



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

---

# 2

# 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

<i>Балтрунас В.</i>	Центр изучения природы, Вильнюс, Литва.
<i>Витченко А. Н.</i>	Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь.
<i>Донерт К.</i>	Европейский центр качества, Европейская ассоциация географов, Зальцбург, Германия.
<i>Еловичева Я. К.</i>	Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь.
<i>Зуй В. И.</i>	Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь.
<i>Калицкий Т.</i>	Институт географии Университета Яна Кохановского в Кельце, Кельце, Польша.
<i>Катровский А. П.</i>	Смоленский государственный университет, Смоленск, Россия.
<i>Курлович Д. М.</i>	Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь.
<i>Лукашев О. В.</i>	Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь.
<i>Маркс Л.</i>	Варшавский университет, Варшава, Польша.
<i>Мезенцев К. В.</i>	Киевский национальный университет им. Тараса Шевченко, Киев, Украина.
<i>Нюсупова Г. Н.</i>	Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алма-Ата, Казахстан.
<i>Пироженко И. И.</i>	Поморский университет, Слупск, Польша.
<i>Родионова И. А.</i>	Российский университет дружбы народов, Москва, Россия.
<i>Руденко Л. Г.</i>	Институт географии Национальной академии наук Украины, Киев, Украина.
<i>Сарменто Ж. К. В.</i>	Университет Миньо, Брага, Португалия.

## EDITORIAL BOARD

<b>Editor-in-chief</b>	<b>АНТИПОВА Е. А.</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

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

УДК 551.79:561(476)

## ПАЛИНОЛОГИЯ БЕЛАРУСИ: МЕТОД И НАУЧНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ В ИССЛЕДОВАНИИ ОТЛОЖЕНИЙ ГЛЯЦИОПЛЕЙСТОЦЕНА И ГОЛОЦЕНА

Я. К. ЕЛОВИЧЕВА<sup>1)</sup>

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

Изучение в течение 80 лет в Беларуси толщи гляциоплейстоцена и голоцена с применением наиболее перспективного палинологического метода (большая продуктивность пыльцы и спор растений, их распространение и хорошая сохранность в различных осадках, высокая информативность ископаемых палиноморф) позволило в более усложненном варианте воссоздать развитие природной среды последних 800 тыс. лет по хронологической летописи в континентальных осадках палеоводоемов. Комплексность исследований внесла важный вклад в проведение местной и дальней корреляции полученных материалов из океанических или морских донных образований на базе выработанной шкалы МИС-1 – МИС-19 на геохронологической основе. Данные из 1300 разрезов региона были использованы в целях перспективного решения современных научных проблем теоретической (обоснование хронологии природных событий, выработка усложненной стратиграфической схемы (8 оледенений и 9 межледниковий), расширение палеогеографического аспекта значительно большим числом компонентов природной среды (тип ландшафта, тип и группа лесной флоры, общий состав палинофлоры и экзотов, состав и соотношение географических элементов флоры, район современной концентрации видов ископаемой флоры, миграция лесообразующих пород, макросукцессия палеофитоценозов, незавершенность голоценового межледниковья, ритмичность макросукцессий, длительность межледниковий, природные зоны и их динамика, миграционный характер лесных флор, группы палинологических диаграмм, районирование территории по составу спектров, климат, осадконакопление, изменение уровня водоемов, эволюция палеоводоемов, антропогенный фактор, динамика водного потока, стихийные явления, а также прогноз будущего изменения среды обитания)) и прикладной (рост палинологического обеспечения региона для потребностей крупномасштабной геологической съемки с картиро-

---

### Образец цитирования:

Еловичева ЯК. Палинология Беларуси: метод и научное направление в исследовании отложений гляциоплейстоцена и голоцена. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология.* 2022;2:3–15. <https://doi.org/10.33581/2521-6740-2022-2-3-15>

### For citation:

Yelovicheva YaK. Palynology of Belarus: a method and scientific direction in the study of Glaciopleistocene and Holocene deposits. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology.* 2022;2:3–15. Russian. <https://doi.org/10.33581/2521-6740-2022-2-3-15>

---

### Автор:

**Ядвига Казимировна Еловичева** – доктор географических наук, профессор; профессор кафедры физической географии мира и образовательных технологий факультета географии и геоинформатики.

### Author:

**Yadviga K. Yelovicheva**, doctor of science (geography), full professor; professor at the department of physical geography of the world and educational technologies, faculty of geography and geoinformatics. [yelovicheva@yandex.ru](mailto:yelovicheva@yandex.ru)

ванием разрезов и залежей полезных ископаемых и строительных материалов, ареалов пород и древних экзотов, участие в научных проектах и большая публикативность результатов, применение компьютерных технологий, создание палинологической базы данных, обогащение молодого поколения новейшими знаниями и внедрение их в учебный процесс (создание новых карт и фотоиллюстраций по морфологии, стратиграфии, палеогеографии, палеоэкологии, обновление лекционных пособий и практикумов, учебно-методических комплексов, мультимедийных презентаций)) палинологии Беларуси.

**Ключевые слова:** палинология; голоцен; гляциоплейстоцен; растительность; климат; природная среда; межледниковье; оледенение.

## PALYNOLOGY OF BELARUS: A METHOD AND SCIENTIFIC DIRECTION IN THE STUDY OF GLACIOPLEISTOCENE AND HOLOCENE DEPOSITS

Ya. K. YELOVICHEVA<sup>a</sup>

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

Studying for 80 years in Belarus the most promising palynological method (high productivity of pollen and spores of plants, their distribution and good preservation in various sediments, high information content of fossil palynomorphs) of the Glaciopleistocene and Holocene strata, made it possible to recreate the development of the natural environment of the last 800 thsd years in a more complicated version according to the chronological record in the continental sediments of paleoreservoirs. The complexity of the research has made an important contribution to the local and long-range correlation of the obtained materials from oceanic or marine bottom formations on the basis of the developed MIS-1 – MIS-19 scale on a geochronological basis. Data from 1300 sections of the region were used in order to provide a promising solution to modern scientific theoretical problems (substantiation of the chronology of natural events, development of a complicated stratigraphic scheme (8 glacials and 9 interglacials), expansion of the paleogeographic aspect by a significantly larger number of natural environment components (landscape type, type and group of forest flora, general composition of palynoflora and exotics, composition and ratio of geographical elements of flora, area of modern concentration of fossil flora species, migration of forest-forming species, macrosuccession of paleophytocenoses, incompleteness of the Holocene interglacial, rhythmicity of macrosuccessions, duration of interglacials, natural zones and their dynamics, migratory nature of forest floras, groups of palynological diagrams, zoning of the territory according to spectra, climate, sedimentation, change of water level, evolution of paleoreservoirs, anthropogenic factor, water flow dynamics, natural phenomena and forecast of future habitat change)) and applied (growth of palynological support of the region for the needs of large-scale geological survey with mapping of sections and deposits of minerals and building materials, areas of rocks and ancient exotics, participation in scientific projects and great publication of results, use of computer technologies, creation of palynological database, enrichment of the younger generation with these latest knowledge and their implementation in the educational process (the creation of new maps and photo illustrations on morphology, stratigraphy, paleogeography, paleoecology, updating lecture aids and workshops, educational and methodological complexes, multimedia presentations)) of the palynology of Belarus.

**Keywords:** palynology; Holocene; Glaciopleistocene; vegetation; climate; natural environment; interglacial; glacial.

### Введение

Спорово-пыльцевой (палинологический) метод, первоначально получивший становление и развитие за рубежом, быстро завоевал признание в научных учреждениях и особенно в пыльцевых лабораториях геологических служб республик бывшего Советского Союза. Возросшая потребность в проведении крупномасштабной геологической съемки в регионах была связана с задачами повышения палинологического обеспечения исследований осадочного чехла, и в частности отложений гляциоплейстоцена – временного интервала длительностью 800 тыс. лет, который отличается наиболее активным преобразованием ландшафта под воздействием нескольких ледниковых покровов и развития палеоводоемов, сохранивших хронологическую летопись природных событий.

### Материалы и методы исследования

Освоение палинологического метода в регионах велось при активном изучении местных осадочных пород из керна скважин и естественных обнажений. Отбор породы, ее техническая обработка для выделения пыльцы и спор, их микроскопирование и фотографирование в морфологических целях (на базе

атласов современных растительных микрофоссилий), создание таблиц количественного и процентного содержания микрофоссилий, построение диаграмм и интерпретация полученных результатов, применение последних в различных аспектах осуществлялись в едином ключе учеными двух основных четвертичных школ – московской (Институт географии Российской академии наук, Геологический институт Российской академии наук, Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова) и ленинградской (Ботанический институт имени В. Л. Комарова Российской академии наук) – под руководством ведущих палинологов страны Е. Д. Заклинской, В. П. Гричука, И. М. Покровской, Е. Н. Анановой и их учеников. Изучение более древних отложений (девон – неоген) преимущественно курировалось представителями ленинградской школы.

### Результаты исследования

Весьма трудоемкий палинологический метод, являющийся наиболее перспективным среди палеонтологических методов, используется в Беларуси уже почти 80 лет. Однако в настоящее время он нашел научное и практическое применение в значительно большем объеме, чем на стадии становления, в следующих важных аспектах: морфологии пыльцы и спор, стратиграфии, палеогеографии, корреляции.

**Морфология пыльцы и спор.** Морфологические исследования пыльцы и спор заключаются в описании рецентных и ископаемых (девон – карбон – палеоген – неоген – плейстоцен) микроморф по искусственной и естественной классификациям до вида, рода, семейства; публикации многочисленных зарисовок и микрофотографий древних объектов в открытой печати и производственных отчетах [1]; создании единственного в регионе атласа растительных микрофоссилий плейстоцена и голоцена Беларуси [2] на основе местного фактического спорово-пыльцевого материала, полученного с помощью биологического и сканирующего микроскопов. Богатство и разнообразие видов растений древних эпох, по сравнению с современной флорой региона, наиболее полно отражено в списке состава палинофлоры по основным подразделениям неогена – плейстоцена – голоцена с указанием вымерших, арктобореальных, мезо- и термофильных экзотических таксонов (не встречаются в составе современной флоры региона) в монографических изданиях [3; 4].

