm; color. Russian.
50. Ministry of Forestry of the Republic of Belarus. *Respublika Belarus'. Karta lesov* [Republic of Belarus. Forest map] [map]. Matsievskaya GA, Zmachinskaya VA, editors. Minsk: Belkartografiya; 2006. 2 sheets: 1 : 500 000; 116 × 69 cm; color. Russian.
51. Shchasnaya II, Vorobyov DS. *Landshaftovedenie* [Landscape studies]. Minsk: Belarusian State University; 2021. 119 p. Russian.

УДК 551.509.56

## АЭРОСИНОПТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ЗИМНИХ ГРОЗ НА ПРИМЕРЕ АЭРОДРОМА МИНСК-2

М. В. ЛУКША<sup>1), 2)</sup>, А. А. НОВИК<sup>1)</sup>

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

<sup>2)</sup>Белгидромет, пр. Независимости, 110, 220114, г. Минск, Беларусь

В условиях современного потепления климата наблюдается рост числа опасных явлений погоды, в том числе грозовой деятельности не только в теплое, но и в холодное время года. Проведен анализ возникновения зимних гроз (октябрь – март) и выявлены их связи с аэросиноптическими условиями на примере аэродрома Минск-2 за период с 1989 по 2020 г. Определение этих связей необходимо для составления качественного прогноза гроз как одного из опасных явлений погоды для авиации. Установлено, что для образования зимних гроз требуются поступление теплой (с температурой воздуха выше 0 °С) и влажной воздушной массы с юга либо юго-запада, связанное со смещением интенсивно углубляющихся североатлантических или южных циклонов в стадии молодого циклона; прохождение основных и вторичных активных холодных фронтов со скоростями более 30 км/ч, холодных фронтов с волнами и фронтов окклюзии, которые обеспечивают подъем теплого и влажного воздуха нижней тропосферы; существование конвективной неустойчивости в атмосфере; наличие гребня теплого и влажного воздуха, который сменяется ложбиной холода, на уровне АТ-850; наличие низкоструйных течений и положительной завихренности на уровнях АТ-700 и АТ-500, указывающих на подъем частицы воздуха; наличие мощных струйных течений западной четверти на уровне АТ-300, усиливающих конвективные процессы. Полученные результаты могут быть использованы для пополнения методической базы по вопросам прогнозирования опасных конвективных явлений на территории Беларуси, а также в качестве рекомендаций по прогнозу гроз в холодный период года в оперативной работе инженеров-синоптиков.

**Ключевые слова:** опасные конвективные явления; зимние грозы; синоптические условия; аэрологические условия; авиационные прогнозы; аэродром Минск-2.

### Образец цитирования:

Лукша МВ, Новик АА. Аэросиноптические условия образования зимних гроз на примере аэродрома Минск-2. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология.* 2022;1:42–56.  
<https://doi.org/10.33581/2521-6740-2022-1-42-56>

### For citation:

Luksha MV, Novik AA. Aerosynoptic conditions for the formation of winter thunderstorms on the example of the Minsk-2 airfield. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology.* 2022;1:42–56. Russian.  
<https://doi.org/10.33581/2521-6740-2022-1-42-56>

### Авторы:

**Марина Вячеславовна Лукша** – магистрант кафедры общего землеведения и гидрометеорологии факультета географии и геоинформатики<sup>1)</sup>, начальник отдела метеорологического слежения службы авиационно-метеорологического обеспечения<sup>2)</sup>. Научный руководитель – А. А. Новик.  
**Алексей Александрович Новик** – кандидат географических наук, доцент; доцент кафедры общего землеведения и гидрометеорологии факультета географии и геоинформатики.

### Authors:

**Marina V. Luksha**, master's degree student at the department of general geography and hydrometeorology, faculty of geography and geoinformatics<sup>a</sup>, and chief of the department of meteorological tracking, service for aviation meteorological supply<sup>b</sup>.  
[maril2010@mail.ru](mailto:maril2010@mail.ru)  
**Aliaksei A. Novik**, PhD (geography), docent; associate professor at the department of general geography and hydrometeorology, faculty of geography and geoinformatics.  
[novika@bsu.by](mailto:novika@bsu.by)

## AEROSYNOPTIC CONDITIONS FOR THE FORMATION OF WINTER THUNDERSTORMS ON THE EXAMPLE OF THE MINSK-2 AIRFIELD

*M. V. LUKSHA<sup>a, b</sup>, A. A. NOVIK<sup>a</sup>*

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

<sup>b</sup>*Belgidromet, 110 Niezaliežnasci Avenue, Minsk 220114, Belarus*

*Corresponding author: M. V. Luksha (maril2010@mail.ru)*

In the conditions of modern climate warming, there is an increase in the number of hazardous weather phenomena, including thunderstorm activity, not only in the warm, but also in the cold season. The article analyses the occurrence of winter thunderstorms (October – March) and their connections with aerosynoptic conditions are revealed on the example of the Minsk-2 airfield for the period from 1989 to 2020. The determination of these relationships is necessary to make a qualitative forecast of thunderstorms as one of the hazardous weather phenomena for aviation. It was found that for the formation of winter thunderstorms requires the arrival of warm (with an air temperature above 0 °C) and moist air mass from the south or southwest, associated with the displacement of intensively deepening North Atlantic or southern cyclones in the stage of a young cyclone; the passage of primary and secondary active cold fronts with speeds of more than 30 km/h, cold fronts with waves and occlusion fronts, which provide the rise of warm and moist air of the lower troposphere; the existence of convective instability in the atmosphere; the presence tongue of warm and humid air, which is replaced by a trough of cold, at the level of 850 mb; the presence of low-jet currents and positive vorticity at the level of 700 mb and level of 500 mb, indicating the rise of an air particle; the presence of powerful jet currents of the western quarter at the level of 300 mb, enhancing convective processes. The obtained results can be used to replenish the methodological base on the forecasting of hazardous convective phenomena in Belarus, and also as recommendations for the forecast of thunderstorms in the cold season in the operational work of weather forecasters.

**Keywords:** hazardous convective phenomena; winter thunderstorms; synoptic conditions; aerological conditions; aviation forecasts; Minsk-2 airfield.

### Введение

Прогноз конвективных явлений холодного периода года (октябрь – март) – актуальная и важная проблема, с которой сталкиваются не только гражданские, но и авиационные синоптики в процессе своей оперативной деятельности. В частности, в условиях современного глобального потепления климата, выражающегося в первую очередь в росте зимних температур [1], отмечается увеличение количества случаев данного опасного явления (ОЯ).

Согласно существующим в научной литературе определениям к зимним, или снеговым, грозам относят грозы, при которых вместо ливневого дождя выпадает ливневый снег, ледяной дождь или ледяная либо снежная крупа. Однако за счет роста зимних температур грозы чаще всего сопровождаются ливневыми осадками в жидком виде. В связи с этим, по мнению авторов, важно дополнить определение понятия «зимние грозы», включив в него и жидкие осадки.

Зимние грозы – достаточно редкое явление. Благоприятные условия для образования гроз на территории Беларуси в основном складываются в теплый период года (апрель – сентябрь), на который приходится до 99 % их количества. В холодный период (октябрь – март) грозы регистрируют очень редко (раз в 5–10 лет)<sup>1</sup>.

К сожалению, к настоящему времени проблема прогнозирования зимних гроз не получила широкой освещенности в литературе и науке как в Беларуси, так и за рубежом.

Исследования в данной области на современном этапе велись российскими учеными Ю. И. Юсуповым, который занимался разработкой прогноза шквалов и интенсивных осадков, в том числе и для холодного периода, с использованием векторной фронтогенетической функции и изоэнтропического потенциального вихря Эртеля в состоянии насыщения с применением расчетов по выходной информации мезомасштабной негидростатической модели WRF-ARW [2], и С. Э. Смирновым, Ю. М. Михайловым, Г. А. Михайловой, О. В. Капустиной, изучавшими особенности зимних гроз на Камчатке с точки зрения влияния солнечной, сейсмической и циклонической активности [3].

<sup>1</sup>Опасные явления погоды в теплый период года: грозы, ливни, шквалы, град [Электронный ресурс]. URL: <http://www.belgidromet.by/ru/news-ru/view/opasnye-javlenija-pogody-v-teplyj-period-goda-grozy-livni-shkvaly-grad-3201> (дата обращения: 15.09.2021).

На территории Европы испанские ученые Х. Монтанья и Ф. Фабро с соавторами выделили ряд регионов (Средиземноморье, Япония и др.) с наибольшей частотой зимних молний, которые представляют опасность для ветряных турбин и малой авиации [4].

Наиболее активное исследование зимних гроз велось в США. Так, Д. М. Шульцем и Р. Дж. Вавреком были определены следующие основные критерии для прогноза зимних гроз: влажность, подъем, неустойчивое состояние атмосферы и температура воздуха ниже 0 °С в облаке и вблизи уровня земли [5]. Американский ученый С. Шварц<sup>2</sup> выделил такие критерии для прогноза зимних гроз, как наличие циклонов, которые движутся с теплой акватории моря, температурные аномалии, области положительной завихренности на уровне АТ-500, большие вертикальные скорости и большой подъем на уровне АТ-700, струйные потоки и расхождение на уровне АТ-300. Всестороннее изучение зимних гроз также было проведено П. С. Маркетом [6]. Совместно с К. Кроу, Б. Петтигрю, К. Меликом и Дж. Подзимеком он проанализировал связь зимних гроз и обильных снегопадов на территории США с 1961 по 1990 г. На основании полученных результатов исследователи пришли к выводу, что только одна из трех зимних гроз сопровождается обильным снегопадом и связана с выходом внетропического циклона [7]. В соавторстве с А. М. Оравец, Д. Гэдэ и другими учеными П. С. Маркет провел исследование высотного барического поля 97 случаев зимних гроз на Среднем Западе США, связанных в основном с активными циклонами, а также фронтальными разделами и эффектами озера [8]. Им же совместно с К. Е. Халкомбом и Р. Л. Эбертом выполнено климатологическое описание пространственных, временных и синоптических характеристик зимних гроз в США. Было выявлено, что большинство событий, связанных с грозой, обычно регистрируются только на одной станции и лишь в редких случаях последовательно в течение трехчасовых наблюдений. Таким образом, это закрепило представление о зимней грозе как о довольно локализованном явлении ограниченной продолжительности [9]. Американские ученые Э. А. Розенов, Д. М. Пламмер, Р. М. Раубер с коллегами с использованием радарных данных исследовали вертикальные скорости и физическую структуру конвективных облаков, связанных с зимними циклонами [10].

На территории Беларуси изучением пространственно-временного распределения ОЯ на фоне изменения климата занимались В. Ф. Логинов, А. А. Волчек, И. Н. Шпока, которые, проанализировав количество дней с грозами в целом за год и за холодный период (октябрь – март) в 1975–2008 гг., выявили, что с 1975 по 1987 г. отмечалось около 0,6 дня с грозами, а с 1988 по 2008 г. – 0,7 дня [11]. Среднее число дней с грозами за весь рассматриваемый период (1975–2008) составило 24 дня в год. При этом не наблюдается тенденции к росту или уменьшению количества случаев данного ОЯ. Изменение числа дней с грозами имеет широтный характер, увеличиваясь с севера на юг, и связано с аномалиями электропроводности. Зонами активной грозовой деятельности в нехарактерный для гроз период года (октябрь – март) являются следующие территории: на северо-востоке и в центральной части страны – Витебская и Минская возвышенности, на юге – Пружанская и Люсиновская равнины, на юго-востоке – Стрешницкая, Речицкая, Василевичская, Хойникская и Комаринская низменности, Тереховская равнина [12; 13].

Согласно исследованию изменения климата (1903–2012), экстремальных погодных и климатических явлений и их связи с типами циркуляции атмосферы Северного полушария по Дзердзеевскому, проведенному В. Ф. Логиновым, Ю. А. Бровкой, В. С. Микуцким, в ближайшее время должно снижаться количество ОЯ, так как наблюдается тенденция к уменьшению числа дней с меридиональной южной циркуляцией [14].

В. И. Мельник, И. В. Буяков, В. Д. Чернышев в результате изучения изменения количества и вида атмосферных осадков в холодный период года на территории Беларуси (1961–2018) отметили рост количества осадков и амплитуды их колебаний, а также уменьшение твердых осадков и увеличение жидких осадков [15].

Е. Н. Сумак и И. Г. Семёнова в ходе исследования циклонической активности и повторяемости ОЯ над территорией Беларуси (1995–2015) установили, что ОЯ вызывали лишь циклонические вихри южных и западных траекторий [16].

Вопросами возникновения зимних гроз занималась также авиационный инженер-синоптик М. К. Мальчик, которая выделила пять основных синоптических условий, благоприятных для возникновения зимних гроз, таких как наличие динамического фактора, большая конвективная неустойчивость, сильные ветры западной четверти, подток влажного воздуха в слое 0–1500 м и сухого воздуха в слое 1500–3000 м, наличие задерживающих слоев [17].

В настоящее время на аэродроме Минск-2 не существует разработанных методик прогнозирования зимних гроз, а применяются лишь устаревшие расчетные методы прогноза гроз по Решетову, Славину и Вайтингу, которые имеют более высокую оправдываемость в теплый период года [18].

<sup>2</sup>*Schwartz S. Thundersnow!* [Electronic resource]. URL: <https://www.theweatherprediction.com/weatherpapers/043/index.html> (date of access: 15.09.2021).

Отсутствие разработанных алгоритмов и методик прогноза таких редких, но очень опасных конвективных явлений, как зимние грозы, а также связанных с ними сильных ливневых осадков и шквалистого усиления ветра подтверждает актуальность данной проблемы, в частности в области качественного метеорологического обеспечения авиации, от которого зависят безопасность, регулярность и эффективность полетов. Кроме того, отсутствие сформированной авиационно-метеорологической школы в Беларуси и недостаточная освещенность рассматриваемого вопроса за рубежом вызывают необходимость пополнения методической базы по прогнозированию опасных конвективных явлений холодного периода.

В связи с этим целью настоящего исследования являлось определение аэросиноптических условий возникновения гроз в холодный период года и методик прогнозирования этих опасных конвективных явлений на примере аэродрома Минск-2. Для ее решения были поставлены следующие задачи: проведение статистической обработки данных числа случаев гроз и сопровождающих их явлений в виде ливневых осадков и шквалистого ветра с октября по март в 1989–2020 гг. для территории аэродрома Минск-2 за периоды круглосуточных наблюдений; установление связей опасных конвективных явлений холодного времени года и приземных синоптических и высотных аэрологических условий, при которых они наблюдались; разработка научных рекомендаций по прогнозу гроз в холодный период года.

### Территория, материалы и методы исследования

Исследование включало несколько последовательных этапов: выборку исходных данных, анализ полученной информации, поиск взаимосвязей и закономерностей, разработку рекомендаций по прогнозу опасных конвективных явлений погоды в холодный период года.

На этапе выборки исходных данных отбирались:

- 1) число случаев опасных конвективных явлений холодного периода года на примере зимних гроз и сопровождающих их явлений;
- 2) соответствующие приземные метеорологические данные в виде карт приземного анализа, когда отмечались выявленные случаи ОЯ;
- 3) соответствующие высотные метеорологические данные из аэрологических диаграмм, когда отмечались выявленные случаи ОЯ.

Для отбора числа случаев опасных конвективных явлений холодного периода года были использованы данные фактических авиационно-метеорологических наблюдений, проводившихся на аэродроме Минск-2 с октября по март в 1989–2020 гг.

Выбор аэродрома Минск-2 в качестве изучаемой территории обусловлен большим фактическим материалом, собранным по этому объекту за длительный период наблюдений, а также важностью подобных исследований для авиации.

За начало выборки был взят 1989 г., так как именно с него в Беларуси начался самый продолжительный период потепления за все время инструментальных наблюдений на протяжении последних 130 лет, который характеризуется особенно резким повышением зимних температур [1]. С 1989 г. среднегодовая температура в стране выросла на 1,2 °С, а температура в период с января по март – на 2 °С и более по сравнению с климатической нормой [1].

Выборка исходных данных в виде случаев опасных конвективных явлений холодного периода года производилась посредством работы с дневниками погоды АВ-6, которые составляются техниками-метеорологами авиационной метеорологической станции гражданской (АМСГ) 1-го разряда Минск, расположенной на аэродроме Минск-2.

Целью данной ступени выборки был поиск случаев опасных конвективных явлений в холодный период года (октябрь – март), а именно: зимних гроз, интенсивных ливневых осадков (снега, дождя, снежной крупы), шквалистого ветра. Также фиксировались сопутствующие им метеорологические условия: скорость и направление ветра, тип осадков и видимость в них, температура воздуха у земли и ее изменение, барическая тенденция.

Следующей ступенью выборки являлся анализ карт приземных метеорологических условий, отобранных за ту же дату и синоптический срок, когда были отмечены случаи наступления опасных конвективных явлений холодного периода года. Он проводился на основе архивных данных Белгидромета (1989–2003) и интернет-портала *Wetter3 – aktuelle Wetterkarten* (2004–2019)<sup>3</sup>, а также частично сохранившейся электронной базы данных карт АМСГ 1-го разряда Минск (2020).

<sup>3</sup>DWD Analyse-Archiv [Electronic resource]. URL: [http://www1.wetter3.de/archiv\\_dwd\\_dt.html](http://www1.wetter3.de/archiv_dwd_dt.html) (date of access: 29.09.2021).

В ходе анализа карт приземных метеорологических условий определены фактические синоптические ситуации у земли, при которых наблюдались зимние грозы:

- барические образования, стадии их развития;
- наличие фронтальных разделов, траектории их смещения и тенденции развития.

Третьей ступенью выборки стал анализ метеорологических условий по высотам с использованием аэрологических диаграмм за ту же дату и синоптический срок, когда были отмечены случаи наступления опасных конвективных явлений холодного периода года. Аэрологические диаграммы получены в результате реанализа ERA5 с помощью бесплатной интернет-платформы *thundeR* (1989–2020)<sup>4</sup>.

По результатам анализа аэрологических диаграмм определены высотные метеоусловия формирования зимних гроз:

- температура воздуха и дефицит точки росы на уровне АТ-850;
- направление и скорость ветра на уровнях АТ-700, АТ-500, АТ-300;
- уровень конденсации и уровень конвекции, характеризующие мощность конвективного облака.

Следующим этапом исследования стал анализ полученной информации, а именно соотнесение случаев опасных конвективных явлений холодного периода года с аэросиноптическими ситуациями, в которых они наблюдались, т. е. с фактическими метеорологическими условиями у поверхности земли и на высотах.

По результатам вышеописанного анализа исходной информации были определены взаимосвязи между опасными конвективными явлениями и аэросиноптическими условиями их формирования, установлены основные закономерности возникновения опасных для авиации и редких в холодный период года конвективных явлений, что также отражено в предыдущих работах авторов [19; 20].

Выявленные взаимосвязи и закономерности положены в основу рекомендаций по прогнозу зимних гроз и сопровождающих их явлений в виде интенсивных ливневых осадков и шквалистого ветра.

Таким образом, при выполнении работы использовались статистический метод для обработки многолетних рядов метеорологических данных, метод синтеза и анализа исходной аэросиноптической информации, метод наблюдений и личного опыта работы в сфере авиационной метеорологии, метод моделирования синоптических ситуаций для прогноза опасных конвективных явлений холодного периода года.

## Результаты и их обсуждение

В ходе исследования проанализированы повторяемость зимних гроз (октябрь – март) и сопровождающих их явлений на аэродроме Минск-2 за последние 32 года (1989–2020) и связь с приземной синоптической ситуацией. Результаты данного анализа представлены в табл. 1.

На основании анализа исходной информации обнаружено, что за последние 32 года на аэродроме Минск-2 были отмечены 17 случаев зимних гроз (1 случай зафиксирован в январе, 3 – в феврале, 4 – в марте, 8 – в октябре, 1 – в ноябре). Из табл. 1 видно, что наблюдается тенденция к увеличению количества данного ОЯ в последнее десятилетие.

Формирование зимних гроз над аэродромом Минск-2 в рассматриваемый период было связано с прохождением атмосферных фронтов: холодного фронта с волнами (7 случаев), основного холодного фронта (1 случай), вторичного холодного фронта (1 случай) и фронта окклюзии по типу теплого фронта (8 случаев). Грозы на холодных фронтах регистрировались после полудня (с 12:00 до 18:00 UTC – 5 случаев) или вечером (с 18:00 до 20:00 UTC – 3 случая), в первую половину дня (с 06:00 до 12:00 UTC – 1 случай), а на фронтах окклюзии – в вечернее время (с 18:00 до 24:00 UTC – 2 случая), в ночные и утренние часы (с 00:00 до 06:00 UTC – 4 случая), в первую половину дня (с 06:00 до 12:00 UTC – 1 случай), после полудня (с 12:00 до 18:00 UTC – 1 случай).

Как правило, зимние грозы отмечались вблизи вершин волновых возмущений на холодных фронтах с волнами и вблизи точки окклюзии на фронтах окклюзии. На рис. 1 показаны фактические приземные синоптические ситуации, при которых наблюдались зимние грозы, связанные с холодным фронтом и фронтом окклюзии, в 2020 г.

Фронтальные разделы имели скорости смещения более 30 км/ч и были связаны с ориентированными с юга на север или с юго-запада на северо-восток ложбинами в составе глубоких скандинавских циклонов с давлением в центре 945–995 гПа и южных циклонов с давлением в центре 995–1005 гПа.

Ветер у земли имел направление южной составляющей со средней скоростью 3–5 м/с до прохождения фронтов. Прохождение фронтов сопровождалось усилением ветра до 9–13 м/с и разворотом на юго-запад (в случае фронта окклюзии) или запад, северо-запад (в случае холодного фронта). Зафиксированы лишь 2 случая усиления ветра выше 15 м/с. Также почти всегда отмечались большие градиенты давления, что говорит о больших скоростях смещения воздушных масс.

<sup>4</sup>thundeR – ERA5 sigma levels browser [Electronic resource]. URL: [http://www.rawinsonde.com/ERA5\\_Europe/](http://www.rawinsonde.com/ERA5_Europe/) (date of access: 29.09.2021).

## Приземные метеорологические условия возникновения зимних гроз на аэродроме Минск-2 за период с 1989 по 2020 г.

Table 1

## Surface meteorological conditions for the occurrence of winter thunderstorms at the Minsk-2 airfield for the period from 1989 to 2020

Дата	Время, UTC	Синоптическая ситуация	Направление ветра, град		Скорость ветра, м/с		Барическая тенденция, гПа за 3 ч		Температура воздуха, °С		Явление, сопровождающее грозу	Видимость в осадках, м
			До фронта	После фронта	До фронта	После фронта	До фронта	После фронта	До фронта	После фронта		
26.01.1990	17:36–17:55	Холодный фронт с волнами	190	220	3	5–9	+1,8	+0,7	+6,4	+4,8	Ливневый дождь	3800
27.02.1990	19:46–20:42	Фронт окклюзии	190	290	4	3–7	-1,4	+1,6	+3,0	+0,2	Ливневый снег	400
07.03.1990	13:17–13:39	Вторичный холодный фронт	300	320	5–8	9–12	+0,3	+3,6	+2,1	+1,0	Ливневый снег	300
19.10.1996	19:40–21:00	Фронт окклюзии	0	0	0	0	-0,6	-0,9	+11,4	+10,7	Ливневый дождь	2500
27.02.2002	16:51–18:00	Холодный фронт с волнами	150	290	3	6–16	-3,5	+4,4	+5,3	+1,8	Ливневый дождь	2500
03.10.2003	08:08–08:30	Холодный фронт с волнами	200	210	1	3	+0,3	+0,3	+10,7	+9,9	Ливневый дождь	2300
31.10.2004	00:30–01:00	Фронт окклюзии	170	180	2	3	-1,0	+0,1	+12,1	+11,6	Ливневый дождь	2700
15.03.2005	15:13–15:23	Холодный фронт с волнами	240	300	4–9	7–12	-1,7	+2,2	+2,7	-0,3	Ливневый снег	100
03.10.2006	01:10–02:42	Фронт окклюзии	210	230	1	3–8	-0,4	+0,7	+12,7	+11,5	Ливневый дождь	1600
23.02.2008	01:03–01:41	Фронт окклюзии	220	280	3–8	3–18	-4,0	+3,0	+5,0	+3,7	Ливневый дождь	550
12.03.2008	15:31–15:39	Фронт окклюзии	170	230	3	3–8	-2,3	-0,5	+7,9	+5,7	Ливневый дождь	1700
08.10.2009	18:06–18:38	Холодный фронт с волнами	180	340	2	9–13	-3,2	+2,2	+17,7	+11,2	Ливневый дождь	2800
10.11.2010	08:50–09:06	Фронт окклюзии	150	170	3	5–8	-0,6	+0,4	+6,8	+3,7	Ливневый дождь	3800
07.10.2011	18:14–18:54	Холодный фронт с волнами	0	280	0	3–6	-1,1	+1,1	+3,0	+0,2	Ливневый снег	400
06.10.2012	18:31–19:30	Холодный фронт с волнами	0	350	0	4–7	-3,4	-1,2	+2,1	+1,0	Ливневый снег	300
12.03.2020	16:54–17:28	Холодный фронт	200	270	8	11–24	-4,4	+3,4	+11,4	+10,3	Ливневый дождь	2500
14.10.2020	03:45–04:07	Фронт окклюзии	60	100	3–6	3–6	-2,9	+1,0	+5,3	+1,8	Ливневый дождь	2500

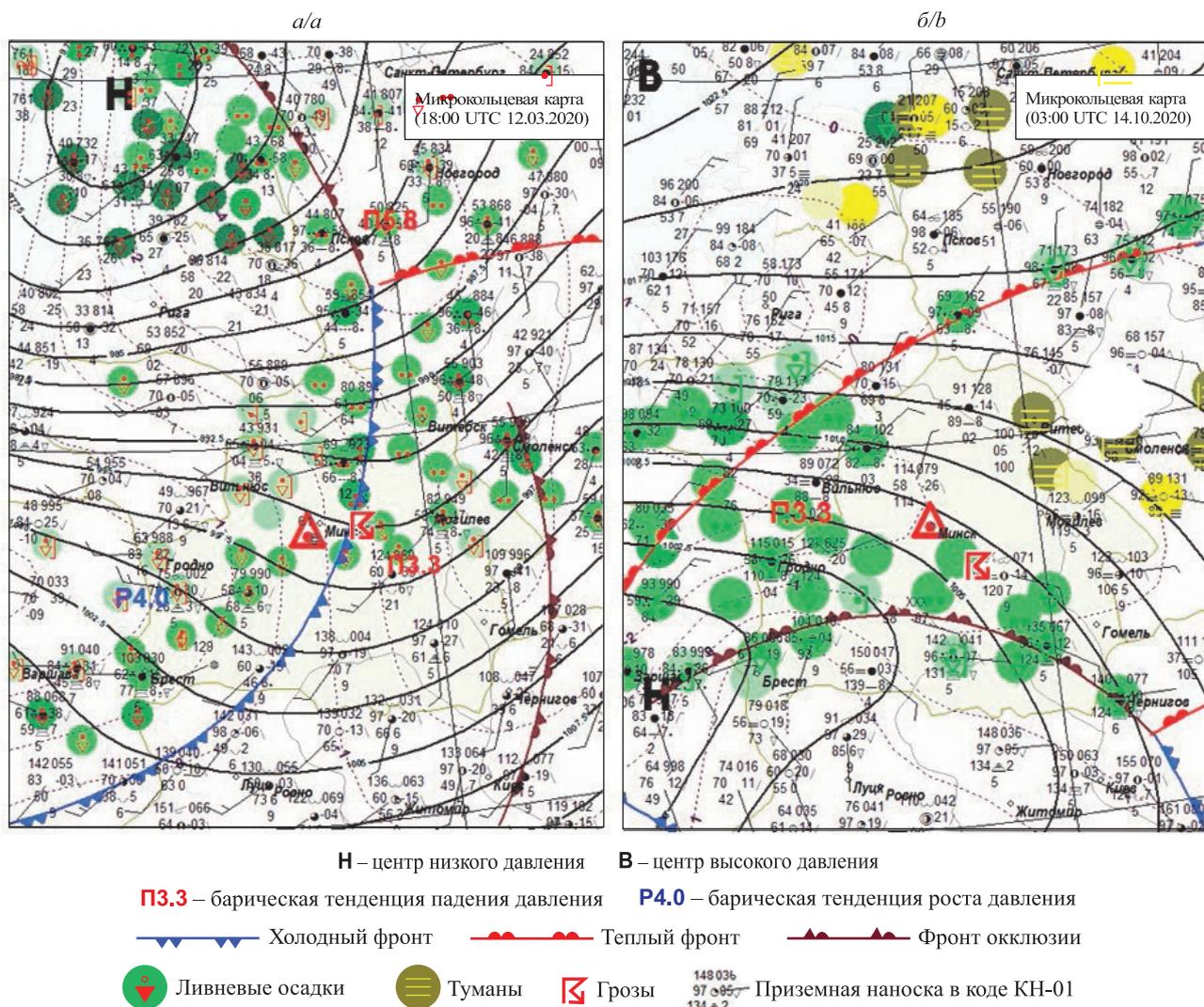


Рис. 1. Приземные синоптические ситуации, с которыми связаны зимние грозы:  
 а – холодный фронт; б – фронт окклюзии

Fig. 1. Surface synoptic situations associated with winter thunderstorms:  
 a – cold front; b – occlusion front

Пять гроз были зарегистрированы при температуре воздуха от +5 до 0 °С и менее, две грозы – при температуре от +5 до +10 °С, десять гроз – при температуре от +10 до +15 °С.

Все грозы сопровождались осадками: при высоких температурах – ливневым дождем с ухудшением видимости от 550 до 3800 м, при температурах около 0 °С – сильными снегопадами с видимостью от 100 до 400 м.

После определения высотной ситуации проанализированы метеорологические условия на различных уровнях с использованием аэрологических диаграмм, полученных с помощью бесплатной интернет-платформы *thundeR*<sup>5</sup>. При этом особое внимание было уделено анализу уровней АТ-850, АТ-700, АТ-500, АТ-300. Результаты представлены в табл. 2.

Наличие слоя конвективной неустойчивости в атмосфере, когда вертикальные градиенты температуры были больше влажноадиабатических, подтверждается аэрологическими диаграммами сроков наблюдения зимних гроз в 2020 г., что отражено на рис. 2.

Из аэрологических данных, представленных в табл. 2 и на рис. 2, видно, что кучево-дождевые облака, с которыми были связаны зимние грозы, имели нижнюю границу (уровень конденсации) примерно 300–900 м и верхнюю границу (уровень конвекции) около 2000–8700 м в зависимости от температурного фона.

<sup>5</sup>thundeR – ERA5 sigma levels browser...

## Аэрологические условия формирования зимних гроз на аэродроме Минск-2 за период с 1989 по 2020 г.

Table 2

## Aerological conditions for the formation of winter thunderstorms at the Minsk-2 airfield for the period from 1989 to 2020

Дата	Время, UTC	Мощность конвективного облака		АТ-850		АТ-700		АТ-500		АТ-300	
		Уровень конденсации, м	Уровень конвекции, м	Температура, °С	Дефицит точки росы, °С	Направление ветра, град	Скорость ветра, м/с	Направление ветра, град	Скорость ветра, м/с	Направление ветра, град	Скорость ветра, м/с
26.01.1990	17:36–17:55	700	3500	-0,3	2,0	240	80	240	160	280	180
27.02.1990	19:46–20:42	600	2600	-3,3	1,4	250	80	240	120	240	130
07.03.1990	13:17–13:39	600	4600	-7,7	4,5	320	80	330	220	330	220
19.10.1996	19:40–21:00	700	5300	+5,0	1,3	160	40	160	50	200	60
27.02.2002	16:51–18:00	700	5100	-0,2	0,0	240	100	240	110	240	150
03.10.2003	08:08–08:30	300	5300	+4,8	1,1	220	25	160	60	200	160
31.10.2004	00:30–01:00	600	5500	+9,7	2,5	240	80	240	120	240	170
15.03.2005	15:13–15:23	300	2000	-7,0	2,0	270	80	280	90	270	140
03.10.2006	01:10–02:42	500	5900	+6,7	5,0	260	70	260	80	260	150
23.02.2008	01:03–01:41	700	2600	+0,5	0,0	270	120	260	180	260	240
12.03.2008	15:31–15:39	500	2400	+0,2	0,5	250	80	240	120	250	110
08.10.2009	18:06–18:38	300	8700	+10,7	0,3	250	90	250	120	250	160
10.11.2010	08:50–09:06	400	3800	+6,5	2,7	200	60	200	70	220	120
07.10.2011	18:14–18:54	800	2800	+5,1	0,2	220	80	230	100	220	130
06.10.2012	18:31–19:30	800	5400	+5,5	0,0	250	110	260	120	250	190
12.03.2020	16:54–17:28	700	3100	+3,3	0,4	260	120	260	120	270	200
14.10.2020	03:45–04:07	900	4300	+9,8	2,0	150	70	160	80	210	110

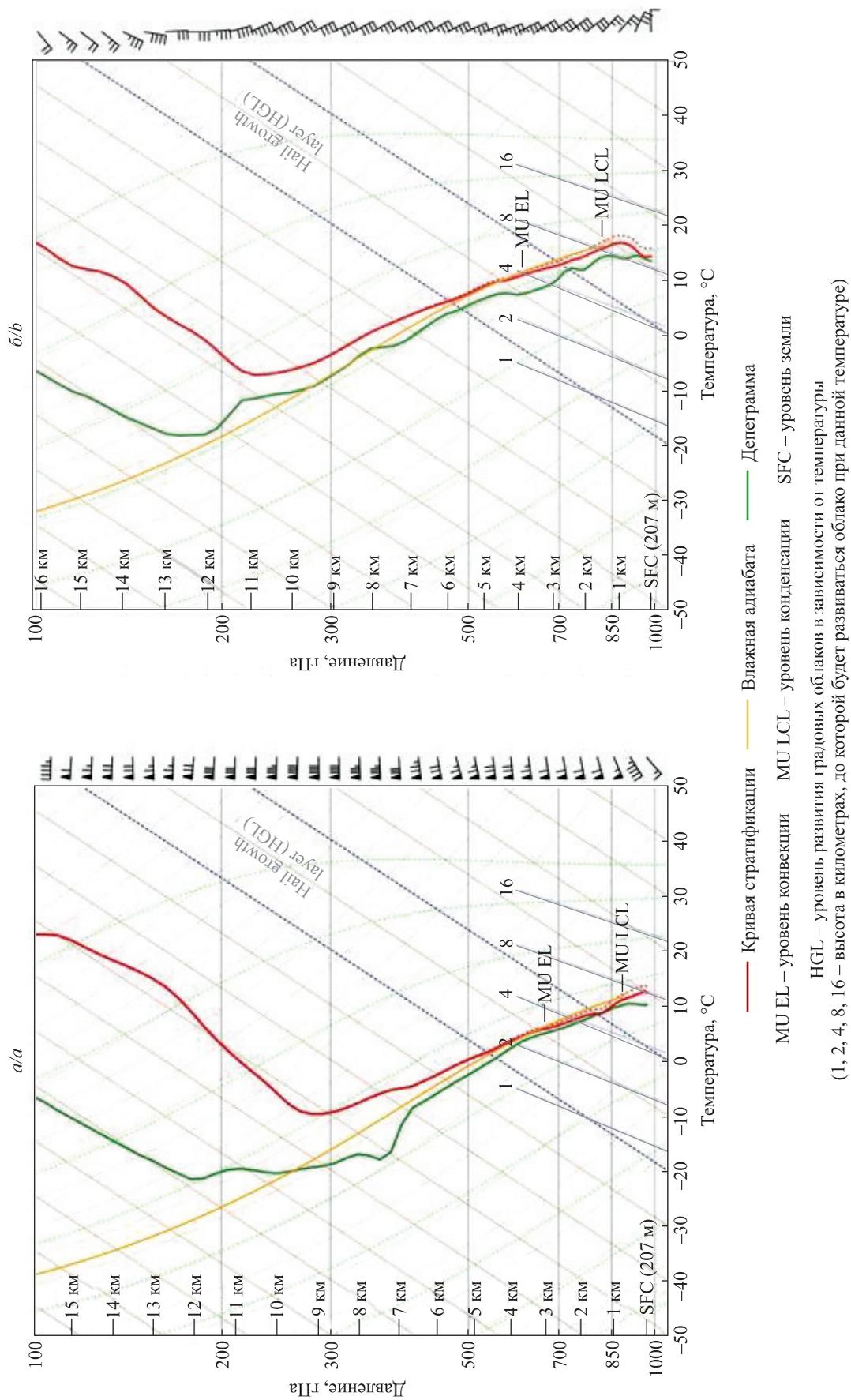


Рис. 2. Аэрологические диаграммы во время зимних гроз:

а – 12.03.2020; б – 14.10.2020

Fig. 2. Aerological diagrams during winter thunderstorms:

а – 12.03.2020; б – 14.10.2020

На уровне АТ-850 практически во всех случаях наблюдается гребень теплового и влажного воздуха, который затем сменяется ложбиной холода. Диапазон температур на данном уровне колеблется от  $-7,7$  до  $+10,7$  °С в зависимости от господствующей воздушной массы. На рис. 3 представлена аэрологическая ситуация на уровне АТ-850 во время зимних гроз в 2020 г., которая отражает активные процессы смены адвекции тепла адвекцией холода согласно направлению ведущих потоков, определяемых как 0,8 скорости ветра на уровне АТ-500.

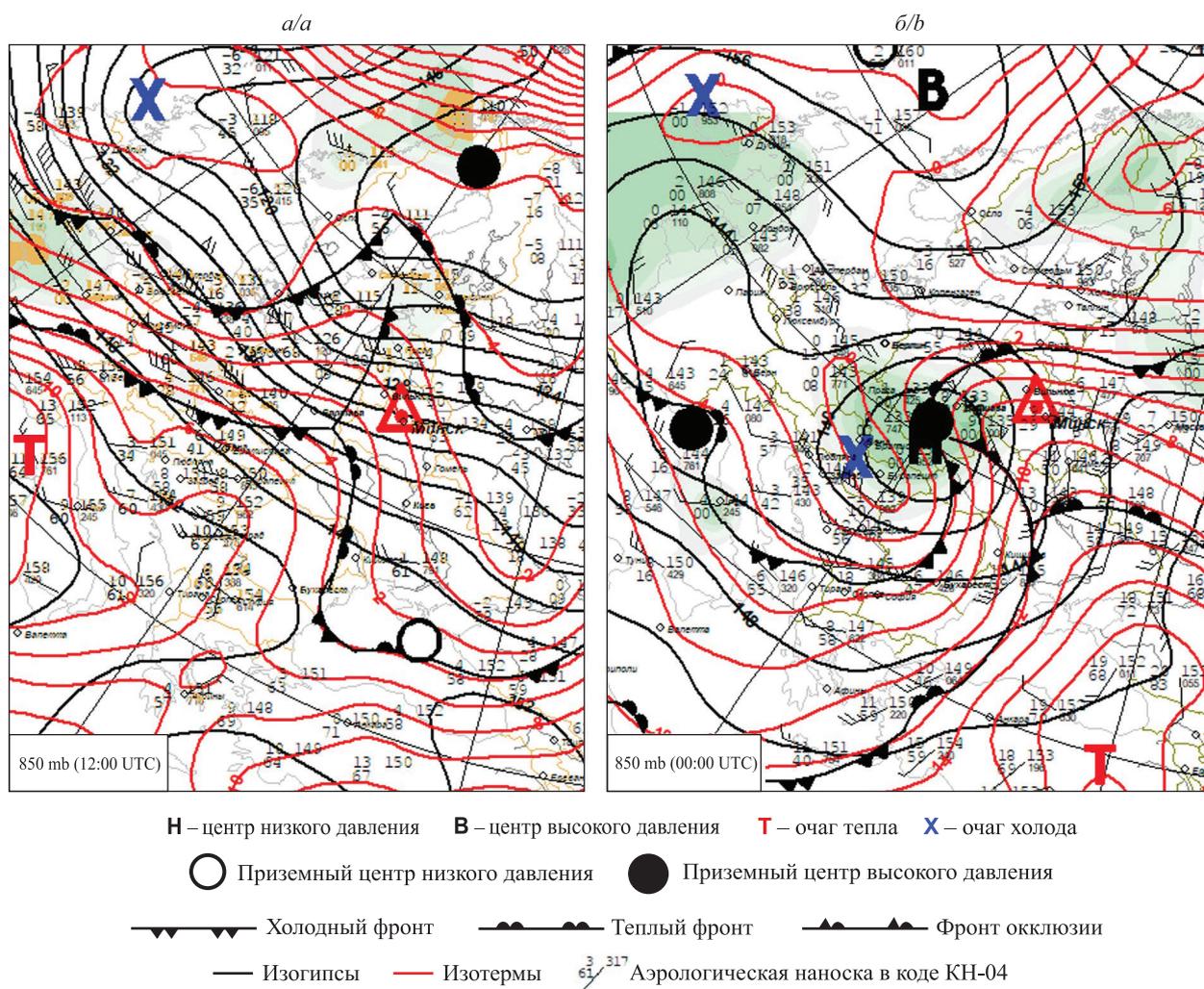


Рис. 3. Аэрологическая ситуация на картах АТ-850 в случаях зимних гроз:  
а – 12.03.2020; б – 14.10.2020

Fig. 3. Aerological situation on 850 mb maps in cases of winter thunderstorms:  
а – 12.03.2020; б – 14.10.2020

На уровне АТ-700 наблюдается усиление южного и юго-западного ветра до критериев струйного течения (100 км/ч). Анализ данного уровня показывает наибольшие вертикальные скорости и наибольший подъем частицы воздуха в сложившейся ситуации<sup>6</sup>. На рис. 4 представлена аэрологическая обстановка на уровне АТ-700 во время зимних гроз в 2020 г.