**Стратиграфия.** В рамках данного аспекта осуществляется разработка локальных, региональных и межрегиональных подразделений на уровне создания био- и климатостратиграфических схем на основе нового методического подхода к сплошному отбору проб на анализ (каждые 2–5 см) [1] и выработке детальной микростратиграфии, т. е. дробного подразделения толщ пород на слои и соответствующие им фазы развития растительности на диаграммах [3–6], ввиду возросшей потребности в более реальном отражении сложности развития природной среды, чем это представлялось ранее, при увеличении числа стратотипических и опорных разрезов. От единичных абсолютных датировок пород в локальных разрезах специалисты перешли к серийному датированию осадков всего разреза различными методами, количество которых постоянно повышалось в научных учреждениях стран СНГ и дальнего зарубежья, в особенности при комплексных исследованиях пород. Прежние представления о наличии 4 оледенений (гюнц, миндель, рисс, вюрм) и 3 межледниковий (гюнц-миндель, миндель-рисс, рисс-вюрм) альпийской схемы и позднее существовавшие схемы с их большим числом [4–12; 13, с. 326–327] в настоящее время усложнились до 8 холодных эпох в ранге оледенений и 9 теплых эпох в ранге межледниковий.

Создававшаяся с конца XX в. серия международных климатостратиграфических шкал объемом до 3–4 млн лет на геохронологической основе (изотопно-кислородные, изотопно-углеродные, инсоляционные, палеомагнитные и температурные шкалы, построенные по данным изучения глубоководных океанических (атлантическая, тихоокеанская, индийская шкалы), внутриконтинентальных морских (байкальская, прикаспийская шкалы) отложений и континентальных почвенно-лессовых серий (центральнокитайская, восточноевропейская, украинская шкалы), керна льда (антарктическая, гренландская шкалы), которым свойственно практически непрерывное осадконакопление и льдообразование, а также по данным ESP-датирования отложений с находками моллюсков (малакологическая шкала) и глобально осредненной изотопно-кислородной бентосной записи LR04 в Северном и Южном полушариях Земли) указала на большую сходимости реальных представлений об объеме, существенной сложности и особенностях палеогеографической обстановки последнего временного интервала длительностью 800 тыс. лет – собственно гляциоплейстоцена (МИС-1 – МИС-19). Соответственно, в связи с этим назрела необходимость проведения межрегиональной корреляции природных событий, зафиксированных в морских и океанических толщах с континентальными отложениями (палеоводоемов (озерных, болотных, речных) и почвенных разностей), изученными различными палеонтологическими методами с редким опробыванием пород, малочисленными абсолютными датировками и неполнотой геологической летописи. Практически оценив возрастное положение ископаемой палинофлоры в исследуемых плейстоценовых толщах разрезов, можно соотнести ее с соответствующими МИС и более достоверно определить абсолютный возраст.

Согласно международным рекомендациям (соотнесение гольштейнского (лихвинского, александрийского, мазовецкого, завадовского-2) межледниковья только с 11-м изотопным ярусом, проведение нижней границы гляциоплейстоцена по подошве 19-го изотопного яруса – смене границы палеомагнитной инверсии Матуяма – Брюнес) на территории Беларуси было обосновано наличие и положение в геологическом разрезе (хрон Брюнес) 17 крупных климатических этапов – 8 оледенений (наревского – МИС-18 (670–700 тыс. лет назад), сервечского – МИС-16 (550–610), березинского – МИС-14 (470–480), еселевского – МИС-12 (380–400), яхнинского – МИС-10 (280–340), днепровского – МИС-8 (180–240), сожского – МИС-6 (110–125) и поозерского – МИС-2 – МИС-4 (10,3–80,0 тыс. лет назад)), осложненных стадиями и межстадиалами, и 9 межледниковий (брестского – МИС-19 (700–800 тыс. лет назад), корчевского – МИС-17 (610–670), беловежского – МИС-15 (480–550), ишкольдского<sup>1</sup> – МИС-13 (400–470), александрийского – МИС-11 (340–380), смоленского – МИС-9 (240–280), шкловского – МИС-7 (125–180), муравинского – МИС-5 (80–110), голоценового – МИС-1 (современность – 10,3 тыс. лет назад)), осложненных климатическими оптимумами и межоптимальными похолоданиями. Оледенения и межледниковья строго отвечают самостоятельным изотопным ярусам (за исключением поозерской эпохи (3 яруса)) различной длительности, а последние соответствуют горизонтам в стратиграфических схемах гляциоплейстоцена и голоцена [1; 4].

Проведенные анализ и переоценка уже имеющейся информации в стратотипических и опорных разрезах гляциоплейстоцена, составляющих основу палинологической базы данных региона, показали, что наиболее значимыми для исследователей стали две группы палинологически изученных разрезов.

Первая группа разрезов отличается несколькими климатическими оптимумами (1–4) и разделяющими их похолоданиями (1–2) в течение межледниковых эпох (соответствуют вариабельности кривых подъярусов на международных шкалах), что опровергает точку зрения на однооптимальность последних. Такие редкие разрезы с наличием 2–3 оптимумов (с несколькими макросукцессиями палеофитоценозов на диаграммах) в одном межледниковье выявлены на территории Беларуси (разрезы «Мурава», «Бога-тыревичи», «Гончаровка» (по 3 оптимума муравинского межледниковья), «Дрозды», «Порсы-Маковье» (по 2 оптимума муравинского межледниковья), «Нижнинский Ров», «Марьянkinская Горка», «Ягине-щицы», «Костешы» (по 3 оптимума шкловского межледниковья с абсолютными датировками МИС-7), «Ишкольд» (3 оптимума александрийского и 3 оптимума ишкольдского межледниковий), «Красная Дуброва» (2 оптимума беловежского межледниковья)), России (разрезы «Петрозаводск» (2 оптимума микулинского (муравинского) межледниковья), «Подруднянский», «Акулово», «Конаховка» (по 2–3 оптимума московско-днепровского (шкловского) межледниковья)), Украины (разрезы «Любязь» (3 оптимума прилукского (муравинского) межледниковья), «Вольное» (3 оптимума кайдакского (шкловского) межледниковья), «Тур» (3–4 оптимума завадовского-2 (александрийского) межледниковья)) и др.

Вторая группа разрезов характеризуется одновременным наличием нескольких межледниковий и разделяющих их толщ в виде горизонтов с ледниковыми (морена) или коррелятными им образованиями (пески, супеси, алевриты, почвы и лёссы) в едином геологическом разрезе. Такие наиболее информативные разрезы выявлены на территории Беларуси (разрезы «Ишкольд» (МИС-13 – МИС-11), «Колодежный Ров» (МИС-11 – МИС-7), «Дробишки» (МИС-16 – МИС-14, МИС-8, МИС-6), «Тесновая» (МИС-19, МИС-18, МИС-15)), России (разрезы «Чекалин» (МИС-16 – МИС-8), «Араповичи» (МИС-16 – МИС-1) (по данным Н. С. Болиховской), «Байкал» (МИС-19 – МИС-1) (по данным Е. М. Безруковой), «Варзуга» (МИС-10 – МИС-5) (по данным автора)), Украины (разрезы «Вольное» (МИС-16 – МИС-1), «Тур» (МИС-11), «Любязь» (МИС-5)). Обобщение данных по этим разрезам с полным ритмом седиментогенеза и фаз растительности от оледенения к оледенению и от межледниковья к межледниковью обосновывает непрерывную летопись природных событий геологического прошлого на протяжении нескольких изотопных ярусов для выработки не только локальных био- и климатостратиграфических схем, поднимая их ранг до уровня хроностратиграфических шкал гляциоплейстоцена, основными из которых в настоящее время являются Чекалинская, Араповичская, Байкальская, Нижнинская, Муравинская, Ишкольдская, Краснодубровинская, Колодезская, Варзугская, Петрозаводская, Конаховская, Вольное и др. Как известно, внутриконтинентальный разрез «Фердинандув» в Польше также содержит отложения двух межледниковий (фердинандувского и августовского) с одним типом палинологических диаграмм (шкловским).

Указанные разрезы не только дополняют обоснование периодизации гляциоплейстоцена по крупным межледниковым ритмам с характерными четырьмя группами пыльцевых диаграмм (голоценовой, муравинской, шкловской, александрийской), но и восполняют пробелы тех разделяющих их самостоятельных изотопных ярусов (особенно в раннем и среднем гляциоплейстоцене (МИС-9, МИС-13, МИС-15, МИС-17, МИС-19) с повторением вышеупомянутых основных групп диаграмм), которые не были выделены в предыдущих климатостратиграфических схемах Восточно-Европейской равнины.

<sup>1</sup>Здесь и далее названия горизонтов, разрезов и шкал приводятся согласно утвердившемуся в геологической науке написанию и могут не соответствовать современным орфографическим нормам.

**Палеогеография.** В рамках данного аспекта выполняется реконструкция развития различных компонентов природной среды, число которых заметно увеличилось [1; 4]. На данный момент это следующие компоненты.

1. *Тип палеоландшафта.* По соотношению состава растительности древесного, кустарникового, травянистого (наземного и водно-болотного), напочвенного ярусов различают закрытый (залесенный, лесной) и открытый (нелесной) типы палеоландшафта.

2. *Тип и группа лесной флоры позднего кайнозоя.* Выделены два основных типа лесной флоры – неогеновая субтропическая (N) и плейстоценовая умеренная (Q), а также установлен переход между ее группами: пранеморальная – Q<sub>1</sub> (ранний плейстоцен) → протонеморальная – Q<sub>2</sub> (средний плейстоцен) → неморальная и бореальная – Q<sub>3</sub> (поздний плейстоцен) и Q<sub>4</sub> (голоцен).

3. *Общий состав палинофлоры плейстоцена.* В пределах Беларуси установлены 327 таксонов растений, относящихся к 180 видам, 124 родам из 95 семейств, 6 классов, что позволяет включить ее территорию в Центрально-Русский историко-флористический регион Восточно-Европейской равнины с господством полидоминантных хвойно-широколиственных (Q<sub>1</sub> и Q<sub>2</sub>) и олигодоминантных широколиственных (Q<sub>3</sub>) лесов. Текущему этапу (Q<sub>3</sub>) свойственны становление современного европейского доминиона широколиственно-лесной флоры и выработка его характерных лесных формаций [3; 4].

4. *Состав показательных (экзотических) видов.* Наличие экзотических видов – свидетельство богатства и большого разнообразия межледниковой флоры и присутствия арктобореальной флоры во время оледенений. Закономерность в снижении числа экзотов от неогена к голоцену и приуроченность их состава к определенному временному интервалу устанавливают положение ископаемой палинофлоры в возрастном ряду палеофитоценозов одного из межледниковий. Экзотические элементы, определяющие возрастное положение ископаемой флоры гляциоплейстоцена, чаще всего приурочены к первому оптимуму, а во втором и третьем оптимумах могут быть и не представлены, в связи с чем возникают некоторые проблемы в установлении возраста вмещающих их отложений.

5. *Состав и соотношение географических элементов флоры.* Состав и соотношение восточноазиатских, азиатских, американо-евроазиатских, американо-восточноазиатских, американо-средиземноазиатских, североамериканских, евроазиатских, европейских, тропических и субтропических, панголарктических элементов флоры характеризуют важные этапы ее дифференциации – неогеновый, раннеплейстоценовый (брестский, корчевский, беловежский), среднеплейстоценовый (ишкольдский, александрийский, смоленский, шкловский) и позднеплейстоценовый (муравинский, голоценовый). Особый перигляциальный тип растительности поздне- и раннеледниковья объединял представителей лесной, тундровой и степной флор, произрастающих к северу и югу от территории Беларуси, в горных частях Европы, Дальнего Востока, Японии и Китая. За последние 2,5 тыс. лет современная флора региона обогатилась синантропическими растениями (в том числе хлебными злаками). Заслуживают внимания редко встречаемые растения как реликтовые с эпох оледенений и охраняемые.

6. *Район современной концентрации видов ископаемой флоры.* Положение района современной концентрации видов ископаемой флоры определяется последовательным наложением карт современных ареалов видов растений для установления территории с наибольшим числом совместно произрастающих видов (район концентрации). Направленное смещение районов концентрации от Атлантики к востоку и северо-востоку Европейской равнины по мере омоложения ископаемой флоры отражает постепенный переход от океанического влияния климата на природную среду и повышение континентальности климата межледниковых эпох (примерно с территории Германии) при снижении богатства и разнообразия флоры за счет уменьшения экзотичности.

7. *Миграция лесообразующих пород.* Процесс миграции лесообразующих пород представлен в виде путей распространения ископаемой палинофлоры по мере наступания ледников на территорию Беларуси и сильного обеднения теплолюбивой флоры (сохранялась в южных рефугиумах), обогащения ее бореальными видами, которые формировали лесную флору за счет бетулярного (*Betula*) и хвойного (*Larix*, *Picea*, *Abies* и др.) ценоэлементов. При таянии ледников теплолюбивая лесная флора межледниковий складывалась в результате слияния южного (из Средиземноморья) потока кверцетального ценоэлемента (*Quercus robur*, *Acer tataricum* и др.), западноевропейского (из Центральной и частично Южной Европы) и южноуральского потоков неморального (теневого, умеренно тепло- и влаголюбивого) ценоэлемента (*Carpinus*, *Fagus*, *Tilia*, *Quercus*, *Acer*, *Ulmus* и др.). Постоптимальный этап представлял поток флоры хвойных лесов, а затем бетулярной приледниковой флоры. В будущем при развитии климата нового ледниковья ожидается миграция в регион с севера и северо-востока хвойного и бетулярного ценоэлементов.

8. *Макросукцессия палеофитоценозов.* Отражением макросукцессии палеофитоценозов является смена максимумов древесных пород на диаграммах: позднеледниковье (пыльца травянистых растений) (NAP) с арктобореальными, степными и пустынными элементами, *Betula – Pinus*, нередко с *Larix*, *Hippophaë*) → межледниковье с 1–3 оптимумами и похолоданиями (раннемежледниковье (*Betula – Picea – Pinus + Abies*) → климатический оптимум с полным (*Quercus + Ulmus – Alnus + Corylus – Tilia – Carpinus + Fagus*) и неполным (без граба) сукцессионным рядом → позднемежледниковье

(*Picea + Abies – Pinus – Betula*) → раннеледниковье (*Picea – Pinus – Betula + NAP*, реже с *Larix*, арктобореальными и степными видами) [1; 4; 14]. Наличие закономерной сукцессии палеофитоценозов указывает на захоронение ископаемых палиноморф *in situ* во вмещающих породах и отсутствие их переотложения, подтверждая самостоятельность и неоднократность климатических оптимумов в межледниковые эпохи [1; 4].

9. *Незавершенность молодого голоценового межледниковья.* Сравнение макросукцессий межледниковий и голоцена доказало межледниковый ранг последнего (раннемежледниковье – сосново-еловая тайга (от 10 до 8 тыс. лет назад), атлантический климатический оптимум – смешанные → широколиственные → смешанные леса (от 8 до 5 тыс. лет назад), позднемежледниковье – сосново-еловая тайга (от 5 тыс. лет назад до современности)) и в то же время его незавершенность в связи с отсутствием пока еловой с березой (северная тайга) и березовой (лесотундра и тундра) фаз растительности (необходимо еще около 2 тыс. лет), что предполагает в будущем миграцию в регион елового и бетулярного ценоэлементов при развитии природно-климатического ритма (переход к естественному новейшему оледенению через похолодание климата в конце голоцена).

10. *Ритмичность макросукцессий растительных сообществ.* Ритмичность макросукцессий проявляется в виде тренда мощных ранних оптимумов межледниковий с самыми теплыми показателями и высоким участием мезо- и термофильных пород, а затем постепенным их снижением и переходом к температурному минимуму оледенения. Поскольку ранние оптимумы были более теплыми в климатическом отношении по сравнению с последующими оптимумами, то макросукцессия палеофитоценозов знаменовалась полным циклом развития растительности с термоксеротической и термогидротической фазами, а во вторые и третьи оптимумы растительность быстрее восстанавливалась после промежуточных похолоданий (на территории Беларуси это смена зон южнотаежных и смешанных лесов широколиственными), и длительность оптимумов (особенно третьего) могла быть небольшой (фазы растительности можно восстановить по 1–2 образцам).

11. *Длительность межледниковых эпох.* Длительность межледниковий зависит от полноты макросукцессионного ряда палеофитоценозов, числа слагающих его оптимумов и похолоданий между ними. С учетом длительности каждого максимума древесной породы в голоцене около 1 тыс. лет на всю сукцессию однооптимального межледниковья с учетом поздне- и раннеледниковья приходилось до 20 тыс. лет, двухоптимального – около 40 тыс. лет, а трехоптимального – примерно 60 тыс. лет.

12. *Природная зона.* Данный компонент реконструируется по аналогии состава субфоссильных пыльцы и спор с поверхности почвы и торфяников как спектров современных растительных зон с палинокомплексами на диаграммах. Перигляциальная зона не имеет аналогов в настоящее время.

13. *Динамика природных зон и миграционный характер лесных флор.* Как динамика природных зон, так и миграционный характер лесных флор связаны с климатической ритмичностью плейстоцен-голоцена (холод → тепло → холод в ранге оледенение → межледниковье → оледенение) согласно периодическому закону географической зональности в равнинной Европе: движение из Скандинавии материковых льдов на юго-восток, юг и юго-запад приводило к миграции имевшихся природных зон с уменьшением их ширины и занимаемой площади. Теплые межледниковые условия и таяние ледников вызывали возвратную миграцию зон на северо-запад и север Европейской равнины в следующей последовательности: арктическая → перигляциальная → тундровая → лесотундровая → таежная → смешанная → широколиственная → лесостепная → степная. При этом зоны вновь расширяли свои площади и обогащались экзотами с юга. Самой молодой зоной евразийского материка является тундровая зона.

14. *Группы палинологических диаграмм.* По наличию повторявшихся в межледниковьях полных (с грабом) и неполных (без граба) рядов макросукцессий выделены следующие группы диаграмм:

- голоценовая – с полным рядом, обратной его направленностью ((*Ulmus + Tilia*) → (*Quercus + Carpinus*)), слабым оптимумом (величина *Quercetum mixtum + Carpinus* составляет до 10–50 %);
- муравинская – с полным рядом, прямой его направленностью ((*Quercus + Ulmus*) → (*Alnus + Corylus*) → *Tilia* → *Carpinus*), четким ранним (величина *Quercetum mixtum + Carpinus* составляет до 80–90 %) и слабыми поздними (величина *Quercetum mixtum + Carpinus* составляет до 10–45 %) оптимумами;
- александрийская – с полным рядом, прямой его направленностью ((*Quercus + Ulmus + Tilia*) → *Carpinus*), слабым оптимумом (величина *Quercetum mixtum + Carpinus* составляет до 10–25 %);
- шкловская – с неполным рядом, прямой его направленностью ((*Quercus + Ulmus*) → *Tilia*), четким оптимумом (величина *Quercetum mixtum* составляет до 35–45 %) [15, р. 17–37; 16].

15. *Районирование территории по составу пыльцевых спектров.* В основу районирования по составу пыльцевых спектров положены различия состава растительности под влиянием смены климата на территории Беларуси и выделение физико-географических провинций (Поозерской (на севере),

Центрально-Белорусской (в центре) и Полесской (на юге)), соответствующих трем основным типам диаграмм и подразделяющихся на подтипы (Западно-Двинский, Вилейско-Дисненский; Свислочский, Неманский, Днепровско-Сожский; Бугско-Припятский, Припятско-Днепровский).

16. *Климат.* Оценка климата проводится по средней июльской, январской, годовой температуре и осадкам (в абсолютном значении или превышении (понижении)) в пределах зональных границ (северных, южных, западных, восточных) растительности современных природных зон, а также по составленным ареалогическим методом (по Гричуку) климатограммам для неогена и плейстоцена, району современной концентрации ископаемых видов с учетом экзотических географических элементов флоры, статистической связи между составом современных спорово-пыльцевых спектров поверхностных проб каждой растительной зоны и составом спектров из отложений позднеледниковья и голоцена.