На уровне АТ-500 в большинстве случаев отмечаются ветры южного и юго-западного направления со скоростями более 100 км/ч, что говорит о наличии струйного течения. Это подтверждается картами АТ-500 за 12 марта и 14 октября 2020 г., представленными на рис. 5.

На уровне АТ-300, за исключением 19 октября 2006 г., отмечается струйное течение юго-западного направления со скоростями от 100 до 240 км/ч. Струйные потоки и дивергенция, которые наблюдаются на данном уровне, усиливают шторм и создают сдвиг, так что вершины грозового облака иногда будут пролетать над слоисто-кучевыми облаками [6].

<sup>6</sup>Schwartz S. Thundersnow!..

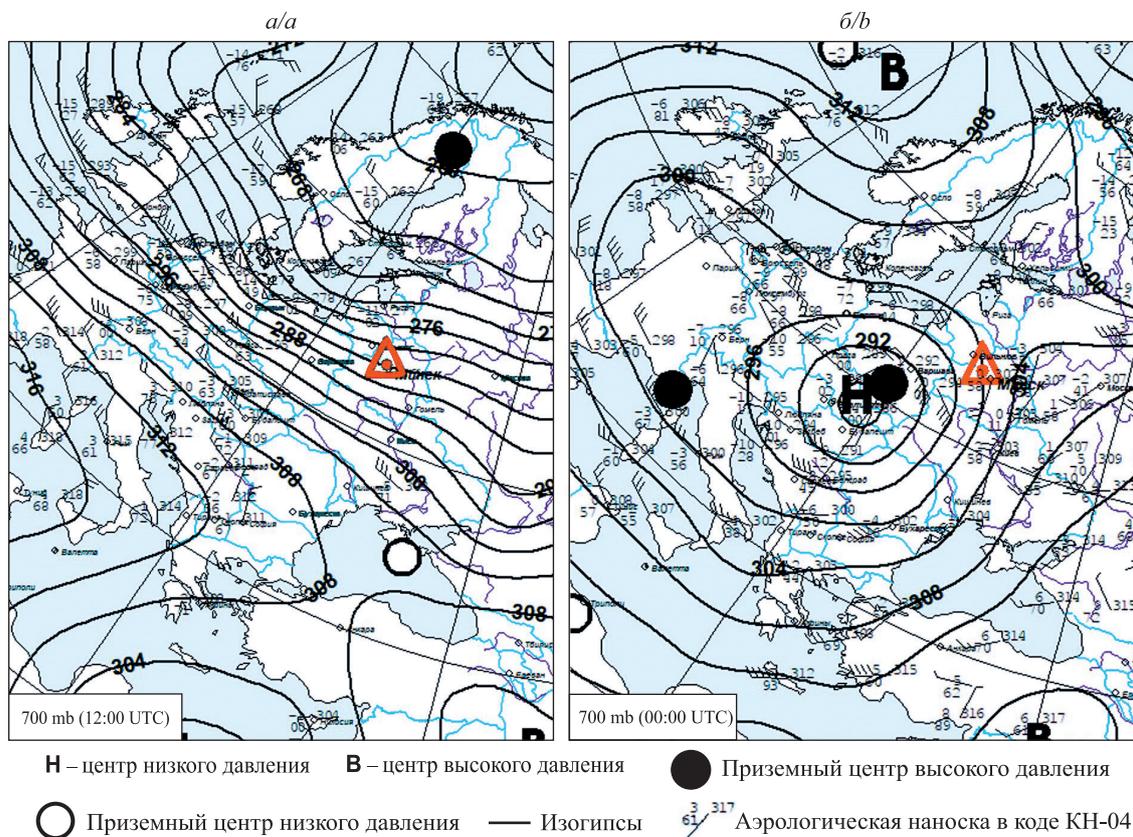


Рис. 4. Аэрологическая ситуация на картах АТ-700 в случаях зимних гроз: а – 12.03.2020; б – 14.10.2020  
 Fig. 4. Aerological situation on 700 mb maps in cases of winter thunderstorms: a – 12.03.2020; b – 14.10.2020

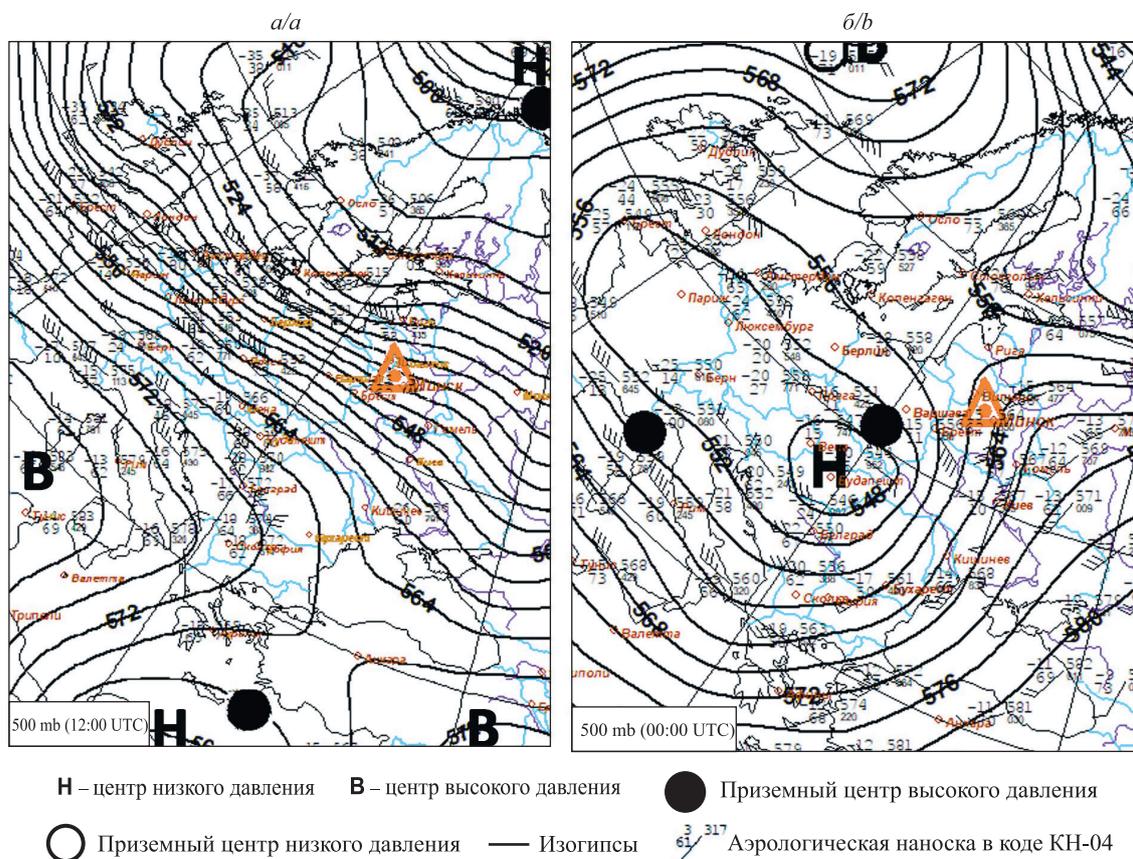


Рис. 5. Аэрологическая ситуация на картах АТ-500 в случаях зимних гроз: а – 12.03.2020; б – 14.10.2020  
 Fig. 5. Aerological situation on 500 mb maps in cases of winter thunderstorms: a – 12.03.2020; b – 14.10.2020

На рис. 6 представлена аэрологическая ситуация на уровне АТ-300 во время зимних гроз в 2020 г., которая указывает на наличие мощных струйных течений как одного из факторов формирования гроз в холодный период года.

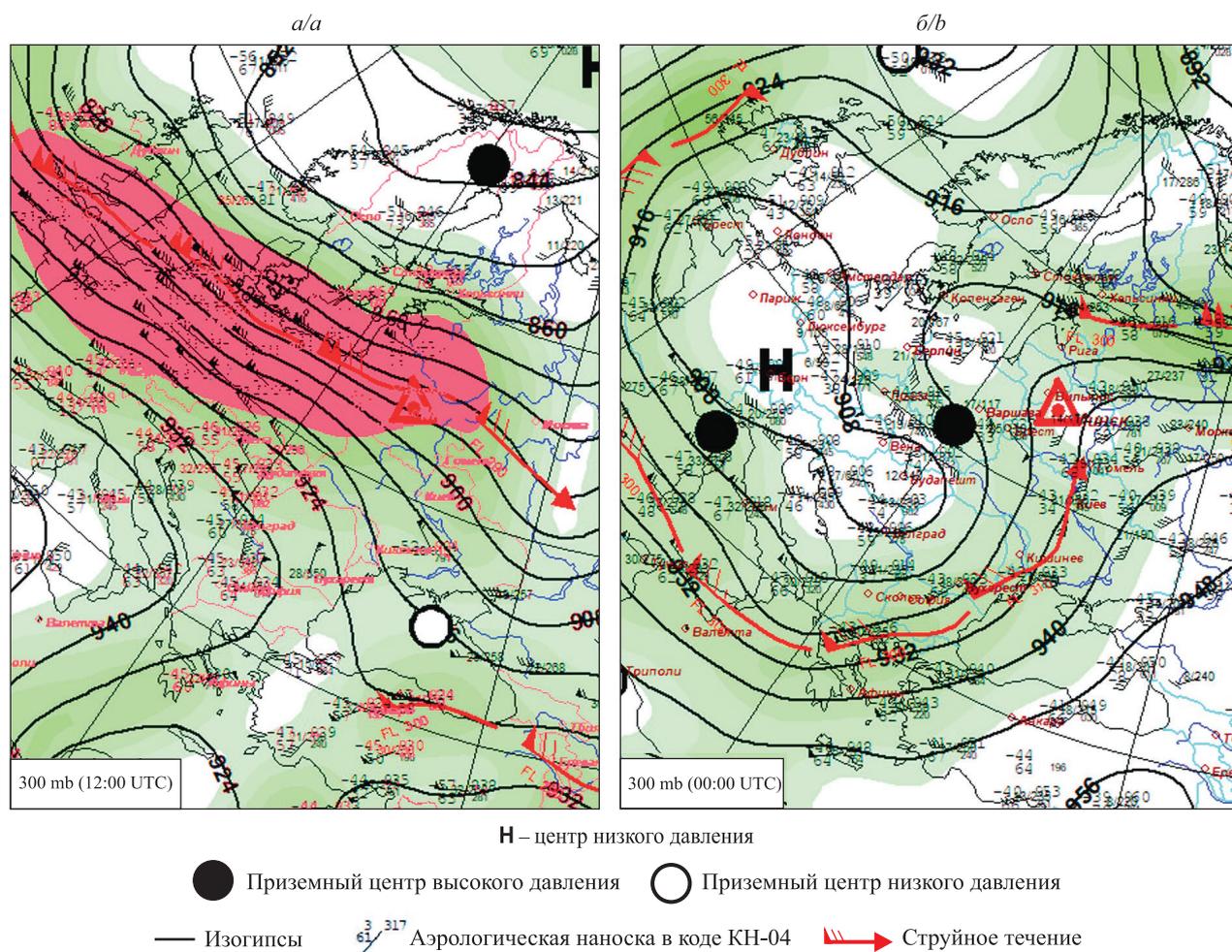


Рис. 6. Аэрологическая ситуация на картах АТ-300 в случаях зимних гроз:  
а – 12.03.2020; б – 14.10.2020

Fig. 6. Aerological situation on 300 mb maps in cases of winter thunderstorms:  
а – 12.03.2020; б – 14.10.2020

Расположение района с грозами вблизи оси струйного течения на уровне АТ-300 показывало, что циклон набирал свою активность<sup>7</sup>.

### Заключение

На основании анализа информации о фактических грозах с октября по март в 1989–2020 гг. были выявлены 17 случаев зимних гроз на аэродроме Минск-2. При этом отмечена небольшая тенденция к росту количества гроз и сопровождающих их явлений (ливневые осадки, шквалистый ветер) в условиях современного потепления климата.

Отличительной особенностью зимних гроз является то, что они наблюдаются в результате динамического фактора, т. е. при прохождении активных фронтальных разделов и, как правило, вблизи вершины волновых возмущений на холодных фронтах с волнами и вблизи точки окклюзии на фронтах окклюзии. При этом усиление ветра до штормовых значений (выше 15 м/с) зафиксировано в 2 случаях. Все грозы сопровождались осадками: при высоких температурах – ливневым дождем с ухудшением видимости от 550 до 3800 м (12 случаев), при температурах около 0 °С – сильными снегопадами с видимостью от 100 до 400 м (5 случаев).

<sup>7</sup>Schwartz S. Thundersnow!..

Основными факторами формирования гроз в холодный период года являются:

- поступление теплой (с температурой воздуха у земли выше 0 °С) и влажной воздушной массы с юга или юго-запада, связанное с выходом интенсивно углубляющихся североатлантических или южных циклонов в стадии молодого циклона;
- прохождение основных и вторичных активных холодных фронтов со скоростями более 30 км/ч, холодных фронтов с волнами и фронтов окклюзии, обеспечивающих подъем теплого и влажного воздуха нижней тропосферы;
- существование слоя конвективной неустойчивости в атмосфере, характеризующейся вертикальными градиентами температуры, значительно превышающими влажноадиабатические градиенты;
- наличие гребня теплого и влажного воздуха, который затем сменяется ложбиной холода, на уровне АТ-850;
- наличие низкоструйных течений и положительной завихренности на уровнях АТ-700 и АТ-500, указывающих на подъем частицы воздуха;
- наличие мощного струйного течения западной четверти на уровне АТ-300, усиливающего конвективные процессы.

Практическая значимость исследования заключается в том, что вышеперечисленные факторы позволят определить наличие аэросиноптических условий, благоприятных для формирования зимних гроз, на начальном этапе прогноза опасных конвективных явлений с помощью оценки карт приземного анализа и карт барической топографии. Для уточнения прогноза ОЯ дополнительно должны использоваться расчетные методы прогноза конвективных явлений, построенные уже для конкретного рассматриваемого города или аэродрома.

Также необходимо отметить, что поскольку гроза представляет собой локальное мезомасштабное явление, то для целей наукастинга в сочетании с численными моделями прогноза погоды важно применять оперативные радиолокационные данные.

Результаты исследования аэросиноптических условий возникновения опасных конвективных явлений холодного периода в виде научно обоснованных рекомендаций по автоматизированным прогнозам года на примере аэродрома Минск-2 могут быть использованы для оперативных целей в сфере не только авиационно-метеорологического обеспечения, но и метеорологического информирования населения.

## Библиографические ссылки

1. Подгорная ЕВ, Мельник ВИ, Комаровская ЕВ. Особенности изменения климата на территории Республики Беларусь за последние десятилетия. *Труды Гидрометцентра России*. 2015;358:112–120.
2. Юсупов ЮИ. *Прогноз шквалов и интенсивных осадков с применением термодинамических параметров атмосферы и потенциального вихря Эртеля* [диссертация]. Москва: [б. и.]; 2021. 129 с.
3. Смирнов СЭ, Михайлов ЮМ, Михайлова ГА, Капустина ОВ. Особенности зимних гроз на Камчатке. *Геомagnetизм и аэрономия*. 2019;59(6):742–749.
4. Montaña J, Fabró F, van der Velde O, March V, Williams ER, Pineda N, et al. Global distribution of winter lightning: a threat to wind turbines and aircraft. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 2016;16(6):1465–1472. DOI: 10.5194/nhess-16-1465-2016.
5. Schultz DM, Vavrek RJ. An overview of thundersnow. *Weather*. 2009;64(10):274–277. DOI: 10.1002/wea.376.
6. Market PS. Upper air constant pressure composites of midwestern thundersnow events [Internet]. In: *Proceedings of the 20<sup>th</sup> Conference on Weather Analysis and Forecasting / 16<sup>th</sup> Conference on Numerical Weather Prediction; 2004 January 12–16; Seattle, USA*. Seattle: American Meteorological Society; 2004 [cited 2021 September 29]. Available from: <http://solberg.snr.missouri.edu/ROCS/pub/WAF2004-TSSN-COMP.pdf>.
7. Crowe C, Market P, Pettegrew B, Melick C, Podzimek J. An investigation of thundersnow and deep snow accumulations. *Geophysical Research Letters*. 2006;33(24):L24812. DOI: 10.1029/2006GL028214.
8. Market PS, Oravetz AM, Gaede D, Bookbinder E, Lupo AR, Melick CJ, et al. Proximity soundings of thundersnow in the central United States. *Journal of Geophysical Research. Atmospheres*. 2006;111(D19):D19208. DOI: 10.1029/2006JD007061.
9. Market PS, Halcomb CE, Ebert RL. A climatology of thundersnow events over the contiguous United States. *Weather and Forecasting*. 2002;17(6):1290–1295. DOI: 10.1175/1520-0434(2002)017<1290:ACOTEO>2.0.CO;2.
10. Rosenow AA, Plummer DM, Rauber RM, McFarquhar GM, Jewett BF, Leon D. Vertical velocity and physical structure of generating cells and convection in the comma head region of continental winter cyclones. *Journal of the Atmospheric Sciences*. 2014;71(5):1538–1558. DOI: 10.1175/JAS-D-13-0249.1.
11. Логинов ВФ, Волчек АА, Шпока ИН. Сравнение пространственно-временных особенностей изменений опасных метеорологических явлений в характерное и не характерное для них время года. В: Карабанов АК, Бамбалов НН, Березовский НИ, Бровка ГП, Гаврильчик АП, Волчек АА и др., редакторы. *Природопользование. Выпуск 19*. Минск: А. Н. Вараксин; 2011. с. 5–21.
12. Логинов ВФ, Волчек АА, Шпока ИН. Изменчивость числа дней с грозами на территории Беларуси. В: Логинов ВФ, редактор. *Природопользование. Выпуск 12*. Минск: Тонпик; 2006. с. 33–39.
13. Шпока ИН. *Пространственно-временное распределение опасных метеорологических явлений на территории Беларуси* [диссертация]. Брест: [б. и.]; 2011. 210 с.

14. Логинов ВФ, Бровка ЮА, Микуцкий ВС. Изменение климата, экстремальных погодных и климатических явлений и их связь с типами циркуляции атмосферы Северного полушария по Б. Л. Дзержевскому. В: Карбанов АК, Бамбалов НН, Березовский НИ, Бровка ГП, Волчек АА, Кадацкая ОВ и др., редакторы. *Природопользование. Выпуск 24*. Минск: Минсктиппроект; 2013. с. 5–10.
15. 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.
16. Сумак ЕН, Семёнова ИГ. Циклоническая активность и повторяемость опасных явлений погоды над территорией Беларуси. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология*. 2019;2:79–93. DOI: 10.33581/2521-6740-2019-2-79-93.
17. Мальчик МК. *Рекомендации по прогнозу гроз в осенне-зимний период*. Минск: САМО РАМЦ; 2006. 41 с.
18. Воробьев ВИ. *Синоптическая метеорология*. Ленинград: Гидрометеониздат; 1991. 616 с.
19. Лукша МВ. Анализ и прогноз зимних гроз на примере аэродрома Минск-2. В: *Современные тенденции и перспективы развития гидрометеорологии в России. Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции, приуроченной к Году науки и технологий; 24–26 ноября 2021 г.; Иркутск, Россия*. Иркутск: Издательство ИГУ; 2021. с. 297–305.
20. Лукша МВ. Анализ и прогноз гроз в холодный период года на примере аэродрома Минск-2. В: Гайсёнок ВА, Василевская ЕИ, Григорьева ОН, Евтушенко НВ, редакторы. *Фундаментальная наука и образовательная практика. Материалы I Республиканской научно-методической конференции «Актуальные проблемы современного естествознания»; 2 декабря 2021 г.; Минск, Беларусь*. Минск: РИВШ; 2021. с. 49–53.

## References

1. Padhornaya EV, Melnik VI, Kamarouskaya EV. Characteristic features of the climate change on the territory of the Republic of Belarus in the last decades. *Proceedings of Hydrometcentre of Russia*. 2015;358:112–120. Russian.
2. Yusupov YuI. *Prognoz shkvalov i intensivnykh osadkov s primeneniem termodinamicheskikh parametrov atmosfery i potentsial'nogo vikhrya Ertelya* [Forecast of squalls and intense precipitation using thermodynamic parameters of the atmosphere and a potential Ertel vortex] [dissertation]. Moscow: [s. n.]; 2021. 129 p. Russian.
3. Smirnov SE, Mikhailov YuM, Mikhailova GA, Kapustina OV. [Features of winter thunderstorms in Kamchatka]. *Geomagnitizm i aeronomiya*. 2019;59(6):742–749. Russian.
4. Montanya J, Fabró F, van der Velde O, March V, Williams ER, Pineda N, et al. Global distribution of winter lightning: a threat to wind turbines and aircraft. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 2016;16(6):1465–1472. DOI: 10.5194/nhess-16-1465-2016.
5. Schultz DM, Vavrek RJ. An overview of thundersnow. *Weather*. 2009;64(10):274–277. DOI: 10.1002/wea.376.
6. Market PS. Upper air constant pressure composites of midwestern thundersnow events [Internet]. In: *Proceedings of the 20<sup>th</sup> Conference on Weather Analysis and Forecasting / 16<sup>th</sup> Conference on Numerical Weather Prediction; 2004 January 12–16; Seattle, USA*. Seattle: American Meteorological Society; 2004 [cited 2021 September 29]. Available from: <http://solberg.snr.missouri.edu/ROCS/pub/WAF2004-TSSN-COMP.pdf>.
7. Crowe C, Market P, Pettegrew B, Melick C, Podzimek J. An investigation of thundersnow and deep snow accumulations. *Geophysical Research Letters*. 2006;33(24):L24812. DOI: 10.1029/2006GL028214.
8. Market PS, Oravetz AM, Gaede D, Bookbinder E, Lupo AR, Melick CJ, et al. Proximity soundings of thundersnow in the central United States. *Journal of Geophysical Research. Atmospheres*. 2006;111(D19):D19208. DOI: 10.1029/2006JD007061.
9. Market PS, Halcomb CE, Ebert RL. A climatology of thundersnow events over the contiguous United States. *Weather and Forecasting*. 2002;17(6):1290–1295. DOI: 10.1175/1520-0434(2002)017<1290:ACOTEO>2.0.CO;2.
10. Rosenow AA, Plummer DM, Rauber RM, McFarquhar GM, Jewett BF, Leon D. Vertical velocity and physical structure of generating cells and convection in the comma head region of continental winter cyclones. *Journal of the Atmospheric Sciences*. 2014;71(5):1538–1558. DOI: 10.1175/JAS-D-13-0249.1.
11. Loginov VF, Volchek AA, Shpoka IN. Comparison of existential features of changes of hazardous meteorological phenomena in characteristic and not characteristic for them season. In: Karabanov AK, Bambalov NN, Berzovskii NI, Bровка GP, Gavril'chik AP, Volchek AA, et al., editors. *Природопользование. Выпуск 19* [Nature management. Issue 19]. Минск: А. Н. Вараксин; 2011. p. 5–21. Russian.
12. Loginov VF, Volchek AA, Shpoka IN. Variability number day's thunderstorms on the territorial Belarus. In: Loginov VF, editor. *Природопользование. Выпуск 12* [Nature management. Issue 12]. Минск: Tonpik; 2006. p. 33–39. Russian.
13. Shpoka IN. *Prostranstvenno-vremennoe raspredelenie opasnykh meteorologicheskikh yavlenii na territorii Belarusi* [Spatial-temporal distribution of dangerous meteorological phenomena on the territory of Belarus] [dissertation]. Brest: [s. n.]; 2011. 210 p. Russian.
14. Loginov VF, Bровка JA, Mikutskiy VS. Change of climate, extreme weather and climatic phenomena and their link with types of atmospheric circulation of Northern hemisphere by B. L. Dzerzhievskii. In: Karabanov AK, Bambalov NN, Berzovskii NI, Bровка GP, Volchek AA, Kadatskaya OV, et al., editors. *Природопользование. Выпуск 24* [Nature management. Issue 24]. Минск: Минсктиппроект; 2013. p. 5–10. Russian.
15. 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.
16. Sumak KM, Semenova IG. The cyclonic activity and frequency of dangerous weather phenomena over the territory of Belarus. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology*. 2019;2:79–93. Russian. DOI: 10.33581/2521-6740-2019-2-79-93.
17. Mal'chik MK. *Rekomendatsii po prognozu гроз v осенне-зимний период* [Recommendations for the forecast of thunderstorms in the autumn-winter period]. Минск: САМО РАМЦ; 2006. 41 p. Russian.
18. Vorob'ev VI. *Sinopticheskaya meteorologiya* [Synoptic meteorology]. Ленинград: Гидрометеониздат; 1991. 616 p. Russian.

19. Luksha MV. [Analysis and forecast of winter thunderstorms on the example of the Minsk-2 airfield]. In: *Sovremennye tendentsii i perspektivy razvitiya gidrometeorologii v Rossii. Materialy IV Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, priurochennoi k Godu nauki i tekhnologii; 24–26 noyabrya 2021 g.; Irkutsk, Rossiya* [Current trends and prospects for the development of hydrometeorology in Russia. Materials of the 4<sup>th</sup> All-Russian scientific and practical conference dedicated to the Year of Science and Technology; 2021 November 24–26; Irkutsk, Russia]. Irkutsk: Publishing House of the Irkutsk State University; 2021. p. 297–305. Russian.

20. Luksha MV. Analysis and forecast of thunderstorms in the cold season on the example of the Minsk-2 airfield. In: Gaisnok VA, Vasilevskaya EI, Grigor'eva ON, Evtushenko NV, editors. *Fundamental'naya nauka i obrazovatel'naya praktika. Materialy I Respublikanskoi nauchno-metodicheskoi konferentsii «Aktual'nye problemy sovremennogo estestvoznaniya»; 2 dekabrya 2021 g.; Minsk, Belarus'* [Fundamental science and educational practice. Materials of the 1<sup>st</sup> Republican scientific and methodological conference «Actual problems of modern natural science»; 2021 December 2; Minsk, Belarus]. Minsk: National Institute for Higher Education; 2021. p. 49–53. Russian.

Получена 14.12.2021 / исправлена 24.03.2022 / принята 24.03.2022.  
Received 14.12.2021 / revised 24.03.2022 / accepted 24.03.2022.

## ОЦЕНКА ПОСЛЕДСТВИЙ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ НА ОСНОВЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

А. И. ВОЛОСЮК<sup>1)</sup>, А. А. ТОПАЗ<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Белгослес, ул. Железнодорожная, 27, корп. 1, 220089, г. Минск, Беларусь

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

Представлены результаты исследования особенностей автоматизированного выявления лесопокрытых территорий, пройденных пожарами, по материалам разновременных спутниковых съемок с космических аппаратов Sentinel-2A и Sentinel-2B путем расчета разностного нормализованного индекса сгорания (dNBR) для предпожарного и послепожарного периодов. Изучено современное состояние проблемы и выполнен обзор функционирующих в настоящее время систем наблюдения за лесными пожарами. Обоснована актуальность разработки и апробации автоматизированной системы оценки последствий лесных пожаров с использованием открытого программного обеспечения и данных дистанционного зондирования Земли. Установлено, что разностный индексный показатель dNBR, рассчитанный по материалам разновременных спутниковых съемок с космических аппаратов Sentinel-2A и Sentinel-2B, позволяет эффективно выявлять выгоревшие территории. Показано, что экосистема языка программирования Python дает возможность создавать системы автоматизированной обработки данных дистанционного зондирования Земли. Разработан прототип системы автоматизированного выявления лесопокрытых территорий, пройденных пожарами, по материалам разновременных спутниковых съемок с космических аппаратов Sentinel-2A и Sentinel-2B. Приведена технологическая схема процесса обработки данных дистанционного зондирования Земли с помощью предложенной системы. Для снимков спутников Sentinel-2 на даты до и после пожара выполнен расчет разностного индексного показателя dNBR, анализ результатов которого показал тесную корреляцию индекса dNBR со степенью выгорания территории. Составлена картосхема пройденных пожаром территорий и проведена оценка точности выделения выгоревших участков посредством расчета матрицы ошибок. Определены эффективность работы автоматизированной системы выявления территорий, пройденных лесными пожарами, пути ее модернизации и совершенствования, а также перспективы внедрения в производственную деятельность. Установлено, что результаты работы созданной системы обладают высокой достоверностью. В то же время отмечена необходимость повышения чувствительности системы при выявлении территорий, подвергшихся частичному выгоранию. Предложен вариант усовершенствования применяемых в работе алгоритмов посредством внедрения мультиуровневого метода Оцу, призванного значительно повысить чувствительность системы.

**Ключевые слова:** лесные пожары; мониторинг; данные дистанционного зондирования Земли; спутник Sentinel-2; Python-библиотека eo-learn.

**Благодарность.** Авторы выражают благодарность компании *Sinergise Laboratory for Geographical Information Systems* (Словения) за любезно предоставленный доступ к API сервиса Sentinel Hub (<https://www.sentinel-hub.com>) во время проведения исследования.

### Образец цитирования:

Волосюк АИ, Топаз АА. Оценка последствий лесных пожаров на основе автоматизированной обработки материалов дистанционного зондирования Земли. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология.* 2022;1:57–70.  
<https://doi.org/10.33581/2521-6740-2022-1-57-70>

### For citation:

Valasiuk AI, Topaz AA. Assessment of forest fire effects based on automated processing of Earth remote sensing imagery. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology.* 2022;1:57–70. Russian.  
<https://doi.org/10.33581/2521-6740-2022-1-57-70>

### Авторы:

**Андрей Иванович Волосюк** – инженер отдела дистанционного зондирования и мониторинга лесов.  
**Антонина Анатольевна Топаз** – кандидат географических наук, доцент; доцент кафедры геодезии и космоаэрокартографии факультета географии и геоинформатики.

### Authors:

**Andrew I. Valasiuk**, engineer at the department of remote sensing and monitoring.  
[frolui29@gmail.com](mailto:frolui29@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 FOREST FIRE EFFECTS BASED ON AUTOMATED PROCESSING OF EARTH REMOTE SENSING IMAGERY

A. I. VALASIUK<sup>a</sup>, A. A. TOPAZ<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Belgosles, 27 Čyhunačnaja Street, 1 building, Minsk 220089, 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 study of the automated detection specifics within forest-covered areas traversed by fires based on the different time satellite imagery from the Sentinel-2A and Sentinel-2B using the differential normalised burn ratio index (dNBR) for the pre-fire and post-fire periods the calculation. The studies carried out on the research topic are given and a review of the currently functioning forest fire monitoring systems has been implemented. The urgency of the development and testing of an automated system for assessing the forest fire consequences using open source software and Earth remote sensing data has been substantiated. It has been established that the differential index dNBR, calculated from the Sentinel-2A and Sentinel-2B satellite images captured on different dates makes it possible to effectively detect burned-out areas. It is shown that the Python ecosystem makes it possible to successfully create systems for automated processing of Earth remote sensing data. A prototype of a system for the automated detection of forest-covered areas traversed by fires has been developed, based on the materials of different dates satellite imagery from Sentinel-2A and Sentinel-2B spacecraft. The flowchart of the algorithm of processing Earth remote sensing data using the proposed system was presented. For the Sentinel-2 satellite images for the dates before and after the fire, the differential index dNBR was calculated, the analysis of the results of which showed a close correlation of the dNBR index with the degree of burnout of the territory. A schematic map of the areas affected by the fire has been drawn up and the accuracy of identifying burned-out areas has been assessed by calculating the confusion matrix. An assessment of the effectiveness of the automated system for identifying areas affected by forest fires, ways of its modernisation and improvement, as well as the prospects for implementation in production has been carried out. It is noted that the results of the created system have high reliability indicators. At the same time, the need was revealed to increase the sensitivity of the system when identifying areas that have undergone partial burnout. A variant of improving the algorithms used in the work by introducing the multilevel Otsu's method, intended to significantly increase the sensitivity of the system, has been proposed.

**Keywords:** forest fires; monitoring; Earth remote sensing data; Sentinel-2 satellite; eo-learn Python framework.

**Acknowledgements.** The authors are grateful to *Sinergise Laboratory for Geographical Information Systems* (Slovenia) for the kindly provided access to the API of Sentinel Hub (<https://www.sentinel-hub.com>) during the research.

### Введение

В последнее время климатические изменения, вызванные как глобальным потеплением, так и локальными факторами (хозяйственная деятельность человека, мелиорация), обусловили рост количества лесных пожаров в наиболее пожароопасные весенний и летний периоды. В этих условиях задача оперативной оценки последствий лесных пожаров в целях планирования работ по противодействию пожарам и восстановлению поврежденных лесных территорий приобретает ощутимую значимость.

В Республике Беларусь предприятием «Белгослес» на постоянной основе проводится учет выгоревших лесных территорий. Это необходимо для оценки последствий природных пожаров, обновления информации о лесах, планирования природоохранных и лесовосстановительных мероприятий. Классический подход к решению задачи определения выгоревших площадей и степени выгорания базируется главным образом на анализе материалов полевых обследований, а также экспертной оценке последствий пожаров по разновременным данным дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) [1]. Однако выявление и анализ возросшего количества лесных пожаров без использования средств автоматизации – дорогостоящий и затруднительный процесс. По этой причине в настоящее время во всем мире ведутся работы по созданию автоматизированных систем обнаружения и оценки лесных пожаров. При этом основным направлением создания подобных систем является разработка моделей автоматизированной обработки данных ДЗЗ, так как использование последних существенно упрощает процесс оценки гарей и в ряде случаев (болота, заповедные территории) значительно превосходит по точности оценку на местности.

Таким образом, актуальность выполненных авторами исследований обусловлена выявленной в последние годы необходимостью оперативной и экономически целесообразной оценки последствий лесных пожаров, а их главная цель заключалась в разработке и апробации автоматизированной системы оценки последствий лесных пожаров с использованием открытого программного обеспечения и данных ДЗЗ.

Предпосылкой для проведения исследований послужило наличие открытых данных наблюдения Земли (материалов ДЗЗ) в рамках программ *Copernicus* (ESA) и *Landsat* (USGS), представляющих собой беспрецедентный ресурс при решении множества задач, таких как мониторинг океанических и земельных ресурсов, борьба со стихийными бедствиями, работа аварийных служб и т. д.

Реализуемая в рамках настоящего исследования система призвана автоматизировать процесс получения векторных данных, описывающих площади гарей, в целях ускорения анализа последствий лесных пожаров, уменьшения его трудоемкости и повышения экономической эффективности.

В качестве объекта исследования была выбрана территория ГЛХУ «Полесский лесхоз», в качестве исходных данных – материалы съемки со спутников Sentinel-2A и Sentinel-2B.

Анализ литературных источников показал, что на сегодняшний день одним из основных направлений в разработке систем автоматизированной обработки данных ДЗЗ является использование индексных показателей, рассчитанных по материалам ДЗЗ и обладающих повышенной информативностью в отношении объекта исследования по сравнению с исходными данными.

Спектральный индекс – это показатель, вычисляемый в результате операций с разными спектральными диапазонами данных ДЗЗ. Его суть состоит в преобразовании каждого пиксела изображения, при этом новое значение пиксела определяется с помощью математических операций со значениями спектральных яркостей данного пиксела в различных каналах.

В настоящей работе в качестве основного спектрального индексного показателя, используемого проектируемой системой при выделении и анализе выгоревших территорий, выбран разностный нормализованный индекс сгорания (dNBR). Впервые он упомянут в исследовании [2], где была предпринята попытка оценить эффективность двух индексов степени сгорания – нормализованного (dNBR) и составного (СВІ). Первый индекс рассчитан по материалам космического аппарата (КА) Landsat, второй получен на основе данных полевых исследований.

В целом теоретическим обоснованием использования индекса dNBR послужили многочисленные научные работы зарубежных авторов и широкий опыт применения его в сфере оценки последствий лесных пожаров. Так, в исследовании [3] были проанализированы 10 различных спектральных показателей для 13 типов лесов юго-востока Австралии с учетом стратегий возобновления лесной растительности в целях выявления индексов, наиболее подходящих для оценки степени выгорания. Анализ показал низкую чувствительность всех индексов к воздействию пожаров в тропических лесах. Исходя из этого, сделан вывод, что оптимальный спектральный индекс для количественной оценки тяжести пожара зависит от типа леса, но есть возможность группировать леса по структуре и стратегии регенерации огня, чтобы упростить классификацию степени опасности пожара в разнородных лесных ландшафтах.

В статье [4] приведены обобщающие материалы по оценке опыта использования индекса dNBR в бореальном лесном регионе Северной Америки. Исследования показали, что оценка физических и экологических последствий пожара в бореальных лесах имеет далеко идущие последствия для различных экосистемных процессов, таких как преемственность лесов после пожара, а также для принятия решений по управлению земельными ресурсами. Результаты сопоставления и картографирования степени тяжести последствий пожаров в бореальной области были переменными, что, вероятно, частично объясняется широкой изменчивостью условий растительности и рельефа, характерных для этого региона. Отмечается, что в исследованиях следует избегать спутникового дистанционного зондирования только последствий пожара без надлежащей полевой калибровки. Для успешного картографирования степени тяжести пожара необходим выборочный подход, сочетающий полевые данные и данные дистанционного зондирования. Спутниковые оценки тяжести пожара, в частности индекс dNBR и связанные с ним индексы, должны использоваться разумно и оцениваться на предмет соответствия потребностям пользователей. Также при использовании спутниковой информации в бореальном лесном регионе следует учитывать проблемы, характерные только для высоких широт.

Рассмотренные работы исследуют и показывают возможность применения нормализованного индекса сгорания (NBR) в рамках двухвременного (до и после пожара) подхода [3]. Однако данные исследования [5] позволяют говорить об эффективности этого показателя и в рамках одновременного (после пожара) подхода. Согласно результатам указанной работы индекс NBR, полученный по данным КА Landsat, используется в США в качестве инструмента оперативного управления и создания карт тяжести пожара в рамках проекта по восстановлению сгоревших территорий (BAER). При этом точные оценки тяжести пожара имеют первостепенное значение для моделирования выбросов следовых газов, вызванных пожаром, и реабилитации ландшафтов после пожара. Результаты работы подтверждают целесообразность оперативного использования индекса NBR в чапаральных экосистемах в рамках проекта BAER и демонстрируют потенциал объединения оптических и тепловых данных для оценки степени опасности пожара.

Таким образом, на сегодняшний момент разностный нормализованный индекс сгорания dNBR является одним из наиболее оптимальных инструментов для анализа выгоревших территорий и поэтому находит широкое применение в существующих системах наблюдения за лесными пожарами.

Попытки создания систем автоматизированного обнаружения, выделения и анализа лесных пожаров являются рациональным продолжением исследований по изучению спектральных характеристик лесных территорий, подвергнувшихся выгоранию. Среди функционирующих в настоящее время систем автоматизированного обнаружения, выделения и анализа лесных пожаров основными считаются:

- SERVIR's Forest Fire Detection and Monitoring System [6];
- ИСМД-Послесхоз [7; 8];
- Fire Information for Resource Management System (Global Fire Information Monitoring System) [9];
- Global Wildfire Information System [10];
- European Forest Fire Information System (EFFIS) [11];
- ScanEx Fire Monitoring Service [12].

Стоит отметить, что указанные системы обладают различным пространственным охватом. Так, система SERVIR's Forest Fire Detection and Monitoring System является локальной. Она разработана для борьбы с лесными пожарами в районе Гиндукуш – Гималаи. Системы ИСМД-Послесхоз и EFFIS представляют собой региональные системы. Они предназначены для работы с территорией Российской Федерации и Европейского союза соответственно. Остальные системы являются глобальными.

Изучение этих шести систем показало, что основными данными ДЗЗ, используемыми для оперативного выявления пожаров, выступают материалы съемки с КА Terra и КА Aqua, оснащенных датчиком MODIS. Несомненным преимуществом такого подхода является оперативность, так как данные могут обновляться с частотой около трех раз в сутки. Однако при этом материалы обладают недостаточным пространственным разрешением (от 250 м до 1 км) для получения детальных векторных изображений выгоревших территорий [13].

В свете вышеизложенной информации выявляется потенциал разрабатываемой системы при детальном выделении выгоревших территорий. Представляется возможным создание комплексной системы, в которой фиксация пожара и предварительное геопозиционирование осуществляются с помощью одного из рассмотренных выше сервисов, после чего данные о пожаре и ограничивающий его векторный файл передаются в разрабатываемую систему для получения детального векторного представления выгоревшей территории.

### Материалы и методы исследования

В качестве объекта исследования был выбран участок территории Республики Беларусь и смежной территории Украины, ограниченный прямоугольником (51,7415 с. ш., 27,2391 в. д.; 51,6032 с. ш., 27,4465 в. д.) и входящий в состав ГЛХУ «Полесский лесхоз» (рис. 1).