Межледниковые эпохи в термические максимумы характеризовались значительной теплообеспеченностью по сравнению с современным этапом за счет более высоких зимних температур и увлажненности. Так, средняя температура января на 1–8 °С, а средняя температура июля на 1–3 °С превышала текущие значения, осадков выпадало на 50–1350 мм больше, климат был теплым, умеренно континентальным, с мягкой зимой и жарким летом. В межоптимальные похолодания средняя температура января опускалась на 3–7 °С, а средняя температура июля – на 1–2 °С ниже значений текущего периода, осадков выпадало на 50–150 мм меньше, климат был более континентальным, с теплым летом и прохладной зимой. В ледниковые эпохи климатические показатели были существенно ниже современных (средняя температура января – на 12–16 °С, средняя температура июля – на 15–17 °С, количество осадков – на 500–600 мм), климат отличался значительной суровостью с отрицательным балансом тепла.

Самым теплым и влажным в гляциоплейстоцене было муравинское межледниковье. Преобладающие мезо- и термофильные древесные породы сформировали зону многоярусных широколиственных лесов на огромной площади Восточно-Европейской равнины (их северная граница доходила до Санкт-Петербурга) и в Западной Сибири, границы смешанной и таежной зон продвигались еще дальше к северу, тайга располагалась у морского побережья, исчезали арктическая зона и тундра.

Наиболее прохладным межледниковьем является голоценовое межледниковье. В атлантический оптимум широколиственные формации также имели максимальное развитие, но с меньшим участием представителей теплолюбивых пород (величина *Quercetum mixtum* + *Carpinus* не превышала 10–35 %), флора региона не содержала экзотов, формировалась в умеренно континентальном, теплом и влажном климате с умеренно мягкой зимой. Юг современного Полесья представляет зону смешанных лесов, а север – южнотаежных.

Максимумом холода отличалось поозерское оледенение (в оршанскую стадию). Величины температуры и осадков были существенно ниже современных, климат характеризовался большей континентальностью и значительной суровостью при минимальной в плейстоцене площади распространения ледникового покрова (север Беларуси): арктическая зона и тундра развиты вблизи ледника, лесотундра – в центре, тайга – на юге.

Наибольшая площадь распространения свойственна днепровскому леднику (до района Каневских дислокаций на территории Украины). Отмеченное на конец 2020 г. превышение температуры (на 1,0–1,5 °С) и сухости климата (скоротечное «глобальное потепление климата» – второй оптимум голоцена?) не привело пока к миграции природных зон в регионе (выделена только аграрная зона на юго-западе) при продвижении тайги и лесотундры на север Восточно-Европейской равнины.

17. *Осадконакопление в водоемах.* Осадконакопление устанавливается на основе стратификации в разрезах озерных, болотных, речных, почвенных отложений по фазам развития растительности. В поздне- и раннеледниковья в водоемах обычно осаждался кластогенный материал (пески, глины, суглинки, супеси, илы, алевриты, реже смешанный сапропель). Межледниковые образования палеоводоемов представлены старичными, озерными, болотными, аллювиальными осадками мощностью от 0,3 до 100,0 м (сапропель тонко- и грубодетритовый, кремнеземистый, ил глинистый, торф, алеврит, карбонатные осадки (мергель, известь озерная, сапропель известковистый, диатомит – преимущественно в муравинское и александрийское межледниковья), гумусированные суглинки и супеси, гиттия, дью).

Отдельные древние водоемы характеризовались более сложным осадконакоплением: на протяжении двух- и трехоптимальных межледниковий озерный цикл мог повторяться неоднократно наряду с изменением типов осадков; сменяться болотным, а затем вновь становиться озерным; быть неизменным и представленным одним типом осадков на протяжении всего времени существования водоема. В современных озерных котловинах в субатлантике-3 прослеживается снижение мощности осадков и скорости их накопления как отражение завершения ритма седиментогенеза в конце голоценового межледниковья, а также смена типов садки сапропеля как отражение антропогенного воздействия на природную среду водоемов.

Погребенные почвы формировались с разных временных интервалов голоцена. Они не обладают полнотой всего геологического разреза с непрерывным процессом педогенеза (кроме торфяного), но более информативны в проявлении локальных факторов.

Большинство изученных разрезов с разновозрастными отложениями древнейших межледниковий показали, что максимальное число палеоозер и палеоболот приходилось на первый оптимум межледниковий, значительно меньшее – на второй, реже третий оптимум, что зависело от сформированной ледником в рельефе глубины палеокотловины, вмещавшей осадки разной мощности, и степени ее последовательного заполнения от оптимума к оптимуму (т. е. озерность была максимальной в ранний оптимум).

Мелкие палеокотловины достаточно быстро в течение одного (как правило, раннего) оптимума заполнялись озерными и болотными осадками, становились погребенными по мере зарастания озер и перехода их в болота. Низинные болота переходили в стадию верховых, осадки в них активно не накапливались, а следовательно, отсутствовала информация о дальнейшей истории палеоландшафта.

Глубокие палеокотловины накапливали значительно бóльшие мощности осадков, которые после первого оптимума и промежуточного похолодания продолжали непрерывно формироваться на протяжении второго и третьего оптимумов того же межледниковья, проходя полный и сложный цикл седиментогенеза за межледниковую эпоху, и становились погребенными только под перигляциальными и гляциальными образованиями наступавшего впоследствии ледника. Поэтому мощные озерные и болотные толщи глубоководных палеокотловин являлись более информативными (садка в них непрерывна от конца предыдущего оледенения (позднеледниковье)) в течение всей сложной межледниковой эпохи до начала последующего оледенения (раннеледниковье).

*18. Изменение уровня водоемов.* Колебание уровня водоемов прослеживается по соотношению состава водной, болотной и наземной травянистой растительности с закономерной сукцессией (сменой зон или полос) от берега водоема до максимальной глубины проникновения света в нем и действия процесса фотосинтеза: земноводные → прибрежные → надводные (полупогруженные – «второй берег» тростниково-камышовой полосы озера → с плавающими на поверхности листьями, цветущие над водой и прикрепленные к грунту → свободно плавающие на поверхности воды и в ее толще и не прикрепленные к грунту → полностью погруженные в воду, прикрепленные к грунту и выдвигающие на поверхность только цветы (рдесты)) → полностью погруженные растения (водоросли и мхи).

Большая амплитуда уровня воды свойственна мелководным озерам и малым рекам, меньшая – глубоководным водоемам и крупным рекам. Прибрежные разрезы более четко отражали колебание воды по сравнению с разрезами, удаленными от берега и находящимися на большей глубине. За время существования озер уровень воды в них имел тренд к повышению от низкого к максимальному (с различной вариабельностью) и последующему снижению. Максимальные значения влажности и увеличения водной массы отмечались в аллереде, пребореале-2, атлантике-1, суббореале-2, минимальные – в аллереде, интервале дриас-3 – пребореал + бореал [15, р. 17–37; 17].

Этапы развития речной долины и колебания уровня воды в голоцене отражает закономерная смена сукцессий растительности: русло → прибрежная часть русла → прирусловая пойма → центральная пойма → притеррасная пойма → старица. Уровни рек и озер имели тенденцию к снижению в конце межледниковий, таким образом, наблюдаемое сейчас их обмеление объясняется не только большим потреблением воды в хозяйственных целях. В целом речные разрезы крупных водных систем гляциоплейстоцена, как постоянно действующие водотоки с начала неогена, должны быть более информативны, чем озерные и болотные, но историю развития компонентов ландшафта по ним можно проследить лишь по толщам образований заросших меандр и погребенных почв (возрастные «цепочки» межледниковий), так как непосредственно русловые накопления несут в себе переотложенный органический материал и в определенной степени затрудняют установление истинного возраста аллювия.

*19. Эволюция палеоозер, палеоболот, продолин.* Эволюция палеоводоемов восстанавливается по смене растительности палеоводоемов. Одни из них начали существовать с позднеледниковья, другие существовали на протяжении межледниковий и завершали свой цикл в раннеледниковое время по мере заполнения их котловин осадками и погребения под отложениями последующих оледенений и межледниковий. В голоценовых озерах и болотах осадконакопление все еще продолжается. Глубоководные водоемы постепенно зарастали и становились мелководными до окончания межледниковья либо были сравнительно недолговечными и переходили в болота, выражая смену озеро → зарастающее озеро → болото (низинное травяное → переходное со смешанной растительностью → верховое моховое сфагновое) → болото лесное с болотной сосной, березой и кустарниками с признаками «физиологической сухости» → суходольные луга. Отдельные водоемы претерпели более сложный ритм седиментогенеза:

озёро → болото (с бореала по субатлантику-3) → озеро, что предполагает перспективу восстановления пересохших болот в результате проведенной мелиорации [15, р. 17–37].

Различия в содержании биогенных элементов и органических веществ в пресных водах континентальных озер позволяют выделить олиготрофные (глубокие ранне- и позднеледниковые), мезотрофные (раннемежледниковые и оптимумов), эвтрофные (оптимальных этапов) и дистрофные (зарастающие в разные этапы межледниковья) озера.

Формирование современных торфяников Беларуси, начавшееся частично в поозерское позднеледниковье, но преимущественно с раннего голоцена, продолжается и в настоящее время, т. е. возраст торфяников составляет не менее 10 тыс. лет. Этапы активного заболачивания территории проявились в бореале-2, атлантике-2 и суббореале-2 при заметном увлажнении климата.

*20. Влияние антропогенного фактора.* Воздействие данного фактора на естественный фитоценотический процесс выражено на диаграммах повышением роли трав начиная уже с 2,5 тыс. лет назад. Оно отображает процесс трансформации ландшафтов: увеличение площадей открытых мест с наземной травяной растительностью из полыней, маревых, злаковых, ксерофитов под сельскохозяйственные угодья и промышленные объекты за счет снижения лесистости территории, сокращение ареалов и исчезновение холодостойких и умеренно влаголюбивых видов (в том числе гибель еловых насаждений), рост числа редко встречаемых и исчезнувших растений Красной книги наряду с обогащением флоры южными ксероморфными видами, синантропами [1; 4]. Не менее важен фактор масштабного потепления климата на 1,5 °С по сравнению с 1970-ми гг. и увеличения его сухости [1; 4; 15].