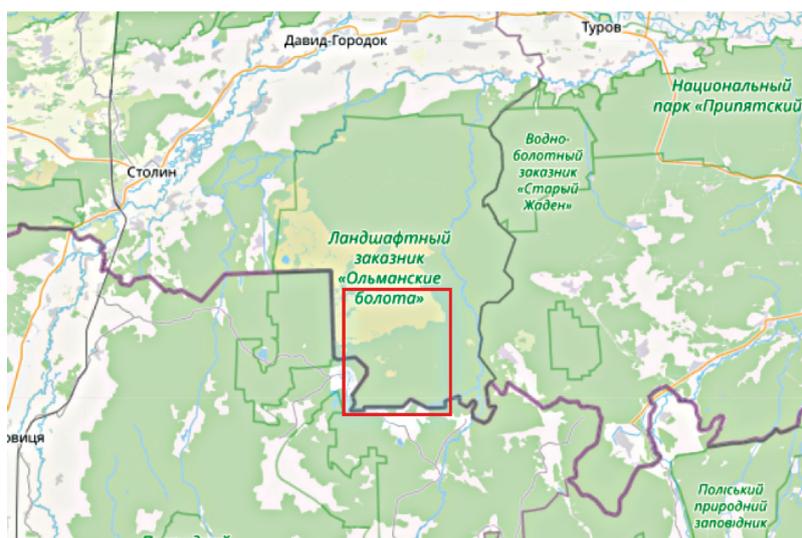


Рис. 1. Фрагмент карты OpenStreetMap с указанием территории исследования.  
Источник: [14]

Fig. 1. Fragment of the OpenStreetMap map showing the study area.  
Source: [14]

Основную часть исследуемого участка занимает республиканский ландшафтный заказник «Ольманские болота» площадью 94 219 га<sup>1</sup>. Он является одной из самых больших особо охраняемых природных территорий не только в Беларуси, но и в Европе и имеет статус территории международного значения, важной для птиц, и статус Рамсарского угодья [15].

Особый охранный режим, отсутствие населенных пунктов и развитой дорожной сети, залесенность, слабый и неустойчивый снеговой покров, а также значительные запасы биомассы являются ключевыми факторами, обусловившими высокую подверженность данной территории лесным пожарам, особенно в весенний период. Указанное обстоятельство послужило основой для выбора этой площадки в качестве объекта исследования.

Исходными данными ДЗЗ выступили материалы съемки со спутников Sentinel-2A и Sentinel-2B (уровень преобработки L1C) (рис. 2).

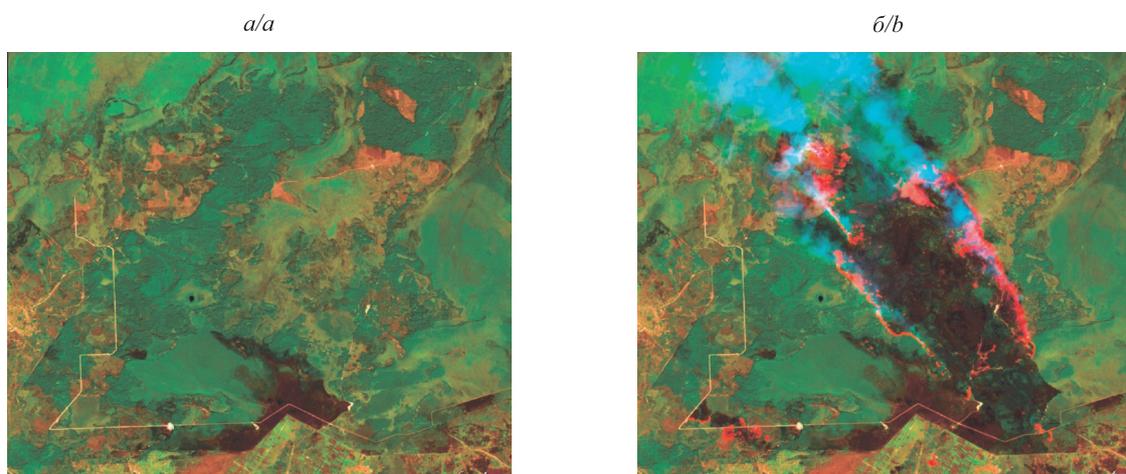


Рис. 2. Фрагменты снимков на даты до и после выгорания, синтезированные по схеме 12 – 8А – 4 (RGB):  
а – 19.04.2019; б – 24.04.2019

Fig. 2. Fragments of images for the dates before and after burnout, synthesised according to scheme 12 – 8A – 4 (RGB):  
a – 19.04.2019; b – 24.04.2019

Sentinel-2 – семейство спутников ДЗЗ Европейского космического агентства, созданное в рамках проекта глобального мониторинга окружающей среды и безопасности *Copernicus* [16]. В табл. 1 приведены исходные спутниковые данные.

Таблица 1

База данных исходной информации

Table 1

Database of initial information

Снимок	Спутник	Дата съемки	Количество каналов	Ширина полосы охвата, км	Пространственное разрешение, м (номера каналов)
S2A_MSIL1C_20190419T092031_N0207_R093_T35UMT_20190419T104513	Sentinel-2A	19.04.2019	13	290	10 (2, 3, 4, 8)
S2B_MSIL1C_20190424T092039_N0207_R093_T35UNT_20190424T130102	Sentinel-2B	24.04.2019			20 (5, 6, 7, 8A, 11, 12) 60 (1, 9, 10)

Спутники Sentinel-2 предназначены для мониторинга использования земель, растительности, лесных и водных ресурсов, также они могут применяться при ликвидации последствий стихийных бедствий [17]. Спектральные и пространственные характеристики спутниковых данных приведены в табл. 2.

<sup>1</sup>Обоснование биологического заказника «Бродница»: отчет о НИС / Брест. гос. ун-т; рук. темы В. Т. Демяничик. Брест, 1996. 38 с.

Спектральное и пространственное разрешение спутников Sentinel-2A и Sentinel-2B

Table 2

Spectral and spatial resolution of Sentinel-2A and Sentinel-2B satellites

Канал	Центральная длина волны, нм		Ширина полосы, нм		Пространственное разрешение, м
	Sentinel-2A	Sentinel-2B	Sentinel-2A	Sentinel-2B	
Band 1. Coastal aerosol	442,7	442,2	21	21	60
Band 2. Blue	492,4	492,1	66	66	10
Band 3. Green	559,8	559,0	36	36	10
Band 4. Red	664,6	664,9	31	31	10
Band 5. Vegetation red edge	704,1	703,8	15	16	20
Band 6. Vegetation red edge	740,5	739,1	15	15	20
Band 7. Vegetation red edge	782,8	779,7	20	20	20
Band 8. NIR	832,8	832,9	106	106	10
Band 8A. Narrow NIR	864,7	864,0	21	22	20
Band 9. Water vapour	945,1	943,2	20	21	60
Band 10. SWIR – Cirrus	1373,5	1376,9	31	30	60
Band 11. SWIR	1613,7	1610,4	91	94	20
Band 12. SWIR	2202,4	2185,7	175	185	20

Источник: [18].

Несмотря на отсутствие панхроматического канала, данные спутников Sentinel-2A and Sentinel-2B обладают наилучшим соотношением пространственных, спектральных и временных показателей среди спутниковых данных ДЗЗ, находящихся в открытом доступе, что особенно важно с учетом значительного количества облачных дней, характерных для территории Беларуси, а также динамичности природных процессов. Во временном отношении спутники Sentinel-2A и Sentinel-2B более чем в 3 раза превосходят спутники Landsat 7, Landsat 8 и Белорусский космический аппарат, делая повторную съемку одного и того же участка земной поверхности через 5 дней вместо 16 и 18 дней соответственно [18–20].

При разработке автоматизированной системы оценки последствий лесных пожаров использовалось открытое программное обеспечение – Python-библиотеки Scikit-learn, GeoPandas, NumPy, Matplotlib, Shapely, Mahotas, sentinelhub, eo-learn.

При тестировании системы применялись исходные данные спутников Sentinel-2A и Sentinel-2B, распространяемые под открытой лицензией Creative Commons Attribution-ShareAlike 3.0 IGO (CC BY-SA 3.0 IGO) и размещенные на сайте сервиса Sentinel Hub.

Открытое программное обеспечение (англ. *open-source software*) – программное обеспечение с открытым исходным кодом. Исходный код таких программ доступен для просмотра, изучения и изменения, что позволяет убедиться в отсутствии уязвимостей и неприемлемого для пользователя функционала (к примеру, скрытого слежения за пользователем программы), принимать участие в доработке самой открытой программы, использовать код для создания новых программ и исправления в них ошибок через заимствование исходного кода, если это позволяет совместимость лицензий, или через изучение использованных алгоритмов, структур данных, технологий, методик и интерфейсов [21].

В качестве среды разработки применялся пакет *Jupyter Notebook*, обеспечивающий построчное выполнение кода на языке программирования Python с возможностью генерации отчетов в графической и текстовой формах.

Основным рабочим инструментом являлась библиотека eo-learn (версия 0.7.2), которая служит связующим звеном между ДЗЗ и экосистемой Python.

Eo-learn – это набор пакетов Python с открытым исходным кодом, разработанных для беспрепятственного доступа и своевременной автоматизированной обработки пространственно-временных рядов

изображений, полученных любым спутниковым парком. Eo-learn написана на языке программирования Python и использует структуры данных EOpatch (далее – патчи) на основе массивов NumPy для хранения и обработки данных дистанционного зондирования. Библиотека eo-learn разрабатывается и распространяется под лицензией MIT. Это разрешительная лицензия открытого программного обеспечения, разработанная Массачусетским технологическим институтом [22].

В общем виде система автоматизированной обработки материалов ДЗЗ содержит три подсистемы, которые включают в себя задачи на обработку данных ДЗЗ, реализуемые как объекты базового класса EOTask.

Первая подсистема – загрузка и предобработка материалов ДЗЗ:

- добавление в патчи мультиспектральных данных;
- расчет облачных масок;
- расчет разностного индексного показателя dNBR;
- сохранение данных патчей во внутреннем формате.

Вторая подсистема – автоматизированная обработка материалов ДЗЗ:

- фильтрация растровых данных;
- пороговая бинаризация индексного изображения.

Третья подсистема – постобработка и экспорт результатов обработки:

- экспорт сегментированного изображения в формат GeoTIFF;
- векторизация сегментированного изображения;
- экспорт векторного файла.

Алгоритм автоматизированной обработки материалов ДЗЗ можно представить блок-схемой в виде набора процессов с указанием промежуточных этапов (рис. 3).

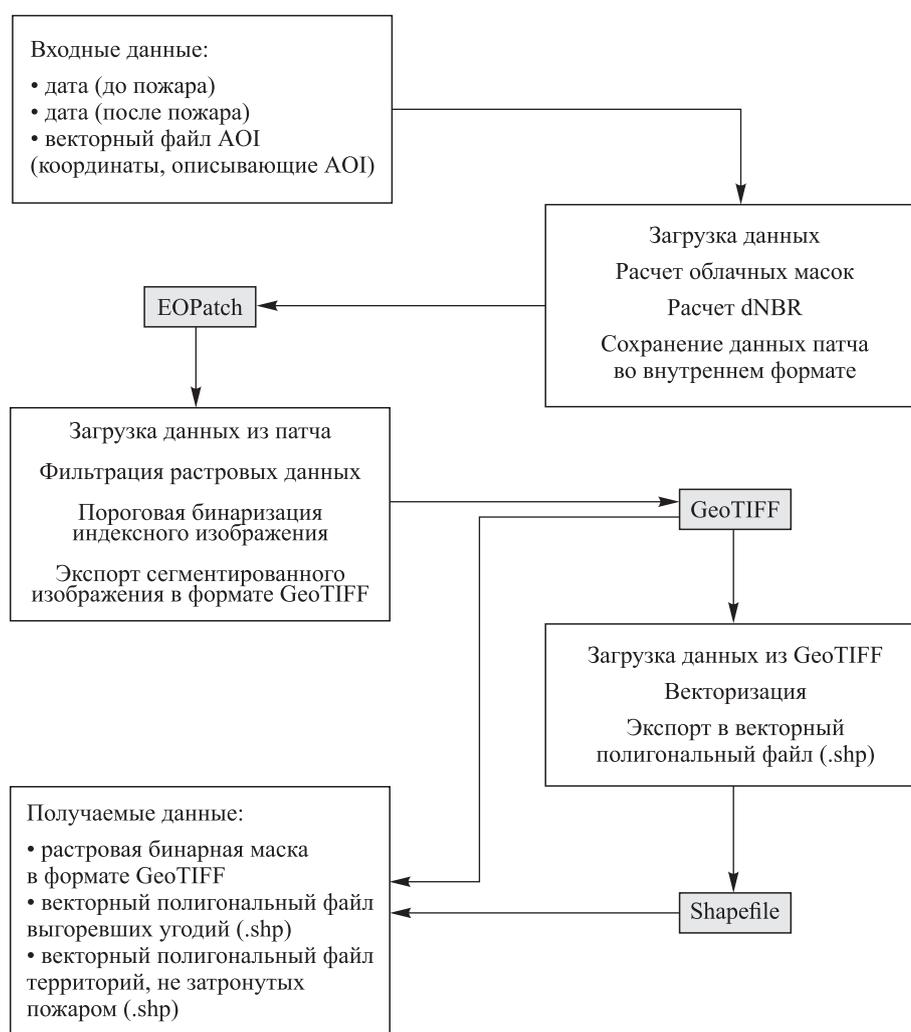


Рис. 3. Технологическая схема процесса обработки материалов ДЗЗ

Fig. 3. Technological scheme of the processing Earth remote sensing materials

После определения все задачи, реализуемые как объекты базового класса EOTask, формируются в рабочий процесс («конвейер») – EOWorkflow [23]. Подобный подход позволяет осуществлять контроль за соблюдением правильного порядка выполнения операций.

Расчет индекса NBR производился согласно формуле, полученной из электронной базы данных спектральных индексов [2; 23]. В соответствии с ней показатель NBR для данных спутников Sentinel-2 равен отношению разности значений 9-го и 12-го каналов к сумме значений 9-го и 12-го каналов (в нашем случае – каналов 8А и 12). Канал 8А соответствует ближнему ИК-излучению, канал 12 – коротковолновому ИК-излучению.

Лесная растительность, как и прочий растительный покров, характеризуется высокой отражательной способностью в зеленой зоне, минимумом отражения в синей и красной зонах и резким увеличением отражения в ближней ИК-зоне электромагнитного спектра. Это вызвано отражением зеленых лучей и поглощением синих и красных лучей хлорофиллом, содержащимся в растительности, тогда как большое отражательное значение в ИК-зоне объясняется пропусканием ИК-лучей хлорофиллом и отражением их внутренними тканями листьев.

Отражение в ИК-зоне подвержено резкому изменению вследствие пожара. В связи с этим принцип действия алгоритма обнаружения основан на фиксации данных изменений через соотношения между ближним ИК-излучением (NIR) и коротковолновым ИК-излучением (SWIR) на дату, предшествовавшую пожару, и дату после него, максимально близкую к дате пожара [2]. В общем виде формула расчета может быть представлена как

$$NBR = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR}.$$

После расчета указанного спектрального индексного показателя на даты до и после пожара производилось вычисление разностного показателя dNBR с помощью канальной математики:

$$dNBR = NBR \text{ (до пожара)} - NBR \text{ (после пожара)}.$$

Результат выполнения задачи по расчету разностного индексного показателя dNBR в условных единицах представлен на рис. 4.

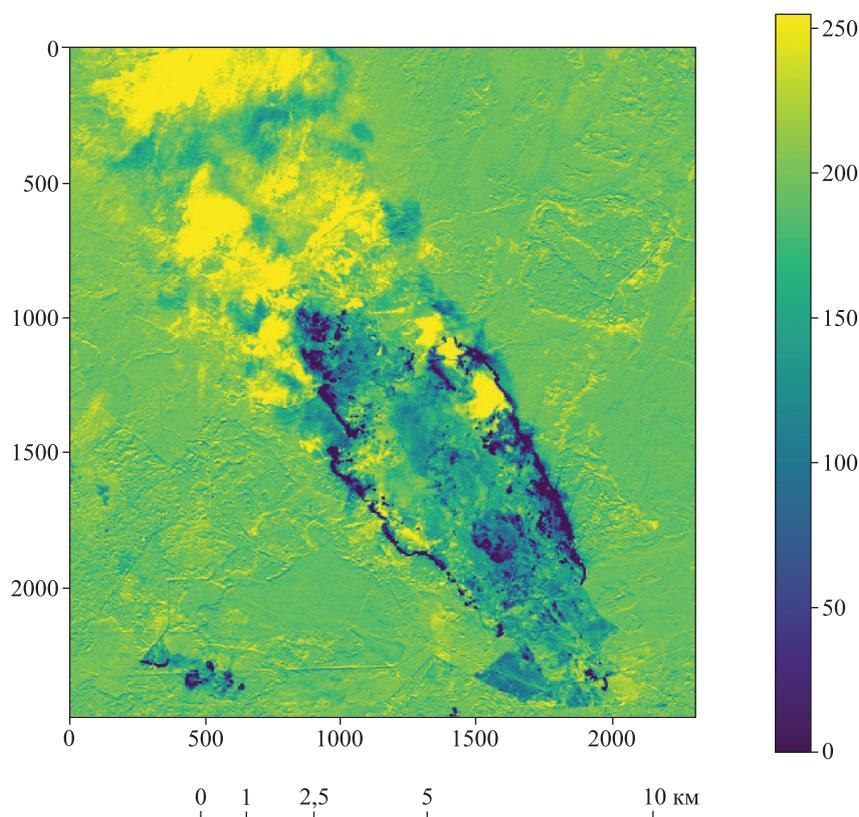


Рис. 4. Результат расчета индексного показателя dNBR

Fig. 4. Result of computation index indicator dNBR

Как видно из рис. 4, наименьшее значение dNBR в диапазоне 0–50 характерно для областей, подвергшихся наиболее сильному выгоранию, либо областей с открытым огнем. Для области с дымом от пожара характерны значения, близкие к максимуму (около 250). Территория, не подвергшаяся выгоранию, отличается однородностью значений и их консолидацией вблизи отметки 200.

Площадь выгоревшей территории, выявленной при работе алгоритма, составила 2093 га.

Промежуточными этапами в работе системы являются растровое индексное изображение во внутреннем формате библиотеки eo-learn и растровое сегментированное изображение в формате GeoTIFF.

На заключительном этапе работы алгоритм формирует векторный файл в формате Shapefile (.shp), содержащий полигоны участков, подвергшихся выгоранию (рис. 5).

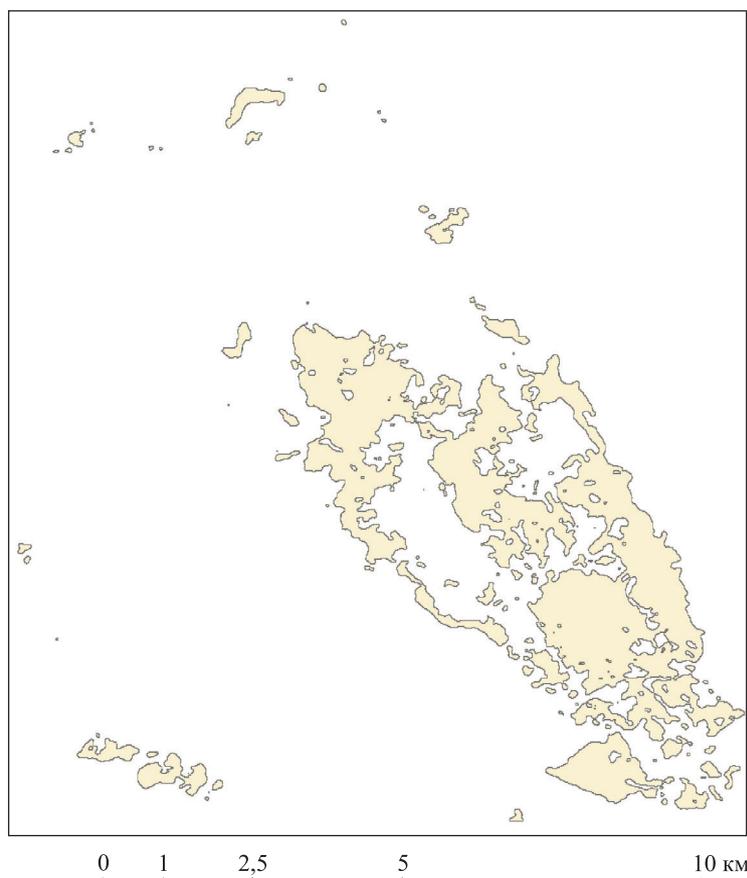


Рис. 5. Графическое представление векторного файла выгоревшей территории в программном комплексе ArcGIS 10.3

Fig. 5. Graphical representation of the vector file of the burned-out area in the ArcGIS 10.3 software package

### Результаты и их обсуждение

Результаты работы алгоритма наглядно представлены на картосхеме пройденных пожаром территорий, составленной с использованием материалов спутниковой съемки, синтезированных в искусственных цветах по схеме комбинации каналов 12 – 8А – 4 (SWIR – Narrow NIR – Red) (рис. 6).

Картосхема позволяет выполнить оценку полученных результатов и их сравнение с данными экспертной оценки.

Оценка точности выделения выгоревших участков производилась путем расчета матрицы ошибок на основании данных экспертной оценки.

Матрица ошибок (англ. *confusion matrix*) – один из наиболее широко применимых методов оценки качества классификации, используемый в области машинного обучения и анализа изображений, также известный как матрица соответствия. Данный метод позволяет легко оценить, насколько эффективно система разделяет два класса [24].

Расчет матрицы ошибок был выполнен с помощью программного пакета *ENVI Exelis 5.3* – профессионального программного пакета, ориентированного на обработку и анализ материалов ДЗЗ и интеграцию полученной информации с ГИС [25].

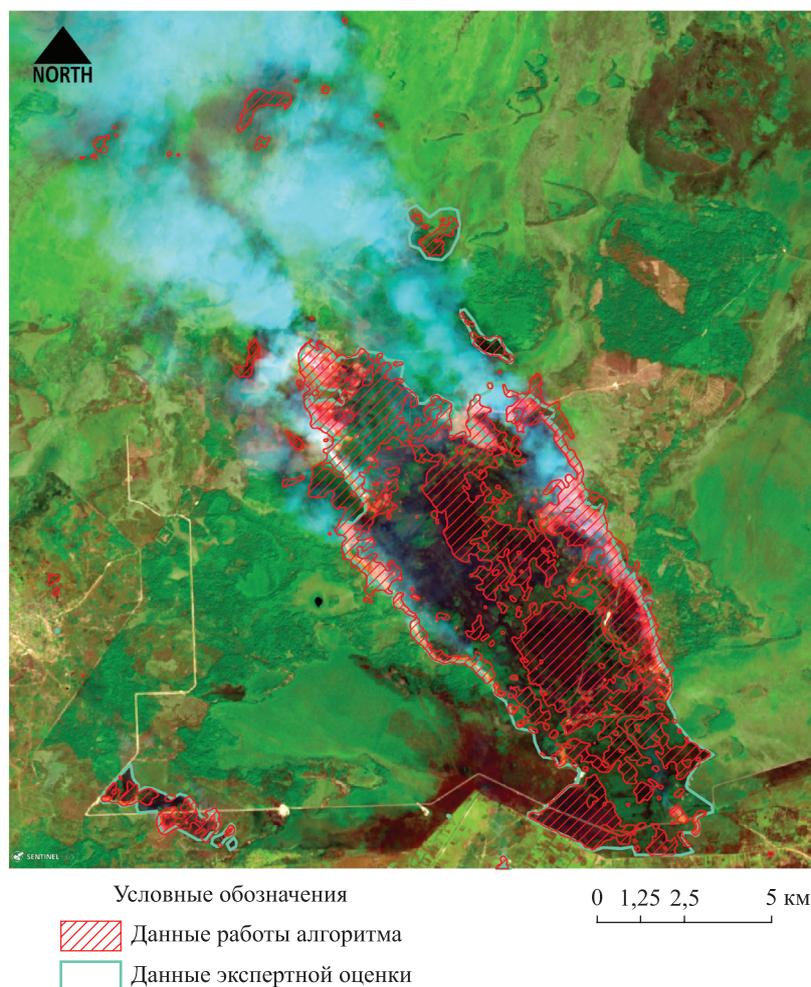


Рис. 6. Картограмма пройденных пожаром территорий

Fig. 6. Schematic map of burned lands

Для соблюдения чистоты эксперимента в качестве данных ДЗЗ при экспертной оценке использовался тот же снимок заданной области на дату после пожара, который обрабатывался автоматизированной системой. Также было исключено влияние корректирующих алгоритмов, так как использованные материалы ДЗЗ имеют уровень предобработки, аналогичный данным, загружаемым автоматизированной системой (см. табл. 1).

Векторные материалы экспертной оценки были преобразованы в ROI (*region of interest*). Расчет матрицы ошибок производился с помощью функции *classification – post classification – confusion matrix using ground truth ROIs*.

В ходе построения матрицы ошибок вычисляются такие показатели оценки точности, как *overall accuracy* (общая точность) и *kappa coefficient* (коэффициент каппа).

Значения данных показателей составили:

- *overall accuracy* (общая точность) – 92,26 % (т. е. 92,26 % пикселей были классифицированы правильно);
- *kappa coefficient* (коэффициент каппа) – 0,64 (согласно интерпретации [26] это соответствует наличию существенного согласия между данными экспертной оценки и данными, полученными в результате работы автоматизированной системы).

Из табл. 3 следует, что 98,69 % пикселей, соответствующих территории, не подверженной выгоранию, и 55,89 % пикселей, относящихся к выгоревшей территории, были классифицированы верно.

Это свидетельствует о том, что результаты, получаемые при работе автоматизированной системы, обладают очень высокой достоверностью (98,69 % территорий, идентифицированных как невыгоревшие, были классифицированы правильно). Однако следует отметить, что порог чувствительности алгоритма пороговой бинаризации не является оптимальным. Об этом свидетельствует тот факт, что лишь 55,89 % выгоревших территорий были выявлены алгоритмом.

Таблица 3

Матрица ошибок (фрагмент)

Table 3

Confusion matrix (fragment)

Территория	Экспертная оценка, %		Общий процент
	ROI #1 (пожар был)	ROI #2 (пожара не было)	
Выгоревшая	55,89	1,31	9,51
Невыгоревшая	44,11	98,69	90,49
<i>Итого</i>	100	100	100

Среди причин, обусловивших столь низкий порог чувствительности алгоритма автоматизированного выделения выгоревших территорий, можно отметить:

- частичную задымленность территории на дату после пожара;
- значительные тоновые контрасты между территориями, затронутыми верховыми и низовыми пожарами.

Исходя из приведенной информации, можно заключить, что представленная система достаточно эффективно справляется с поставленными перед ней задачами.

Оценивая потенциал внедрения разработанной системы в производственную деятельность, стоит отметить, что система имеет существенные достоинства, однако нуждается в доработке механизма сегментации индексного изображения.

Как сказано выше, данные, получаемые в ходе работы системы, обладают достаточно высокой достоверностью, но порог чувствительности алгоритма, установленный автоматически, не является оптимальным. Возможным решением этой проблемы может стать применение мультиуровневого метода Оцу [27], суть которого состоит в задании нескольких порогов разбиения, характеризующихся различным уровнем достоверности выделения [28]. Потенциально данное решение пригодно также для качественной оценки степени повреждения насаждений огнем.

### Заключение

На сегодняшний момент разностный нормализованный индекс сгорания является одним из наиболее оптимальных инструментов для анализа выгоревших территорий и находит широкое применение в существующих системах обнаружения и оценки возгораний.

Изучение функционирующих в настоящее время систем автоматизированного обнаружения, выделения и анализа лесных пожаров показало, что основными источниками спутниковой информации, используемыми для оперативного выявления пожаров, выступают данные КА Terra и КА Aqua, оснащенных датчиком MODIS. Несомненным преимуществом подобного подхода является оперативность, так как данные могут обновляться с частотой около трех раз в сутки. Однако упомянутые системы обладают недостаточным пространственным разрешением для получения детальных векторных изображений выгоревших территорий.

В связи с этим, несмотря на отсутствие панхроматического канала, данные спутников Sentinel-2A и Sentinel-2B характеризуются наилучшим соотношением пространственных, спектральных и временных показателей среди спутниковых данных ДЗЗ, находящихся в открытом доступе.

При разработке автоматизированной системы оценки последствий лесных пожаров основным рабочим инструментом являлась библиотека eo-learn, которая служит связующим звеном между ДЗЗ и экосистемой Python. Eo-learn – это набор пакетов Python с открытым исходным кодом.

В общем виде система автоматизированной обработки материалов ДЗЗ включает три подсистемы: подсистему загрузки и предобработки материалов ДЗЗ, подсистему автоматизированной обработки материалов ДЗЗ, подсистему постобработки и экспорта результатов обработки.

Решение, предоставляемое системой, обладает общей точностью 92,26 %. Это говорит о том, что 92,26 % пикселей были классифицированы правильно. Коэффициент каппа при этом составляет 0,64, что согласно интерпретации [26] соответствует наличию существенного согласия между данными экспертной оценки и данными, полученными в результате работы автоматизированной системы.

Функционал созданной системы позволяет в полном объеме решать поставленные задачи, начиная с момента получения входных данных и заканчивая экспортом векторного полигонального файла, описывающего территорию, подвергшуюся выгоранию.

Оценивая потенциал внедрения разработанной системы в производственную деятельность, стоит отметить, что система нуждается в доработке механизма сегментации индексного изображения. Потенциальным решением данной проблемы является использование мультиуровневого метода Оцу [27].

Основное перспективное направление развития темы, рассмотренной в настоящей статье, – применение методов классификации с обучением для непосредственной качественной оценки степени воздействия пожара (выделение степени повреждения лесных насаждений), что потребует полевой калибровки эталонов, так как согласно обобщающим исследованиям, использованным в ходе работы, следует избегать спутникового дистанционного зондирования только последствий пожара без надлежащей полевой калибровки. Выборочный подход, сочетающий значения поля и изображения состояния ожога, необходим для успешного картографирования степени пожара (ожога).

Также следует отметить значительный потенциал разработки, связанный с применением иных спектральных показателей, методов фильтрации и детекции. Подобные изменения не требуют глобальной перестройки созданных процессов, что обуславливает высокий потенциал адаптации созданной системы.

### Библиографические ссылки

1. Бариев ЭР, Золотой СА, Котов СГ, Кудряшов АН, Семенов ОА. *Совершенствование технических средств повышения оперативности обнаружения природных пожаров*. Минск: Республиканский центр сертификации и экспертизы лицензируемых видов деятельности Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь; 2009. 174 с.
2. Key CH, Benson N, Ohlen D, Howard S, McKinley R, Zhu Z. The normalized burn ratio and relationships to burn severity: ecology, remote sensing and implementation. In: Greer JD, editor. *Rapid delivery of remote sensing products. Proceedings of the Ninth Forest Service remote sensing applications conference; 2002 April 8–12; San Diego, USA* [CD-ROM]. Bethesda: American Society for Photogrammetry and Remote Sensing; 2002. 1 CD-ROM: 4 3/4 in.
3. Tran BN, Tanase MA, Bennett LT, Aponte C. Evaluation of spectral indices for assessing fire severity in Australian temperate forests. *Remote Sensing*. 2018;10(11):1680. DOI: 10.3390/rs10111680.
4. French NHF, Kasischke ES, Hall RJ, Murphy KA, Verbyla DL, Hoyet EE, et al. Using Landsat data to assess fire and burn severity in the North American boreal forest region: an overview and summary of results. *International Journal of Wildland Fire*. 2008;17(4):443–462. DOI: 10.1071/WF08007.
5. Harris S, Veraverbeke S, Hook S. Evaluating spectral indices for assessing fire severity in chaparral ecosystems (southern California) using MODIS/ASTER (MASTER) airborne simulator data. *Remote Sensing*. 2011;3(11):2403–2419. DOI: 10.3390/rs3112403.
6. SERVIR's Forest Fire Detection and Monitoring System in Nepal [Internet]. SERVIR, 2012 May 10 [cited 2020 February 27]. Available from: <https://servirglobal.net/Global/Articles/Article/1143/servirs-forest-fire-detection-and-monitoring-system-in-nepal>.
7. Беляев АИ, Ершов ДВ, Лупян ЕА, Романюк БВ, Сухинин АИ, Ташилин СА. Национальная система сбора, обработки и анализа информации о природных пожарах и ее сопряжение с международными и региональными информационными сетями. В: *Управление лесными пожарами на экорегиональном уровне. Материалы Международного научно-практического семинара; 9–12 сентября 2003 г.; Хабаровск, Россия*. Москва: Алек; 2004. с. 156–166.
8. Лупян ЕА, Баргалева СА, Ершов ДВ, Котельников РВ, Балашов ИВ, Бурцев МА и др. Организация работы со спутниковыми данными в информационной системе дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства (ИСДМ-Рослесхоз). *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2015;12(5):222–250.
9. Fire Information for Resource Management System (FIRMS) [Internet]. 2020 [cited 2020 February 29]. Available from: <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/>.
10. Global Wildfire Information System (GWIS) [Internet]. 2020 [cited 2020 February 29]. Available from: <https://gwis.jrc.ec.europa.eu/>.
11. European Forest Fire Information System (EFFIS) [Internet]. 2020 [cited 2020 February 29]. Available from: <https://effis.jrc.ec.europa.eu/>.
12. ScanEx Fire Monitoring Service in Russia [Internet]. 2010 July 6 [cited 2021 June 13]. Available from: <https://www.scanex.ru/company/smi/scanex-fire-monitoring-service-in-russia1903/>.
13. MODIS components [Internet]. 2020 [cited 2021 September 18]. Available from: <https://modis.gsfc.nasa.gov/about/components.php>.
14. OpenStreetMap [Internet]. 2020 [cited 2020 February 28]. Available from: <https://www.openstreetmap.org/>.
15. Камітэт па зямельных рэсурсах, геадэзіі і картаграфіі пры Савеце Міністраў Рэспублікі Беларусь. *Нацыянальны атлас Беларусі*. Мясніковіч МУ, Казулін АУ, Шымаў УМ, Пірожнік ІІ, Цэйрэфман КА, Пашкевіч МФ і інш., рэдактары. Мінск: Белкартаграфія; 2002. 292 с.
16. Regulation (EU) No. 377/2014 of the European Parliament and of the Council of 3 April 2014 establishing the Copernicus Programme and repealing Regulation (EU) No. 911/2010 (Text with EEA relevance). *Official Journal of the European Union*. 2014;L122:44–66.
17. Sentinel-2 – the operational Copernicus optical high resolution land mission [Internet]. European Space Agency, 2013 [cited 2021 April 16]. Available from: [https://esamultimedia.esa.int/docs/S2-Data\\_Sheet.pdf](https://esamultimedia.esa.int/docs/S2-Data_Sheet.pdf).
18. Sentinel-2 [Internet]. 2021 [cited 2021 February 28]. Available from: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2>.
19. U. S. Geological Survey. Landsat – Earth observation satellites (version 1.2, April 2020): USGS Fact Sheet 2015-3081 [Internet]. 2020 [cited 2021 June 15]. Available from: <https://doi.org/10.3133/fs20153081>.

20. Белорусский космический аппарат (БКА) [Интернет]. Геоинформационные системы, 2021 [процитировано 28 февраля 2021 г.]. Доступно по: <https://gis.by/ru/tech/bka>.
21. St. Laurent AM. *Understanding open source and free software licensing*. Sebastopol: O'Reilly Media; 2008. 231 p.
22. Eo-learn [Internet]. 2020 [cited 2020 February 28]. Available from: <https://eo-learn.readthedocs.io/en/latest/>.
23. Index DataBase: a database for remote sensing indices [Internet]. The IDB Project, 2011– [cited 2020 March 21]. Available from: <https://www.indexdatabase.de/db/i-single.php?id=53>.
24. Stehman SV. Selecting and interpreting measures of thematic classification accuracy. *Remote Sensing of Environment*. 1997; 62(1):77–89. DOI: 10.1016/S0034-4257(97)00083-7.
25. ENVI [Internet]. L3Harris Geospatial Solutions, 2020 [cited 2020 March 22]. Available from: <https://www.l3harrisgeospatial.com/Software-Technology/ENVI>.
26. Henry F, Herwindiati DE, Mulyono S, Hendryli J. Sugarcane land classification with satellite imagery using logistic regression model. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2017;185:012024. DOI: 10.1088/1757-899X/185/1/012024.
27. Otsu N. A threshold selection method from gray-level histograms. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*. 1979; 9(1):62–66. DOI: 10.1109/TSMC.1979.4310076.
28. Ping-Sung Liao, Tse-Sheng Chen, Pau-Choo Chung. A fast algorithm for multilevel thresholding. *Journal of Information Science and Engineering*. 2001;17(5):713–727.

## References

1. Bariev ER, Zolotoy SA, Kotov SG, Kudryashov AN, Semenov OA. *Sovershenstvovanie tekhnicheskikh sredstv povysheniya operativnosti obnaruzheniya prirodnykh pozharov* [Improvement of technical means for increasing the efficiency of detecting natural fires]. Minsk: Belarusian State Centre for Accreditation, Ministry of Emergencies of the Republic of Belarus; 2009. 174 p. Russian.
2. Key CH, Benson N, Ohlen D, Howard S, McKinley R, Zhu Z. The normalized burn ratio and relationships to burn severity: ecology, remote sensing and implementation. In: Greer JD, editor. *Rapid delivery of remote sensing products. Proceedings of the Ninth Forest Service remote sensing applications conference; 2002 April 8–12; San Diego, USA* [CD-ROM]. Bethesda: American Society for Photogrammetry and Remote Sensing; 2002. 1 CD-ROM: 4 3/4 in.
3. Tran BN, Tanase MA, Bennett LT, Aponte C. Evaluation of spectral indices for assessing fire severity in Australian temperate forests. *Remote Sensing*. 2018;10(11):1680. DOI: 10.3390/rs10111680.
4. French NHF, Kasischke ES, Hall RJ, Murphy KA, Verbyla DL, Hoyet EE, et al. Using Landsat data to assess fire and burn severity in the North American boreal forest region: an overview and summary of results. *International Journal of Wildland Fire*. 2008;17(4):443–462. DOI: 10.1071/WF08007.
5. Harris S, Veraverbeke S, Hook S. Evaluating spectral indices for assessing fire severity in chaparral ecosystems (southern California) using MODIS/ASTER (MASTER) airborne simulator data. *Remote Sensing*. 2011;3(11):2403–2419. DOI: 10.3390/rs3112403.
6. SERVIR's Forest Fire Detection and Monitoring System in Nepal [Internet]. SERVIR, 2012 May 10 [cited 2020 February 27]. Available from: <https://servirglobal.net/Global/Articles/Article/1143/servirs-forest-fire-detection-and-monitoring-system-in-nepal>.
7. Belyaev AI, Ershov DV, Lupyan EA, Romanyuk BV, Sukhinin AI, Tashchilin SA. [National system for collecting, processing and analysing information on wildfires and its interface with international and regional information networks level]. In: *Upravlenie lesnymi pozharami na ekoregional'nom urovne. Materialy Mezhdunarodnogo nauchno-prakticheskogo seminar; 9–12 sentyabrya 2003 g.; Khabarovsk, Rossiya* [Materials of the International scientific and practical seminar; 2003 September 9–12; Khabarovsk, Russia]. Moscow: Aleks; 2004. p. 156–166. Russian.
8. Loupian EA, Bartalev SA, Ershov DV, Kotel'nikov RV, Balashov IV, Burtsev MA, et al. Satellite data processing management in Forest Fires Remote Monitoring Information System (ISDM-Rosleskhoz) of the Federal Agency for Forestry. *Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space*. 2015;12(5):222–250. Russian.
9. Fire Information for Resource Management System (FIRMS) [Internet]. 2020 [cited 2020 February 29]. Available from: <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/>.
10. Global Wildfire Information System (GWIS) [Internet]. 2020 [cited 2020 February 29]. Available from: <https://gwis.jrc.ec.europa.eu/>.
11. European Forest Fire Information System (EFFIS) [Internet]. 2020 [cited 2020 February 29]. Available from: <https://effis.jrc.ec.europa.eu/>.
12. ScanEx Fire Monitoring Service in Russia [Internet]. 2010 July 6 [cited 2021 June 13]. Available from: <https://www.scanex.ru/company/smi/scanex-fire-monitoring-service-in-russia1903/>.
13. MODIS components [Internet]. 2020 [cited 2021 September 18]. Available from: <https://modis.gsfc.nasa.gov/about/components.php>.
14. OpenStreetMap [Internet]. 2020 [cited 2020 February 28]. Available from: <https://www.openstreetmap.org/>.
15. Committee on Land Resources, Geodesy and Cartography under the Council of Ministers of the Republic of Belarus. *Natsyjanal'ny atlas Belarusi* [National atlas of Belarus]. Mjasnikovich MU, Kazulin AU, Shymaw UM, Pirozhnik II, Cjejrjefman KA, Pashkevich ME, et al., editors. Minsk: Belkartagrafija; 2002. 292 p. Belarusian.
16. Regulation (EU) No. 377/2014 of the European Parliament and of the Council of 3 April 2014 establishing the Copernicus Programme and repealing Regulation (EU) No. 911/2010 (Text with EEA relevance). *Official Journal of the European Union*. 2014;L122:44–66.
17. Sentinel-2 – the operational Copernicus optical high resolution land mission [Internet]. European Space Agency, 2013 [cited 2021 April 16]. Available from: [https://esamultimedia.esa.int/docs/S2-Data\\_Sheet.pdf](https://esamultimedia.esa.int/docs/S2-Data_Sheet.pdf).
18. Sentinel-2 [Internet]. 2021 [cited 2021 February 28]. Available from: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2>.
19. U. S. Geological Survey. Landsat – Earth observation satellites (version 1.2, April 2020): USGS Fact Sheet 2015-3081 [Internet]. 2020 [cited 2021 June 15]. Available from: <https://doi.org/10.3133/fs20153081>.
20. Belarusian Spacecraft (BS) [Internet]. Geoinformation systems, 2021 [cited 2021 February 28]. Available from: <https://gis.by/en/tech/bka>.
21. St. Laurent AM. *Understanding open source and free software licensing*. Sebastopol: O'Reilly Media; 2008. 231 p.

22. Eo-learn [Internet]. 2020 [cited 2020 February 28]. Available from: <https://eo-learn.readthedocs.io/en/latest/>.
23. Index DataBase: a database for remote sensing indices [Internet]. The IDB Project, 2011– [cited 2020 March 21]. Available from: <https://www.indexdatabase.de/db/i-single.php?id=53>.
24. Stehman SV. Selecting and interpreting measures of thematic classification accuracy. *Remote Sensing of Environment*. 1997; 62(1):77–89. DOI: 10.1016/S0034-4257(97)00083-7.
25. ENVI [Internet]. L3Harris Geospatial Solutions, 2020 [cited 2020 March 22]. Available from: <https://www.l3harrisgeospatial.com/Software-Technology/ENVI>.
26. Henry F, Herwindiati DE, Mulyono S, Hendryli J. Sugarcane land classification with satellite imagery using logistic regression model. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2017;185:012024. DOI: 10.1088/1757-899X/185/1/012024.
27. Otsu N. A threshold selection method from gray-level histograms. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*. 1979; 9(1):62–66. DOI: 10.1109/TSMC.1979.4310076.
28. Ping-Sung Liao, Tse-Sheng Chen, Pau-Choo Chung. A fast algorithm for multilevel thresholding. *Journal of Information Science and Engineering*. 2001;17(5):713–727.

Получена 05.01.2022 / исправлена 18.03.2022 / принята 24.03.2022.  
Received 05.01.2022 / revised 18.03.2022 / accepted 24.03.2022.

## ПОСТИНДУСТРИАЛЬНЫЕ СДВИГИ В ДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ МИРА

В. М. ЗАЙЦЕВ<sup>1)</sup>, Л. О. ЖИГАЛЬСКАЯ<sup>2)</sup>

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

<sup>2)</sup>Институт экономики НАН Беларуси, ул. Сурганова, 1, корп. 2, 220072, г. Минск, Беларусь

Рассматриваются изменения в отраслевой и пространственной структуре добывающей промышленности мира, которые произошли за период 1980–2019 гг. в условиях постиндустриального развития мирового хозяйства. Актуальность исследования обусловлена глобальным процессом дематериализации экономики под влиянием научно-технического прогресса и перехода мирового производства на принципы устойчивого развития, что влечет за собой не только изменение роли добывающей промышленности в структуре хозяйства, но и качественную трансформацию ее пространственной организации. На основе расчета индексов, характеризующих интенсивность динамики, структурные сдвиги и пространственную концентрацию объемов добычи минерального сырья, с последующей интерпретацией их значений были выявлены ключевые тенденции развития добывающей промышленности и особенности составляющих ее отраслей, которые включают добычу угля, нефти, природного газа, железной руды, бокситов, меди, калийных солей и фосфоритов. В ходе проведенного исследования установлено, что специфика развития добывающей промышленности в постиндустриальный период заключается в положительной динамике ее функционирования, стабилизации отраслевой структуры и упрочнении позиций развивающихся стран и отдельных регионов в добыче минеральных ресурсов. Полученные результаты позволяют оценить особенности процессов, протекающих в первичном секторе мирового хозяйства на современном этапе развития, и роль отдельных стран и регионов в добывающей промышленности мира.

**Ключевые слова:** добывающая промышленность; постиндустриализм; отраслевая структура; пространственная концентрация; региональная структура; структурный сдвиг.

## POST-INDUSTRIAL SHIFTS IN THE WORLD'S MINING INDUSTRY

V. M. ZAITSEV<sup>a</sup>, L. O. ZHIGALSKAYA<sup>b</sup>

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

<sup>b</sup>Institute of Economics, National Academy of Sciences of Belarus,  
1 Surhanava Street, 2 building, Minsk 220072, Belarus

Corresponding author: L. O. Zhigalskaya (zhigalsk.geo1@mail.ru)

The changes in the sectoral and spatial structure of the world's mining industry that occurred the period during 1980–2019 in the conditions of post-industrial development of the world economy are considered. The relevance of the

### Образец цитирования:

Зайцев ВМ, Жигальская ЛО. Постиндустриальные сдвиги в добывающей промышленности мира. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология.* 2022;1:71–86.

<https://doi.org/10.33581/2521-6740-2022-1-71-86>

### For citation:

Zaitsev VM, Zhigalskaya LO. Post-industrial shifts in the world's mining industry. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology.* 2022;1:71–86. Russian.  
<https://doi.org/10.33581/2521-6740-2022-1-71-86>

### Авторы:

**Владимир Михайлович Зайцев** – кандидат географических наук, доцент; доцент кафедры экономической и социальной географии факультета географии и геоинформатики.  
**Лилия Олеговна Жигальская** – кандидат географических наук; ведущий научный сотрудник сектора эффективности использования минерально-сырьевых ресурсов отдела мониторинга социально-экономического развития.

### Authors:

**Vladimir M. Zaitsev**, PhD (geography), docent; associate professor at the department of economic and social geography, faculty of geography and geoinformatics.  
[zaitssauu@tut.by](mailto:zaitssauu@tut.by)  
**Liliya O. Zhigalskaya**, PhD (geography); leading researcher at the section of mineral resources efficiency, department for monitoring of socio-economic development.  
[zhigalsk.geo1@mail.ru](mailto:zhigalsk.geo1@mail.ru)  
<https://orcid.org/0000-0002-5313-0170>

study is dictated by the global process of dematerialisation of the economy under the influence of scientific and technological progress and the transition of world production to the principles of sustainable development, which causes not only a change in the role of the mining industry in the structure of the economy, but also entails a qualitative transformation of its spatial structure. On the base of calculations of indices characterising the intensity of dynamics, structural shifts and the spatial concentration of the volumes of mineral raw materials extraction with the subsequent interpretation of their values, the key trends in the development of the mining industry and the features characteristic of its constituent sectors, including the extraction of coal, oil, natural gas, iron ore, bauxite, copper, potash and phosphate rock were identified. The result of the conducted research is the revealed features of the mining industry development in the post-industrial period, which consist of positive dynamics of its functioning, stabilisation of the sectoral structure and strengthening of the positions of developing countries and individual regions in the extraction of mineral resources. The obtained results allow us to assess the features of processes taking place in the primary sector of the world economy at the present stage of development and the role of individual countries and regions in the mining industry of the world.

**Keywords:** mining industry; post-industrialism; sectoral structure; spatial concentration; regional structure; structural shift.

## Введение

Современная мировая экономика развивается в условиях трансформаций, происходящих на фоне перехода к постиндустриальной модели хозяйствования, основу которой составляют высокотехнологическая промышленность и сфера услуг. В этой модели значение добывающей промышленности в мировом ВВП (до 5 % в 2019 г.), занятости, внешнеторговом обороте снижается, однако она остается важнейшим сегментом глобальной экономики, формирующим надежное основание для динамичного и качественного развития промышленного производства.

В новых условиях происходят стремительный рост численности населения, урбанизация, социально-экономическое развитие, что способствует спросу, в том числе на минерально-сырьевую продукцию и металлы. Но часто удовлетворение этого спроса накладывает издержки на окружающую среду и ставит под вопрос обеспеченность ресурсами будущих поколений людей. Решение данных проблем лежит в плоскости концепции устойчивого развития, которая обуславливает широкое внедрение ресурсосберегающих технологий, позволяющих затрачивать меньшее количество сырья на производство готовой продукции, а также развитие переработки и повторного использования ресурсов. В связи с этим трансформируется и сама добывающая промышленность, в частности происходят изменения в ее динамике и структуре в постиндустриальный период. Таким образом, исследование ставило своей целью определение структурных и пространственных сдвигов в мировой горнодобывающей промышленности в условиях развития экономики постиндустриального типа. В круг исследуемых вопросов входили:

- определение тенденций динамики и изменений отраслевой и пространственной структуры мировой горнодобывающей промышленности;
- выявление экономико-географических особенностей развития отдельных подотраслей добывающей промышленности;
- оценка интенсивности пространственных и структурных сдвигов в добыче различных видов минеральных полезных ископаемых.

В настоящее время большое внимание уделяется изучению роли добывающей промышленности в глобальной экономике, что, в частности, нашло отражение в ряде исследований В. Б. Кондратьева, Е. А. Борецкого, М. С. Егоровой, И. А. Родионовой, М. Эриксона, О. Лофа, Т. Эдисона, А. Роу, Д. Хамфриса [1–6] и др. В них отмечается снижение доли добывающей промышленности в структуре индустрии большинства экономически развитых стран до уровня 1–2 %, что было обусловлено не только истощением и ухудшением качественного состава их ресурсной базы, но и увеличением добычи топлива и сырья в развивающихся государствах [6]. В связи с этим особый интерес представляют исследования горнодобывающей промышленности в развивающихся странах, которые в настоящее время являются движущей силой роста данного сегмента экономики. В поле зрения ученых находятся различные аспекты развития добывающей промышленности Китая [7–9], Индии [10–12], Бразилии [13; 14], Перу [15], Таджикистана [16] и других государств.

Теоретическая основа исследования базируется на результатах научных разработок И. А. Родионовой, А. А. Мальцева, М. М. Лобанова, Ю. Ю. Ковалева, А. О. Соболева, А. С. Бурнасова, Ю. П. Грицака, Е. А. Козловского и Н. С. Мироненко с соавторами [17–23], в которых затрагиваются вопросы постиндустриальных структурных и пространственных сдвигов в развитии мирового минерально-сырьевого комплекса.

## Материалы и методы исследования

Изучение постиндустриальных сдвигов в добывающей промышленности мира включало два этапа. На первом этапе была рассмотрена добывающая промышленность в целом, а именно динамика ее отраслевой и пространственной структуры за период 1985–2019 гг. на основе статистических данных, предоставляемых Федеральным министерством сельского хозяйства, регионов и туризма Австрии совместно с Международным организационным комитетом Всемирного горного конгресса [24]. На втором этапе проанализированы ключевые отрасли добывающей индустрии, включающие добычу угля, нефти, природного газа, железной руды, бокситов, меди, калийных солей и фосфоритов, на основе статистических материалов Геологической службы Великобритании [25]. Итогом этих двух этапов стало выявление особенностей динамики развития отраслевой, региональной и страновой структуры добывающей промышленности мира, имевших место с 1980 по 2019 г.

Для оценки интенсивности изменений, происходящих в промышленности, были рассчитаны и проанализированы темпы роста ( $T_p$ ) объемов добычи минеральных ресурсов за период 1980–2019 гг. Определение степени трансформации региональной структуры выполнено на основе расчета и интерпретации индекса Рябцева ( $I_R$ ), выявления изменений и степени пространственной концентрации – с использованием индекса Херфиндаля – Хиршмана (ННН).

Темпы роста – процентное отношение двух уровней динамического ряда [26] – вычислялись по формуле

$$T_p = \frac{y_i}{y_0} \cdot 100,$$

где  $y_i$  – значение показателя в текущем периоде;  $y_0$  – значение показателя в базовом периоде.

Индекс Рябцева рассчитывался по формуле

$$I_R = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_i^1 - d_i^0)^2}{\sum_{i=1}^n (d_i^1 + d_i^0)^2}},$$

где  $d^1, d^0$  – удельные веса признаков в совокупностях;  $i$  – число градаций в структурах;  $n$  – количество единиц совокупности.

Целесообразность использования индекса Рябцева для изучения интенсивности структурных сдвигов в добывающей промышленности обусловлена его применимостью на любой совокупности статистических данных, наличием шкалы оценки меры существенности структурных различий (табл. 1), что позволяет интерпретировать полученные значения индекса без дополнительного проведения сравнительного анализа [27], а также отсутствием завышения значений структурных изменений. Кроме того, ряд исследований [27–29] подтверждают использование данного индекса как наиболее предпочтительного для выявления степени структурных сдвигов и определения устойчивости изучаемой системы.

Таблица 1

### Шкала оценки меры существенности структурных сдвигов по индексу Рябцева

Table 1

#### Scale for assessing the significance of structural changes according to the Ryabtsev index

Интервал значений индекса	Характеристика меры структурных различий
0,000–0,030	Тождественность структур
0,031–0,070	Весьма низкий уровень различия структур
0,071–0,150	Низкий уровень различия структур
0,151–0,300	Существенный уровень различия структур
0,301–0,500	Значительный уровень различия структур

Интервал значений индекса	Характеристика меры структурных различий
0,501–0,700	Весьма значительный уровень различий структур
0,701–0,900	Противоположный тип структур
0,901 и более	Полная противоположность структур

Источник: [30].

Для определения пространственной концентрации добывающей промышленности и ее подотраслей на региональном и страновом уровнях был рассчитан индекс Херфиндаля – Хиршмана:

$$HHI = \sum_{i=1}^n d_i^2,$$

где  $d_i$  – доля (удельный вес)  $i$ -й единицы в общем объеме изучаемого признака;  $n$  – количество единиц совокупности.

Значения индекса Херфиндаля – Хиршмана изменяются от 0 до 10 000. Чем больше значение индекса, тем выше пространственная концентрация промышленности (отрасли). Соответственно, можно выделить три уровня концентрации [31]:

- низкий ( $HHI < 1000$ );
- умеренный ( $1000 \leq HHI < 2000$ );
- высокий ( $HHI \geq 2000$ ).

Индекс Херфиндаля – Хиршмана рассчитывался в динамике за период 1980–2019 гг., что позволило судить об общем тренде в пространственной концентрации промышленности (отрасли).

Взятая за основу методика широко применяется для проведения подобных исследований. Она рекомендовала себя как оптимальная методика для получения данных не только о направленности, но и об интенсивности происходящих в отрасли хозяйства структурных и пространственных изменений.

Отметим, что, помимо вышеназванных основных источников статистических материалов [24; 25], для проведения расчетов и анализа использовались данные Всемирного банка [32], транснациональной нефтегазовой компании «BP» [33], Геологической службы США [34].

Полученные в ходе исследования результаты согласуются с ранее сделанными выводами в этой области и являются дополнением в части выделенных современных особенностей, усиливающих уже доказанные тренды.

## Результаты и их обсуждение

**Динамика, отраслевая и пространственная структура добывающей промышленности мира.** За период 1985–2019 гг. добыча полезных ископаемых в мире увеличилась почти в 2 раза (с 9,6 до 17,9 млрд т) (табл. 2). Наибольшие темпы роста добычи характерны для руд черных (311,3 %) и цветных (290,7 %) металлов, наименьшие – для драгоценных металлов (150,0 %) и промышленных минералов (170,3 %), представленных асбестом, графитом, гипсом и ангидридом, каолином, магнезитом, фосфатами, солями, серой, тальком, цирконом и др. В структуре добычи лидирующие позиции занимает минеральное топливо (уголь, природный газ, нефть, горючие сланцы, уран) при общей тенденции к снижению. На его долю приходится более 80 % всех добываемых полезных ископаемых. Такой высокий удельный вес данной группы ресурсов объясняется их стратегическим значением в обеспечении сырьем топливно-энергетического комплекса. Возросла доля добычи железной руды и ферросплавных металлов в общей структуре (до 8,9 % в 2019 г.). Это обусловлено стремительным ростом добычи железной руды в развивающихся странах, ориентированных на обеспечение внутренних потребностей и на экспорт в условиях благоприятной конъюнктуры мирового рынка черных металлов. Удельный вес других видов полезных ископаемых – цветных и драгоценных металлов, промышленных минералов – остается достаточно стабильным на протяжении рассматриваемого периода. Отметим, что развитие отрасли в условиях пандемии COVID-19 характеризуется спадом производства ввиду полной или частичной приостановки добычи в ряде стран и снижения мирового спроса на сырьевые товары. Однако на фоне других отраслей хозяйства горнодобывающая промышленность демонстрирует относительную устойчивость к влиянию пандемии.

Таблица 2

Динамика и структура добычи минерального сырья в мире в 1985–2019 гг.

Table 2

Dynamics and structure of the mineral raw materials mining in the world in 1985–2019

Виды полезных ископаемых	1985 г.		2000 г.		2019 г.		Темпы роста добычи в 2019 г. по отношению к показателям 1985 г., %
	Млн т	%	Млн т	%	Млн т	%	
Железо и ферросплавные металлы	510,1	5,3	627,3	5,6	1587,9	8,9	311,3
Цветные металлы	35,3	0,4	50,0	0,4	102,6	0,6	290,7
Драгоценные металлы	0,02	0,0002	0,02	0,0002	0,03	0,0002	150,0
Промышленные минералы	468,0	4,8	539,0	4,8	797,1	4,4	170,3
Минеральное топливо	8632,0	89,5	10 074,7	89,2	15 435,8	86,1	178,8
<i>Всего</i>	9645,4	100,0	11 291,0	100,0	17 923,4	100,0	185,8

Примечание. Составлено авторами по данным [24].

В постиндустриальную эпоху безусловным лидером по добыче минерально-сырьевых ресурсов среди макрорегионов мира становится Азия, которая с течением времени только укрепляет свои позиции. Так, если в 1985 г. доля Азиатского региона в общей структуре добычи составляла 38,8 %, то в 2019 г. она достигала 58,9 %. Нарастание добычи полезных ископаемых в регионе связано с ростом промышленного производства в целом, что требует ресурсного обеспечения. Кроме того, Азия выходит на передовые позиции по торговле ресурсами благодаря проводимой политике наращивания экспорта. С 1991 г. второе место по объемам добычи занимает Северная Америка, обогнав Европу, которая в настоящее время располагается на третьем месте (табл. 3). Среди всех макрорегионов снижение добычи полезных ископаемых наблюдается только в Европе, что обусловлено истощением ресурсной базы, а также экономическим фактором (добыча сырья за рубежом обходится дешевле) и экологическим фактором (чаще всего добыча полезных ископаемых является экологически небезопасным видом деятельности, что приводит к нарушению природных экосистем). Существенное снижение удельного веса Европы – кардинальный сдвиг в региональной структуре. Замедление темпов развития добывающей промышленности в Северной Америке обусловило снижение доли данного региона в общей региональной структуре добычи минерально-сырьевых ресурсов с 21,5 % в 1985 г. до 15,8 % в 2019 г. Четырехкратное увеличение добычи минеральных ресурсов в Океании определило рост ее удельного веса в общей структуре с 2,9 % в 1985 г. до 7,0 % в 2019 г. Это еще один кардинальный сдвиг в региональной структуре. В Африканском и Латинскоамериканском макрорегионах темпы роста добычи полезных ископаемых за исследуемый период составили 177,4 и 181,4 % соответственно при устойчивости их позиций в общей структуре добычи.

Таблица 3

Динамика и структура добывающей промышленности в макрорегионах мира в 1985–2019 гг.

Table 3

Dynamics and structure of the mineral raw materials mining by world regions in 1985–2019

Макрорегион	1985 г.		2000 г.		2019 г.		Темпы роста добычи в 2019 г. по отношению к показателям 1985 г., %
	Млн т	%	Млн т	%	Млн т	%	
Африка	554	5,7	766	6,8	983	5,5	177,4
Азия	3739	38,8	5043	44,7	10 549	58,9	282,1
Европа	2435	25,2	1753	15,5	1267	7,1	52,0
Латинская Америка	566	5,9	909	8,0	1027	5,7	181,4
Северная Америка	2071	21,5	2280	20,4	2835	15,8	136,9
Океания	280	2,9	515	4,6	1261	7,0	450,4

Примечание. Составлено авторами по данным [24].

Индекс Рябцева для региональной структуры добывающей промышленности мира в 2019 г. по отношению к таковой в 1985 г. составил 0,252 (табл. 4), что свидетельствует о существенном уровне их различия. Таким образом, вышеописанные кардинальные сдвиги в развитии добывающей промышленности в отдельных регионах способствовали изменению ее региональной структуры в целом.

Таблица 4

**Значение индекса Рябцева для региональной структуры добывающей промышленности мира**

Table 4

**The value of the Ryabtsev index for the regional structure of mining industry of the world**

Сравнительный период	Индекс Рябцева	Характеристика меры структурных различий*
2000 г. по отношению к 1985 г.	0,113	Низкий уровень различия структур
2019 г. по отношению к 2000 г.	0,153	Существенный уровень различия структур
2019 г. по отношению к 1985 г.	0,252	Существенный уровень различия структур

\*Согласно шкале оценки по индексу Рябцева (см. табл. 1).

Изменения в пространственной концентрации добывающей промышленности в разрезе регионов, определяемые на основе динамики индекса Херфиндаля – Хиршмана за период 1985–2019 гг. (рис. 1), заключаются в постоянном росте его значений с 2677 до 3877, который наиболее интенсивно проявляется с начала 2000-х гг. Данный факт еще раз подтверждает возрастание роли Азиатского региона в добыче минерального сырья, а значения индекса более 2000 свидетельствуют о сложившейся высокой пространственной концентрации отрасли.

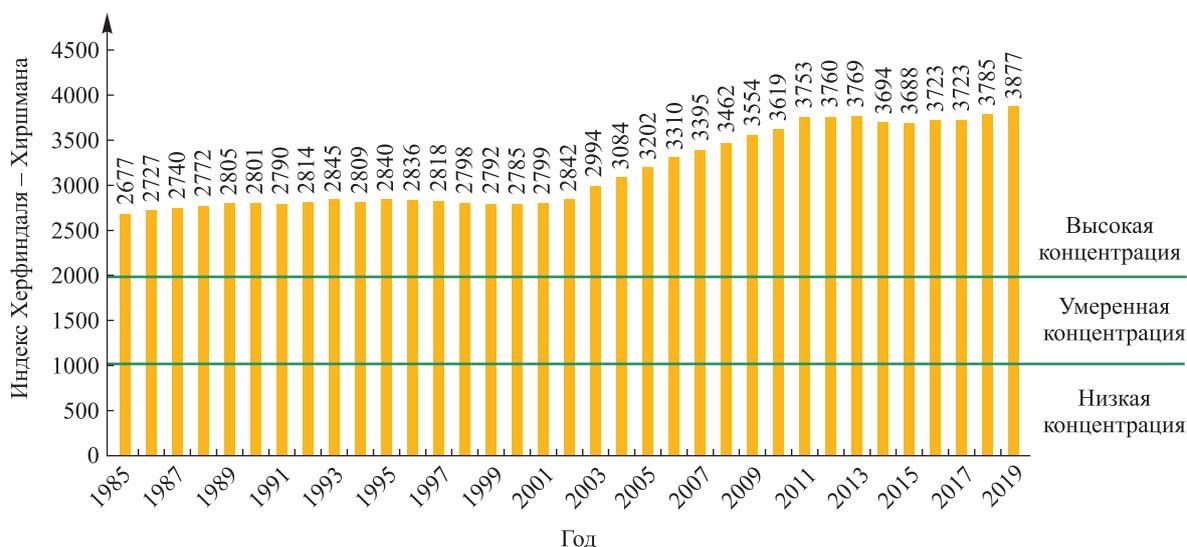


Рис. 1. Динамика индекса Херфиндаля – Хиршмана по объему добываемых минеральных ресурсов в разрезе макрорегионов мира в 1985–2019 гг. (составлено авторами по данным [24])

Fig. 1. Dynamics of the Herfindahl – Hirschman index in terms of the extracted mineral resources volume in the context of the world’s macroregions in 1985–2019 (compiled by the authors on the basis of [24])

Анализ динамики объемов добычи минеральных ресурсов в разрезе групп стран по уровню социально-экономического развития показал стремительный рост в развивающихся государствах, на долю которых в 2019 г. приходилось 58,4 % (рис. 2). Очень медленно увеличивает свою долю в мировой добыче группа наименее развитых стран (только в 2002 г. их доля превысила отметку 1 %). Наблюдается сокращение удельного веса за период 1995–2019 гг. как развитых стран (с 34,2 до 27,7 %), так и стран с переходной экономикой (с 18,3 до 12,8 %). В целом можно отметить, что изменения, происходящие в структуре добычи минеральных ресурсов по группам стран на протяжении 1995–2019 гг., носят устой-

чивый характер, но пока не привели к кардинальным сдвигам. Это обусловлено спецификой мирового рынка минерального сырья, суть которой состоит в вытеснении грязных добывающих производств с территории большинства развитых стран, следующих экологической риторике, в развивающиеся индустриальные страны и страны третьего мира, которые развивают данный сектор экономики в целях привлечения иностранных инвестиций, обеспечения растущих внутренних потребностей и участия в рамках специализации в международной торговле.

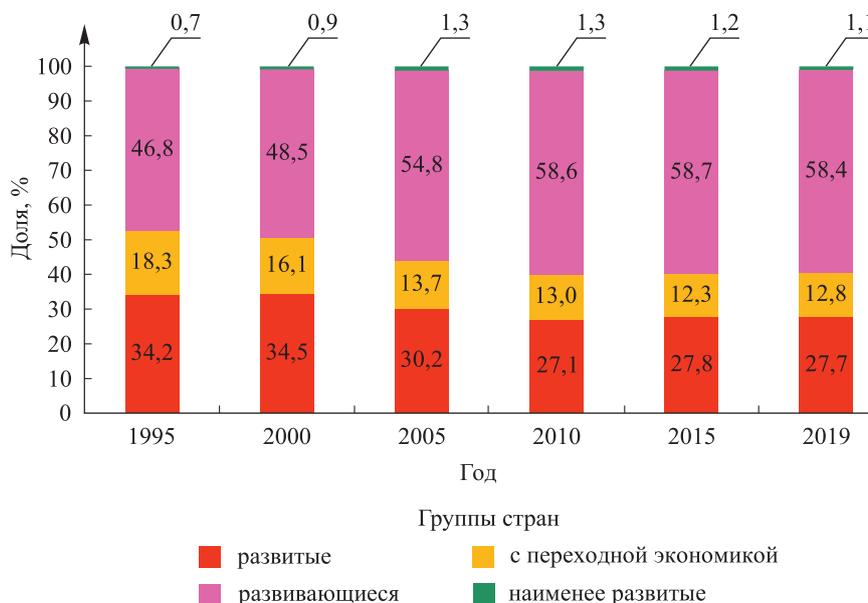


Рис. 2. Структура добычи минеральных ресурсов в разрезе групп стран по уровню социально-экономического развития в 1985–2019 гг. (составлено авторами по данным [24])

Fig. 2. The structure of the extraction of mineral resources in the context of country groups by the level of socio-economic development in 1985–2019 (compiled by the authors on the basis of [24])

В международном географическом разделении труда в горнодобывающей промышленности выделяются 5 стран, на долю которых приходится более половины (58,8 % в 2019 г.) всего извлекаемого ежегодно минерального сырья. Две из них (США (в 2019 г. было добыто 2,3 млрд т, или 12,8 % мирового объема) и Австралия (1,4 млрд т, или 7,4 %)) относятся к развитым странам, две (Китай (4,3 млрд т, или 23,6 %) и Индия (1,1 млрд т, или 5,8 %)) – к странам с наиболее быстро развивающимися в настоящее время экономиками мира, одна (Россия (1,7 млрд т, или 9,2 %)) – к странам с переходной экономикой. Однако стоит отметить, что роль добывающей промышленности в структуре ВВП по странам существенно дифференцирована. Так, в 2019 г. только в 5 государствах (Конго, Монголия, Габон, Ливия, Казахстан) из рассматриваемых 159 стран доля добывающей промышленности в ВВП составила более 50 %. Исходя из данных, представленных на рис. 3, можно заключить, что низким удельным весом добывающей промышленности в ВВП обладают страны с высоким уровнем социально-экономического развития (например, Бельгия (менее 0,1 %), Швейцария (менее 0,01 %), Япония (менее 0,1 %), Франция (0,1 %), Италия (0,2 %), США (2,6 %) и т. д.) либо страны, относительно бедные минеральными ресурсами (Парагвай (менее 0,1 %), Камбоджа (менее 0,1 %), Молдова (менее 0,1 %) и др.).

Таким образом, за анализируемый период структура добываемых минеральных ресурсов существенных изменений не претерпела, в то время как пространственная структура добывающей промышленности характеризуется усилением классических постиндустриальных тенденций, в частности выходом на первый план и укреплением позиций развивающихся индустриальных стран и регионов.

**Пространственная концентрация и структурные особенности отраслей добывающей промышленности.** Многообразие видов добываемого минерального сырья обуславливает обширную отраслевую структуру добывающей промышленности. В рамках исследования авторами проанализированы динамика, региональная и отраслевая структура следующих минеральных ресурсов, составляющих основу добывающей промышленности: нефти, природного газа, угля, железной руды, бокситов, меди, калийных солей и фосфоритов (табл. 5).

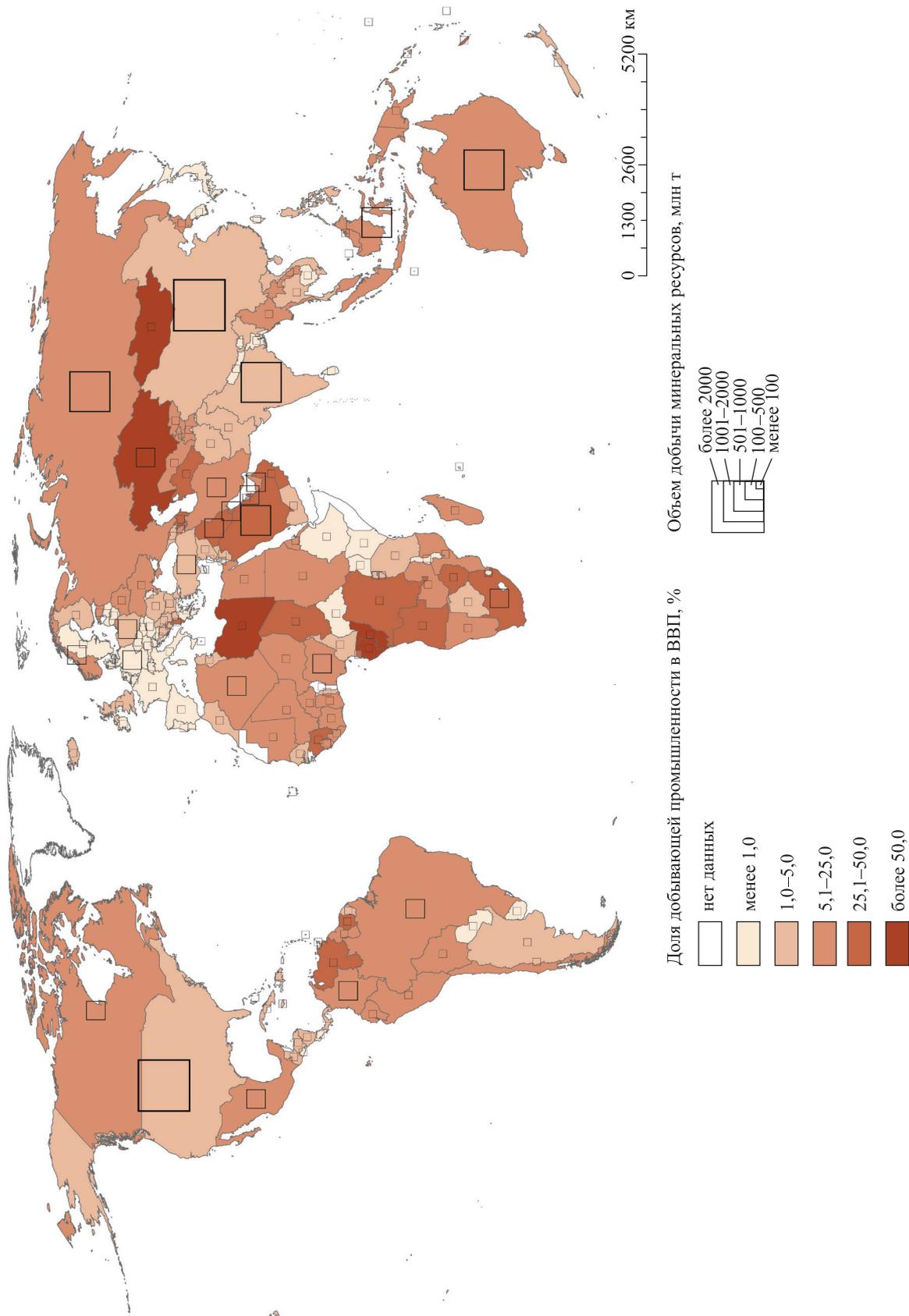


Рис. 3. Роль добывающей промышленности в странах мира в 2019 г. (составлено авторами по данным [24; 32])  
 Fig. 3. The role of the mining industry in the countries of the world in 2019 (compiled by the authors on the basis of [24; 32])

Нефть, потеснив уголь и став незаменимым источником сырья и энергии, является важнейшим ресурсом и в эпоху постиндустриального развития. Годовой объем ее добычи в 2019 г. увеличился на 49 % по сравнению с показателями 1980 г. и составил 4,5 млрд т. Существенных трансформаций в региональной структуре нефтедобычи за рассматриваемый период не наблюдается. Так, бесспорное лидерство принадлежит Азиатскому региону, доля которого составляет 38 %, при этом наибольший вклад вносят страны Ближнего Востока. За период 1980–2019 гг. расширилась география добычи нефти, о чем свидетельствуют следующие данные: в 1980 г. в мире было всего 8 стран с добычей нефти свыше 100 млн т, в 1990 г. их стало 9, в 2000 г. – 14, но к 2019 г. количество таких стран сократилось до 11.

Рост использования природного газа связан с направленностью на обеспечение экономической эффективности и экологической безопасности мировой энергетики, так как природный газ является коммерчески выгодным и в то же время одним из наиболее чистых видов энергоресурсов из всей совокупности ископаемых источников энергии. Данный факт подтверждается характером динамики добычи природного газа. Так, за 1980–2019 гг. его добыча в мире возросла в 2,8 раза (с 1537,9 до 4232,3 млрд м<sup>3</sup>). Наиболее быстрыми темпами за рассматриваемый период увеличивалась добыча природного газа в Океании (в 16 раз), Африканском (в 16 раз) и Азиатском (в 12 раз) регионах. Исходя из динамики, наметились сдвиги в региональной структуре, наиболее существенными среди которых являются шестикратное увеличение удельного веса Азии и Океании в общей структуре, заметное снижение доли Европы (с 16,7 до 5,2 %) и Северной Америки (с 41,4 до 26,6 %). В 2019 г. крупнейшими добытчиками газа выступали США (961,3 млрд м<sup>3</sup>), Россия (738,0), Иран (244,2).

В мире наблюдается рост угледобычи. Это связано с воздействием технологических трендов и ценовых трансформаций, проявившихся на глобальных и региональных рынках энергоносителей. За период 1980–2019 гг. добыча угля увеличилась более чем в 2 раза (с 3,8 до 8,1 млрд т), при этом существенно изменилась как региональная, так и страновая структура. Во-первых, резко сократилась угледобыча в Европе (с 1217,2 млн т в 1981 г. до 577,4 млн т в 2019 г.), что обусловило ее переход к значительному импорту каменного угля. Во-вторых, произошел глобальный сдвиг угледобычи в Восточную и Южную Азию. В-третьих, начали развиваться новые ареалы угледобычи в Австралии, на юге Африки (ЮАР) и юго-востоке Азии (Индонезия), которые стали крупнейшими в мире поставщиками угля на мировой рынок. В-четвертых, отмечен сдвиг добычи угля из европейской части СНГ в азиатскую. В-пятых, лидерство в добыче угля от России и США перешло к Китаю.

В железорудной промышленности мира за последние десятилетия произошли значительные сдвиги, обусловленные усилением позиций на мировом рынке двух наиболее конкурентоспособных производителей – Бразилии и Австралии, а также развитием ориентированной на национальные рынки железорудной промышленности Китая и Индии [20]. Мировая добыча железной руды увеличилась с 896,8 млн т в 1980 г. до 3039,6 млн т в 2019 г. В региональной структуре за период 1980–2019 гг. значительно вырос удельный вес Азии (с 14,5 до 40,2 %), Океании (с 11,1 до 30,4 %), а роль всех остальных регионов снизилась (Европы – с 9,9 до 1,5 %, стран СНГ – с 27,3 до 6,8 %, Северной Америки – с 13,4 до 3,5 %, Латинской Америки – с 17,2 до 14,7 %, Африки – с 6,7 до 3,0 %). Лидирующие позиции по добыче железной руды занимают Австралия (918,7 тыс. т в 2019 г.), Китай (844,4), Бразилия (396,8), Индия (242,8), Россия (97,5).

Бокситы, в отличие от руд других цветных металлов, характеризуются высоким содержанием полезного компонента, что обуславливает эффективность их транспортировки к местам потребления [20]. Мировая добыча бокситов в последние несколько лет превысила 300 млн т, увеличившись по сравнению с показателями 1980 г. в 3,7 раза. В региональной структуре лидерство перешло от Океании к Азии. Доля Азиатского региона возросла с 6,6 % в 1980 г. до 32,0 % в 2019 г. Океания сохраняет свою позицию на протяжении последних 40 лет и добывает треть мирового объема. На 5,2 % увеличился удельный вес Африки. Доля других регионов сильно сократилась. В настоящее время странами – лидерами по добыче бокситов (более 10 млн т в год) являются Австралия, Гвинея, Китай, Бразилия, Индия, Индонезия.

Мировая добыча медных руд достигла 20 млн т, увеличившись по сравнению с 1980 г. в 2,7 раза. В начале 1980-х гг. добыча меди была сосредоточена преимущественно в Америке (45,5 %), Африке (17,7 %), СССР (12,7 %). Ускоренное развитие добычи медных руд в Китае обусловило усиление позиций Азиатского региона, доля которого в настоящее время составляет 15,9 %. На мировом уровне лидерами продолжают оставаться Чили (5,8 млн т в 2019 г.), Перу (2,5), Китай (1,7), Демократическая Республика Конго (1,4), США (1,3) и Австралия (0,9).

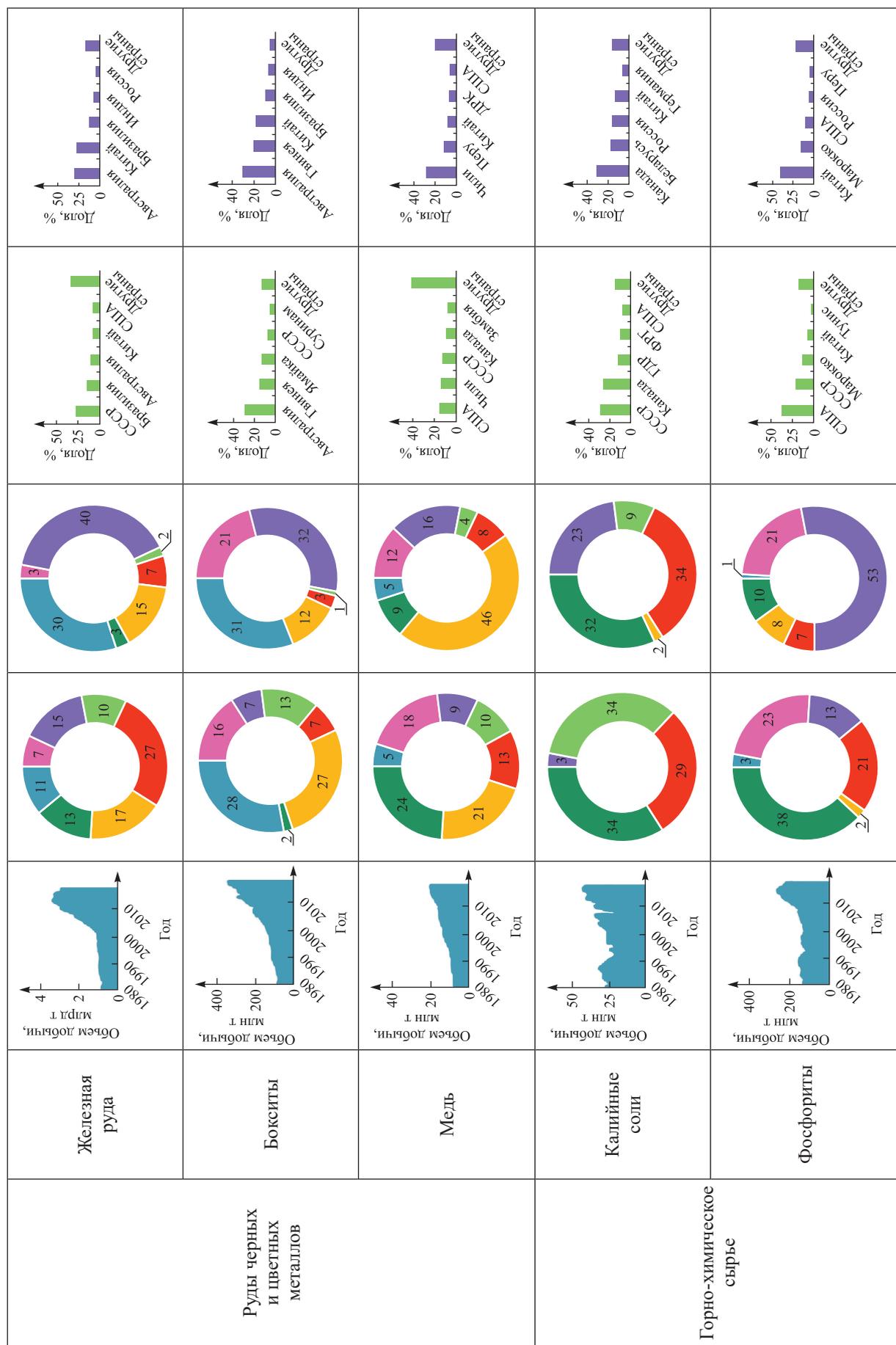
Мировая добыча калийных солей за период 1980–2019 гг. выросла в 1,5 раза (с 27,9 до 41,6 млн т). Тройка стран – лидеров по добыче калийных солей остается неизменной на протяжении очень долгого времени и совпадает с рейтингом стран, располагающих наибольшими запасами этого вида ресурса (Канада, Беларусь, Россия). Однако наблюдается усиление позиций Китая в данной отрасли добывающей промышленности: доля страны в общемировом объеме добычи выросла с 0,04 % в 1980 г. до 13,1 % в 2019 г., что обусловлено открытием новых крупных месторождений калийных солей в западной части Цайдамской котловины.