*21. Динамика водного потока.* Отражением динамичных процессов водного потока и явлений природы могут быть прибрежная и донная эрозия, склоновый размыв и снос минерального вещества в котловины и долины при распаивании склонов, изменяющие в них тип осадков, а также процессы перемыва и переотложения осадков, перерывы в седиментогенезе наряду с малой скоростью потока и спокойным напластованием осадков и др. Переотлагаемый комплекс микрофоссилий выделяется по степени их сохранности (зерна плоские, с металлическим блеском, разорванные), темному цвету, возрасту объектов (каменноугольные, девонские, неогеновые на фоне молодых плейстоценовых), органическим формам (мозолистые тела), фону препарата (наличие пелитовых и крупнопесчаных частиц), резким пикам числа видов в составе спектров и т. п. Перерывы в осадконакоплении фиксируются по следам разрушений осадка ожелезнением, мелким неровностям, сверлениям и прикреплениям организмов, примеси терригенного материала в карбонатных породах и переотложению частиц подстилающих отложений в виде брекчии [1; 4].

*22. Стихийные явления (пожары, ураганы, ветровая эрозия; затопления, намывы песков).* Стихийные явления можно определить по массовым скоплениям угольных частиц в кровле торфа (следы пожаров на болотах) либо присутствию их по всему разрезу (следы лесных пожаров), по намыву минерального (пелитового) и органического (в виде мельчайшего детрита) материала (результат ураганов и мощных ветровых эрозий), разрушению древесины и других растительных остатков (последствие затопления, водных стихий и пр.), а также по крупнопесчаным частицам, разорванным, плоским и темным микрофоссилиям, мозолистым органическим телам. Они способны придать намытым толщам вид гумусированных слоев [1; 4].

**Корреляция.** Широко применяемая учеными школы академика Г. И. Горещкого корреляция природных событий проводится по результатам комплексных научных исследований на основе сопряженного анализа [18], что позволило данные палинологического метода тесно увязать не только с методами абсолютного датирования (радиоуглеродным ( $^{14}\text{C}$ ), термолюминесцентным, урановым, уран-ториевым, свинцовым, калий-аргоновым, рубидий-стронциевым, кальциевым, осмиевым и др.), но и с другими методами относительной геохронологии, палеонтологическими (флористическими и фаунистическими) и непалеонтологическими во временном и территориальном аспектах [4; 19]. В связи с этим назрела необходимость проведения межрегиональной корреляции природных событий, зафиксированных в морских и океанических толщах, с континентальными отложениями палеоводоемов (см. таблицу).

Мониторинг геологических разрезов гляциоплейстоцена и голоцена, изученных палинологическим методом, позволил создать единственную в Беларуси палинологическую базу данных (ПБД), которая в настоящее время содержит около 1300 диаграмм, представляющих собой хронологическую летопись событий и природное наследие региона [16; 20; 21]. Ее издание Я. К. Еловичевой и Е. Н. Дрозд в виде шеститомной монографии по разрезам бассейнов рек было начато в 2018 г. В настоящий момент вышли из печати первые три тома («Западный Буг и Нарев» (2018), «Западная Двина» (2020) и «Неман» (2022)). На ближайшие годы (2023–2024) запланирован выпуск оставшихся трех томов («Днепр», «Припять» и «Справочник палинологически изученных разрезов ПБД Беларуси»).

Корреляция стратиграфических схем гляциолейстоцена Беларуси, Польши, Украины и России  
 Correlation of stratigraphic schemes of the Glaciplleistocene of Belarus, Poland, Ukraine and Russia

Ярусы и горизонты	Беларусь (по Еловичевой)	Польша (по Линднеру)	Украина (по Еловичевой)	Россия (по Болиховской)
1 – igl	<b>Голоценовый</b>	<b>Голоцен</b>	<b>Голоцен</b>	<b>Голоценовый</b>
2–4 – gl	Поозерский	Висла	Валдайский	Валдайский
5 – igl	<b>Муравинский</b>	<b>Эм</b>	<b>Прилукский</b>	<b>Микулинский</b>
6 – gl	Сожский	Варта	Тясминский	Московско-днепровский
7 – igl	<b>Шкловский</b>	<b>Любава</b>	<b>Кайдакский</b>	<b>Черепетский</b>
8 – gl	Днепровский	Одра	Днепровский	Жиздринский
9 – igl	<b>Смоленский</b>	<b>Збуйно</b>	<b>Потягайловский</b>	<b>Чекалинский</b>
10 – gl	Яхнинский	Ливец	Орельский	Калужский
11 – igl	<b>Александрийский</b>	<b>Мазовше</b>	<b>Завадовский-2</b>	<b>Лихвинский</b>
12 – gl	Еселевский	Брок	Завадовский-1/2	
13 – igl	<b>Ишкольдский</b>	<b>Мронгово</b>	<b>Завадовский-1</b>	Ожский
14 – gl	Березинский	Сан-2	Тигульский	
15 – igl	<b>Беловежский</b>	<b>Фердинандув</b>	<b>Лубенский</b>	<b>Мучапский</b>
16 – gl	Сервечский	Сан-1	Сульский	Донской
17 – igl	<b>Корчевский</b>	<b>Малополье</b>	<b>Маргоношский</b>	<b>Семилукский</b>
18 – gl	Наревский	Нида	Приазовский	Девичий
19 – igl	<b>Брестский</b>	<b>Подлясье/Августов</b>	<b>Широкинский</b>	<b>Гремячевский</b>
20–36		Нарев	Ильичевский	

Примечания: 1. Наревские оледенения в Беларуси и Польше разновозрастны. 2. Используемые обозначения: igl – межледниковый горизонт; gl – ледниковый горизонт.  
 3. Межледниковые горизонты выровнены по правому краю и выделены полужирным начертанием.

Большое распространение и хорошая сохранность в породах ископаемых палиноморф, а также их высокая информативность в различных аспектах внесли важный вклад в познание эволюции и фиторазнообразия (водного и наземного) территории Беларуси и сопредельных стран за последние 400 млн лет (с девонского периода), особенно в течение гляциоплейстоцена, а проявление уже на протяжении последних 2,5 тыс. лет (субатлантический период) процесса трансформации компонентов природы под влиянием современной цивилизации дало возможность прогнозировать следующие сценарии их изменения в будущем: 1) продолжение глобального потепления в ранге второго или третьего оптимума текущего голоценового межледниковья (соответственно, ожидание динамики природных зон, усложнение агроклиматического районирования путем выделения новых зон, оспаривание необходимости проведения работ по проектам посадки темнохвойных пород при потеплении и сухости климата) [1; 4]; 2) завершение голоценового межледникового цикла переходом к похолоданию и последующему новейшему оледенению; 3) конец антропоцена (завершение гляциоплейстоцена как всего лишь последней трети позднего кайнозоя) и наступление нового природного феномена – очередного потепления климата планеты Земля глобального масштаба со значительно более высокой температурой по сравнению с межледниковьями квартала нашего региона. Происходящие на глазах современной цивилизации резкая смена климата, активизация вулканической деятельности, увеличение числа ураганов, частоты и разрушительной силы цунами, снижение биоразнообразия аналогичны проявлениям глобального катаклизма в древние геологические эпохи (кембрий – начало ордовика, средний и поздний силур – ранний и средний девон, поздняя пермь – триас – средняя юра, средний и поздний мел – ранний палеоген, или палеоцен).

Разностороннее использование палинологических данных в научных и практических целях отражает высокую степень обеспечения территории региона изученными разновозрастными разрезами с картированием их местонахождений, находок залежей каменного угля, нефти, торфа, строительных материалов, ареалов древних экзотических видов растений [1; 4], а также с изготовлением из пыльцы и спор различных натуральных лекарственных средств. Результаты научных исследований имеют важное практическое значение как для дальнейшего перспективного развития палинологического направления в науке, сопровождающегося все большим применением компьютерных технологий [22], созданием новых картографических и иллюстративных фотоматериалов в морфологии, стратиграфии, палеогеографии, палеоэкологии в целях повышения объективности наших знаний об эволюции природы Земли, так и для внедрения всего вышеперечисленного в учебный процесс (дополнение новым материалом учебников, учебных пособий, курсов лекций и практикумов, учебно-методических комплексов, мультимедийных презентаций и пр.) в целях обеспечения более качественного школьного (краеведение, туризм) и университетского высшего географического образования.

### Заключение

Таким образом, на территории Беларуси на протяжении XX и XXI вв. отмечается большой вклад палинологии в развитие географических и геологических исследований. Новый взгляд специалистов на изменения в стратиграфии и палеогеографии гляциоплейстоцена убеждает в реальности разработанного варианта региональной стратиграфической схемы Беларуси и позволяет на качественном уровне провести межрегиональную корреляцию природных событий на территории прежде всего Центральной и Восточной Европы, а также Северного полушария в целом. Предстоящая работа специалистов стратиграфов и палеогеографов заключается в детальном палинологическом изучении отложений из разрезов керна скважин и естественных обнажений, разработке критериев определения их возраста и степени экзотичности флоры межледниковий, сходных по макросукцессионному ряду и типу пыльцевых диаграмм; подтверждении числа и длительности климатических оптимумов межледниковых эпох; выделении и установлении ранга похолоданий (самостоятельные ледниковья, разделявшие межледниковые эпохи, или только межоптимальные интервалы внутри межледниковий); восполнении пробелов геологической летописи (особое внимание должно быть уделено разрезам со сложным седиментационным циклом и наличием нескольких межледниковых горизонтов); подтверждении возраста межледниковых толщ и ледниковых комплексов данными различных палеонтологических методов и абсолютной геохронологии.

Важным шагом в этом процессе является подготовка молодых кадров (включение результатов полевых работ студентов в научные исследования современных и древних водоемов Беларуси, сбор фактического полевого материала для защиты дипломных работ, дальнейшее обучение в магистратуре и аспирантуре). Это обеспечит перспективное решение современных проблем теоретической и прикладной палинологии региона, а также обогащение новейшими знаниями молодого поколения.

Белорусская наука вправе может гордиться значимостью и научными достижениями (даже в периоды малого финансирования) развитого в республике палинологического метода, его практическим использованием среди специалистов стран ближнего и дальнего зарубежья в различных аспектах, признанием высоких результатов участия отечественных ученых в совместных научных проектах и большой долей цитирования авторских работ в изданиях мирового уровня.

## Библиографические ссылки

1. Еловичева ЯК. *Эволюция природной среды антропогена Беларуси (по палинологическим данным)*. Минск: Белэкс; 2001. 292 с.
2. Еловичева ЯК. *Растительные микрофоссилии плейстоцена и голоцена Беларуси*. Минск: БГУ; 2005. 282 с.
3. Махнач НА, Еловичева ЯК, Бурлак АФ, Рылова ТБ. *Флора и растительность Белоруссии в палеогеновое, неогеновое и антропогенное время (по данным палинологического анализа)*. Минск: Наука и техника; 1981. 106 с.
4. Еловичева ЯК. *Палинология Беларуси (к 100-летию Белорусского государственного университета)*. Минск: БГУ; 2018. 831 с.
5. Цапенко ММ, Махнач НА. *Антропогенные отложения Белоруссии*. Минск: Издательство Академии наук БССР; 1959. 225 с.
6. Вознячук ЛН. Основные стратиграфические подразделения четвертичных отложений. В: Голубцов ВК, редактор. *Материалы по стратиграфии Белоруссии*. Минск: Наука и техника; 1981. с. 137–151.
7. Вознячук ЛН, Шулия КС. Абсолютная геохронология позднего антропогена Белоруссии и Литвы. В: Афанасьев ГД, Виноградов АП, Овчинников ЛН, Герлинг ЭК, Пекарская ТБ, редакторы. *Определение абсолютного возраста рудных месторождений и молодых мамятических пород (XVIII сессия)*. Москва: Наука; 1976. с. 280–285.
8. Вознячук ЛН, Пузанов ЛТ. Четвертичный период. В: Леонович ПА, Махнач АС, Свержинский АИ, редакторы. *Белорусская ССР. Геологическое описание*. Москва: Недра; 1971. с. 416–430 (Сидоренко АВ, редактор. Геология СССР; том 3).
9. Величквич ФЮ, Зерницкая ВП, Крутоус ЭА, Матвеев АВ, Нечипоренко ЛА, Рылова ТБ и др. Четвертичный период (квартер). В: Матвеев АВ, редактор. *Палеогеография кайнозоя Беларуси*. Минск: Институт геологических наук НАН Беларуси; 2002. с. 75–143.
10. Гурский БН, Махнач НА, Левков ЭА, Матвеев АВ, Еловичева ЯК, Хурсевич ГК и др. Стратиграфическая схема четвертичных (антропогенных) отложений Белоруссии. В: Кузнецов ВА, редактор. *Проблемы изучения земной коры Белоруссии и сопредельных территорий. Доклады белорусских геологов на XXVII сессии Международного геологического конгресса; 4–14 августа 1984 г.; Москва, СССР*. Минск: Наука и техника; 1986. с. 30–37.
11. Горецкий ГИ. *Аллювиальная летопись великого пра-Днепра*. Москва: Наука; 1970. 491 с.
12. Горецкий ГИ. *Особенности палеопотамологии ледниковых областей (на примере Белорусского Понеманья)*. Минск: Наука и техника; 1980. 288 с.
13. Величквич ФЮ, Дерюго ГВ, Зерницкая ВП, Илькевич ГИ, Левицкая РИ, Литвинюк ГИ и др. Четвертичная система (квартер). В: Махнач АС, Горецкий РГ, Матвеев АВ, Аношко ЯИ, Илькевич ГИ, Конищев ВС и др., редакторы. *Геология Беларуси*. Минск: Институт геологических наук НАН Беларуси; 2001. с. 325–386.
14. Еловичева Я, де Белио Ж-Л, Грюгер Э, Калнина Л, Лийвранд Э, Хомутова В и др. *Макросуццесии палеофитоценозов эемского межледниковья в Европе (по палинологическим данным)*. Минск: БГУ; 2006. 110 с.
15. Tarasov PE, Pushenko MYa, Harrison SP, Saarse L, Andreev AA, Aleshinskaya ZV, et al. *Lake status records from the former Soviet Union and Mongolia: documentation of the second version of the database*. Boulder: World Data Center; 1996. 224 p. (Paleoclimatology publication series; report No. 5).
16. Еловичева ЯК, Дрозд ЕН. Использование палинологической базы данных для целей стратиграфии и палеогеографии плейстоцена и голоцена Беларуси. В: *Региональная физическая география в новом столетии. Выпуск 3*. Минск: БГУ; 2008. с. 207–220.
17. Еловичева ЯК. Возраст и условия формирования погребенных почв в разрезе у д. Стайки по данным палинологических исследований. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология*. 2017;1:137–145.
18. Еловичева ЯК, Санько АФ. *Академик Г. И. Горецкий и его научная школа по четвертичной геологии: к 115-летию со дня рождения Гаврилы Ивановича Горецкого (1900–1988)*. Минск: Колорград; 2015. 144 с.
19. Еловичева ЯК. Инновационные технологии в познании истории развития природной среды Беларуси и смежных регионов. В: Базекин АВ, Войтов ИВ, Горбач АН, Дедков СМ, Демьяненко АВ, Драгун ВС и др., редакторы. *Инновационные технологии и системы. Материалы международного форума; 26–30 сентября 2006 г.; Минск, Беларусь*. Минск: БелИСА; 2006. с. 108–110.
20. Махнач НА, Кадацкий ВБ. Перфокартотека палинологических данных из четвертичных отложений Белоруссии. В: Кузнецов ВА, редактор. *Геология и геохимия антропогена Белоруссии*. Минск: Наука; 1974. с. 63–72.
21. Еловичева ЯК, Леонова АГ, Дрозд ЕН. *Палинологическая база данных Беларуси. Часть 1. Поозерское позднеледниковье и голоцен*. Минск: БГУ; 2008. 402 с. Совместное издание с «Белгео».
22. Писарчук НМ, Козлов ЕА, Еловичева ЯК. Информационные технологии в палинологии. В: *Информатизация образования – 2010: педагогические аспекты создания информационно-образовательной среды. Материалы Международной научной конференции; 27–30 октября 2010 г.; Минск, Беларусь = Informatization of education – 2010: pedagogical aspects of the development of information educational environment. Proceedings of the International scientific conference; 2010 October 27–30; Minsk, Belarus*. Минск: БГПУ; 2010. с. 380–383.

## References

1. Yelovicheva YaK. *Evolutsiya prirodnoi sredy antropogena Belarusi (po palinologicheskim dannym)* [Evolution of the natural environment of the Anthropogene of Belarus (by palynological data)]. Minsk: Belsens; 2001. 292 p. Russian.
2. Yelovicheva YaK. *Rastitel'nye mikrofosfilii pleistotsena i golotsena Belarusi* [Plant microfossils of the Pleistocene and Holocene of Belarus]. Minsk: Belarusian State University; 2005. 282 p. Russian.
3. Makhnach NA, Yelovicheva YaK, Burlak AF, Rylova TB. *Flora i rastitel'nost' Belorussii v paleogenovoe, neogenovoe i antropogenovoe vremya (po dannym palinologicheskogo analiza)* [Flora and vegetation of Belarus in the Paleogene, Neogene and Anthropogenic time (according to palynological analysis)]. Minsk: Nauka i tekhnika; 1981. 106 p. Russian.
4. Yelovicheva YaK. *Palinologiya Belarusi (k 100-letiyu Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta)* [Palynology of Belarus (to the 100<sup>th</sup> anniversary of the Belarusian State University)]. Minsk: Belarusian State University; 2018. 831 p. Russian.