Экономико-географические особенности добывающей промышленности мира  
(отраслевой разрез)

Table 5

Economic and geographical features of the mining industry in the world  
(sectoral section)

Группы минеральных ресурсов	Виды минеральных ресурсов	Мировая динамика в 1980–2019 гг.		Региональная структура		Страновая структура	
		1980 г.	2019 г.	1980 г.	2019 г.	1980 г.	2019 г.
Топливо-энергетические ресурсы	Нефть						
		Природный газ					
			Уголь				



Примечания: 1. Составлено авторами по данным [25]. 2. Условные обозначения для диаграмм региональной структуры: ■ Африка; ■ Азия; ■ Европа; ■ СССР (для 1980 г.) или страны СНГ (для 2019 г.); ■ Латинская Америка; ■ Северная Америка; ■ Океания; цифрами обозначена доля регионов в процентах. 3. ДРК – Демократическая Республика Конго.

За период 1980–2019 гг. наблюдается рост добычи фосфоритов в 1,6 раза (с 144,0 до 226,2 млн т). Мировыми лидерами по их добыче являются Китай (93,3 млн т в 2018 г.), Марокко (35,3), США (23,3), Россия (13,8), Перу (11,1). Быстрыми темпами растет добыча фосфоритов в Китае: за 1980–2019 гг. она увеличилась в 9 раз. За этот период доля страны в мировой добыче возросла с 7,4 до 41,3 %.

Проведенный подотраслевой анализ свидетельствует о трансформациях региональной и страновой структуры добывающей промышленности, однако интенсивность этих трансформаций отличается как в отраслевом, так и пространственном разрезе. Так, весьма значительные изменения за исследуемый период претерпела региональная структура добычи фосфоритов и угля, где индекс Рябцева составил 0,526 и 0,518 соответственно (табл. 6). Данные изменения обусловлены прежде всего быстрым ростом объемов добычи в Азиатском регионе при снижении в Европейском, Североамериканском регионах и странах СНГ. Весьма низкий уровень различия региональных структур за исследуемый период продемонстрировала нефтедобыча (индекс Рябцева составил 0,075). Для остальных рассмотренных видов минеральных ресурсов характерен значительный уровень структурных различий в 2019 г. по сравнению с 1980 г.: значение индекса Рябцева варьируется от 0,310 для добычи калийных солей до 0,472 для добычи железной руды. На страновом уровне изменения носят более выраженный характер: по всем видам ресурсов, за исключением угля, индекс Рябцева превышает 0,3, что свидетельствует о значительных изменениях за период 1980–2019 гг. Для добычи угля значение индекса составляет 0,016, что говорит о тождественности страновых структур.

Анализ пространственной концентрации добывающей промышленности мира, выполненный на основе анализа значений индекса Херфиндаля – Хиршмана и их изменения в 2019 г. по сравнению с 1980 г., позволил выявить следующие тенденции.

Во-первых, в 2019 г. добыча всех видов ресурсов в разрезе регионов имеет высокую пространственную концентрацию с наибольшим значением (4796) для угля и наименьшим значением (2170) для природного газа. Это объясняется существенным возрастанием роли Азии, на долю которой приходится более трети в каждом из добываемых видов ресурсов, за исключением меди и калийных солей, где лидирующие позиции занимают Латинская Америка и страны СНГ соответственно.

Во-вторых, в 1980 г. в разрезе макрорегионов только у железной руды (значение индекса Херфиндаля – Хиршмана составило 1693) и меди (1697) наблюдалась умеренная пространственная концентрация, которая с течением времени усилилась, как и для большинства других видов минерального сырья. Однако в добыче калийных солей и природного газа наблюдается небольшая децентрация на уровне регионов за счет выхода из тройки лидеров Европы и вхождения в нее Азиатского региона.

В-третьих, в настоящее время низкий уровень пространственной концентрации добывающей промышленности в разрезе стран характерен для добычи нефти и природного газа, умеренный – для добычи железной руды, бокситов, меди и калийных солей, высокий – для добычи угля и фосфоритов.

В-четвертых, существенные изменения в пространственной концентрации за период 1980–2019 гг. наблюдаются у природного газа (переход от высококонцентрированной (индекс Херфиндаля – Хиршмана равен 2175) к низкоконцентрированной (966) структуре), угля (переход от умеренного (1183) к высокому (2561) уровню концентрации) и меди (переход от низкой (862) к умеренной (1175) концентрации). Данные изменения вызваны значительным ростом добычи и укреплением позиций быстроразвивающихся стран (Китай, Индия, Мексика, Саудовская Аравия и т. д.) на фоне выхода из числа лидеров многих развитых европейских государств (например, Франции (в добыче железной руды), Великобритании (в добыче угля и природного газа), Нидерландов (в добыче природного газа)). Кроме того, стоит отметить, что децентрации добывающей промышленности способствует увеличение количества добывающих стран, особенно в сфере извлечения природного газа и нефти.

Стоит отметить, что к началу постиндустриальной стадии развития мирового хозяйства за каждым видом минерального ресурса закрепились определенные роли в экономике, которая в последующем лишь усиливалась. Это нашло отражение в тенденциях динамики региональной и страновой структуры, а также процессах пространственной концентрации, которые имели место на протяжении последних 40–50 лет. Так, усиление роли нефти и природного газа и сохранение высокой роли угля как важнейших видов сырья для топливно-энергетической промышленности, с одной стороны, обусловили формирование глобальных поставщиков данных видов ресурсов на мировой рынок, которые прочно заняли доминирующие позиции в региональной и страновой структуре, а с другой – способствовали росту участия других стран и регионов в их добыче. Все это в совокупности определяет разнонаправленность структурных и территориальных сдвигов для каждого вида топливно-энергетических ресурсов с учетом их специфики. Для руд черных и цветных металлов, которые составляют основу для таких отраслей, как металлургия и машиностроение, отмечены значительные изменения, приведшие к трансформациям региональной и страновой структуры при усилении пространственной концентрации. Однако как для металлических руд, так и для горно-химического сырья характерна общая тенденция к размещению данных подотраслей главным образом в тех районах, которые обладают преимуществами в запасах и экономической целесообразности их разработки, что определяет относительно стабильную географию добычи этих видов сырья.

Интенсивность динамики, степень структурных сдвигов и пространственной концентрации  
добывающей промышленности мира  
в разрезе отдельных видов минерального сырья

Table 6

Intensity of dynamics, degree of structural shifts and spatial concentration  
of the world's mining industry  
in the context of certain types of mineral resources

Группы минеральных ресурсов	Виды минеральных ресурсов	Темпы роста мировой добычи в 2019 г. по отношению к показателям 1980 г., %	Регионы		Страны	
			Характеристика меры структурных различий (2019 г. по отношению к 1980 г.)	Уровень пространственной концентрации (1980 г. / 2019 г.)	Характеристика меры структурных различий (2019 г. по отношению к 1980 г.)	Уровень пространственной концентрации (1980 г. / 2019 г.)
Топливо-энергетические ресурсы	Нефть	148,5	Весьма низкий уровень различия структур	в/в↑	Значительный уровень различия структур	н/н↓
	Природный газ	275,2	Значительный уровень различия структур	в/в↓	Весьма значительный уровень различия структур	в/н↓
	Уголь	212,2	Весьма значительный уровень различия структур	в/в↑	Тождественность структур	у/в↑
Руды черных и цветных металлов	Железная руда	339,0	Значительный уровень различия структур	у/в↑	Весьма значительный уровень различия структур	у/у↑
	Бокситы	372,1	Значительный уровень различия структур	в/в↑	Значительный уровень различия структур	у/у↑
	Медь	267,2	Значительный уровень различия структур	у/в↑	Значительный уровень различия структур	н/у↑
Горно-химическое сырье	Калийные соли	149,2	Значительный уровень различия структур	в/в↓	Весьма значительный уровень различия структур	у/у↓
	Фосфориты	157,1	Весьма значительный уровень различия структур	в/в↑	Весьма значительный уровень различия структур	в/в↑

Примечания: 1. Характеристика меры структурных различий дается согласно шкале оценки по индексу Рябцева (см. табл. 1). 2. Уровень пространственной концентрации добычи минеральных ресурсов, определяемый исходя из значений индекса Херфиндала – Хиршмана: н – низкий, у – умеренный, в – высокий. Тенденция динамики пространственной концентрации добычи минеральных ресурсов: ↑ – повышение; ↓ – снижение.

Таким образом, горнодобывающая промышленность в условиях постиндустриального развития мировой экономики характеризуется ростом производства в силу увеличения потребностей хозяйства в минеральных ресурсах для обеспечения экономического роста. Кардинальный сдвиг в региональной структуре добывающей промышленности к доминированию Азиатского региона и возрастание роли развивающихся стран, ставших новыми точками развития данной отрасли, объясняются наличием здесь огромной, до этого не разрабатываемой ресурсной базы и трансформацией роли государств в международном разделении труда, выражающейся в осуществлении экспортно ориентированной модели хозяйства в одних странах и переходе к экономике, ориентированной на растущий внутренний спрос со стороны промышленности, в других странах.

### Заключение

В целом добывающая промышленность в постиндустриальную эпоху характеризуется следующими основополагающими тенденциями:

1) стабильной (а не стремительной, как это было в индустриальную эпоху) положительной динамикой развития промышленности, что обусловлено повышением уровня ее технологического развития благодаря внедрению достижений научно-технического прогресса, рационализации и повышению эффективности ресурсопользования в мировом хозяйстве, связанному с реализацией концепции устойчивого развития;

2) сохранением устойчивой отраслевой структуры добывающей промышленности, которая заключается в доминирующих позициях добычи минерального топлива (более 80 % в общей структуре) и руд черных и цветных металлов (около 10 %) в силу закрепления определенной роли для каждого вида добываемого минерального ресурса в мировом хозяйстве;

3) усилением лидерства в добыче ресурсов быстроразвивающихся регионов (Азия) и стран (Китай, Индия, Бразилия) для обеспечения внутренних потребностей и повышением их роли на мировых рынках при сохранении лидирующих позиций традиционных для данной отрасли стран, обладающих значительными запасами тех или иных видов ресурсов и ориентирующихся преимущественно на экспорт.

Постиндустриальные тенденции развития мирового хозяйства требуют от добывающей промышленности динамики, гибкости, автономности, повышения уровня эффективности и производительности при максимизации безопасности как для человека, так и для окружающей среды. Работа в каждом из этих направлений в дальнейшем позволит добывающей промышленности в целом и добывающим компаниям в частности повысить конкурентоспособность на мировом рынке и внести вклад в устойчивый экономический рост.

### Библиографические ссылки

1. Кондратьев ВБ. Роль горной промышленности в экономике. *Горная промышленность*. 2017;1:4–13.
2. Борецкий ЕА, Егорова МС. Глобальная горнодобывающая промышленность. *Молодой ученый*. 2015;11.4:40–45.
3. Ericsson M, Löf O. Mining's contribution to national economies between 1996 and 2016. *Mineral Economics*. 2019;32(2): 223–250. DOI: 10.1007/s13563-019-00191-6.
4. Addison T, Roe A, editors. *Extractive industries: the management of resources as a driver of sustainable development*. Oxford: Oxford University Press; 2018. XXXII, 733 p.
5. Humphreys D. *The remaking of the mining industry*. London: Palgrave Macmillan; 2015. XII, 256 p. DOI: 10.1057/9781137442017.
6. Родионова ИА. Изменения в отраслевой структуре и пространственной организации промышленности мира. *Известия Уральского государственного экономического университета*. 2009;2:116–124.
7. Suen Li Chan, Djulibekov MK, Jilyaev VA. The role of Chinese mining industry in domestic and global economy. *Gorniy vestnik Uzbekistana*. 2020;2:104–106.
8. Changhai Wang, Yali Wen, Feng Han. Analysis on investment environment of mining industry in China. *Procedia Environmental Sciences*. 2012;12(part A):243–251. DOI: 10.1016/j.proenv.2012.01.273.
9. Ericsson M, Löf O, Löf A. Chinese control over African and global mining – past, present and future. *Mineral Economics*. 2020;33(1–2):153–181. DOI: 10.1007/s13563-020-00233-4.
10. Sinha KA, Sinha PR. The Indian coal industry: an overview. *Energy*. 1986;11(11–12):1067–1074. DOI: 10.1016/0360-5442(86)90043-5.
11. Dorian JP. The development of India's mining industry. *GeoJournal*. 1989;19(2):145–160. DOI: 10.1007/BF00174644.
12. Jain PK. Impact of lockdown on the mining industry in India. *Mineral Economics*. 2021;34(2):331–335. DOI: 10.1007/s13563-021-00263-6.
13. Machado IF, de M. Figueirôa SF. 500 years of mining in Brazil: a brief review. *Resources Policy*. 2001;27(1):9–24. DOI: 10.1016/S0301-4207(01)00004-6.
14. Salvador GN, Leal CG, Brejão GL, Pessali TC, Alves CBM, Rosa GR, et al. Mining activity in Brazil and negligence in action. *Perspectives in Ecology and Conservation*. 2020;18(2):139–144. DOI: 10.1016/j.pecon.2020.05.003.
15. Triscritti F. Mining, development and corporate – community conflicts in Peru. *Community Development Journal*. 2013;48(3): 437–450. DOI: 10.1093/cdj/bst024.

16. Назарматов АА. Роль горнорудной отрасли в развитии промышленности страны. *Вестник Сургутского государственного университета*. 2021;1:50–56. DOI: 10.34822/2312-3419-2021-1-50-56.
17. Родионова ИА. *Структурные сдвиги в промышленности мира во второй половине XX в.: макрогеографический анализ* [диссертация]. Москва: [б. и.]; 2003. 358 с.
18. Мальцев АА. *Особенности развития минерально-сырьевого комплекса мировой экономики в условиях глобализации* [диссертация]. Екатеринбург: [б. и.]; 2010. 200 с.
19. Лобанов ММ. *Трансформация отраслевой и территориальной структуры промышленности постсоциалистических стран Центрально-Восточной Европы* [диссертация]. Москва: [б. и.]; 2010. 255 с.
20. Мироненко НС, редактор. *География мирового хозяйства*. Москва: Трэвэл Медиа Интернэшнл; 2012. 352 с.
21. Ковалев ЮЮ, Соболев АО, Бурнасов АС. Индустриализация, неиндустриализация и постиндустриализм в эволюции старопромышленного региона (на примере евروهана «Саар-Лор-Люкс»). *Современная Европа*. 2020;1:158–169. DOI: 10.15211/soveurope12020158169.
22. Грицак ЮП. Промышленность стран мира: уровни развития и типы структур. *Регион: стратегия и приоритеты*. 2007;5:34–43.
23. Козловский ЕА. Мировые рынки сырья и минерально-сырьевой комплекс СНГ в условиях глобализации. *Пространство и время*. 2010;2:140–151.
24. World mining data [Internet] [cited 2021 April 8]. Available from: [https://www.world-mining-data.info/?World\\_Mining\\_Data](https://www.world-mining-data.info/?World_Mining_Data).
25. World mineral statistics data [Internet]. British Geological Survey, 2021 [cited 2021 June 9]. Available from: <https://www2.bgs.ac.uk/mineralsuk/statistics/wms.cfc?method=searchWMS>.
26. Елисеева ИИ, редактор. *Статистика*. 5-е издание. Москва: Юрайт; 2019. 572 с.
27. Елхина ИА. Оценка структурных сдвигов и различий региональных хозяйственных систем юга России. *Вопросы регулирования экономики*. 2015;6(4):103–110. DOI: 10.17835/2078-5429.2015.6.4.103-110.
28. Трифонов ЮВ, Веселова НВ. Методологические подходы к анализу структуры экономики на региональном уровне. *Вопросы статистики*. 2015;2:37–49. DOI: 10.34023/2313-6383-2015-0-2-37-49.
29. Сарычева ТВ. Статистическое исследование диспропорций в занятости на муниципальном уровне Республики Марий Эл. *Современные проблемы науки и образования* [Интернет]. 2012 [протитировано 21 июня 2021 г.];4. Доступно по: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=6865>.
30. Рябцев ВМ, Чудилин ГИ, редакторы. *Региональная статистика*. Москва: МИД; 2001. 380 с.
31. Толмачев МН. Методология расчета показателей концентрации сельскохозяйственного производства. *Вестник НГУ. Серия: Социально-экономические науки*. 2010;10(2):103–111.
32. DataBank [Internet]. The World Bank, 2021 [cited 2021 June 15]. Available from: <https://databank.worldbank.org/home>.
33. *Statistical review of world energy 2020* [Internet]. 69<sup>th</sup> edition. London: BP; 2020 [cited 2021 June 15]. 65 p. Available from: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2020-full-report.pdf>.
34. *Mineral commodity summaries 2020* [Internet]. Reston: U. S. Geological Survey; 2020 [cited 2021 June 15]. 200 p. Available from: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2020/mcs2020.pdf>.

## References

1. Kondratyev VB. [The role of the mining industry in the economy]. *Russian Mining Industry*. 2017;1:4–13. Russian.
2. Boretsky EA, Egorova MS. [Global mining industry]. *Young Scientist*. 2015;11.4:40–45. Russian.
3. Ericsson M, Löf O. Mining's contribution to national economies between 1996 and 2016. *Mineral Economics*. 2019;32(2): 223–250. DOI: 10.1007/s13563-019-00191-6.
4. Addison T, Roe A, editors. *Extractive industries: the management of resources as a driver of sustainable development*. Oxford: Oxford University Press; 2018. XXXII, 733 p.
5. Humphreys D. *The remaking of the mining industry*. London: Palgrave Macmillan; 2015. XII, 256 p. DOI: 10.1057/9781137442017.
6. Rodionova IA. [Changes in the sectoral structure and spatial organisation of the world's industry]. *Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta*. 2009;2:116–124. Russian.
7. Suen Li Chan, Djulibekov MK, Jilyaev VA. The role of Chinese mining industry in domestic and global economy. *Gorniy vestnik Uzbekistana*. 2020;2:104–106.
8. Changhai Wang, Yali Wen, Feng Han. Analysis on investment environment of mining industry in China. *Procedia Environmental Sciences*. 2012;12(part A):243–251. DOI: 10.1016/j.proenv.2012.01.273.
9. Ericsson M, Löf O, Löf A. Chinese control over African and global mining – past, present and future. *Mineral Economics*. 2020;33(1–2):153–181. DOI: 10.1007/s13563-020-00233-4.
10. Sinha KA, Sinha PR. The Indian coal industry: an overview. *Energy*. 1986;11(11–12):1067–1074. DOI: 10.1016/0360-5442(86)90043-5.
11. Dorian JP. The development of India's mining industry. *GeoJournal*. 1989;19(2):145–160. DOI: 10.1007/BF00174644.
12. Jain PK. Impact of lockdown on the mining industry in India. *Mineral Economics*. 2021;34(2):331–335. DOI: 10.1007/s13563-021-00263-6.
13. Machado IF, de M. Figueirôa SF. 500 years of mining in Brazil: a brief review. *Resources Policy*. 2001;27(1):9–24. DOI: 10.1016/S0301-4207(01)00004-6.
14. Salvador GN, Leal CG, Brejão GL, Pessali TC, Alves CBM, Rosa GR, et al. Mining activity in Brazil and negligence in action. *Perspectives in Ecology and Conservation*. 2020;18(2):139–144. DOI: 10.1016/j.pecon.2020.05.003.
15. Triscritti F. Mining, development and corporate – community conflicts in Peru. *Community Development Journal*. 2013; 48(3):437–450. DOI: 10.1093/cdj/bst024.
16. Nazarmatov AA. The role of the mining industry in the development of the country's industrial development. *Surgut State University Journal*. 2021;1:50–56. Russian. DOI: 10.34822/2312-3419-2021-1-50-56.

17. Rodionova IA. *Strukturnye svigi v promyshlennosti mira vo vtoroi polovine XX v.: makrogeograficheskii analiz* [Structural changes in the industry of the world in the second half of the 20<sup>th</sup> century: macrogeographic analysis] [dissertation]. Moscow: [s. n.]; 2003. 358 p. Russian.
18. Maltsev AA. *Osobennosti razvitiya mineral'no-syr'evogo kompleksa mirovoi ekonomiki v usloviyakh globalizatsii* [Features of the development of mineral resource complex of the world economy in the context of globalisation] [dissertation]. Yekaterinburg: [s. n.]; 2010. 200 p. Russian.
19. Lobanov MM. *Transformatsiya otraslevoi i territorial'noi struktury promyshlennosti postsotsialisticheskikh stran Tsentral'no-Vostochnoi Evropy* [Transformation of the sectoral and territorial structure of industry in the post-socialist countries of Central-Eastern Europe] [dissertation]. Moscow: [s. n.]; 2010. 255 p. Russian.
20. Mironenko NS, editor. *Geografiya mirovogo khozyaistva* [Geography of the world economy]. Moscow: Travel Media International; 2012. 352 p. Russian.
21. Kovalev YY, Sobolev AO, Burnasov AS. Industrialization, neo-industrialization and post-industrialism in the evolution of the old industrial region (on the example of Saar-Lor-Lux Euro-Region). *Sovremennaya Evropa*. 2020;1:158–169. Russian. DOI: 10.15211/soveurope12020158169.
22. Gritsak YP. Industry of the countries of the world: levels of development and types of structures. *Region: Strategy and Priorities*. 2007;5:34–43. Russian.
23. Kozlovsky EA. [World raw materials markets and the CIS mineral resource complex in the context of globalisation]. *Space and Time*. 2010;2:140–151. Russian.
24. World mining data [Internet] [cited 2021 April 8]. Available from: [https://www.world-mining-data.info/?World\\_Mining\\_Data](https://www.world-mining-data.info/?World_Mining_Data).
25. World mineral statistics data [Internet]. British Geological Survey, 2021 [cited 2021 June 9]. Available from: <https://www2.bgs.ac.uk/mineralsuk/statistics/wms.cfc?method=searchWMS>.
26. Eliseeva II, editor. *Statistika* [Statistics]. 5<sup>th</sup> edition. Moscow: Yurait; 2019. 572 p. Russian.
27. Elkhina IA. Assessment of structural shifts and differences in regional economic systems in southern Russia. *Journal of Economic Regulation*. 2015;6(4):103–110. Russian. DOI: 10.17835/2078-5429.2015.6.4.103-110.
28. Trifonov YuV, Veselova NV. Methodological approaches to analyzing the structure of the economy at the regional level. *Voprosy statistiki*. 2015;2:37–49. Russian. DOI: 10.34023/2313-6383-2015-0-2-37-49.
29. Sarycheva TV. [Statistical study of disparities in employment at the municipal level of the Republic of Mari El]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Internet]. 2012 [cited 2021 June 21];4. Available from: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=6865>. Russian.
30. Ryabtsev VM, Chudilin GI, editors. *Regional'naya statistika* [Regional statistics]. Moscow: Ministry of Foreign Affairs; 2001. 380 p. Russian.
31. Tolmachev MN. Methodology of calculating the concentration of agricultural production. *Vestnik NSU. Series: Social and Economics Sciences*. 2010;10(2):103–111. Russian.
32. DataBank [Internet]. The World Bank, 2021 [cited 2021 June 15]. Available from: <https://databank.worldbank.org/home>.
33. *Statistical review of world energy 2020* [Internet]. 69<sup>th</sup> edition. London: BP; 2020 [cited 2021 June 15]. 65 p. Available from: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2020-full-report.pdf>.
34. *Mineral commodity summaries 2020* [Internet]. Reston: U. S. Geological Survey; 2020 [cited 2021 June 15]. 200 p. Available from: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2020/mcs2020.pdf>.

Получена 06.09.2021 / исправлена 21.03.2022 / принята 24.03.2022.  
Received 06.09.2021 / revised 21.03.2022 / accepted 24.03.2022.

## РАЗРАБОТКА ЕДИНОГО КЛАССИФИКАТОРА СПЕЦИАЛЬНЫХ КАРТ МЕСТНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

А. С. ЧЕРЕНКО<sup>1)</sup>

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

Представлен способ создания единого классификатора специальных карт местности с использованием геоинформационных технологий. Проанализированы существующие классификаторы карт оперативно-тактической обстановки, специальных и топографических карт местности, применяемых в Вооруженных силах Республики Беларусь. С использованием программных продуктов конструкторского бюро «Панорама» описана методика разработки новых классификаторов специальных карт местности для геоинформационного и традиционного подходов. Обоснована актуальность создания первого единого цифрового классификатора специальных карт местности для геоинформационного подхода, который содержит в себе все имеющиеся специальные карты местности и позволяет использовать их совместно с картами оперативно-тактической обстановки и шивками электронных топографических карт местности. Аргументирована важность создания цифровых классификаторов специальных карт местности по масштабам для традиционного подхода, предполагающего разработку карт под аналоговую печать. Подчеркнуто, что в созданных классификаторах впервые была использована система классификации и кодирования объектов местности, в основу которой положены иерархический метод классификации информации первого подмножества и фасетный метод классификации информации второго подмножества. Также отмечено, что в них установлены единые цветовая палитра и картографические шрифты. Приведены примеры созданных условных знаков классификаторов специальных карт местности. Сделан вывод о необходимости применения разработанного единого классификатора специальных карт местности в Вооруженных силах Республики Беларусь.

**Ключевые слова:** цифровые карты; геоинформационные технологии; специальные карты местности; классификатор векторной карты; условные знаки; кодирование объектов.

## DEVELOPMENT OF UNIFIED CLASSIFIER OF SPECIAL TERRAIN MAPS USING GEOINFORMATION TECHNOLOGIES

A. S. CHERENKO<sup>a</sup>

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

A method for creating a unified classifier of special terrain maps using geoinformation technologies is presented. The existing classifiers of maps of the operational and tactical situation, special and topographic terrain maps used in the Armed Forces of the Republic of Belarus are analysed. Using the software products of the design bureau «Panorama», a methodology of developing new classifiers for geoinformation and traditional approaches is described. The urgency of creating the first unified digital classifier of special terrain maps for the geoinformation approach, which contains all

### Образец цитирования:

Черенко АС. Разработка единого классификатора специальных карт местности с использованием геоинформационных технологий. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология.* 2022;1:87–100.  
<https://doi.org/10.33581/2521-6740-2022-1-87-100>

### For citation:

Cherenko AS. Development of unified classifier of special terrain maps using geoinformation technologies. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology.* 2022;1:87–100. Russian.  
<https://doi.org/10.33581/2521-6740-2022-1-87-100>

### Автор:

*Алексей Сергеевич Черенко* – преподаватель общей военной кафедры военного факультета.

### Author:

*Aliaksei S. Cherenko*, lecturer at the combined arms department, military faculty.  
[cherenko@bsu.by](mailto:cherenko@bsu.by)

available special terrain maps and allow you to use them in conjunction with maps of the operational-tactical situation and electronic topographic terrain maps crosslinking, is substantiated. The relevance of the creation of digital classifiers of special terrain maps by scale for the traditional approach involving the development of maps for analog printing is substantiated. In the created digital classifiers, for the first time, a system of classification and coding of terrain objects was used for them, which is based on the hierarchical method of classification of information of the first subset and the faceted method of classification of information of the second subset. The developed classifiers have a unified colour palette and cartographic fonts. Examples of the created symbols of the classifiers of special terrain maps are given. It is concluded that it is necessary to use the developed unified classifier of special terrain maps in the Armed Forces of the Republic of Belarus.

**Keywords:** digital maps; geoinformation technologies; special terrain maps; vector map classifier; symbols; object coding.

## Введение

В картографии специальные карты относятся к группе материалов, которые предназначены для решения определенного круга задач или рассчитаны на конкретных пользователей [1]. Главным документом, который дает возможность изучить местность для ведения боевых действий, является топографическая карта (ТК). С ее помощью можно быстро проанализировать территорию, более разумно разместить свои войска, наметить варианты ведения боя, осуществить необходимые измерения и расчеты.

Если с помощью условных знаков и сокращенных обозначений на ТК графически нанести положение и боевые задачи своих войск и войск противника, то это будет карта оперативно-тактической обстановки (ОТО) [2].

Однако при подготовке и ведении боевых действий зачастую требуется информация об отдельных рубежах, участках и объектах местности, которые на ТК не отображаются. Следовательно, помимо ТК и карт ОТО, должны изготавливаться специальные карты (СК) местности, которые содержат дополнительные топогеодезические данные, необходимые командирам и штабам для изучения и оценки характеристик и свойств отдельных объектов местности, навигационного обеспечения полетов авиации, организации воинских перевозок и решения других специальных задач.

Для формирования тематического содержания ТК, карт ОТО и СК, автоматизации процесса присвоения атрибутов, символизации и подписывания объектов в цифровой картографии применяются классификаторы. Под ними понимают совокупность описания слоев векторной карты, видов объектов и их условных знаков, видов семантических (атрибутивных) характеристик и принимаемых ими значений, представленных в цифровой форме [3].

В настоящий момент разработано множество картографических классификаторов объектов, в основе которых лежит один и тот же восьмизначный советский классификатор Военно-топографического управления Генерального штаба Вооруженных сил (ВС) СССР [4], изданный в 1985 г. и предназначавшийся для бумажных карт. Он создавался с целью дать единый составной код объектам ТК, облегчающий определение их положения в общей иерархической структуре на основе родовой принадлежности и установление параметров групп, к которым они относятся [5].

В связи с тем что векторные классификаторы картографической информации используются в основном в программных продуктах конструкторского бюро (КБ) «Панорама» (Россия) и не применяются в иных геоинформационных системах (ГИС) (*ArcGIS*, *QGIS*, *MapInfo* и т. д.), научные исследования и публикации по этой теме в зарубежной литературе отсутствуют. Аналогом классификаторов в среде других инструментальных ГИС, например *ArcGIS*, являются атрибутивные домены и картографические представления [6–8]. Системы классификации [9–11] и кодирования [12] пространственных данных в этих ГИС напрямую зависят от используемых баз данных.

Анализ литературных источников, посвященных вопросам создания классификаторов СК, позволил разделить их на три группы:

- государственные стандарты [13; 14] и нормативно-технические документы [15], в которых описана система классификации и кодирования объектов местности;
- руководства по картографическим, картоиздательским, фототопографическим работам [16; 17] и альбомы СК и фотодокументов [18; 19], содержащие образцы условных знаков СК с их точными размерами и шрифтами по масштабам;
- квалификационные работы и публикации в периодических изданиях по совершенствованию методики создания автонавигационных карт [20], особенностям разработки пользовательского классификатора для отображения обстановки на электронной карте с конкретными примерами решения похожих задач [21].

Самые первые картографические классификаторы создавались для ТК. Главными целями их разработки были переход на цифровую картографию, унификация и упорядочивание объектов. Это дало

возможность перейти на единые стандарты, которые позволили навести порядок в стандартизации геопространственной информации для ТК. Немаловажным аспектом явилось введение государственного стандарта СТБ 1863–2009 [13] по цифровым ТК. Учитывая вышеизложенное, в настоящее время в Республике Беларусь существуют стандартизированные классификаторы ТК всего масштабного ряда.

Следующей наиболее важной информацией о местности, используемой в военном деле, является ОТО. Проблема классификаторов карт ОТО состоит в том, что, в отличие от классификаторов ТК, они менее унифицированы и стандартизированы. Например, размеры и внешний вид условных знаков в классификаторах ТК взяты из геодезических, картографических норм и правил ГКНП 05–016–2018 [22], ГКНП 05–015–2018 [23], ГКНП 05–019–2018 [24], условные знаки классификаторов карт ОТО соответствуют требованиям приказа министра обороны Республики Беларусь от 24 февраля 2012 г. № 170<sup>1</sup>, в котором регламентирован их внешний вид, но не даны точные размеры.

Во многих подразделениях ВС Республики Беларусь разрабатывались и применялись классификаторы карт ОТО собственного производства. Это обстоятельство влекло за собой следующие последствия:

- невозможность сопоставления векторных объектов между картами, использующими разные классификаторы, поскольку из-за отсутствия соответствия по уникальному классификационному коду они открываются в системном слое, что приводит к некорректной визуализации электронной карты;
- затруднительное использование цифровых карт ОТО при совместной удаленной работе;
- создание дополнительных сложностей для операторов, наносящих ОТО на электронные карты, так как при сопоставлении объектов, закодированных в различных классификаторах, необходим значительный объем ручной работы.

С учетом вышеизложенного на рубеже 2000-х и 2010-х гг. в ВС Республики Беларусь с привлечением специалистов навигационно-топографической службы началось создание единого классификатора ОТО. В 2012 г. был разработан классификатор карт ОТО otz12rb. В 2014 и 2016 гг. в связи с усовершенствованием программных продуктов КБ «Панорама» и добавлением различных библиотек пользовательских условных знаков созданы его модернизированные версии – otz14rb и otz16rb соответственно. В настоящее время работа по модернизации классификатора карт ОТО продолжается. Национальные стандарты по цифровым картам ОТО на данный момент в Республике Беларусь отсутствуют.

Классификаторы СК менее исследованы и разработаны по сравнению с классификаторами ТК и карт ОТО. Они создавались по необходимости при выполнении специальных работ. При этом в них отсутствовала какая-либо система классификации и кодирования объектов местности. Для ряда СК (карты водных рубежей, источников водоснабжения, зон затопления, а также авиационная карта) цифровые классификаторы так и не разработаны. Ситуация осложняется отсутствием современных нормативных (регламентирующих) документов по созданию классификаторов СК.

Таким образом, целью настоящего исследования является разработка первого в Республике Беларусь единого классификатора СК с использованием геоинформационных технологий.

### Материалы и методы исследования

При создании единого классификатора СК использовались существующие классификаторы СК, которые были разработаны для формирования карты геодезических данных, карты условий проходимости, карты условий маскировки, карты искусственных препятствий, карты структуры воздушного пространства, карты участка реки, а также оперативно исправленной карты (табл. 1).

Таблица 1

Существующие классификаторы СК,  
использованные при создании единого классификатора СК

Table 1

Existing classifiers of special maps (SM) of the terrain  
used when creating a unified classifier of SM

Тип СК	Название классификатора	Количество объектов	Масштаб	Количество цветов палитры	Количество цифр в коде
Карта геодезических данных	100ГД	15	1 : 100 000	256	5
Карта структуры воздушного пространства	500ВП	25	1 : 500 000	256	2

<sup>1</sup>Об утверждении Инструкции о порядке разработки и правилах оформления боевых документов : приказ министра обороны Респ. Беларусь от 24 февр. 2012 г. № 170. Минск : М-во обороны Респ. Беларусь, 2012. 170 с.

Окончание табл. 1  
Ending table 1

Тип СК	Название классификатора	Количество объектов	Масштаб	Количество цветов палитры	Количество цифр в коде
Карта искусственных препятствий	500ИП	10	1 : 500 000	256	3
Карта условий маскировки	5002008М	3	1 : 500 000	256	2
Оперативно исправленная карта	ОИ2014	70	1 : 200 000	16	8
Карта условий проходимости	5002008ЗП	8	1 : 500 000	256	2
Карта участка реки	50КУП	49	1 : 25 000	256	2

При разработке некоторых классификаторов в качестве основы использовались классификаторы ТК того же масштаба, что и создаваемая СК (карта геодезических данных, оперативно исправленная карта).

Следует отметить, что при составлении карты водных рубежей возможно применение классификатора карты участка реки при условии изменения его масштаба, так как у этих карт схожий объектовый состав. При создании карты с разведывательными данными о противнике и кодированной карты допустимо использование единого классификатора карт ОТО otz16rb, поскольку в нем имеются все необходимые для этого условные знаки.

В настоящее время при создании СК с использованием компьютерных технологий применяются два подхода:

- традиционный (карта создается под аналоговую печать по номенклатурным листам ТК согласно требованиям, описанным в редакционно-технических указаниях);
- геоинформационный (карта создается под использование на компьютере совместно с картой ОТО и подложкой, состоящей из шивок номенклатурных листов электронных ТК) [25].

Оба указанных подхода были учтены при создании единого классификатора.

Для традиционного подхода важное значение имеет масштаб создаваемой СК, поскольку от него зависят размеры впечатываемых на ТК условных знаков. Распределение СК по масштабам, представленное в литературных источниках [16–19], было проанализировано, систематизировано и изложено в табл. 2.

Таблица 2

**Масштабы создания СК при традиционном подходе**

Table 2

**The scale of the creation of SM with the traditional approach**

Тип СК	Масштаб					
	1 : 25 000	1 : 50 000	1 : 100 000	1 : 200 000	1 : 500 000	1 : 1 000 000
Авиационная карта	–	–	–	–	+	+*
Карта водных рубежей	–	–	+	+	–	–
Карта геодезических данных	–	+	+	+	–	–
Карта горных проходов и перевалов	–	+	+	–	–	–
Карта зон затопления	–	+	+	+	–	–
Карта изменений местности в районе ядерных ударов	–	–	+	+	–	–
Карта искусственных препятствий	–	–	–	–	+	+
Карта источников водоснабжения	–	–	+	–	–	–
Карта путей сообщения	–	–	–	–	+	+
Карта с разведывательными данными о противнике	–	+	+	+	–	–
Карта структуры воздушного пространства	–	–	–	–	+	+

Тип СК	Масштаб					
	1 : 25 000	1 : 50 000	1 : 100 000	1 : 200 000	1 : 500 000	1 : 1 000 000
Карта условий маскировки	–	–	–	+	–	–
Карта условий проходимости	–	–	–	+	–	–
Карта участка реки	+	+	–	–	–	–
Кодированная карта	+	+	+	+	+	+
Оперативно исправленная карта	–	–	+	+	–	–
Рельефная карта	–	–	–	–	+	+
<i>Итого</i>	2	6	9	9	6	6

\*Создаются в более мелких масштабах.

При традиционном подходе создание единого классификатора невозможно из-за требований к внешнему виду условных знаков, прописанных в руководствах по созданию СК. Решением проблемы является разработка шести классификаторов по масштабам и включение в них только тех карт, которые создаются в соответствующих масштабах. В настоящее время классификаторы для традиционного подхода формируются для одной карты и одного масштаба. Как следует из данных табл. 2, разработка классификаторов СК по масштабам для традиционного подхода позволяет снизить общее количество классификаторов с 38 до 6.

Создание единого классификатора возможно при геоинформационном подходе, поскольку требования к размерам условных знаков являются не такими жесткими и в параметрах классификатора при создании объекта устанавливается признак масштабируемости, который обеспечивает возможность изменения размеров условного знака (толщины линии, высоты шрифта и т. п.) при изменении масштаба карты [3].

Методика создания классификаторов СК включает несколько этапов. Вначале необходимо выполнить систематизацию и анализ существующих классификаторов СК и выбрать, для какого подхода (геоинформационного или традиционного) будет разрабатываться классификатор. С учетом подхода осуществляется выбор СК, которые будут входить в классификатор. Следующим этапом является импорт объектов из существующих классификаторов СК и их перекодировка или разработка внешнего вида и кодировка новых условных знаков для СК, не имеющих классификаторов. Далее выполняется установка семантики, шрифтов и цветовой палитры объектов. Завершающим этапом является разработка СК с использованием созданных классификаторов и их печать (в случае традиционного подхода) или визуализация (в случае геоинформационного подхода) для анализа результата.

### Результаты и их обсуждение

Для создания классификаторов применялась ГИС «Оператор». Первым разрабатывался классификатор для геоинформационного подхода, так как в нем содержится максимальное количество СК. В свою очередь, уникальные коды, присвоенные объектам в данном классификаторе, использовались в классификаторах СК для традиционного подхода.

По результатам анализа данных табл. 2 для разрабатываемого единого классификатора для геоинформационного подхода был выбран масштаб 1 : 200 000, поскольку именно в этом масштабе создается максимальное количество СК (9), включая наиболее часто используемые в ВС Республики Беларусь карты условий проходимости, условий маскировки и др. Такое же количество СК создается в масштабе 1 : 100 000, но две из них – карта горных проходов и перевалов и карта источников водоснабжения – не актуальны и в интересах ВС Республики Беларусь не разрабатывались.

Для того чтобы объединить множество существующих классификаторов СК в один, применялась функция импорта, которая расположена в разделе «Общие данные» редактора классификатора (рис. 1).

По итогам импорта возникли следующие основные проблемы:

- разница в цветовой палитре объектов привела к тому, что в итоговом классификаторе имелись три оттенка красного цвета;
- в ряде классификаторов присутствовали объекты с одинаковыми уникальными кодами, что не позволяло импортировать их в единый классификатор СК;
- масштабы импортируемых классификаторов для традиционного подхода не соответствовали масштабу единого классификатора СК для геоинформационного подхода, что обуславливало некорректные размеры условных знаков.

При создании единого классификатора каждой СК был задан свой собственный слой. Каждому из слоев присвоен уникальный ключ, состоящий из трех букв латинского алфавита и представляющий собой аббревиатуру названия СК, за исключением карты условий проходимости, карты условий маскировки и карты участка реки, уникальный ключ которых установлен согласно перечню сокращений<sup>2</sup>, применяемых в боевых документах (табл. 3).