5. Tsapenko MM, Makhnach NA. *Antropogenovye otlozheniya Belorussii* [Anthropogenic deposits of Belarus]. Minsk: Publishing House of the Academy of Sciences of the BSSR; 1959. 225 p. Russian.
6. Voznyachuk LN. [The main stratigraphic units of the Quaternary deposits]. In: Golubtsov VK, editor. *Materialy po stratigrafii Belorussii* [Materials on the stratigraphy of Belarus]. Minsk: Nauka i tekhnika; 1981. p. 137–151. Russian.
7. Voznyachuk LN, Shuliya KS. [Absolute geochronology of the Late Anthropogene of Belarus and Lithuania]. In: Afanas'ev GD, Vinogradov AP, Ovchinnikov LN, Gerling EK, Pekarskaya TB, editors. *Opredelenie absol'yutnogo vozrasta rudnykh mestorozhdenii i molodykh magmaticheskikh porod (XVIII sessiya)* [Determination of the absolute age of ore deposits and young igneous rocks (18<sup>th</sup> session)]. Moscow: Nauka; 1976. p. 280–285. Russian.
8. Voznyachuk LN, Puzanov LT. [Quaternary period]. In: Leonovich PA, Makhnach AS, Sverzhinskii AI, editors. *Belorusskaya SSR. Geologicheskoe opisaniye* [Belarusian SSR. Geological description]. Moscow: Nedra; 1971. p. 416–430 (Sidorenko AV, editor. *Geologiya SSSR*; volume 3). Russian.
9. Velichkevich FYu, Zernitskaya VP, Krutous EA, Matveev AV, Nechiporenko LA, Rylova TB, et al. [Quaternary period (Quarter)]. In: Matveev AV, editor. *Paleogeografiya kainozoya Belarusi* [Paleogeography of the Cenozoic of Belarus]. Minsk: Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Belarus; 2002. p. 75–143. Russian.
10. Gurskii BN, Makhnach NA, Levkov EA, Matveev AV, Yelovicheva YaK, Khursevich GK, et al. [Stratigraphic scheme of Quaternary (Anthropogenic) deposits of Belarus]. In: Kuznetsov VA, editor. *Problemy izucheniya zemnoi kory Belorussii i sopredel'nykh territorii. Doklady belorusskikh geologov na XXVII sessii Mezhdunarodnogo geologicheskogo kongressa; 4–14 avgusta 1984 g.; Moskva, SSSR* [Problems of studying the Earth's crust of Belarus and adjacent territories. Reports of Belarusian geologists at the 27<sup>th</sup> session of the International geological congress; 1984 August 4–14; Moscow, USSR]. Minsk: Nauka i tekhnika; 1986. p. 30–37. Russian.
11. Goretskii GI. *Allyuvial'naya letopis' velikogo pra-Dnepra* [Alluvial chronicle of the great proto-Dnieper]. Moscow: Nauka; 1970. 491 p. Russian.
12. Goretskii GI. *Osobennosti paleopotamologii lednikovyykh oblastei (na primere Belorusskogo Poneman'ya)* [Peculiarities of the paleopotamology of glacial regions (on the example of the Belarusian Ponemanye)]. Minsk: Nauka i tekhnika; 1980. 288 p. Russian.
13. Velichkevich FYu, Deryugo GV, Zernitskaya VP, Il'kevich GI, Levitskaya RI, Litvinyuk GI, et al. [Quaternary system (Quarter)]. In: Makhnach AS, Garetskii RG, Matveev AV, Anoshko YaI, Il'kevich GI, Konishchev VS, et al., editors. *Geologiya Belarusi* [Geology of Belarus]. Minsk: Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Belarus; 2001. p. 325–386. Russian.
14. Yelovicheva Ya, de Belio Zh-L, Gryuger E, Kalnina L, Liivrand E, Khomutova V, et al. *Makrosuksessii paleofitotsenozov eemskogo mezhdnednikov'ya v Evrope (po palinologicheskim dannym)* [Macrosuccessions of paleophytocenoses of the Eem interglacial in Europe (by palynological data)]. Minsk: Belarusian State University; 2006. 110 p. Russian.
15. Tarasov PE, Pushenko MYa, Harrison SP, Saarse L, Andreev AA, Aleshinskaya ZV, et al. *Lake status records from the former Soviet Union and Mongolia: documentation of the second version of the database*. Boulder: World Data Center; 1996. 224 p. (Paleoclimatology publication series; report No. 5).
16. Yelovicheva YaK, Drozd EN. [The use of a palynological database for the purposes of stratigraphy and paleogeography of the Pleistocene and Holocene of Belarus]. In: *Regional'naya fizicheskaya geografiya v novom stoletii. Vypusk 3* [Physical geography in the new century. Issue 3]. Minsk: Belarusian State University; 2008. p. 207–220. Russian.
17. Yelovicheva YaK. Age and conditions of the formation of the buried soils in the Stajki section by palynological studies. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology*. 2017;1:137–145. Russian.
18. Yelovicheva YaK, Sanko AF. *Akademik G. I. Goretskii i ego nauchnaya shkola po chetvertichnoi geologii: k 115-letiyu so dnya rozhdeniya Gavrily Ivanovicha Goretskogo (1900–1988)* [Academician G. I. Goretsky and his scientific school on Quaternary geology: to the 115th anniversary of the birth of Gavril Ivanovich Goretsky (1900–1988)]. Minsk: Kolorgrad; 2015. 144 p. Russian.
19. Yelovicheva YaK. [Innovative technologies in understanding the history of the development of the natural environment in Belarus and adjacent regions]. In: Bazekin AV, Voitov IV, Gorbach AN, Dedkov SM, Dem'yanenko AV, Dragun VS, et al., editors. *Innovatsionnye tekhnologii i sistemy. Materialy mezhdunarodnogo foruma; 26–30 sentyabrya 2006 g.; Minsk, Belarus'* [Innovative technologies and systems. Proceedings of the International forum; 2006 September 26–30; Minsk, Belarus]. Minsk: Belarusian Institute for System Analysis and Information Support of the Scientific and Technical Sphere; 2006. p. 108–110. Russian.
20. Makhnach NA, Kadatskii VB. [Punched card file of palynological data from the Quaternary deposits of Belarus]. In: Kuznetsov VA, editor. *Geologiya i geokhimiya antropogena Belorussii* [Geology and geochemistry of the Anthropogene of Belarus]. Minsk: Nauka; 1974. p. 63–72. Russian.
21. Yelovicheva YaK, Leonova AG, Drozd EN. *Palinologicheskaya baza dannykh Belarusi. Chast' 1. Poozerskoye pozdnelednikov'e i golotsen* [Palynological database of Belarus. Part 1. Poozerskoye Late Glacial and Holocene]. Minsk: Belarusian State University; 2008. 402 p. Co-published by the «Belgeo». Russian.
22. Pisarchuk NM, Kozlov EA, Yelovicheva YaK. [Information technologies in palynology]. In: *Informatization of education – 2010: pedagogical aspects of the development of information educational environment. Proceedings of the International scientific conference; 2010 October 27–30; Minsk, Belarus*. Minsk: Belarusian State Pedagogical University named after Maxim Tank; 2010. p. 380–383. Russian.

Получена 08.02.2022 / принята 04.07.2022.  
Received 08.02.2022 / accepted 04.07.2022.

## РЕГИОНАЛЬНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ СРЕДНИХ И ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СОВРЕМЕННОГО МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ВОДОСБОРА БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

Л. М. КИТАЕВ<sup>1)</sup>, И. С. ДАНИЛОВИЧ<sup>2)</sup>, Е. М. АКЕНТЬЕВА<sup>3)</sup>,  
И. В. БУЯКОВ<sup>2)</sup>, Г. А. ТЮСОВ<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup>Институт географии РАН, пер. Старомонетный, 29, стр. 4, 119017, г. Москва, Россия

<sup>2)</sup>Институт природопользования НАН Беларуси,

ул. Франциска Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь

<sup>3)</sup>Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова,

ул. Карбышева, 7, 194021, г. Санкт-Петербург, Россия

<sup>4)</sup>Ботанический институт им. В. Л. Комарова РАН,  
ул. Профессора Попова, 2, 197376, г. Санкт-Петербург, Россия

В целях уточнения существующих оценок крупномасштабных изменений климата проанализированы особенности региональной неоднородности современного метеорологического режима восточной части водосбора Балтийского моря на примере Ленинградской области и близлежащих территорий соседних субъектов Российской Федерации (северная часть региона), а также водосбора Западной Двины в пределах Республики Беларусь (южная часть региона). Для зимнего периода выявлены существенные различия приземной температуры воздуха и водного эквивалента снега (далее – снеготпасы) при сходстве суммарных осадков, более интенсивные межгодовые и многолетние изменения в южной части региона. Общим для региона является наличие значимой корреляции лишь между многолетней динамикой индексов атмосферной циркуляции января – марта и ходом приземной температуры воздуха, а также несущественные различия количества аномальных лет при сходстве амплитуды аномалий. Наибольший вклад в многолетнюю изменчивость снеготпасов повсеместно вносит приземная температура воздуха, что особенно ярко выражено в южной части региона. Переломные точки в многолетнем ходе приземной температуры воздуха на севере и юге региона совпадают, переломные точки в ходе суммарных осадков совпадений

### Образец цитирования:

Китаев ЛМ, Данилович ИС, Акентьева ЕМ, Буйков ИВ, Тюсов ГА. Региональная изменчивость средних и экстремальных характеристик современного метеорологического режима восточной части водосбора Балтийского моря. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология.* 2022;2:16–29.  
<https://doi.org/10.33581/2521-6740-2022-2-16-29>

### For citation:

Kitaev LM, Danilovich IS, Akent'eva EM, Buyakov IV, Tyusov GA. Regional variability of the mean and extreme characteristics of the present meteorological regime of the eastern part of the Baltic Sea catchment. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology.* 2022;2:16–29. Russian.  
<https://doi.org/10.33581/2521-6740-2022-2-16-29>

### Авторы:

**Лев Михайлович Китаев** – кандидат географических наук; старший научный сотрудник лаборатории климатологии.

**Ирина Сергеевна Данилович** – кандидат географических наук, доцент; ведущий научный сотрудник лаборатории климатических исследований Центра геоэкологии и климатологии.

**Елена Марковна Акентьева** – кандидат географических наук; ведущий научный сотрудник лаборатории технической климатологии и стихийных явлений отдела динамической метеорологии и климатологии.

**Иван Васильевич Буйков** – младший научный сотрудник лаборатории климатических исследований Центра геоэкологии и климатологии.

**Григорий Анатольевич Тюсов** – кандидат географических наук; научный сотрудник лаборатории динамики растительного покрова Арктики.

### Authors:

**Lev M. Kitaev**, PhD (geography); senior researcher at the laboratory of climatology.

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

<https://orcid.org/0000-0020-0618-9209>

**Irina S. Danilovich**, PhD (geography), docent; leading researcher at the laboratory of climate research, Center of Geoecology and Climatology.

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

<https://orcid.org/0000-0002-6792-7279>

**Elena M. Akent'eva**, PhD (geography); leading researcher at the laboratory of technical climatology and natural phenomena, department of dynamic meteorology and climatology.

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

<https://orcid.org/0000-0002-3395-4754>

**Ivan V. Buyakov**, junior researcher at the laboratory of climate research, Center of Geoecology and Climatology.

[buyakov-ivan@mail.ru](mailto:buyakov-ivan@mail.ru)

<https://orcid.org/0000-0002-2946-2570>

**Grigory A. Tyusov**, PhD (geography); researcher at the laboratory of dynamics of the Arctic vegetation cover.

[tyusov@binran.ru](mailto:tyusov@binran.ru)

<https://orcid.org/0000-0002-4128-0227>

не имеют. Число аномалий (превышение стандартного отклонения) в многолетних рядах характеристик в северной и южной частях региона отличается мало (9–12 случаев в положительном и отрицательном диапазонах значений) при отсутствии совпадений и сходстве амплитуды аномалий. Диапазон экстремальных пороговых значений (экстремальных процентилей) приземной температуры воздуха на севере региона ниже диапазона экстремальных пороговых значений на юге, вариабельность малых процентилей превышает вариабельность больших; многолетний рост средних значений приземной температуры воздуха сопровождается значимым увеличением малых процентилей в северной части региона и больших процентилей в южной части региона. Экстремальные пороговые значения суммарных осадков и их стандартного отклонения мало меняются по территории; положительные тренды максимальных и отрицательные тренды минимальных пороговых значений невелики, что соответствует тенденции слабого увеличения средних суммарных осадков. Аналогично пространственному распределению средних значений снегозапасов их экстремально малые и большие пороговые значения на севере региона выше, чем на юге; в северной части региона значения процентилей в промежутке 1985–2002 гг. выделяются как наиболее низкие.

**Ключевые слова:** метеорологические характеристики; индексы атмосферной циркуляции; пространственно-временная изменчивость; многолетнее распределение аномалий; регрессионные зависимости; пороговые экстремумы значений; процентили.

**Благодарность.** Работа российскими соавторами выполнена в рамках проекта 20-55-00007 Российского фонда фундаментальных исследований (сбор и обработка первичной информации), а также госзадания FMGE-2019-0009 «Изменения климата и их последствия для окружающей среды и жизнедеятельности населения на территории России» Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук. Работа белорусскими соавторами выполнена в рамках проекта X20P-353 «Современные тенденции крупномасштабной атмосферной циркуляции и их проявление в изменении гидротермического режима арктического и балтийского бассейнов Восточно-Европейской равнины» Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований.