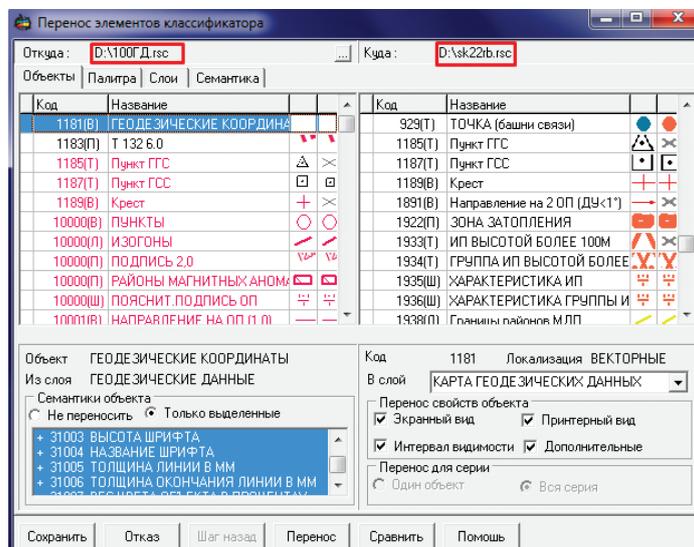


Рис. 1. Импорт данных в единый классификатор СК из классификатора карты геодезических данных

Fig. 1. Import of data into the unified classifier of SM from the classifier of the geodetic data map

Таблица 3

**Итоговый список слоев единого классификатора СК для геоинформационного подхода с уникальными ключами слоя**

Table 3

**The final list of layers of the unified classifier of SM for the geoinformation approach with unique layer keys**

Номер слоя	Краткое название слоя	Ключ	Количество объектов
1	Карта условий проходимости	UP	12
2	Карта условий маскировки	UM	3
3	Оперативно исправленная карта	ОИК	121
4	Карта участка реки	UR	58
5	Карта геодезических данных	KGD	11
6	Карта зон затопления	KZZ	7
7	Карта искусственных препятствий	KIP	10
8	Авиационная карта	AK	9
9	Кодированная карта	KK	6
10	Карта источников водоснабжения	KIV	16
11	Карта путей сообщения	KPS	16

<sup>2</sup>Об утверждении Инструкции о порядке разработки и правилах оформления боевых документов...

Согласно СТБ 1863–2009 [13] система классификации и кодирования объектов местности устанавливается в соответствии с ОКРБ 012–2007 [15]. В нем отмечено, что код каждой характеристики объекта карты может состоять из переменного количества символов, не превышающего 10. Длина кода в исследованных классификаторах варьируется от 2 до 10 символов (см. табл. 1 и 4). Большинство классификаторов не имеют нормативно-технической документации и тем более стандарта, в отличие от классификаторов ТК, описание которых дано в ОКРБ 012–2007 [15].

Таблица 4

**Количество цифр в коде  
и предназначение классификаторов цифровых карт**

Table 4

**The number of digits in the code  
and the purpose of the classifiers of digital cards**

Название	Предназначение или сфера применения	Количество цифр в коде
25T05G 50T05G 100T05G 200T05G 500T05G 1MT05G	Классификаторы ТК	8
otz16rb	Единый классификатор оперативно-тактических знаков ВС Республики Беларусь	10
redarmy	Сухопутные войска	7
geology	Инженерная геология	4
forestry	Лесное хозяйство	7
dangergrade	Последствия чрезвычайных ситуаций	6
dfc	Аэронавигационная информация	7
itpgrad	Градостроительство	9
operator	Оперативная обстановка	9

В основу построения классификатора положены иерархический метод классификации информации первого подмножества и фасетный метод классификации информации второго подмножества. Для иерархического метода классификации применяется последовательный метод кодирования. В качестве алфавита кода используются десятичные арабские цифры с основанием кода, равным 10. Длина кода является постоянной. Кодовое обозначение представляет собой последовательность восьми однозначных разрядов. Значимость разрядов понижается слева направо (табл. 5) [15].

Таблица 5

**Структура классификационного кода объекта ТК**

Table 5

**Structure of the classification code of topographic map object**

№ п/п	Классификация	Кодовое обозначение							
		Х	0	0	0	0	0	0	0
1	Класс	Х	0	0	0	0	0	0	0
2	Подкласс	Х	Х	0	0	0	0	0	0
3	Группа	Х	Х	Х	0	0	0	0	0
4	Подгруппа	Х	Х	Х	Х	0	0	0	0
5	Отряд	Х	Х	Х	Х	Х	0	0	0
6	Подотряд	Х	Х	Х	Х	Х	Х	0	0
7	Вид	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	0
8	Подвид	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х

Источник: [15].

Количество цифр в едином классификаторе СК было выбрано равным семи. Во-первых, это позволило избежать совпадений по уникальному коду с топографическим восьмизначным классификатором, который уже стандартизирован на межгосударственном уровне, и с десятизначным единым классификатором оперативно-тактических знаков, а во-вторых, обеспечило возможность их кодирования с перспективой увеличения количества объектов в СК.

При проведении анализа имеющихся сведений множества классификаторов (см. табл. 1 и 4) была выбрана следующая многофункциональная иерархическая последовательность присвоения уникального кода объектам. Первые две цифры кода – номер слоя. Из-за того что в цифровом классификаторе невозможно поставить в начале кода цифру 0, для сохранения количества цифр равным семи первый слой обозначается цифрой 11.

Третий символ кода, обозначающий номер класса и указывающий на принадлежность объекта карты или классификационной группировки к определенному элементу содержания карты, был расширен в описании объектов по сравнению с классификатором ТК путем добавления в некоторые слои дополнительных характеристик. Список слоев с учетом расширения:

- математические элементы, элементы плановой и высотной основы (цифра 1);
- рельеф суши (цифра 2);
- гидрография и гидротехнические сооружения (цифра 3);
- населенные пункты (цифра 4);
- промышленные, сельскохозяйственные, социально-культурные и военные объекты (цифра 5);
- дорожная сеть и дорожные сооружения (цифра 6);
- растительный покров и грунты (цифра 7);
- границы, ограждения, отдельные природные явления, результаты военных действий и тактические характеристики местности (цифра 8);
- подписи на карте (цифра 9).

Четвертая цифра кода обозначает номер второй ступени классификации, пятая цифра – номер третьей ступени классификации и так далее до последней ступени. В тех случаях, когда объект карты находится на более высокой ступени классификации, оставшиеся младшие разряды кодового обозначения заполняются нулями (табл. 6, рис. 2).

Таблица 6

**Структура классификационного кода объекта СК**

Table 6

**Structure of the classification code of SM object**

№ п/п	Классификация	Кодовое обозначение						
		1	2	3	4	5	6	7
1	Тип СК	X	X	0	0	0	0	0
2	Класс	X	X	X	0	0	0	0
3	Группа	X	X	X	X	0	0	0
4	Отряд	X	X	X	X	X	0	0
5	Род	X	X	X	X	X	X	0
6	Вид	X	X	X	X	X	X	X

Стоит особо отметить, что, помимо кода объекта, классификатор цифровой карты в программных продуктах КБ «Панорама» содержит ключ объекта. Его основное предназначение – создание серии объектов. Ключ позволяет менять внешний вид объекта в зависимости от выбранной семантики, при этом код объекта не изменяется. Буквами латинского алфавита обозначается локализация объектов по типу метрики: L – линейные, S – площадные, P – точечные, T – подписи, V – векторные, C – шаблоны. Например, в едином классификаторе СК присутствует серия объектов железнодорожных станций в карте путей сообщения (рис. 3).

Анализ литературных источников показал, что внешний вид и точные размеры условных знаков СК для карты геодезических данных, карты участка реки и оперативно исправленной карты приведены в руководстве [16], для карты горных проходов и перевалов, карты источников водоснабжения – в руководстве [17]. Остальные условные знаки СК создавались на основании образцов этих карт из специализированных альбомов [18; 19].

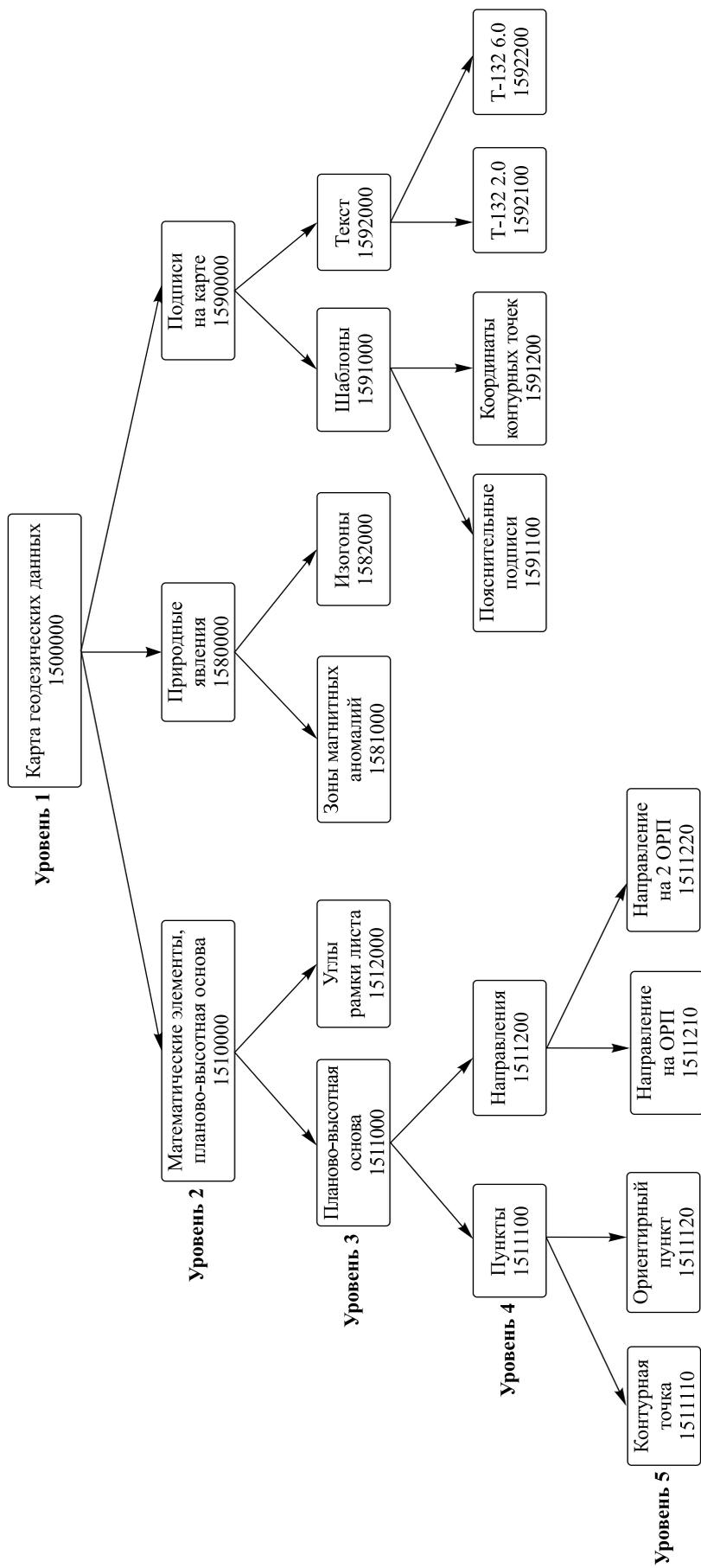


Рис. 2. Структура классификационного кода объекта СК на примере карты геодезических данных (ОРП – ориентирный пункт)

Fig. 2. The structure of the classification code of SM object on the example of a geodetic data map (ОРП – witness mark)

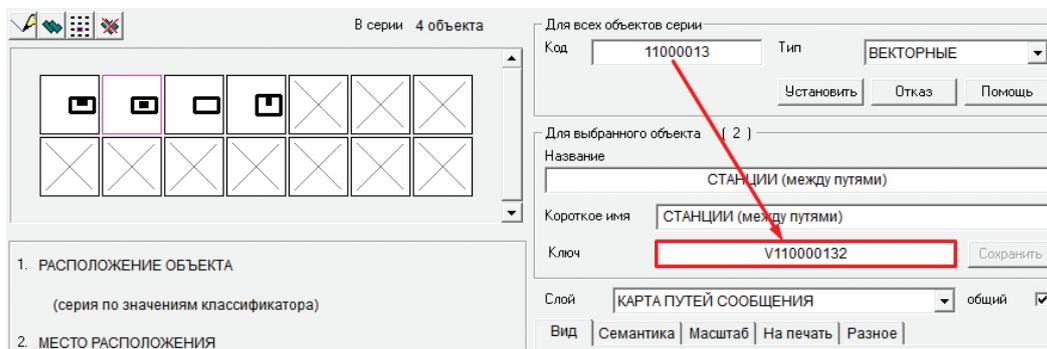


Рис. 3. Серия объектов железнодорожных станций в карте путей сообщения

Fig. 3. A series of railway station objects in the map of communication routes

В свою очередь, некоторые условные знаки были импортированы из классификаторов СК, созданных по старым технологиям, в этом случае внешний вид немасштабных условных знаков задавался в пиксельном редакторе знака. В современных версиях классификаторов все точечные немасштабные условные знаки создаются в векторном редакторе знака. Данный способ позволяет сохранить заданные размеры условного знака согласно геодезическим, картографическим нормам и правилам, в отличие от пиксельного редактора знака, где сохранить необходимые размеры не представляется возможным (рис. 4).

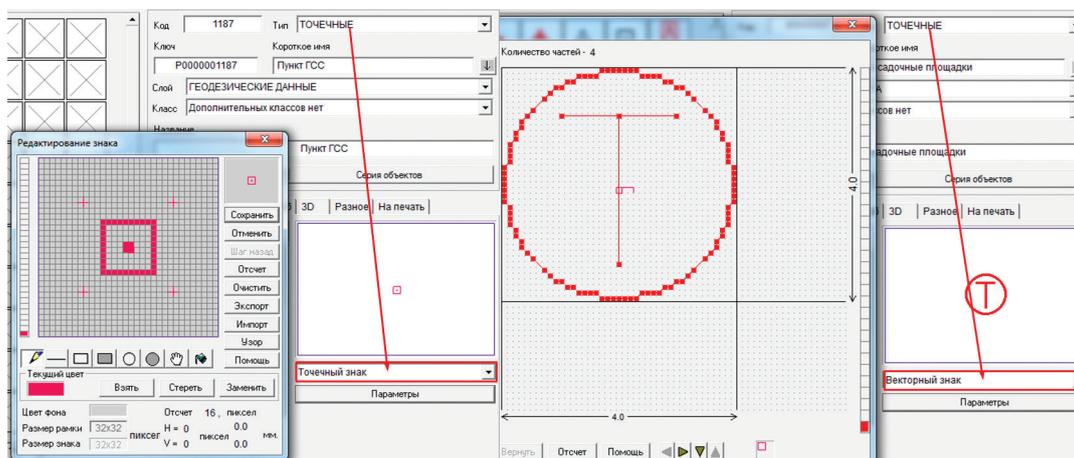


Рис. 4. Пример пиксельного и векторного редакторов условных знаков

Fig. 4. An example of a pixel and vector editors of conventional signs

Согласно руководствам по картографическим, картоиздательским и фототопографическим работам и альбомам СК и фотодокументов [16–19] дополнительная специальная информация о местности на большинстве ТК отображается красным цветом. Для унификации цветов в едином классификаторе СК была выбрана стандартная палитра с 32 цветами и красный цвет под номером 28 со следующими характеристиками в цветовой модели RGB: *red* – 255, *green* – 0, *blue* – 0 (рис. 5).

Достаточно значимой составляющей карт являются шрифты, с помощью которых подписываются имена собственные географических объектов (населенных пунктов, рек, озер, болот, горных хребтов и т. д.) и сами названия объектов (например, озеро, урочище, пастбище), указываются численные характеристики (отметки высот, глубины болот, водоемов, высот леса, кустарника, грузоподъемность мостов и др.). На СК согласно руководствам по картографическим, картоиздательским и фототопографическим работам [16; 17] используется картографический шрифт Т-132.

Картографические шрифты не присутствуют по умолчанию в операционных системах, поэтому их приходится устанавливать вручную. В связи с этим применение шрифта Т-132 наиболее целесообразно в традиционном подходе, так как СК будут создаваться специалистами, у которых он уже установлен

на компьютере. При геоинформационном же подходе, когда СК будут использоваться не картографами, лучше выбрать стандартный шрифт Arial, который по умолчанию применяется в программных продуктах КБ «Панорама» и операционных системах.

Примеры разработанных условных знаков классификаторов СК представлены в табл. 7, а примеры СК, созданных с использованием единого классификатора, – на рис. 6.

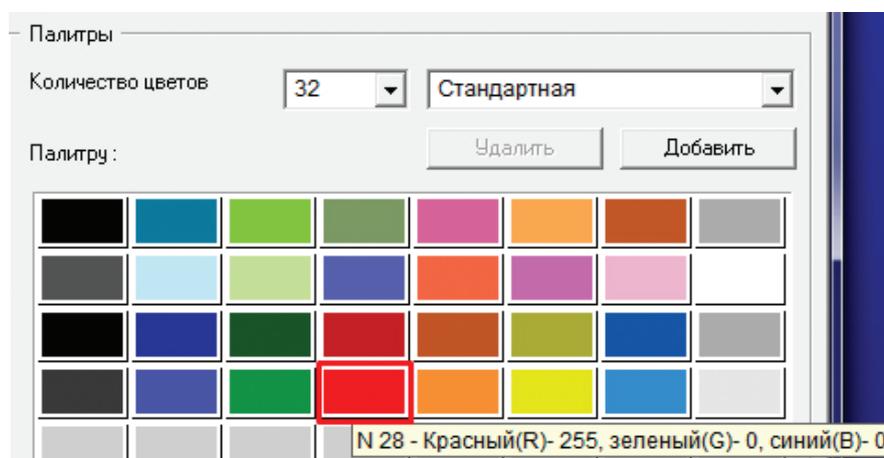


Рис. 5. Палитра единого цифрового классификатора СК

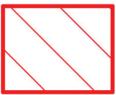
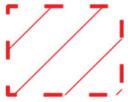
Fig. 5. Palette of the unified digital classifier of SM

Таблица 7

**Примеры условных знаков в созданных классификаторах**

Table 7

**Examples of conditional signs in the created classifiers**

Внешний вид	Ключ	Название	Тип СК
	P1382000	Очаг пожара	Оперативно исправленная карта
	S1581000	Районы магнитных аномалий	Карта геодезических данных
	P1851200	Группа искусственных препятствий высотой более 100 м	Карта искусственных препятствий
	L1161300	Непроходимая дорога для всех видов техники	Карта условий проходимости
	S1281000	Зона средnezакрытая	Карта условий маскировки
	S1431000	Зона затопления	Карта участка реки

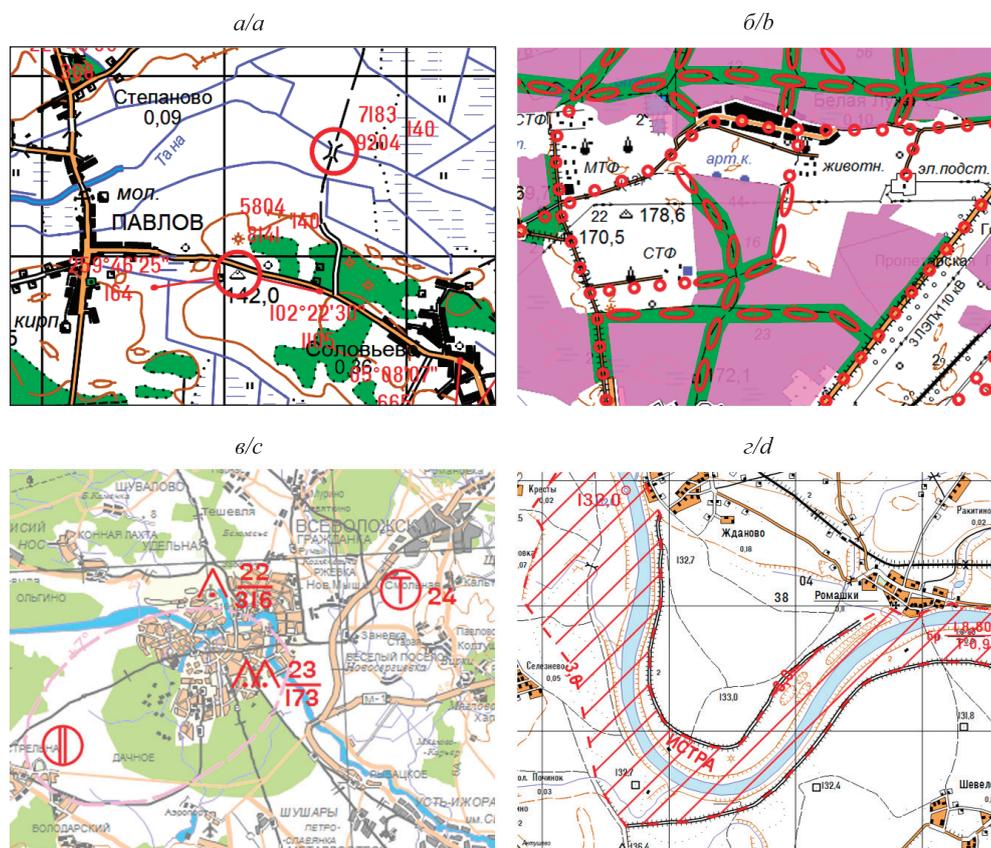


Рис. 6. Фрагменты СК, созданных с использованием разработанного единого классификатора:

*a* – карта геодезических данных; *б* – карта условий проходимости;  
*в* – авиационная карта; *г* – карта участка реки

Fig. 6. Fragments of the SM, created using the developed unified classifier:  
*a* – geodetic data map; *b* – map of passability conditions;  
*c* – aviation map; *d* – river section map

## Заклучение

Таким образом, проведенное исследование по созданию единого цифрового классификатора СК показало перспективность дальнейшей работы в данном направлении, так как использованные в нем система кодирования объектов, цветовая палитра и шрифты позволят пополнять имеющиеся классификаторы новыми слоями и объектами. В ходе исследования получены следующие основные результаты:

1) проанализированы существующие классификаторы карт ОТО, СК, ТК, используемых в ВС Республики Беларусь;

2) разработаны шесть новых классификаторов СК (25sk22rb, 50sk22rb, 100sk22rb, 200sk22rb, 500sk22rb, 1Msk22rb) для традиционного подхода и единый классификатор СК (sk22rb, масштаб 1 : 200 000) для геоинформационного подхода;

3) в созданных цифровых классификаторах СК впервые использована система классификации и кодирования объектов местности, в основу которой положены иерархический метод классификации информации первого подмножества и фасетный метод классификации информации второго подмножества;

4) созданы условные знаки для СК, которые не имели своих классификаторов (карта зон затопления, авиационная карта, кодированная карта, карта источников водоснабжения).

Разработанный единый классификатор СК предложен к применению в ВС Республики Беларусь. Это обеспечит оптимизацию работы специалистов с большим количеством слоев различных СК при геоинформационном подходе, так как будет использоваться только один классификатор, а создание классификаторов СК по масштабам для традиционного подхода позволит снизить общее количество классификаторов.

В перспективе разработка единого классификатора СК для геоинформационного подхода возможна и для других масштабов, поскольку мультимасштабное картографирование является чрезвычайно актуальным направлением современной картографии и создание СК с использованием мультимасштабных баз данных приведет к необходимости визуализации объектов для соответствующего масштаба.

## Библиографические ссылки

1. Берлянт АМ. *Картография*. Москва: Аспект Пресс; 2002. 336 с.
2. Утекалко ВК, Бугренко ЮП, Лазарь ИА, Лукьяненко ЛА, Бирзгал ВВ, Василевский ВБ и др. *Рабочая карта командира*. 2-е издание. Минск: Военная академия Республики Беларусь; 2013. 163 с.
3. ПАРБ.00046-06 98 01. Программное изделие геоинформационная система «Панорама» (ГИС «Панорама х64»). Прикладные задачи. Редактор классификатора. Ногинск: КБ «Панорама»; 2020. 56 с.
4. Единая система классификации и кодирования картографической информации. Классификатор топографической информации (информация, отображаемая на топографических картах масштабов 1 : 25 000, 1 : 50 000, 1 : 100 000, 1 : 200 000, 1 : 500 000, 1 : 1 000 000). Москва: Редакционно-издательский отдел ВТС; 1985. 60 с.
5. Лебедева НЯ. Везет ли вам в картах... *ArcReview* [Интернет]. 2001 [процитировано 16 сентября 2021 г.];1. Доступно по: <https://arcreview.esri-cis.ru/2001/03/06/везет-ли-вам-в-картах/>.
6. *ArcGIS 9. Getting started with ArcGIS* [Internet]. ESRI, 1999–2005 [cited 2021 September 18]. V, 265 p. Available from: [http://downloads.esri.com/support/documentation/ao\\_/1003Getting\\_Started\\_with\\_ArcGIS.pdf](http://downloads.esri.com/support/documentation/ao_/1003Getting_Started_with_ArcGIS.pdf).
7. *QGIS user guide. Release 2.18* [Internet]. QGIS, 2019 April 8 [cited 2021 September 18]. IV, 473 p. Available from: <https://docs.qgis.org/2.18/pdf/en/QGIS-2.18-UserGuide-en.pdf>.
8. *MapInfo Pro v2019 user guide*. [S. l.]: Pitney Bowes Software; 2019. 1408 p.
9. Gotlib D. Nowe oblicza kartografii – od bazy danych geograficznych do mapy. *Polski Przegląd Kartograficzny*. 2008;40(4): 325–336.
10. Olszewski R, Zieliński J, Pillich-Kolipińska A, Fiedukowicz A, Glazewski A, Kowalski P. Methodology of creating the new generation of official topographic maps in Poland. In: Buchroithner MF, editor. *Proceedings of the 26<sup>th</sup> International Cartographic Conference; 2013 August 25–30; Dresden, Germany*. [S. l.]: International Cartographic Association; 2013. p. 680.
11. Gustavsson M, Seijmonsbergen AC, Kolstrup E. Structure and contents of a new geomorphological GIS database linked to a geomorphological map – with an example from Liden, central Sweden. *Geomorphology*. 2008;95(3–4):335–349. DOI: 10.1016/j.geomorph.2007.06.014.
12. Thibault DU. *Commented APP-6A – military symbols for land based systems: DRDC Valcartier TN 2005-222* [Internet]. [S. l.]: Defence Research and Development Canada – Valcartier; 2005 [cited 2021 September 18]. Available from: [http://www.mapsymbols.com/APP-6ADRDCValcartierEdition121\(Mod\).pdf](http://www.mapsymbols.com/APP-6ADRDCValcartierEdition121(Mod).pdf).
13. *СТБ 1863–2009. Цифровые карты местности. Цифровые топографические карты. Общие требования*. Минск: Белорусский государственный институт стандартизации и сертификации; 2009. 16 с.
14. *ГОСТ Р 51606–2000. Карты цифровые топографические. Система классификации и кодирования цифровой картографической информации. Общие требования*. Москва: Издательство стандартов; 2000. III, 4 с.
15. *ОКРБ 012–2007. Цифровые карты местности. Информация, отображаемая на топографических картах и планах населенных пунктов*. Минск: Белорусский государственный институт стандартизации и сертификации; 2007. 85 с.
16. *Руководство по картографическим и картоиздательским работам. Часть 9. Подготовка к изданию и издание карт и фотодокументов местности в полевых условиях*. Москва: Редакционно-издательский отдел ВТС; 1985. 212 с.
17. *Руководство по фототопографическим работам при топогеодезическом обеспечении войск. Часть 3. Создание оригиналов специальных карт и фотодокументов о местности*. Москва: Редакционно-издательский отдел ВТС; 1983. 102 с.
18. *Альбом образцов специальных карт и фотодокументов местности*. Минск: Министерство обороны Республики Беларусь; 2013. 28 с.
19. *Альбом образцов специальных карт и фотодокументов*. Москва: Редакционно-издательский отдел ВТС; 1971. 73 с.
20. Дубровина СВ. *Совершенствование методики создания автонавигационных карт* [диссертация]. Москва: [б. и.]; 2017. 147 с.
21. Войцеховский СВ, Девяткин АМ, Котенок АА, Обухов АВ. Особенности создания пользовательского классификатора для отображения обстановки на электронной карте. *Программные продукты и системы*. 2014;3:44–47. DOI: 10.15827/0236-235X.107.044-047.
22. *ГКНП 05–016–2018. Условные знаки для топографической карты масштаба 1 : 10 000*. Минск: Белгеодезия; 2018. 122 с.
23. *ГКНП 05–015–2018. Условные знаки для топографических карт масштабов 1 : 25 000, 1 : 50 000, 1 : 100 000*. Минск: Белгеодезия; 2018. 101 с.
24. *ГКНП 05–019–2018. Условные знаки для топографических карт масштабов 1 : 200 000 и 1 : 500 000*. Минск: Белгеодезия; 2018. 59 с.
25. Черенко АС, Корьев ЛВ. Использование геоинформационных технологий для формирования специальной карты геодезических данных Вооруженных сил Республики Беларусь. *Земля Беларуси*. 2021;2:36–44.

## References

1. Berlyant AM. *Kartografiya* [Cartography]. Moscow: Aspect Press; 2002. 336 p. Russian.
2. Utekalco VK, Bugrenko YuP, Lazar' IA, Luk'yanenko LA, Birzgal VV, Vasilevskii VB, et al. *Rabochaya karta komandira* [Commander's work map]. 2<sup>nd</sup> edition. Minsk: Military Academy of the Republic of Belarus; 2013. 163 p. Russian.
3. ПАРБ.00046-06 98 01. Программное изделие геоинформационная система «Панорама» (ГИС «Панорама х64»). Прикладные задачи. Редактор классификатора [ПАРБ.00046-06 98 01. Software product geographic information system «Panorama» (GIS «Panorama x64»). Applied tasks. Classifier editor]. Nогinск: КБ «Панорама»; 2020. 56 p. Russian.
4. *Edinaya sistema klassifikatsii i kodirovaniya kartograficheskoi informatsii. Klassifikator topograficheskoi informatsii (informatsiya, otobrazhaemaya na topograficheskikh kartakh masshtabov 1 : 25 000, 1 : 50 000, 1 : 100 000, 1 : 200 000, 1 : 500 000, 1 : 1 000 000)* [Unified system of classification and coding of cartographic information. Classifier of topographic information (information displayed on topographic maps of scales 1 : 25 000, 1 : 50 000, 1 : 100 000, 1 : 200 000, 1 : 500 000, 1 : 1 000 000)]. Moscow: Redaktsionno-izdatel'skii otdel VTS; 1985. 60 p. Russian.

5. Lebedeva NYa. [Are you lucky in the maps...]. *ArcReview* [Internet]. 2001 [cited 2021 September 16];1. Available from: <https://arcreview.esri-cis.ru/2001/03/06/везет-ли-вам-в-картах/>. Russian.
6. *ArcGIS 9. Getting started with ArcGIS* [Internet]. ESRI, 1999–2005 [cited 2021 September 18]. V, 265 p. Available from: [http://downloads.esri.com/support/documentation/ao\\_/1003Getting\\_Started\\_with\\_ArcGIS.pdf](http://downloads.esri.com/support/documentation/ao_/1003Getting_Started_with_ArcGIS.pdf).
7. *QGIS user guide. Release 2.18* [Internet]. QGIS, 2019 April 8 [cited 2021 September 18]. IV, 473 p. Available from: <https://docs.qgis.org/2.18/pdf/en/QGIS-2.18-UserGuide-en.pdf>.
8. *MapInfo Pro v2019 user guide*. [S. l.]: Pitney Bowes Software; 2019. 1408 p.
9. Gotlib D. Nowe oblicza kartografii – od bazy danych geograficznych do mapy. *Polski Przegląd Kartograficzny*. 2008;40(4): 325–336.
10. Olszewski R, Zieliński J, Pillich-Kolipińska A, Fiedukowicz A, Glazewski A, Kowalski P. Methodology of creating the new generation of official topographic maps in Poland. In: Buchroithner MF, editor. *Proceedings of the 26<sup>th</sup> International Cartographic Conference; 2013 August 25–30; Dresden, Germany*. [S. l.]: International Cartographic Association; 2013. p. 680.
11. Gustavsson M, Seijmonsbergen AC, Kolstrup E. Structure and contents of a new geomorphological GIS database linked to a geomorphological map – with an example from Liden, central Sweden. *Geomorphology*. 2008;95(3–4):335–349. DOI: 10.1016/j.geomorph.2007.06.014.
12. Thibault DU. *Commented APP-6A – military symbols for land based systems: DRDC Valcartier TN 2005-222* [Internet]. [S. l.]: Defence Research and Development Canada – Valcartier; 2005 [cited 2021 September 18]. Available from: [http://www.mapsymbols.com/APP-6ADRDCValcartierEdition121\(Mod\).pdf](http://www.mapsymbols.com/APP-6ADRDCValcartierEdition121(Mod).pdf).
13. *STB 1863–2009. Tsifrovye karty mestnosti. Tsifrovye topograficheskie karty. Obshchie trebovaniya* [STB 1863–2009. Digital maps of the area. Digital topographic maps. General requirements]. Minsk: Belarusian State Institute of Standardization and Certification; 2009. 16 p. Russian.
14. *GOST R 51606–2000. Karty tsifrovye topograficheskie. Sistema klassifikatsii i kodirovaniya tsifrovoi kartograficheskoi informatsii. Obshchie trebovaniya* [GOST R 51606–2000. Digital topographic maps. Classifying and encoding system for digital cartographic information. General requirements]. Moscow: Izdatel'stvo standartov; 2000. III, 4 p. Russian.
15. *OKRB 012–2007. Tsifrovye karty mestnosti. Informatsiya, obozrazhaemaya na topograficheskikh kartakh i planakh naselennykh punktov* [OKRB 012–2007. Digital maps of the area. Information displayed on topographic maps and plans of settlements]. Minsk: Belarusian State Institute of Standardization and Certification; 2007. 85 p. Russian.
16. *Rukovodstvo po kartograficheskim i kartoizdatel'skim rabotam. Chast' 9. Podgotovka k izdaniyu i izdanie kart i fotodokumentov mestnosti v polevykh usloviyakh* [Guidelines for cartographic and cartographic works. Part 9. Preparation for publication and publication of maps and photographs of the terrain in the field]. Moscow: Redaktsionno-izdatel'skii otdel VTS; 1985. 212 p. Russian.
17. *Rukovodstvo po fototopograficheskim rabotam pri topogodezicheskoy obespechenii voisk. Chast' 3. Sozdanie originalov spetsial'nykh kart i fotodokumentov o mestnosti* [Guidelines for phototopographic work in topographic support of troops. Part 3. Creation of originals of special maps and photo documents about the area]. Moscow: Redaktsionno-izdatel'skii otdel VTS; 1983. 102 p. Russian.
18. *Al'bom obraztsov spetsial'nykh kart i fotodokumentov mestnosti* [Album of samples of special maps and photo documents of the area]. Minsk: Ministry of Defence of the Republic of Belarus; 2013. 28 p. Russian.
19. *Al'bom obraztsov spetsial'nykh kart i fotodokumentov* [Album of samples of special maps and photo documents]. Moscow: Redaktsionno-izdatel'skii otdel VTS; 1971. 73 p. Russian.
20. Dubrovina SV. *Sovershenstvovanie metodiki sozdaniya avtonavigatsionnykh kart* [Improving the methodology for creating autonavigation maps] [dissertation]. Moscow: [s. n.]; 2017. 147 p. Russian.
21. Voytsekhovskiy SV, Devyatkin AM, Kotenok AA, Obukhov AV. Features of creating a custom qualifier for situation display on the electronic map. *Software and Systems*. 2014;3:44–47. Russian. DOI: 10.15827/0236-235X.107.044-047.
22. *GKNP 05–016–2018. Uslovnye znaki dlya topograficheskoi karty masshtaba 1 : 10 000* [GKNP 05–016–2018. Conventional signs for topographic map of the scale 1 : 10 000]. Minsk: Belgeodesiya; 2018. 122 p. Russian.
23. *GKNP 05–015–2018. Uslovnye znaki dlya topograficheskikh kart masshtabov 1 : 25 000, 1 : 50 000, 1 : 100 000* [GKNP 05–015–2018. Conventional signs for topographic maps of the scales 1 : 25 000, 1 : 50 000, 1 : 100 000]. Minsk: Belgeodesiya; 2018. 101 p. Russian.
24. *GKNP 05–019–2018. Uslovnye znaki dlya topograficheskikh kart masshtabov 1 : 200 000 i 1 : 500 000* [GKNP 05–019–2018. Conventional signs for topographic maps of the scales 1 : 200 000 and 1 : 500 000]. Minsk: Belgeodesiya; 2018. 59 p. Russian.
25. Cherenko AS, Koryev LV. The use of geoinformation technologies for the formation of a special map of geodetic data of the Armed Forces of the Republic of Belarus. *Land of Belarus*. 2021;2:36–44. Russian.

УДК 551.435.42(476)

## ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В ЛОЖЕ ПОСЛЕДНЕГО ЛЕДНИКОВОГО ПОКРОВА НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЛЕДНИКОВЫХ ЛОЖБИН БЕЛОРУССКОГО ПООЗЕРЬЯ

М. Е. КОМАРОВСКИЙ<sup>1)</sup>, Е. В. ХИЛЬКЕВИЧ<sup>1)</sup>

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

На ложе Поозерского (Вислинского) ледникового покрова, занимавшего северную часть Беларуси в максимальную стадию и в начале деградации, по геологическим и геоморфологическим критериям выделены три концентрические термические зоны: внешняя зона базально-мерзлого льда, зона прерывистого мерзлого ложа, внутренняя зона талого ложа. Сопоставление ледниковых ложбин с термической зональностью показывает, что их распределение и формирование тесно связаны с термическими условиями. В ходе проникновения в северную часть Беларуси Поозерского (Вислинского) ледникового покрова термическая зональность сказалась на геологических денудационных процессах. Это привело к развитию локальной эрозии и формированию небольшого количества ложбин во внешней зоне базально-мерзлого льда, масштабному проявлению ледникового выпаживания и выдавливания и образованию лопастных гляциодепрессий, крупных радиальных ложбин и подледных озер во внутренней зоне талого ложа и вдоль ее внешней границы с зоной прерывистого мерзлого ложа. Оформление крупных субгляциальных водно-эрозионных ложбин стало возможным на этапе деградации ледникового щита (в витебскую фазу), после того как талые ледниковые воды подледных подпружных озер нашли выход в краевую зону через прерывистое мерзлое ложе и были спущены в результате катастрофических выбросов по отдельным каналам, которые углубились, расширились и образовали ложбины.

**Ключевые слова:** ледниковые ложбины; краевая зона; базальные термические условия; талое ложе; мерзлое ложе; последний ледниковый покров.

---

### Образец цитирования:

Комаровский М.Е., Хилькевич Е.В. Влияние термических условий в ложе последнего ледникового покрова на распределение ледниковых ложбин Белорусского Поозерья. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология.* 2022;1:101–115.  
<https://doi.org/10.33581/2521-6740-2022-1-101-115>

### For citation:

Komarovskiy ME, Khilkevich EV. Influence of the thermal conditions within the bed of the last ice sheet on the distribution of glacial valleys of the Belarusian Poozerie area. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology.* 2022;1:101–115. Russian.  
<https://doi.org/10.33581/2521-6740-2022-1-101-115>

---

### Авторы:

**Михаил Евгеньевич Комаровский** – кандидат геолого-минералогических наук, доцент; доцент кафедры региональной геологии факультета географии и геоинформатики.  
**Екатерина Викторовна Хилькевич** – старший преподаватель кафедры региональной геологии факультета географии и геоинформатики.

### Authors:

**Michail E. Komarovskiy**, PhD (geology and mineralogy), doцент; associate professor at the department of regional geology, faculty of geography and geoinformatics.  
[mkomarovskiy@mail.ru](mailto:mkomarovskiy@mail.ru)  
**Ekaterina V. Khilkevich**, senior lecturer at the department of regional geology, faculty of geography and geoinformatics.

## INFLUENCE OF THE THERMAL CONDITIONS WITHIN THE BED OF THE LAST ICE SHEET ON THE DISTRIBUTION OF GLACIAL VALLEYS OF THE BELARUSIAN POOZERIE AREA

*M. E. KOMAROVSKIY<sup>a</sup>, E. V. KHILKEVICH<sup>a</sup>*

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

*Corresponding author: M. E. Komarovskiy (mkomarovskiy@mail.ru)*

Within the bed of the Poozerie (Weichselian) ice sheet, which occupied the northern part of Belarus at the maximum stage and at the beginning of degradation, three concentric thermal zones were identified according to geological and geomorphological criteria: the outer zone of basal frozen ice, the zone of discontinuous frozen bed, the inner zone of the thawed bed. Comparison of glacial valleys with thermal zoning shows that their distribution and formation closely related to thermal conditions. During the Poozerie (Weichselian) ice sheet advance into the northern region of Belarus, thermal zoning affected geological denudation processes. This led to local erosion and valleys in the outer zone of basal frozen ice, large-scale manifestation of glacial excavation and squeezing out and the formation of lobate glacial depressions, large radial valleys and subglacial lakes in the inner zone of the thawed bed and along its outer border with the zone of discontinuous frozen bed. The formation of large tunnel valleys became possible at the stage of degradation of the ice sheet (Vitebsk phase), after the melted glacial waters of subglacial dammed lakes found an outlet into the marginal zone through an intermittent frozen bed and were released as a result of catastrophic floods through separate channels, which were deepened, widened and formed tunnel valleys.

**Keywords:** glacial valleys; marginal zone; basal thermal conditions; thawed ice bed; frozen ice bed; the last ice sheet.

### Введение

Ледниковая эрозия и формирование ледниковых ложбин строго зависят от термических условий в ложе ледника. В частности, мерзлое или талое состояние ложа контролирует прочность сцепления лед – ложе, которое влияет на динамику ледника и процессы в его ложе [1]. В условиях талого состояния ложа водная пленка и высокое водное давление снижают сцепление лед – ложе, приводя к скольжению ледника, проявлению абразии и выпаживания. В базально-холодных условиях ледник прочно смерзается со своим ложем, движется за счет внутренней деформации льда, и разрушение субстрата может не происходить. Вопрос пространственной организации базальных термических зон в ледниковом покрове имеет фундаментальное значение для распределения и формирования ледниковых ложбин.

Предыдущими исследованиями установлено, что Поозерский ледниковый покров является политермальным ледником, у которого отмечается определенная зональность базальных термических условий. Общая картина распределения базально-холодных и базально-теплых условий внизу Скандинавского ледникового щита в Северной Европе в настоящее время в целом известна [2]. Кратко подытожим основные результаты изучения проявления ледниковой термической зональности в субгляциальных эрозионных процессах, важные для понимания формирования ледниковых ложбин в Беларуси.

1. Ледниковые ложбины связаны преимущественно с тальми зонами – внутренней (под центром ледникового щита) и внешней (в пределах периферического покрова) [3]. Термические условия внутренней талой зоны, благоприятствующие массовому развитию плакинга и абразии, привели к возникновению полосы крупнейших экзарационных впадин и ложбин, окаймляющих Балтийский кристаллический щит [4]. Для внешней талой зоны более характерными считаются процессы выпаживания (плакинг, сквамация), аккреция режеляционного льда, деформация ложа и образование лопастных и языковых экзарационно-протрузионных гляциодепрессий и ложбин, сопряженных с полосами развития друмлинов, конечных и радиальных напорных морен.

2. Крупные подледные водно-эрозионные ложбины проявляются в краевой мерзлой зоне. Здесь сложились условия для эпизодического дренажа подледных вод от базально-теплых районов, расположенных внутри ледника [5].

3. В районах с расчлененным рельефом политермический ледниковый покров имеет тенденцию образовывать базально-холодные зоны над поднятиями, сохраняя тем самым высоко приподнятые ландшафты, и базально-теплые эрозионные зоны в топографических понижениях, где лед является наиболее мощным. Рельеф всегда вызывает самоустанавливающуюся и довольно устойчивую базальную вертикальную термическую зональность – механизм, работающий на местности с малой (несколько сотен метров) амплитудой рельефа [6].

Однако намного меньше известно о закономерностях термозонального контроля субгляциальных эрозионных процессов в основной краевой зоне Поозерского ледникового покрова, к которой относится северная часть Беларуси. Неопределенными остаются конкретная ширина той или иной зоны, форма в плане, последовательность зон, их соотношение с ледниковыми потоками и рельефом.

Целями данной работы являются: 1) исследование базальных термических условий под краевой зоной Поозерского ледникового покрова на севере Беларуси; 2) установление основных черт проявления термической зональности в базальных эрозионных процессах и распределении ледниковых ложбин.

### Методика реконструкции термических условий

Реконструкция термических условий под Поозерским ледниковым покровом проводилась для максимальной стадии и начальной регрессивной (витебской) фазы оледенения в северной части Беларуси. В работе не рассматриваются район Белорусского Поозерья на крайнем северо-западе страны (Озерская низина) и браславская стадия оледенения со своим узором ледниковых лопастей, языков и свойственных им ложбин вместе с новыми термическими условиями под ледником.

Для выявления термических условий и последовательности их смены под ледниковым покровом использовался комплекс геологических и геоморфологических критериев, включающих отложения, гляциотектонические структуры, гляциодислокации, формы и типы рельефа, которые можно интерпретировать по установленным связям с процессом их формирования. Исходя из имеющихся данных, по состоянию базального льда эти геологические и геоморфологические образования можно свести к трем группам. Первая группа включает отложения, структуры и формы рельефа, связанные с мерзлым ложем, вторая – с талым ложем, эрозией, аккумуляцией и изменениями основания ледника, третья группа проявляется в переходных условиях между мерзлым и талым ложем (прерывисто-мерзлое ложе). Эти образования зонально распределены по радиусу ледникового покрова (см. таблицу).

#### Геологические и геоморфологические критерии термических условий в основании краевой зоны последнего ледникового покрова в Беларуси

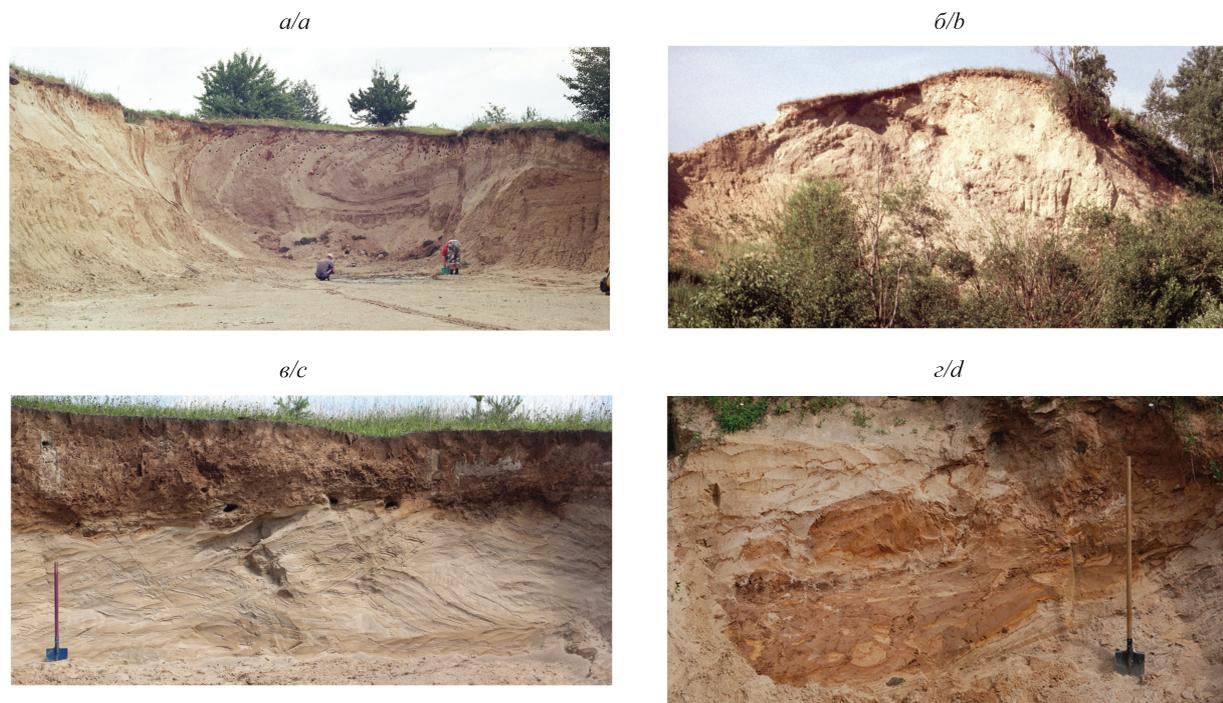
#### Geological and geomorphological criteria of thermal conditions in a base of the marginal zone of the last ice sheet in Belarus

Термические условия	Зона в леднике	Геологические критерии	Геоморфологические критерии
Базально-холодный лед	Зафронтальная	1. Древние палеогеновые коры выветривания на девонских доломитах и известняках 2. Рыхлые неогеновые буроугольные и песчано-глинистые отложения	1. Доледниковые формы субаэрального выветривания и флювиальной эрозии без знаков ледниковой эрозии: денудационные поверхности выравнивания палеогенового времени, выступы скальных пород, длинные пологие склоны, карстовые воронки, флювиальные палеодолины неогенового возраста 2. Прогляциальные латеральные ложбины стока 3. Холмистый моренный рельеф в центральных районах ледораздельных возвышенностей
	Краевая	1. Гидроразрывные интрузивные дайки и силлы 2. Чешуи из песка и гравия в напорных моренах 3. Плоскости надвигов и складок в гляциодислокациях 4. Лежачие и S-образные складки, разрывы, песчаные линзы, слои и отторженцы в морене	1. Напорные конечные морены с гляциодинамическими текстурами 2. Субгляциальные озы 3. Холмистые контролируемые морены 4. Супрагляциальные озы и дельты

Термические условия	Зона в леднике	Геологические критерии	Геоморфологические критерии
Базально-теплый лед	Зафронтальная	1. Субгляциальные озерные отложения 2. Лоджемент-морена 3. Субгоризонтальные трещины, раскалывающие морену на плитки 4. Утюгообразные обломки в морене 5. Субгляциальная морена вытаявания 6. Прерывистые и искривленные слои и линзы с внутренними текстурами течения 7. Эрозионные контакты с недеформированными подморенными отложениями 8. Субгоризонтальные трещины, местами заполненные сортированными отложениями 9. Морена, содержащая горизонтальные песчаные слои миллиметровой толщины, переслаивающиеся с моренной матрицей 10. Одинарные прослои стратифицированного песка в моренной матрице 11. Деформационная морена 12. Сильно вытянутые, смятые и будинизированные слои подморенных отложений, сланцеватость в морене 13. Валунные мостовые в морене 14. Гляциотектонические чешуи и складки в слоистых отложениях, содержащих слои контрастной реологии и водопроницаемости	1. Моренные равнины 2. Линейные формы: озы, U-образные ложбины 3. Элементарные конечные морены, сформированные повторными подвижками 4. Краевые валы субгляциальной деформационной морены 5. Ложбины и котловины ледникового выдавливания 6. Напорные морены, построенные из деформированных отложений крупных приледниковых водоемов
Мозаика пятен мерзлого и талого ложа	Пограничная зона между краевой и внутренней зонами	1. Чешуйчатые надвиги 2. Мощные сублимационные и абляционные морены	1. Крупные напорные конечные морены 2. Холмистые контролируемые морены 3. Подледные водно-эрозионные ложбины 4. Радиальные формы напорных морен и ложбины

Отображенная в отложениях, структурах и формах рельефа запись их формирования дает информацию о состоянии фазовой границы между водой и льдом у основания ледника, т. е. о базальной температуре [7]. Образования, отражающие прошлые базально-холодные условия, распространены вдоль южной границы ледника. На условия базально-холодной маргинальной зоны указывают латеральные и прогляциальные водно-ледниковые долины, где краевые ледниковые аккумуляции отсутствуют. Такие долины развивались вдоль края лопастей и языков в максимальное их расширение в ответ на утончение льда и сопутствующее рассеяние геотермального тепла. В базально-холодной зоне формировались также грядово- и холмисто-моренные пояса и связанные с ними латеральные и прогляциальные долинные системы [8]. Важные элементы внутренней структуры – чешуи, лежащие и S-образные складки, отторженцы из песка, гравия в морене – являются доказательством деформации отложений в мерзлом состоянии (рис. 1).

Ледниковые формы рельефа, находящиеся глубоко позади края Поозерского ледника, – моренные равнины, озы, лопастные и языковые котловины, краевые валы субгляциальной деформационной морены – ограничивают базально-теплый лед. Такие геологические образования, как подморенные гляциотектониты, будинизированные слои подстилающих отложений, сланцеватость в морене, слоистая морена с прослоями отсортированных отложений, отчетливый контакт между основной мореной и субстратом, диапиры, свидетельствуют об условиях талого ложа (рис. 2), а отложения подледных озер, представленные только здесь, прямо указывают на присутствие крупных скоплений талых ледниковых вод.



*Рис. 1.* Гляциотектонические структуры, связанные с деформацией конечных морен в мерзлом состоянии у южного края Поозерского (Вислинского) ледника в максимальную стадию в Беларуси:

- a* – лежачие изоклиналильные складки в песчаных и моренных слоях (северный склон Гродненской возвышенности);
- б* – чешуи из песка и гравия (Черейская гряда); *в* – опрокинутые песчаные складки (восточная часть Ушачской возвышенности);
- г* – гляциотектонический меланж с песчаными отторженцами (северо-западная часть Ушачской возвышенности)

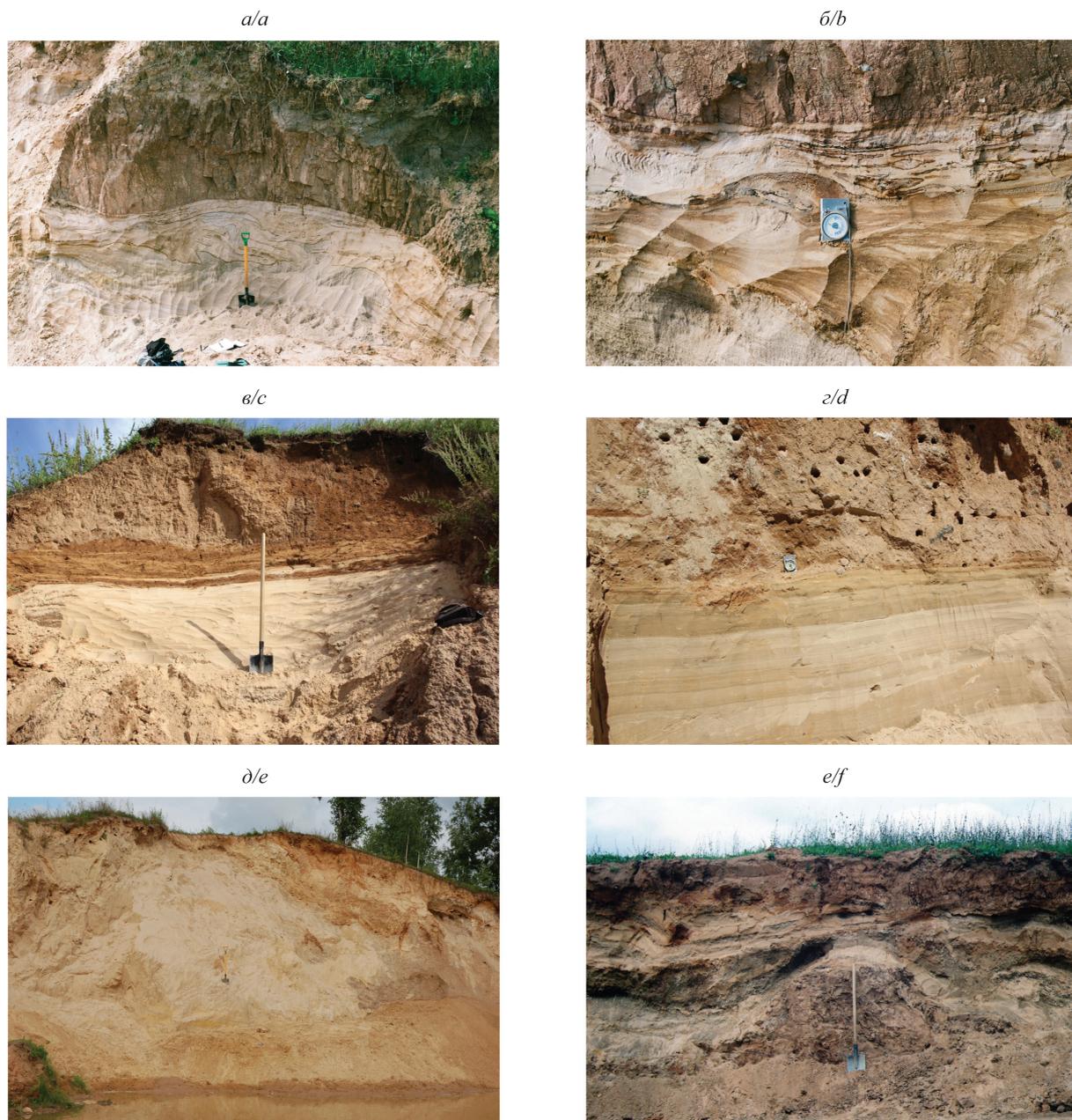
*Fig. 1.* Glaciotectonic structures associated with deformation of push moraines in frozen state at southern margin of the Poozerie (Weichselian) ice sheet during the Last Glacial Maximum in Belarus:

- a* – recumbent isoclinal sand and till folds (northern slope of the Grodno Highland);
- b* – slices (blocks) of sand and gravel (Chereya Ridge);
- c* – recumbent folds within of sand (eastern part of the Ushachi Highland);
- d* – glaciotectonic melange with sand intraclasts (northwestern part of the Ushachi Highland)

Посередине между внешней и внутренней зонами Поозерского ледника находятся самые крупные конечно-моренные гряды, радиальные формы напорных морен, ложбины, отторженцы и гляциодислокации, отражающие переходные условия между теплым и холодным льдом (частично мерзлое ложе). Конечно-моренные формы, гляциодислокации и отторженцы могли быть связаны с появлением фронтальных зон сжатия и надвигов в леднике под районом термального перехода [9]. Через эти конечно-моренные системы простираются многочисленные ложбины водно-ледникового размыва, по которым мы заключаем, что здесь в большом количестве существовали каналы стока подледных вод в мерзлом ложе под ледником.

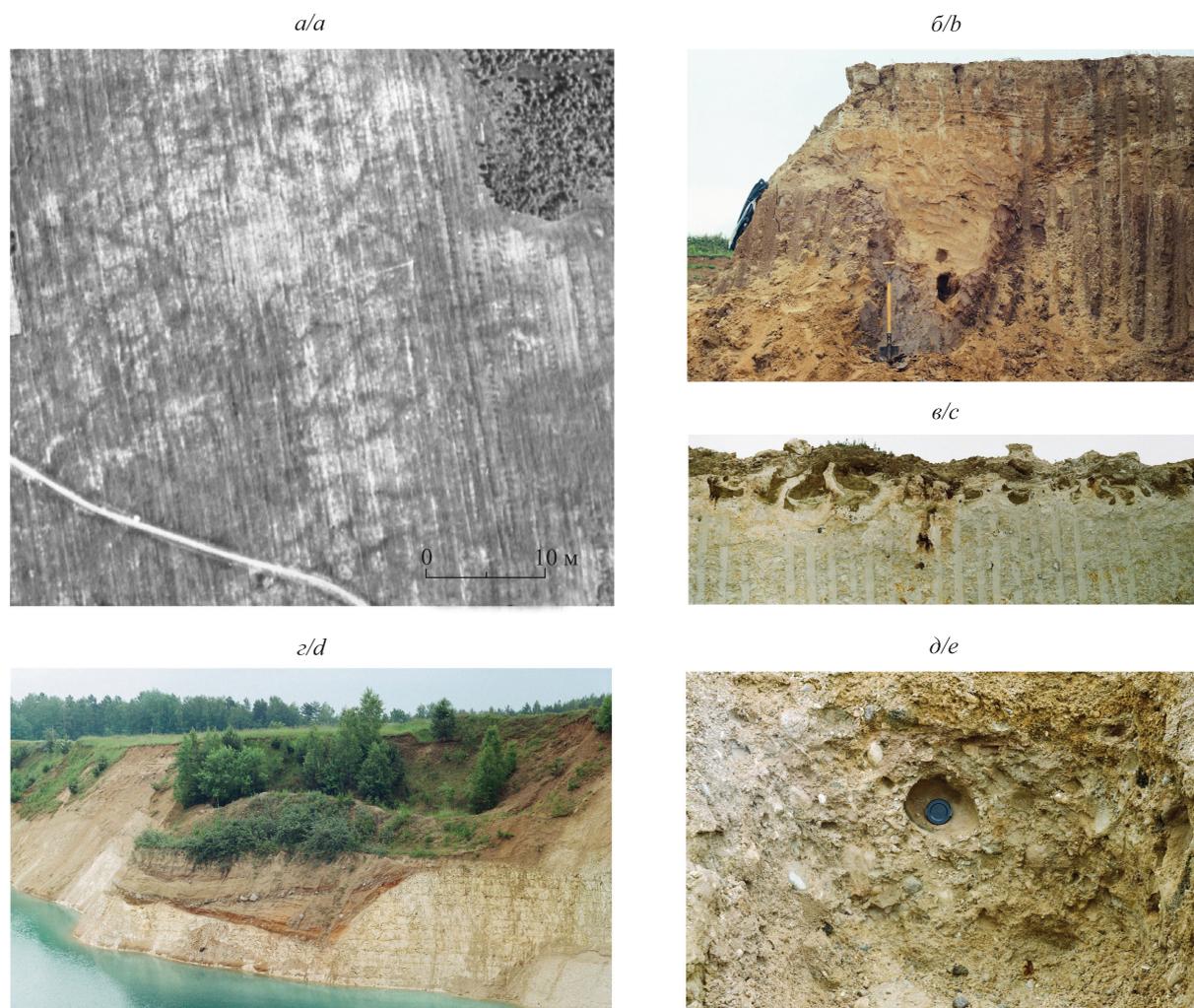
Косвенными индикаторами широкого распространения холодных базальных условий под южным краем ледникового покрова и развития вечной мерзлоты перед ним служат ископаемые перигляциальные образования (рис. 3). Они дают возможность оценить температуру грунта, глубину и ширину зоны вечной мерзлоты. К наиболее важным показателям относятся морозобойные трещины. Псевдоморфозы по крупным повторно-ледяным жилам принимаются как убедительное обоснование наличия в прошлом сплошной вечной мерзлоты [12].

Геологические и геоморфологические образования, указывающие на базально-холодное, базально-теплое и прерывисто-мерзлое ложе, были нанесены на карту масштаба 1 : 200 000 (рис. 4). По расположению этих индикаторов стало возможным реконструировать базальные термальные условия Поозерского ледникового покрова в северной части Беларуси и установить основные черты проявления термической зональности в распределении ледниковых ложбин.



*Рис. 2.* Структуры, указывающие на присутствие в прошлом талого ложа позади ледникового края:  
*a* – подморенные гляциотектониты (Гиньковская ложбина);  
*б* – вытянутые, смятые и будинизированные слои подстилающих отложений, сланцеватость в морене (ложбина Долгое);  
*в* – слоистая морена с прослоями отсортированных отложений (д. Старинки);  
*г* – отчетливый контакт между основной мореной и субстратом;  
*д, е* – диапиры, проникающие в перекрывающие слоистые отложения (район Ушачских озер)

*Fig. 2.* Structures indicating the former presence of thawed bed beyond the ice margin:  
*a* – sub-till glacictonite (the Ginkovo Valley);  
*b* – attenuated, folded and boudinaged layers in sub-till sediments and foliation in till (the Dolgoe Valley);  
*c* – bedded till with stringers of sorted sediments (Starinki Village);  
*d* – sharp (erosional) contacts between till and substrate;  
*e, f* – diapirs of sands and till squeezed into overlying stratified sediments (Ushachi Lakes Basin)



*Рис. 3.* Свидетельства вечной мерзлоты в последний ледниковый максимум в центральной и западной частях Беларуси:  
*a* – реликтовые полигонально-блочные грунты  
 (Центрально-Березинская равнина юго-западнее г. Березино);  
*б* – ледяная жила в озерно-ледниковых глинистых отложениях (Скидельская низина);  
*в* – криотурбации в моренных и меловых отложениях  
 (карьер «Старавино» северо-западнее г. Гродно);  
*г* – погребенная перигляциальная долина  
 (карьер «Пышки» западнее г. Гродно);  
*д* – желифлюкционный суглинистый диамиктон (склон долины р. Неман).  
 Источник: [10; 11]

*Fig. 3.* Evidences for continuous permafrost during the Last Glacial Maximum in the central and western areas of Belarus:  
*a* – relict ice wedge polygons  
 (Central Berezina Plain to the southwest of Berezino);  
*b* – ice wedge cast in lacustrine clay deposits (Skidel Lowland);  
*c* – cryoturbations in till and chalk deposits  
 (Staravino open-cast chalk mine to the northwest of Grodno);  
*d* – periglacial valley (Pishki open-cast chalk mine to the west of Grodno);  
*e* – jelifluaction loam diamicton (slope of the Nemen River valley).  
 Source: [10; 11]

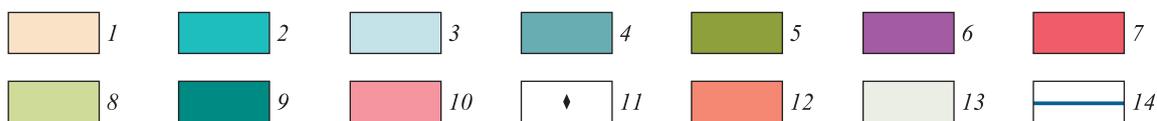
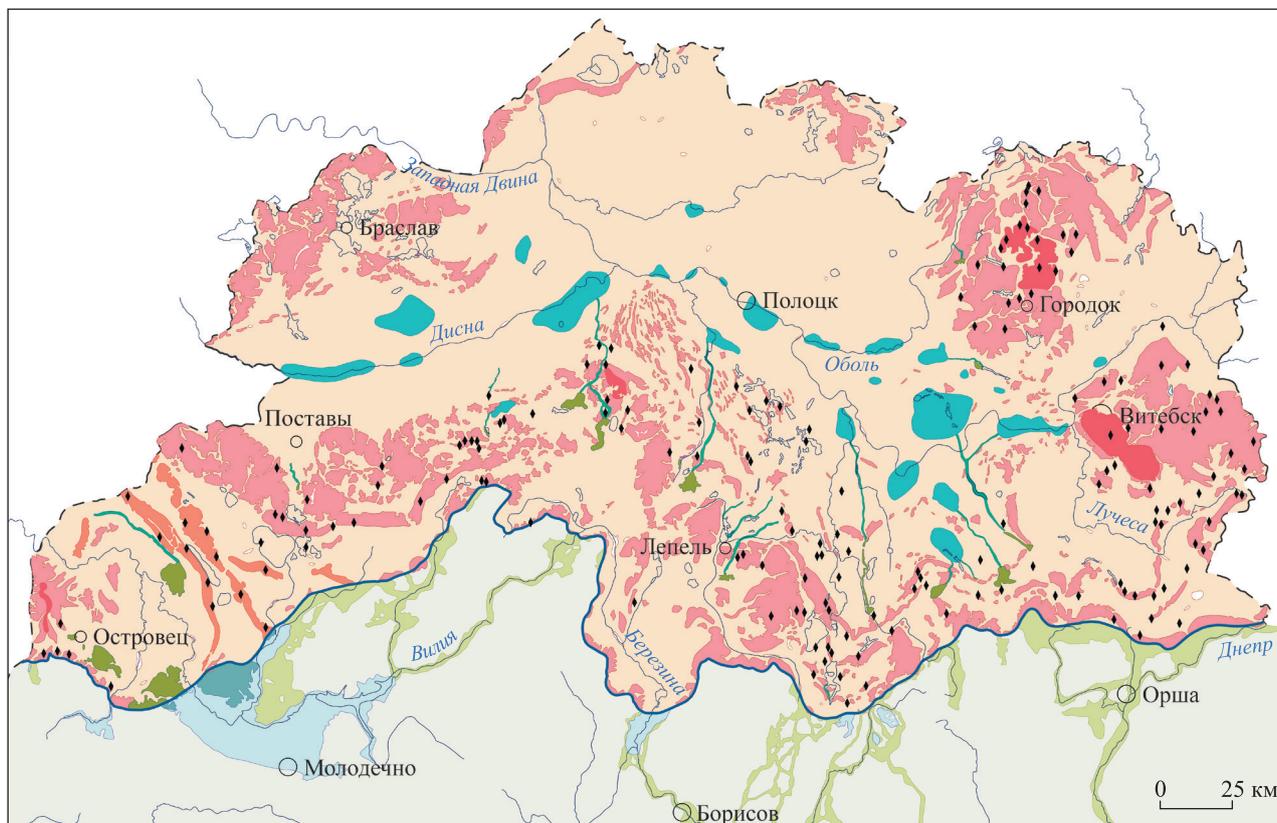


Рис. 4. Распределение образований, отражающих термические условия под краевой зоной Поозерского (Вислинского) ледникового покрова в северной части Беларуси.

Формы рельефа и отложения, указывающие на базально-теплые условия:

1 – подледные морены; 2 – отложения подледных озер; 3 – прогляциальные озера; 4 – дельты.

Образования, которые могут быть связаны с базально-холодным льдом:

5 – супрагляциальные озы и дельты в устьях подледных каналов;

6 – подледные озы; 7 – холмистый моренный рельеф;

8 – прогляциальные и латеральные водно-ледниковые долины.

Формы рельефа, отражающие переходную зону между теплым и холодным льдом:

9 – подледные водно-эрозионные ложбины; 10 – напорные конечные морены;

11 – гляциодислокации; 12 – радиальные формы напорных морен.

Остальные обозначения:

13 – зона вечной мерзлоты; 14 – максимальная граница оледенения

Fig. 4. Distribution of features marking the thermal conditions under marginal zone of the Poozerie (Weichselian) ice sheet in the northern area of Belarus.

Landforms and deposits, which may indicate warm-bed conditions:

1 – subglacial tills; 2 – sediments of subglacial lakes;

3 – ice margins along lacustrine basins; 4 – ice contact deltas.

Landforms, which can be attributed to a peripheral cold-based margin:

5 – supraglacial eskers and deltas within the tunnel channel mouths; 6 – subglacial eskers;

7 – hummocky moraine; 8 – proglacial and lateral meltwater channels.

Landforms, which perhaps reflect the warm-bed and cold-bed boundary zone:

9 – tunnel valleys; 10 – ice thrust moraines; 11 – glacetectonic structures

and detached masses; 12 – radial forms of the push moraines.

Other designations:

13 – zone of continuous permafrost; 14 – maximal ice sheet boundary

## Распределение ложбин в связи с термической зональностью ледника

Пространственное распределение геологических и геоморфологических доказательств отражают три концентрические термические зоны, параллельные краю Поозерского ледника: внешняя зона мерзлого ложа, промежуточная зона прерывистого мерзлого ложа и внутренняя зона талого ложа.

Внешняя зона мерзлого ложа распространяется вдоль края ледника, является субгляциальным продолжением вечной мерзлоты и, судя по расстоянию от края ледника до окончаний субгляциальных водно-эрозионных ложбин, имеет ширину до 53 км. У Вилейской лопасти она отсутствует на границе с Вилейским прогляциальным водоемом, где мог быть талик. Ледниковые ложбины в этой зоне встречаются весьма редко, за исключением разломов [13]. Широкое развитие получили латеральные и прогляциальные каналы талых ледниковых вод с конечными напорными моренами и без них.

Зона прерывистого мерзлого ложа непрерывной полосой протягивается дальше к северу. Ее ширина изменяется от 10 до 80 км. В этой зоне сосредоточена преобладающая часть ледниковых ложбин. Мы полагаем, что появление такого множества ложбин обусловлено изменением базальных термических условий в благоприятную сторону для их формирования.

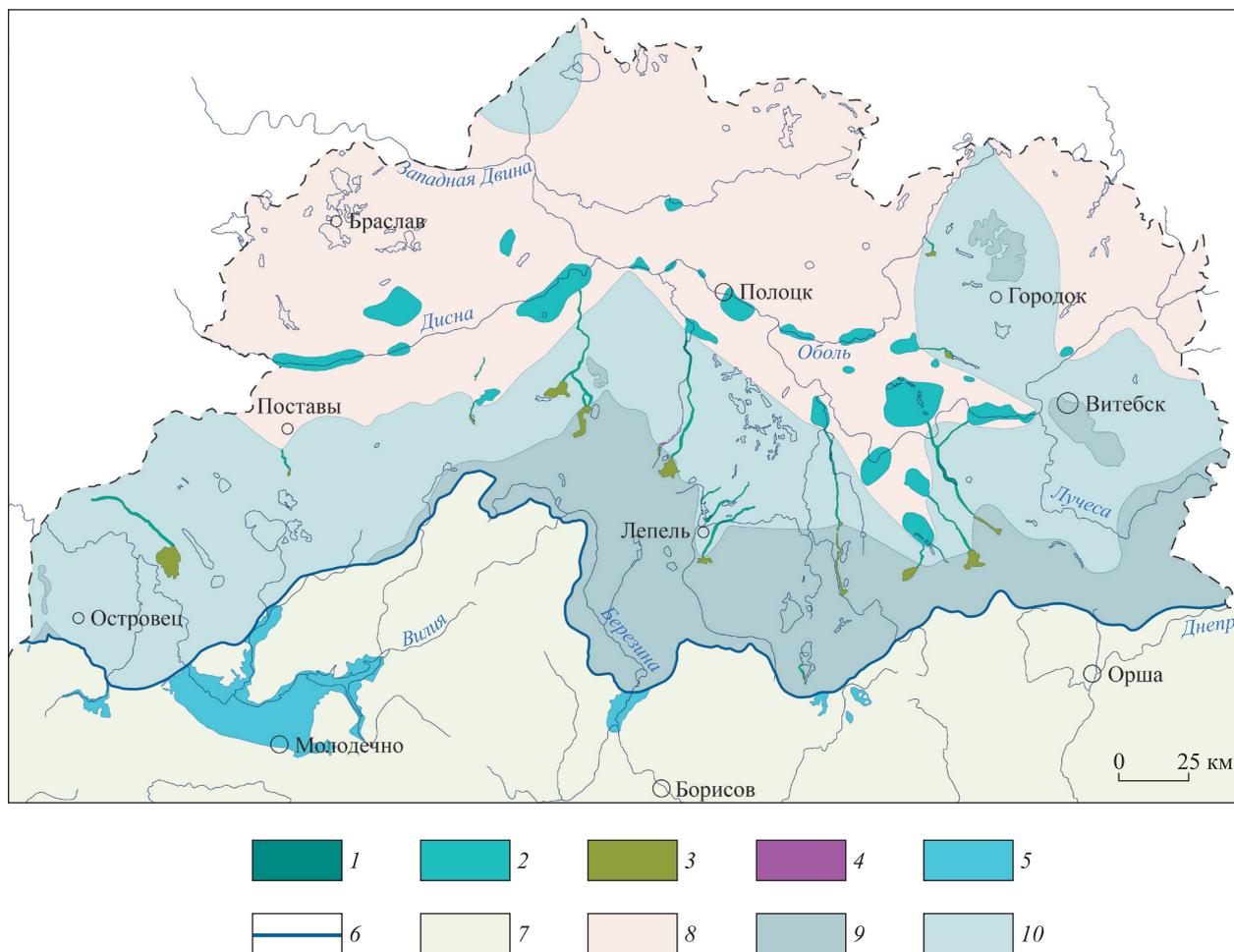
В пределах зоны прерывистого мерзлого ложа ложбины сосредоточены преимущественно в поясе термического перехода к зоне теплого льда. Считается, что зона перехода условий от скользящего теплого ложа к базально-холодным условиям способствует ледниковой эрозии (выпахиванию) и гляциотектоническому выдавливанию [14]. Это согласуется с происхождением ложбин, среди которых преобладают субгляциальные экзарационные, гляциотектонические протрузионные и гляциоинъективные формы, проявляющие генетическое родство с напорными конечными и радиальными моренами и гляциодислокациями [15]. Ложбины нередко наследуют направление осевых зон ледниковых языков и погребенных радиально вытянутых ложбин. Унаследованные формы тесно коррелируются с теплым скользящим базальным льдом.

Характерными формами рельефа зоны прерывистого мерзлого ложа являются субгляциальные водно-эрозионные ложбины, которые в таком количестве больше не встречаются ни в одной из зон (рис. 5). Они протягиваются от субгляциальных озер зоны талого ложа через зону прерывистого мерзлого ложа и имеют спереди вдоль границы с мерзлым ложем супрагляциальные водно-ледниковые конусы и озы. Блокировка мерзлым субстратом стока талых вод из ледникового ложа считается важным фактором в формировании водно-эрозионных ложбин. Частично мерзлое ложе должно усиливать подледное водное давление в водоносных пластах или подледных озерах до тех пор, пока спуски через зону прерывистого мерзлого ложа не прорезали ложбины [16; 17].

Внутренняя зона талого ложа располагается позади зоны прерывистого мерзлого ложа. Она имеет ширину до 88 км и отчетливо проявляется до краевого комплекса браславской стадии. Теплый в основании ледник и влажное ложе облегчают выпаживание, абразию и деформацию подледных отложений. Ледниковое выпаживание будет эффективнее вдоль границы с мерзлым ложем, где срыву блоков способствует водное давление в немерзлых породах [18]. В связи с этим в данной зоне доминируют лопастные и языковые экзарационно-эрозионные котловины (гляциодепрессии). Внутренняя базально-теплая зона ледника является также источником талых ледниковых вод, местом скопления 24 изолированных субгляциальных озер в ледниковых котловинах. Дренажное талых вод из субгляциальных озер к краю ледника – основная причина заложения водно-эрозионных ложбин.

В некоторых местах концентрическое распределение термических зон осложняется неровностями подледникового рельефа. Наиболее значительные изменения вносятся поднятиями в северо-восточном, центральном и северо-западном районах Беларуси, служившими ледоразделами Поозерского ледникового покрова и более древних оледенений. В таких ситуациях отмечается определенная последовательность в расположении форм рельефа и ложбин, которая может отражать изменения температурных условий и процессов эрозии в ледниковом ложе над поднятиями.

На рис. 6 показаны доледниковые и ледниковые формы и их отношение к прошлым базальным термическим условиям в пределах Витебского и Городокского поднятий поверхности дочетвертичных отложений. На самых низких высотах (до 100 м) у подножий поднятий располагаются формы ледникового выпаживания, предполагающие базальный лед у точки плавления. На средних высотах (между 100 и 140 м) на склонах поднятий характер форм смешанный: редкие ледниковые отторженцы коренных пород и ложбины свидетельствуют о локальном проявлении ледникового выпаживания и теплого льда, а более очевидные образования (останцы кор выветривания, карстовые воронки с неогеновыми отложениями и без них, фрагменты доледниковых речных долин), которые только в некоторой степени преобразованы ледниковыми процессами, подвержены базально-холодному льду. Выше 140 м поверхности вершин не содержат доказательств ледниковой эрозии и других следов гляцигенного воздействия, что свидетельствует о базально-холодном льде (рис. 7).



*Рис. 5.* Соотношение между подледными водно-эрозионными ложбинами и термическими условиями в ложе ледника, установленными по диагностическим формам рельефа и отложениям:  
 1 – субгляциальные водно-эрозионные ложбины; 2 – подледные озера;  
 3 – супрагляциальные озы и дельты в устьях подледных каналов;  
 4 – подледные озы; 5 – приледниковые водоемы; 6 – максимальная граница оледенения;  
 7 – зона вечной мерзлоты; 8 – базально-теплый лед; 9 – базально-холодный лед;  
 10 – мозаика базально-холодных и базально-теплых условий

*Fig. 5.* Correlation between tunnel valleys and the basal thermal conditions inferred from diagnostic landforms and deposits:  
 1 – tunnel valleys; 2 – subglacial lakes; 3 – supraglacial eskers and deltas within the tunnel channel mouths; 4 – subglacial eskers;  
 5 – proglacial lacustrine basins; 6 – maximal ice sheet boundary;  
 7 – zone of continuous permafrost; 8 – wet-based ice;  
 9 – cold-based ice; 10 – mosaic of frozen-bed and thawed-bed conditions

Наличие описанного набора образований в возвышенных районах под днепровской мореной отражает высотную зональность базальных условий и распределения ложбин Ясельдинского, Березинского и Днепровского ледников, которые покрывали исследуемый район. Схожая высотная зональность встречается также на межпотоковых возвышенностях Поозерского ледникового покрова (см. рис. 5). Конечно-моренный напорный грядово-холмистый рельеф ограничен более низкими склонами возвышенностей, он отражает зону базально-талого ложа. Далее вглубь, у центра возвышенностей, холмисто-западинный моренный рельеф, мощная абляционная морена, звонцеподобные и камовые холмы, водно-ледниковые долины стока и другие геолого-геоморфологические индикаторы базально-холодного ложа расположены на самых высоких отметках. В пределах Городокской возвышенности у границ между базально-теплым быстро движущимся льдом (ледниковые потоки) и базально-холодным медленно текущим льдом над ледораздельным поднятием развиты латеральные зоны срезания.

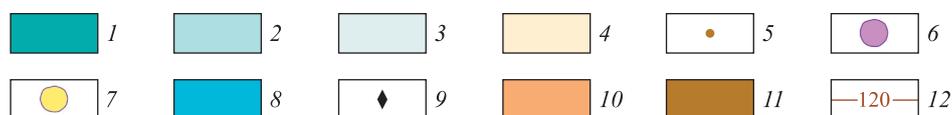
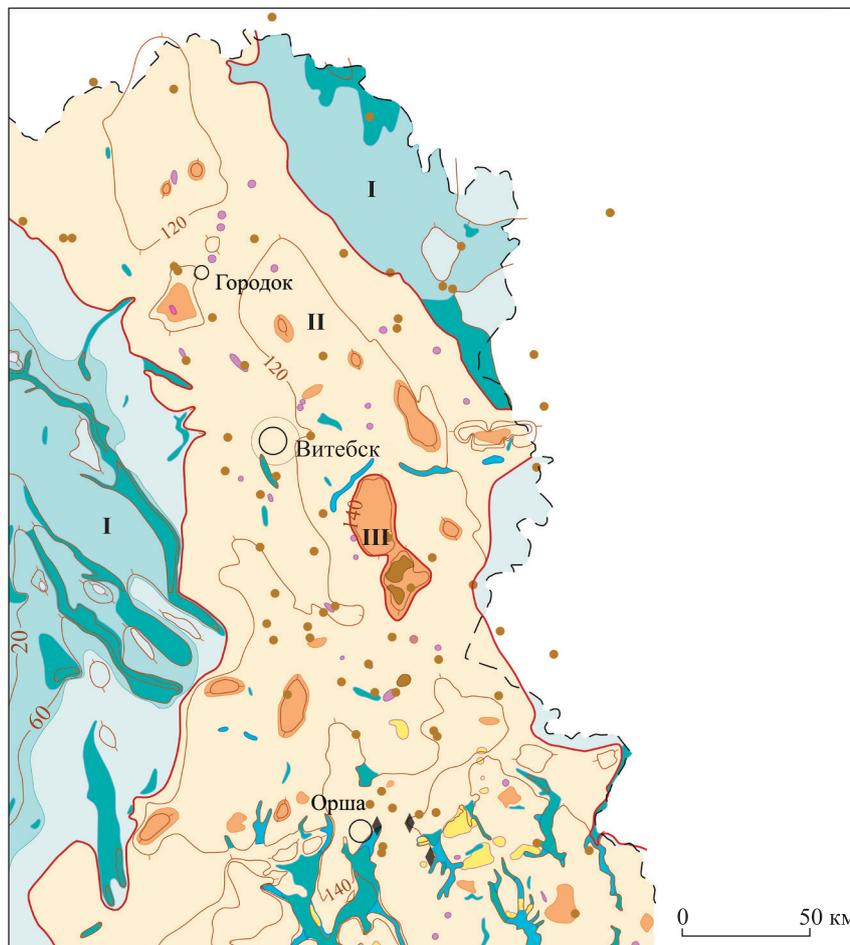


Рис. 6. Морфологическая карта Витебского и Городокского поднятий поверхности дочетвертичных отложений, показывающая доледниковые и ледниковые формы и их отношение к прошлым базальным термическим условиям.

Формы ледникового выпахивания, предполагающие базальный лед у точки плавления (I):

1 – ледниковые ложбины; 2 – гляциодепрессии; 3 – поверхности ареальной ледниковой экзарации.

Доледниковые поверхности, которые лишь в некоторой степени преобразованы ледниковыми процессами и подвержены базально-холодному льду (II):

4 – склоны возвышенностей между 100 и 140 м; 5 – останцы коры выветривания;

6 – карстовые воронки; 7 – палеокарстовые воронки

с неогеновыми отложениями; 8 – фрагменты доледниковых речных долин;

9 – ледниковые отторженцы и гляциодислокации коренных пород.

Возвышенные образования, свидетельствующие о базально-холодном льде (III):

10 – останцы доледниковой поверхности в центральных

наиболее высоких участках без знаков ледниковой эрозии; 11 – площадные коры выветривания (палеогеновый пенеппен по Исаченкову [19]) на вершинах поднятий; 12 – изогипсы

Fig. 6. Morphological map of the Vitebsk and Gorodok uplifts bedrock indicating preglacial and glacial landforms and their relation to former basal thermal conditions.

Glacial erosion landforms suggesting wet-based ice (I):

1 – glacial valleys; 2 – glacial basins; 3 – landforms of areal scouring.

Preglacial features, somewhat modified by glacial processes,

were affected by predominantly cold-based ice (II):

4 – slopes upwards between 100 and 140 m; 5 – remnants of waste mantle; 6 – sink holes;

7 – paleokarstic holes with Neogene deposits; 8 – fragments of the preglacial fluvial valleys;

9 – glacial detached masses and glaciotectionic deformations of bedrock.

Upland features suggesting a cold-based ice (III):

10 – preglacial surface remnants in the central highest parts with no sign of glacial erosion;

11 – fields of weathering crust (Paleogene peneplain after Isachenkov [19])

in the summit positions of the uplifts; 12 – contours

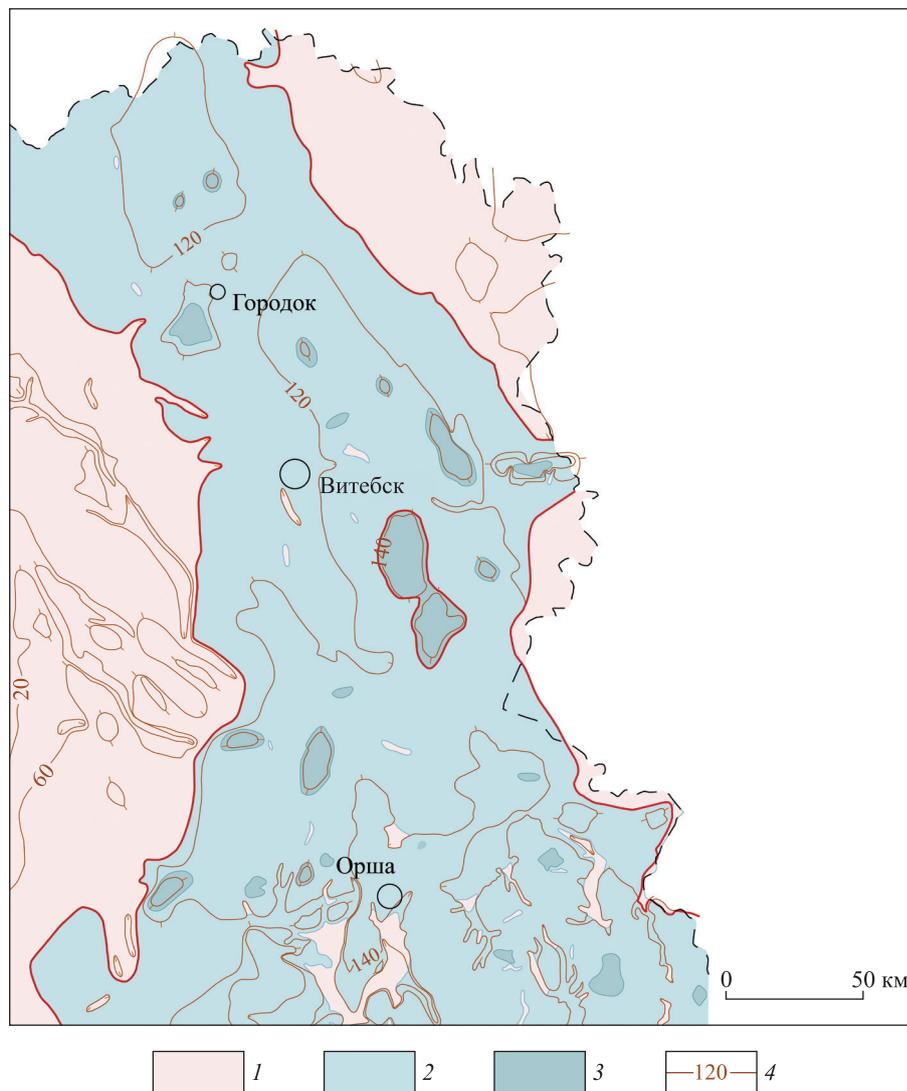


Рис. 7. Переход от районов талого ложа к районам мерзлого ложа в пределах Витебского и Городокского поднятий:

1 – районы талого ложа в окружающих депрессиях; 2 – переходная зона, где ледниковые ложбины талые, а склоны и вершины поднятий мерзлые; 3 – районы полностью мерзлого ложа на самых высоких вершинах; 4 – изогипсы

Fig. 7. The transition from thawed to frozen bed within the Vitebsk and Gorodok uplifts:

1 – areas of thawed bed in surrounding basins; 2 – the transition zone, glacial valleys remain thawed, but upland slopes and summits are frozen; 3 – zone of completely frozen bed within the highest summit; 4 – contours

### Обсуждение результатов

Приведенные выше данные показывают, что распределение ледниковых ложбин подчиняется ледниковой термической зональности, которая контролирует деятельность ледника и талых ледниковых вод.

В северной части Беларуси узкая зона вдоль края Поозерского ледника во время максимальной стадии являлась холодной в основании. Базальное замораживание было связано с низкими температурами на поверхности и небольшой мощностью льда. На холодные климатические условия у края ледника указывают морозобойные клинья, крупномасштабные полигональные грунты и другие следы сплошной вечной мерзлоты. Мощность вечной мерзлоты у края ледника могла достигать 100 м и уменьшалась от него в противоположных направлениях. К югу от границы ледника вечная мерзлота простиралась на 700 км [20]. Мерзлые условия обеспечивали в целом прочность сцепления ледника с ложем, отсутствие скольжения или слабое базальное скольжение между льдом и ложем, минимальную эрозию ложа. Как следствие, потенциал для изменения ложа был малым и ограниченное количество ледниковых ложбин формировалось в периферической зоне базально-мерзлого льда.

В пределах переходной зоны на повышаниях и в районах распространения отложений с более низкой термальной проводимостью ложе ледника все еще оставалось мерзлым, тогда как промежуточные районы достигали точки таяния. В целом эта зона, как предполагается, находилась в состоянии температурного равновесия и преимущественно ни мерзлого, ни талого ложа. В районах зоны, где теплый лед замещался вдоль линии течения базально-холодной зоной, имела место ледниковая эрозия, в частности выпахивание. По мнению М. Р. Беннета и Н. Ф. Глассера [14], это происходит вследствие того, что талые ледниковые воды, поступающие из зоны базально-теплого льда, замерзают под холодным льдом и примерзают к подошве ледника, способствуя выпахиванию, удалению обломков и глыб пород с ложа и аккреции на подошве ледника мощного мореносодержащего льда. Выпахивание концентрировалось на выклинивающихся участках мерзлого субстрата, лежащих на талых породах, потому что детачмент мог быть облегчен высоким давлением поровой воды в размороженных породах внизу мерзлой зоны. Выемки, из которых блоки были сорваны, стали ложбинами, а отторгнутые блоки пород сформировали холмы.

Переходная зона характеризуется появлением отдельных участков и пятен талых пород узкой и вытянутой формы. Такие острова талого субстрата приурочены к погребенным ложбинам, активным разломам и осевым зонам ледниковых языков, в пределах которых многими исследователями отмечается базальное таяние за счет комбинации большей мощности льда, конвергентного схождения и ускорения ледникового течения, нагрева от трения и геотермального тепла [3; 21]. Ледниковый лед выпахивает преимущественно вдоль пятен талого субстрата, вытянутых субпараллельно направлению ледникового течения. На таких легко выпахиваемых участках возникли самые крупные радиально вытянутые ложбины экзарации и выдавливания языковых комплексов Нарочанского, Дисненского, Полоцкого и Суражского лопатных краевых секторов.

Далее к северу от зоны прерывистой мерзлоты, где располагается талая зона субстрата, происходит базальное скольжение. Это вызывает развитие сжимающего течения на внутренней окраине зоны прерывистой мерзлоты, в пределах которой ледник почти не испытывает скольжение по ложу. Данные обстоятельства приводят к появлению крупных надвигов вблизи ледникового края, по которым базальный лед и чешуи подледниковых отложений выдавливаются в направлении поверхности ледника. Зона талого ложа и ее внешняя окраина, где ледниковые лопасти осуществляли выпахивание и формирование напорной надвиговой морены у своего края, стала местом образования лопатных экзарационных впадин – Дисненской, Полоцкой и Суражской гляциодепрессий.

Термические условия определяют способность субстрата пропускать талые ледниковые воды из ледникового ложа и играют существенную роль в контроле формирования субгляциальных водно-эрозионных ложбин. Поскольку напорные талые ледниковые и подземные воды не могли разгружаться по водоносным горизонтам через мерзлый ледниковый край и клин вечной мерзлоты, они попадали в ловушку и накапливались в зоне талого ложа в многочисленных небольших подледных озерах, занимавших самые глубокие экзарационные впадины на дне гляциодепрессий. В прерывистом мерзлом ложе на пониженных талых участках часто возникали отдельные мелкие каналы, которые образовывались по мере того, как талая вода прорывалась к внешнему краю зоны. Предпосылки оформления крупных субгляциальных водно-эрозионных ложбин реализовались на этапе деградации ледникового щита (в виттебскую фазу), когда давление подледных вод превысило прочность перекрывающего льда, произошли его разрывы и стали возможными катастрофические выбросы талых вод подледных подпрудных озер по отдельным каналам высокого давления в местах крупных надвигов у края ледника.

## Выводы

Распределение ледниковых ложбин в северной части Беларуси можно объяснить с позиций изменения базальных термических условий под краевой зоной Поозерского ледникового покрова в максимальную стадию и в начале деградации. По геологическим и геоморфологическим критериям здесь были установлены следующие концентрические зоны (от края вглубь ледникового щита): 1) внешняя зона базально-мерзлого льда, в которой ледниковые ложбины встречаются весьма редко, за исключением разломов; 2) зона прерывистого мерзлого ложа, где сосредоточена преобладающая часть ложбин ледниковой экзарации и выдавливания, а также субгляциальных водно-эрозионных ложбин; 3) внутренняя зона талого ложа, в которой доминируют лопатные и языковые экзарационно-эрозионные гляциодепрессии и сформировались субгляциальные озера.

Соотношение распределения ложбин с ледниковой термической зональностью неслучайно и связано с термозональным контролем субгляциальных ледниково-эрозионных, гляциотектонических, водно-эрозионных и других процессов в ложе ледника. Связь этих процессов с неодинаковыми термальными условиями осуществлялась через прочность сцепления лед – ложе и состояние фазовой границы между талой водой и льдом, которые определяли возможность базального скольжения, компрессионного течения льда, скопления и дренажа талых ледниковых вод.

Проникавший на территорию северной части Беларуси Поозерский ледниковый покров имел политермальный характер. Породы, размещавшиеся под краевой зоной ледника, были скованы вечной мерзлотой и прочно смерзлись с ледником, имели место лишь слабое послойно-пластическое течение и локальная эрозия. Однако во внутренней зоне, где ледник находился у точки плавления под давлением, талые ледниковые и подземные воды накапливались, способствуя базальному скольжению и ледниковой эрозии путем выпахивания и выдавливания. Это привело к образованию лопастных гляциодепрессий, формированию напорной надвиговой морены у их внешнего края и подледных озер в центральных районах.

Особенно благоприятные термические условия для формирования ледниковых ложбин сложились в переходной зоне прерывистого мерзлого ложа. Здесь теплый лед замещался вдоль линии течения базально-холодной зоной. Талые ледниковые воды, поступающие из зоны базально-теплого льда, замерзали под холодным льдом и примерзали к подошве ледника, способствуя выпахиванию, удалению обломков и глыб пород с ложа и аккреции на подошве ледника мощного мореносодержащего льда. Кроме того, появлению ложбин способствовали сжимающее течение и движение льда по внутренним сколам. В результате в зоне прерывистого мерзлого ложа возникли самые крупные радиально вытянутые ложбины экзарации и выдавливания языковых комплексов.

Оформление крупных субгляциальных водно-эрозионных ложбин стало возможным на этапе деградации ледникового щита (в витебскую фазу), после того как талые ледниковые воды подледных подпружных озер нашли выход в краевую зону через прерывистое мерзлое ложе и были спущены в результате катастрофических выбросов по отдельным каналам, которые углубились, расширились и образовали ложбины.

### Библиографические ссылки

1. Boulton GS. Glaciers and their coupling with hydraulic and sedimentary processes. In: Knight PG, editor. *Glacier science and environmental change*. [S. l.]: Blackwell Publishing; 2006. p. 2–22. DOI: 10.1002/9780470750636.ch2.
2. Kleman J, Glasser NF. The subglacial thermal organisation (STO) of ice sheets. *Quaternary Science Reviews*. 2007;26(5–6): 585–597. DOI: 10.1016/j.quascirev.2006.12.010.
3. Sugden DE. Glacial erosion by the Laurentide ice sheet. *Journal of Glaciology*. 1978;20(83):367–391.
4. Каплянская ФА, Тарноградский ВД. *Гляциальная геология. Методическое пособие по изучению ледниковых образований при геологической съемке крупного масштаба*. Санкт-Петербург: Недра; 1993. 328 с.
5. Kehew AE, Piotrowski JA, Jørgensen F. Tunnel valleys: concepts and controversies – a review. *Earth-Science Reviews*. 2012; 113(1–2):33–58. DOI: 10.1016/j.earscirev.2012.02.002.
6. Kleman J, Stroeven AP. Preglacial surface remnants and Quaternary glacial regimes in northwestern Sweden. *Geomorphology*. 1997;19(1–2):35–54. DOI: 10.1016/S0169-555X(96)00046-3.
7. Kleman J, Hättestrand C, Stroeven AP, Jansson KN, De Angelis H, Borgström I. Reconstruction of palaeo-ice sheets – inversion of their glacial geomorphological record. In: Knight PG, editor. *Glacier science and environmental change*. [S. l.]: Blackwell Publishing; 2006. p. 192–199. DOI: 10.1002/9780470750636.ch38.
8. Evans DJA. Controlled moraines: origins, characteristics and palaeoglaciological implications. *Quaternary Science Reviews*. 2009;28(3–4):183–208. DOI: 10.1016/j.quascirev.2008.10.024.
9. Etzelmüller B, Hagen JO. Glacier-permafrost interaction in Arctic and alpine mountain environments with examples from southern Norway and Svalbard. In: Harris C, Murton JB, editors. *Cryospheric systems: glaciers and permafrost*. London: Geological Society; 2005. p. 11–27 (Geological Society special publications, No. 242).
10. Комаровский МЕ, Васильев СЮ, Каштелян ОЛ. Формирование туннелей и рывтин разжижением отложений в пределах Скидельской низины. *Литасфера*. 2011;1:114–121.
11. Комаровский МЕ, Хилькевич ЕВ. Происхождение и развитие перигляциальной долины Пышки в пределах Гродненской возвышенности. *Литасфера*. 2016;2:69–84.
12. Уошборн АЛ. *Мир холода. Геокриологические исследования*. Втюрин БИ, редактор. Москва: Прогресс; 1988. 384 с.
13. Комаровский МЕ, Хилькевич ЕВ. Соотношение между ледниковыми ложбинами и активными разломами на территории Беларуси. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология*. 2018;2:106–117.
14. Bennett MR, Glasser NF. *Glacial geology: ice sheets and landforms*. 2<sup>nd</sup> edition. [S. l.]: Wiley-Blackwell; 2009. XIII, 385 p.
15. Комаровский МЕ. *Палеоложбины Белорусского Поозерья*. Минск: БГУ; 2009. 181 с.
16. Cutler PM, Colgan PM, Mickelson DM. Sedimentologic evidence for outburst floods from the Laurentide Ice Sheet margin in Wisconsin, USA: implications for tunnel-channel formation. *Quaternary International*. 2002;90(1):23–40. DOI: 10.1016/S1040-6182(01)00090-8.
17. Jørgensen F, Sandersen PBE. Buried and open tunnel valleys in Denmark – erosion beneath multiple ice sheets. *Quaternary Science Reviews*. 2006;25(11–12):1339–1363. DOI: 10.1016/j.quascirev.2005.11.006.
18. Benn DI, Evans DJA. *Glaciers and glaciation*. 2<sup>nd</sup> edition. London: Hader Education; 2010. 802 p.
19. Исаченков ВА. *Проблемы морфоструктуры и древнеледниковой морфоскульптуры*. Ленинград: Наука; 1988. 176 с.
20. Герасимов ИП, Величико АА, редакторы. *Палеогеография Европы за последние сто тысяч лет (атлас-монография) = Paleogeography of Europe during the last one hundred thousand years (atlas-monograph)*. Москва: Наука; 1982. 155 с.
21. Hall AM, Glasser NF. Reconstructing the basal thermal regime of an ice stream in a landscape of selective linear erosion: Glen Avon, Cairngorm Mountains, Scotland. *Boreas*. 2003;32(1):191–207. DOI: 10.1111/j.1502-3885.2003.tb01437.x.

## References

1. Boulton GS. Glaciers and their coupling with hydraulic and sedimentary processes. In: Knight PG, editor. *Glacier science and environmental change*. [S. l.]: Blackwell Publishing; 2006. p. 2–22. DOI: 10.1002/9780470750636.ch2.
2. Kleman J, Glasser NF. The subglacial thermal organisation (STO) of ice sheets. *Quaternary Science Reviews*. 2007;26(5–6): 585–597. DOI: 10.1016/j.quascirev.2006.12.010.
3. Sugden DE. Glacial erosion by the Laurentide ice sheet. *Journal of Glaciology*. 1978;20(83):367–391.
4. Kaplyanskaya FA, Tarnogradskii VD. *Glyatsial'naya geologiya. Metodicheskoe posobie po izucheniyu lednikovyykh obrazovaniy pri geologicheskoi s'emke krupnogo masshtaba* [Glacial geology. A toolkit for the study of glacial formations in large-scale geological surveys]. Saint Petersburg: Nedra; 1993. 328 p. Russian.
5. Kehew AE, Piotrowski JA, Jørgensen F. Tunnel valleys: concepts and controversies – a review. *Earth-Science Reviews*. 2012; 113(1–2):33–58. DOI: 10.1016/j.earscirev.2012.02.002.
6. Kleman J, Stroeven AP. Preglacial surface remnants and Quaternary glacial regimes in northwestern Sweden. *Geomorphology*. 1997;19(1–2):35–54. DOI: 10.1016/S0169-555X(96)00046-3.
7. Kleman J, Hättestrand C, Stroeven AP, Jansson KN, De Angelis H, Borgström I. Reconstruction of palaeo-ice sheets – inversion of their glacial geomorphological record. In: Knight PG, editor. *Glacier science and environmental change*. [S. l.]: Blackwell Publishing; 2006. p. 192–199. DOI: 10.1002/9780470750636.ch38.
8. Evans DJA. Controlled moraines: origins, characteristics and palaeoglaciological implications. *Quaternary Science Reviews*. 2009;28(3–4):183–208. DOI: 10.1016/j.quascirev.2008.10.024.
9. Etzelmüller B, Hagen JO. Glacier-permafrost interaction in Arctic and alpine mountain environments with examples from southern Norway and Svalbard. In: Harris C, Murton JB, editors. *Cryospheric systems: glaciers and permafrost*. London: Geological Society; 2005. p. 11–27 (Geological Society special publications; No. 242).
10. Komarovskiy ME, Vasiliev SYu, Kashtelyan OL. Formation of tunnels and grooves by dilution of deposits within the Skidel Lowland. *Litasfera*. 2011;1:114–121. Russian.
11. Komarovskiy ME, Khilkevich EV. Origin and formation of the Pishki periglacial valley within the Grodno Highland. *Litasfera*. 2016;2:69–84. Russian.
12. Washburn AL. *Mir kholoda. Geokriologicheskie issledovaniya* [Cold world. Geocryological research]. Vtyurin BI, editor. Moscow: Progress; 1988. 384 p. Russian.
13. Komarovskiy ME, Khilkevich EV. Correlation between glacial valleys and active faults in Belarus. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology*. 2018;2:106–117. Russian.
14. Bennett MR, Glasser NF. *Glacial geology: ice sheets and landforms*. 2<sup>nd</sup> edition. [S. l.]: Wiley-Blackwell; 2009. XIII, 385 p.
15. Komarovskiy ME. *Paleolozhbiny Belorusskogo Poozer'ya* [Paleo-valleys in the Belarusian Poozerie area]. Minsk: Belarusian State University; 2009. 181 p. Russian.
16. Cutler PM, Colgan PM, Mickelson DM. Sedimentologic evidence for outburst floods from the Laurentide Ice Sheet margin in Wisconsin, USA: implications for tunnel-channel formation. *Quaternary International*. 2002;90(1):23–40. DOI: 10.1016/S1040-6182(01)00090-8.
17. Jørgensen F, Sandersen PBE. Buried and open tunnel valleys in Denmark – erosion beneath multiple ice sheets. *Quaternary Science Reviews*. 2006;25(11–12):1339–1363. DOI: 10.1016/j.quascirev.2005.11.006.
18. Benn DI, Evans DJA. *Glaciers and glaciation*. 2<sup>nd</sup> edition. London: Hader Education; 2010. 802 p.
19. Isachenkov VA. *Problemy morfostruktury i drevnelednikovoi morfoskul'ptury* [Problems of morphostructure and ancient morphosculpture]. Leningrad: Nauka; 1988. 176 p. Russian.
20. Gerasimov IP, Velichko AA, editors. *Paleogeography of Europe during the last one hundred thousand years (atlas-monograph)*. Moscow: Nauka; 1982. 155 p. Russian.
21. Hall AM, Glasser NF. Reconstructing the basal thermal regime of an ice stream in a landscape of selective linear erosion: Glen Avon, Cairngorm Mountains, Scotland. *Boreas*. 2003;32(1):191–207. DOI: 10.1111/j.1502-3885.2003.tb01437.x.

Получена 31.08.2021 / исправлена 24.03.2022 / принята 24.03.2022.  
Received 31.08.2021 / revised 24.03.2022 / accepted 24.03.2022.

## АННОТАЦИИ ДЕПОНИРОВАННЫХ В БГУ РАБОТ INDICATIVE ABSTRACTS OF THE PAPERS DEPOSITED IN BSU

*УДК 631.4(075.8)*

**Почвоведение** [Электронный ресурс] : электрон. учеб.-метод. комплекс для спец.: 1-31 02 01 «География», направление спец. 1-31 02 01-02 «География (научно-педагогическая деятельность)»; 1-33 01 02 «Геоэкология» / БГУ ; сост.: А. Н. Червань, Н. В. Ковальчик. Электрон. текстовые дан. Минск : БГУ, 2021. 120 с. : ил. Библиогр.: с. 119–120. Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/272769>. Загл. с экрана. Деп. в БГУ 09.12.2021, № 013609122021.

Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) предназначен для студентов, обучающихся по специальностям 1-31 02 01 «География», 1-33 01 02 «Геоэкология». Содержание ЭУМК предполагает повышение эффективности управления образовательным процессом и самостоятельной работой студентов по освоению учебной дисциплины «Почвоведение» с помощью внедрения в образовательный процесс инновационных образовательных технологий, обеспечение качественной подготовки высококвалифицированных специалистов.

ЭУМК содержит креативный компонент – подготовленный авторами материал видеолекции по теме «Практические акценты почвоведения».

*УДК 502.175(075.8)*

**Гагина Н. В. Экологическое проектирование и оценка воздействия на окружающую среду** [Электронный ресурс] : электрон. учеб.-метод. комплекс для спец. 1-31 80 02 «География», профилизация «Инновационные геотехнологии» / Н. В. Гагина ; БГУ. Электрон. текстовые дан. Минск : БГУ, 2021. 114 с. : ил., табл. Библиогр.: с. 110–112. Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/272772>. Загл. с экрана. Деп. в БГУ 09.12.2021, № 013709122021.

Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) предназначен для студентов, обучающихся в магистратуре по специальности 1-31 80 02 «География» (профилизация «Инновационные геотехнологии»). В ЭУМК изложены основные принципы и природоохранные требования в области экологического проектирования, детально рассмотрены современные методы оценки воздействия на окружающую среду для объектов проектируемой хозяйственной деятельности. Представлены тематика практических занятий, вопросы для подготовки к текущей аттестации.

*УДК 631.43(075.8)+631.46(075.8)*

**Биофизика почв** [Электронный ресурс] : электрон. учеб.-метод. комплекс для спец. 1-31 02 01 «География» / БГУ ; сост.: Н. В. Клебанович, И. А. Ефимова, Д. А. Чиж. Электрон. текстовые дан. Минск : БГУ, 2021. 123 с. : ил., табл. Библиогр.: с. 122–123. Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/273052>. Загл. с экрана. Деп. в БГУ 13.12.2021, № 013813122021.

Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) предназначен для студентов, обучающихся по специальности 1-31 02 01 «География». Содержание ЭУМК предполагает повышение эффективности управления образовательным процессом и самостоятельной работой студентов по освоению учебной дисциплины «Биофизика почв» с помощью внедрения в образовательный процесс инновационных образовательных технологий, обеспечение качественной подготовки высококвалифицированных специалистов.

УДК 32:911.3(075.8)+327(075.8)

*Зайцев В. М.* **Политическая география и геополитика** [Электронный ресурс] : электрон. учеб.-метод. комплекс для спец.: 1-31 02 01 «География (по направлениям)», 1-31 02 03 «Космоаэрокартография», 1-33 01 02 «Геоэкология» / В. М. Зайцев ; БГУ. Электрон. текстовые дан. Минск : БГУ, 2021. 110 с. : табл. Библиогр.: с. 105–106. Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/274793>. Загл. с экрана. Деп. в БГУ 27.01.2022, № 000427012022.

В электронном учебно-методическом комплексе представлены материалы по истории развития и динамики предмета и объекта исследования политической географии и геополитики, морфологическим особенностям государственной территории, геополитическим концепциям мирового развития, политико-географической структуре современного мира и региональным конфликтам.

УДК 91(091)(075.8)+910.1(075.8)

*Витченко А. Н.* **История и методология географических наук** [Электронный ресурс] : электрон. учеб.-метод. комплекс для спец.: 1-31 02 01 «География», направление спец. 1-31 02 01-02 «География (научно-педагогическая деятельность)»; 1-33 01 02 «Геоэкология» / А. Н. Витченко ; БГУ. Электрон. текстовые дан. Минск : БГУ, 2022. 342 с. : табл. Библиогр.: с. 337–339. Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/275406>. Загл. с экрана. Деп. в БГУ 15.02.2022, № 001015022022.

Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) предназначен для студентов, обучающихся по специальностям 1-31 02 01 «География» (направление специальности 1-31 02 01-02 «География (научно-педагогическая деятельность)»), 1-33 01 02 «Геоэкология». В ЭУМК изложены история и закономерности развития географии как целостной системы естественных и общественных наук, ее основные теоретические положения и современная методология для решения задач в сфере рационального природопользования, оптимальной территориальной организации производственной и социальной деятельности общества, обеспечения экологически устойчивой среды его жизнедеятельности. Представлены тематика практических занятий, задания для управляемой самостоятельной работы студентов, тематика семинарских занятий, перечень заданий в тестовой форме, вопросы для самоконтроля и итогового промежуточного контроля знаний.

УДК 574.9(075.8-054.6)

*Писарчук Н. М.* **Биогеография** [Электронный ресурс] : электрон. учеб.-метод. комплекс для иностр. обучающихся для спец.: 1-31 02 01 «География (по направлениям)», направление спец. 1-31 02 01-02 «География (научно-педагогическая деятельность)»; 1-31 02 02 «Гидрометеорология»; 1-31 02 03 «Космоаэрокартография»; 1-31 02 04 «Геотехнологии туризма и экскурсионная деятельность»; 1-33 01 02 «Геоэкология»; 1-56 02 02 «Геоинформационные системы (по направлениям)», направление спец. 1-56 02 02-01 «Геоинформационные системы (земельно-кадастровые)» / Н. М. Писарчук, Е. В. Матюшевская ; БГУ. Электрон. текстовые дан. Минск : БГУ, 2022. 54 с. Библиогр.: с. 52–54. Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/275430>. Загл. с экрана. Деп. в БГУ 15.02.2022, № 001215022022.

Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) по учебной дисциплине «Биогеография» предназначен для иностранных студентов, обучающихся по географическим специальностям. Содержание ЭУМК предполагает создание условий, содействующих освоению иностранными студентами программы дисциплины.

УДК 55(075.8)

*Кухарчик Ю. В.* **Геология** [Электронный ресурс] : электрон. учеб.-метод. комплекс для спец.: 1-31 02 01 «География (по направлениям)», направление спец. 1-31 02 01-02 «География (научно-педагогическая деятельность)»; 1-31 02 02 «Гидрометеорология»; 1-31 02 03 «Космоаэрокартография»; 1-31 02 04 «Геотехнологии туризма и экскурсионная деятельность»; 1-33 01 02 «Геоэкология»; 1-56 02 02 «Геоинформационные системы (по направлениям)», направление спец. 1-56 02 02-01 «Геоинформационные системы (земельно-кадастровые)» / Ю. В. Кухарчик, Н. М. Писарчук ; БГУ. Электрон. текстовые дан. Минск : БГУ, 2022. 181 с. : ил., табл. Библиогр.: с. 178–181. Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/277298>. Загл. с экрана. Деп. в БГУ 05.04.2022, № 003405042022.

Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) по учебной дисциплине «Геология» предназначен для обучающихся по географическим специальностям. ЭУМК включает в себя разделы: теоретический, практический, контроля знаний и вспомогательный. Содержание ЭУМК предполагает создание условий, содействующих освоению студентами программы дисциплины.

УДК 528.8.04(075.8)+528.72(075.8)

*Топаз А. А.* **Методы дистанционных исследований** [Электронный ресурс] : электрон. учеб.-метод. комплекс для спец.: 1-31 02 01 «География (по направлениям)», 1-31 02 03 «Космоаэрокартография», 1-33 01 02 «Геоэкология», 1-56 02 02 «Геоинформационные системы (по направлениям)» / А. А. Топаз ; БГУ. Электрон. текстовые дан. Минск : БГУ, 2022. 127 с. : ил. Библиогр.: с. 123–124. Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/277301>. Загл. с экрана. Деп. в БГУ 05.04.2022, № 003505042022.

Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) с креативным компонентом «Методы дистанционных исследований» предназначен для студентов географических специальностей. В ЭУМК изложены вопросы истории и развития методов дистанционных исследований, рассмотрены физические основы, технические средства и технология получения аэрокосмических снимков, их геометрические и стереоскопические свойства, теоретические основы дешифрирования и принципы компьютерной обработки снимков, приведены основные направления использования аэрокосмических снимков в географических исследованиях. Представлены тематика практических занятий, темы рефератов, перечень заданий в тестовой форме, вопросы для итогового контроля знаний.

УДК 556(075.8)

*Лопух П. С.* **Гидрология** [Электронный ресурс] : электрон. учеб.-метод. комплекс для спец.: 1-31 02 01 «География (по направлениям)», направление спец. 1-31 02 01-02 «География (научно-педагогическая деятельность)»; 1-31 02 02 «Гидрометеорология»; 1-31 02 03 «Космоаэрокартография»; 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)» / П. С. Лопух, Е. В. Логинова ; БГУ. Электрон. текстовые дан. Минск : БГУ, 2021. 414 с. : ил., табл. Библиогр.: с. 413–414. Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/277394>. Загл. с экрана. Деп. в БГУ 07.04.2022, № 003707042022.

Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) предназначен для студентов специальностей 1-31 02 01 «География (по направлениям)», направления специальности 1-31 02 01-02 «География (научно-педагогическая деятельность)», 1-31 02 01-03 «География (геодемография)», 1-31 02 02 «Гидрометеорология», 1-31 02 03 «Космоаэрокартография», 1-33 01 02 «Геоэкология», 1-56 02 02 «Геоинформационные системы (по направлениям)», направления специальности 1-56 02 02-01 «Геоинформационные системы (земельно-кадастровые)», 1-56 02 02-02 «Геоинформационные системы (специальные)» для дневной формы обучения. Содержание ЭУМК предполагает изучение следующих вопросов: предмета и состава гидрологии, истории науки, основных физических и химических свойств воды, гидрологических процессов и их физических свойств, гидрологии рек, подземных вод, озер, искусственных водоемов и водотоков, болот и ледников, проблем гидрологического районирования и использования водных ресурсов.

УДК 911.2(476)(075.8-054.6)

*Брилевский М. Н.* **Физическая география Беларуси (для иностранных студентов)** [Электронный ресурс] : электрон. учеб.-метод. комплекс для спец.: 1-31 02 01 «География (по направлениям)», 1-33 01 02 «Геоэкология», 1-56 02 02 «Геоинформационные системы (по направлениям)», 1-31 02 02 «Гидрометеорология», 1-31 02 03 «Космоаэрокартография» / М. Н. Брилевский ; БГУ. Электрон. текстовые дан. Минск : БГУ, 2022. 122 с. : ил., табл. Библиогр.: с. 117–120. Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/277683>. Загл. с экрана. Деп. в БГУ 12.04.2022, № 003812042022.

Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) предназначен для иностранных студентов, обучающихся по специальностям 1-31 02 01 «География (по направлениям)», 1-33 01 02 «Геоэкология», 1-56 02 02 «Геоинформационные системы (по направлениям)», 1-31 02 02 «Гидрометеорология», 1-31 02 03 «Космоаэрокартография». В теоретическом разделе ЭУМК рассматриваются особенности природы Беларуси, определяются взаимосвязи природных компонентов, возможности рационального природопользования и тенденции изменения геосистем. Практический раздел содержит методические разработки по выполнению практических работ по учебной дисциплине, проведению управляемой самостоятельной работы, географическую номенклатуру и примеры тестовых вопросов для текущего и итогового контроля знаний по основным разделам курса.

УДК 314.1(075.8)

*Антипова Е. А.* **Проблемы народонаселения и демографическая безопасность** [Электронный ресурс] : электрон. учеб.-метод. комплекс для спец. 1-31 02 01 «География (по направлениям)» / Е. А. Антипова ; БГУ. Электрон. текстовые дан. Минск : БГУ, 2022. 86 с. : ил. Библиогр.: с. 66–68. Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/278581>. Загл. с экрана. Деп. в БГУ 25.04.2022, № 004425042022.

Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) предназначен для студентов специальности 1-31 02 01 «География (по направлениям)». В ЭУМК представлены материалы по основным проблемам народонаселения и основам демографической безопасности. ЭУМК состоит из четырех разделов. В них рассматриваются проблемы демографической нагрузки, демографического старения, международной миграции, урбанизации в развитых и развивающихся странах, демографической безопасности Республики Беларусь.

*УДК 556.5.06(075.8)*

*Новик А. А. Гидрологическое прогнозирование [Электронный ресурс] : электрон. учеб.-метод. комплекс для спец. 1-31 02 02 «Гидрометеорология» / А. А. Новик ; БГУ. Электрон. текстовые дан. Минск : БГУ, 2022. 61 с. : ил., табл. Библиогр.: с. 59–60. Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/278899>. Загл. с экрана. Деп. в БГУ 05.05.2022, № 004605052022.*

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 гидрологического прогнозирования. Представлены теоретический раздел в виде краткого конспекта лекций, практический раздел с примерным перечнем лабораторных заданий и примерными вариантами заданий лабораторных работ, раздел контроля знаний с вопросами к зачету и организацией самостоятельной работы и вспомогательный раздел с перечнем рекомендуемой литературы и учебно-методической картой учебной дисциплины.

## СОДЕРЖАНИЕ

### ГЕОГРАФИЯ

<i>Гусейнов Г. М.</i> Оценка вековой и современной тенденций изменения количества атмосферных осадков в Нахичеванской Автономной Республике Азербайджана.....	3
<i>Клебанович Н. В., Киндеев А. Л.</i> Сопряженность изменений урожайности зерновых и зернобобовых культур и уровня применения удобрений по районам Республики Беларусь .....	15
<i>Счастлиная И. И., Воробьев Д. С.</i> Структура природных ландшафтов и ее роль в создании схемы ландшафтного районирования Беларуси .....	28
<i>Лукша М. В., Новик А. А.</i> Аэросиноптические условия образования зимних гроз на примере аэродрома Минск-2 .....	42
<i>Волосюк А. И., Топаз А. А.</i> Оценка последствий лесных пожаров на основе автоматизированной обработки материалов дистанционного зондирования Земли .....	57
<i>Зайцев В. М., Жигальская Л. О.</i> Постиндустриальные сдвиги в добывающей промышленности мира .....	71
<i>Черенко А. С.</i> Разработка единого классификатора специальных карт местности с использованием геоинформационных технологий.....	87

### ГЕОЛОГИЯ

<i>Комаровский М. Е., Хилькевич Е. В.</i> Влияние термических условий в ложе последнего ледникового покрова на распределение ледниковых ложбин Белорусского Поозерья .....	101
Аннотации депонированных в БГУ работ .....	116

## CONTENTS

### GEOGRAPHY

<i>Huseynov Q. M.</i> Assessment of the century-long and current trends in the change in the amount of precipitation in the Nakhichevan Autonomous Republic of Azerbaijan .....	3
<i>Klebanovich N. V., Kindeev A. L.</i> Connectivity of change in yield of grain and leguminous crops and level of application of fertilisers by district of the Republic of Belarus.....	15
<i>Shchasnaya I. I., Varabyou D. S.</i> The structure of natural landscapes and its role in the development of the landscape zoning scheme of Belarus .....	28
<i>Luksha M. V., Novik A. A.</i> Aerosynoptic conditions for the formation of winter thunderstorms on the example of the Minsk-2 airfield.....	42
<i>Valasiuk A. I., Topaz A. A.</i> Assessment of forest fire effects based on automated processing of Earth remote sensing imagery .....	57
<i>Zaitsev V. M., Zhigalskaya L. O.</i> Post-industrial shifts in the world's mining industry .....	71
<i>Cherenko A. S.</i> Development of unified classifier of special terrain maps using geoinformation technologies .....	87

### GEOLOGY

<i>Komarovskiy M. E., Khilkevich E. V.</i> Influence of the thermal conditions within the bed of the last ice sheet on the distribution of glacial valleys of the Belarusian Poozerie area.....	101
Indicative abstracts of the papers deposited in BSU .....	116

*Журнал включен Высшей аттестационной комиссией Республики Беларусь в Перечень научных изданий для опубликования результатов диссертационных исследований по географическим и геолого-минералогическим наукам.*

*Журнал включен в библиографическую базу данных научных публикаций «Российский индекс научного цитирования» (РИНЦ).*

**Журнал Белорусского  
государственного университета.  
География. Геология.  
№ 1. 2022**

Учредитель:  
Белорусский государственный университет

Юридический адрес: пр. Независимости, 4,  
220030, г. Минск.

Почтовый адрес: пр. Независимости, 4,  
220030, г. Минск.

Тел. (017) 259-70-74, (017) 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 31.05.2022.  
Тираж 100 экз. Заказ 3765.

Издательско-полиграфическое частное  
унитарное предприятие «Донарит».  
Свидетельство о государственной регистрации  
издателя, изготовителя, распространителя  
печатных изданий № 1/289 от 17.04.2014.  
Ул. Октябрьская, 25, 220030,  
г. Минск, Республика Беларусь.

© БГУ, 2022

**Journal  
of the Belarusian State University.  
Geography and Geology.  
No. 1. 2022**

Founder:  
Belarusian State University

Registered address: 4 Niezaliežnasci Ave.,  
Minsk 220030.

Correspondence address: 4 Niezaliežnasci Ave.,  
Minsk 220030.

Tel. (017) 259-70-74, (017) 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 31.05.2022.  
Edition 100 copies. Order number 3765.

Publishing and printing private  
unitary enterprise «Donarit».  
Certificate of state registration of the publisher,  
manufacturer, distributor of printed publications  
No. 1/289 dated 17.04.2014.  
25 Kastyryčnickaja Str.,  
Minsk 220030, Republic of Belarus.

© BSU, 2022