## REGIONAL VARIABILITY OF THE MEAN AND EXTREME CHARACTERISTICS OF THE PRESENT METEOROLOGICAL REGIME OF THE EASTERN PART OF THE BALTIC SEA CATCHMENT

L. M. KITAEV<sup>a</sup>, I. S. DANILOVICH<sup>b</sup>, E. M. AKENT'EVA<sup>c</sup>,  
I. V. BUYAKOV<sup>b</sup>, G. A. TYUSOV<sup>d</sup>

<sup>a</sup>*Institute of Geography, Russian Academy of Sciences,  
29 Staromonetny Lane, 4 building, Moscow 119017, Russia*

<sup>b</sup>*Institute of Nature Management, National Academy of Sciences of Belarus,  
10 Frančyška Skaryny Street, Minsk 220076, Belarus*

<sup>c</sup>*Voeikov Main Geophysical Observatory, 7 Karbysheva Street, Saint Petersburg 194021, Russia*

<sup>d</sup>*Komarov Botanical Institute, Russian Academy of Sciences,  
2 Professora Popova Street, Saint Petersburg 197376, Russia*

*Corresponding author: L. M. Kitaev (lkitaev@mail.ru)*

The features of the regional heterogeneity of the modern meteorological regime are assessed, as a refinement of existing estimates of large-scale climate changes – for the eastern part of the Baltic Sea catchment on the example of the Leningrad Region and nearby territories of neighbouring subjects of the Russian Federation (northern part of the region), as well as the Zapadnaya Dvina catchment within the Republic of Belarus (southern part of the region). Significant differences in surface air temperature and snow water equivalent (hereinafter referred to as snow storage) were revealed for the winter period, with similar precipitation, more intense interannual and long-term changes in the southern part of the region. The common feature for the region is the presence of a significant correlation of the long-term January – March atmospheric circulation indices variability only with the variability of surface air temperature, as well as minor differences in the number of anomalous years with similar anomaly amplitudes. Surface air temperature has the greatest contribution to the long-term variability of snow storage everywhere, which is most pronounced in the south of the region. The turning points in the long-term variability of surface air temperature coincide in the north and south of the region, the turning points in the course of total precipitation do not coincide. The number of anomalies (exceeding the standard deviation) in the long-term series of characteristics in the northern and southern parts of the region differ little (9–12 cases in the positive and negative ranges of values) in the absence of coincidences and the similarity of the amplitude of the anomalies. The range of values of extreme threshold values (extreme percentiles) of surface air temperature in the north of the region is lower than the range of values in the south, the variability of small percentiles exceeds the variability of large ones; the rate of long-term increase in average temperatures is accompanied by a significant increase in small percentiles in the north and large percentiles in the south of the region. The values of extreme threshold values of precipitation and their standard deviation vary little across the territory; positive trends in maximums and negative trends in minimum thresholds are small, consistent with a slight increase in mean total precipitation. According to the spatial distribution of average values of snow storage, the values of their extremely small and large threshold values in the north of the region are higher than in the south; in the north of the region, the values of percentiles in the interval 1985–2002 stand out as the lowest.

**Keywords:** meteorological characteristics; atmospheric circulation indices; spatiotemporal variability; long-term distribution of anomalies; regression dependencies; boundary extreme values; percentiles.

**Acknowledgements.** The work by Russian co-authors was carried out within the framework of the project 20-55-00007 of the Russian Foundation for Basic Research (collection and processing of primary information), as well as state assignment FMGE-2019-0009 «Climate change and its consequences for the environment and the life of the population in Russia» of Fundamental Research Program of State Academies of Sciences. The work by Belarusian co-authors was carried out within the framework of the project Kh20R-353 «Modern trends in large-scale atmospheric circulation and their manifestation in the change in the hydrothermal regime of the Arctic and Baltic basins of the East European Plain» of the Belarusian Republican Foundation for Fundamental Research.

## Введение

Продолжающееся на территории Восточно-Европейской равнины потепление в зимний период года выражается в значимых тенденциях повышения приземной температуры воздуха, небольшом увеличении осадков, стабилизации или снижении в отдельных районах водного эквивалента снега (далее – снегозапасы). Это приводит к заметной трансформации гидрологического режима, в частности водности и годового хода стока рек. Имеющиеся в настоящее время оценки крупномасштабных изменений гидрометеорологического режима (см., например, [1–4]) должны дополняться результатами исследований региональной изменчивости компонентов природной среды (для средних, модальных и экстремальных значений характеристик) [5–7]. Так, авторами были детализированы результаты исследований Воронежского государственного университета, связанные с влиянием растительности на распределение снегозапасов [8; 9]: для локального пространственного уровня (центр Восточно-Европейской равнины) определены детальные различия формирования снегозапасов на участках с разными типами растительных сообществ, не учитываемые сегодня при региональных и крупномасштабных оценках залегания снежного покрова [10; 11]. Выявленные рядом исследователей тенденции в изменении водности рек Республики Беларусь в условиях современного климата [7; 12–14] позволяют уточнить особенности гидрометеорологического режима Восточно-Европейской равнины в целом. Проведенная ранее оценка региональных закономерностей взаимосвязи сезонного и многолетнего хода приземной температуры воздуха, снегозапасов и температуры почвы для Восточно-Европейской равнины базировалась на результатах экспериментальных исследований взаимодействия указанных характеристик на локальном уровне (Московская и Тверская области) [15]. Оценка изменений гидрометеорологических характеристик проводится в основном стандартными методами математической статистики с использованием по мере необходимости геоинформационных технологий. В качестве исходной информации выступают данные наземных измерений, реанализов и результаты спутниковых наблюдений.

С учетом вышеизложенного основная цель настоящей работы состоит в оценке неоднородности метеорологических условий в восточной части водосбора Балтийского моря на примере территорий Республики Беларусь и Российской Федерации для холодного сезона года (ноябрь – март).

## Материалы и методы исследования

Выбранный для исследований регион характеризуется равнинным рельефом, сформировавшимся в постгляциальное время, плавным переходом от растительных сообществ южной тайги к сообществам смешанных лесов, также формировавшихся в послеледниковую эпоху в зоне влияния атлантических воздушных масс. Основным показателем состояния водных ресурсов региона является их принадлежность к водосбору Балтийского моря, а также превалирующая значимость весеннего половодья в годовом водном балансе речного стока. Исследование метеорологических характеристик проводится путем сравнительной оценки их изменчивости в пределах Ленинградской области и близлежащих территорий соседних субъектов Российской Федерации (далее – северная часть региона), а также водосбора Западной Двины в Республике Беларусь (далее – южная часть региона). Исследуемые районы располагаются в границах 56–62° с. ш., 26–36° в. д. и 53–56° с. ш., 25–31° в. д., расстояние между условными центрами территорий составляет 6° по широте, или около 670 км с севера на юг, что дает возможность определить масштаб изменений климатических характеристик для регионального пространственного уровня.

В качестве исходной информации использованы данные инструментальных наблюдений на десяти метеорологических станциях в северной части региона и восьми метеорологических станциях в южной части региона. Их расположение показано на рис. 1. Выбор в качестве исследуемого периода 1966–2019 гг. обусловлен наличием непрерывных рядов суточных значений приземной температуры воздуха и суточных сумм осадков для холодного сезона (ноябрь – март), а также максимальных снегозапасов как интегрального показателя интенсивности снегонакопления. Для выявления тесноты связи между многолетним ходом характеристик и особенностями атмосферной циркуляции привлекались данные о многолетней динамике индексов североатлантической осцилляции (*North Atlantic oscillation*, NAO) и скандинавской осцилляции (*Scandinavian oscillation*, SCAND) ([www.cpc.ncep.noaa.gov/data/](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/)) [16].

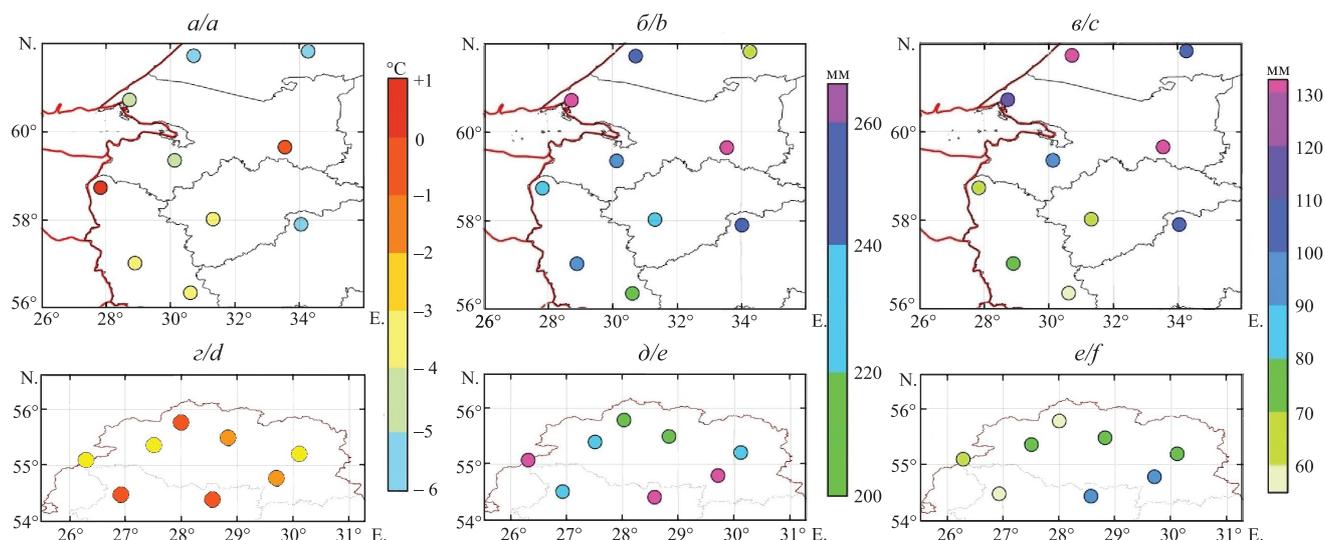


Рис. 1. Пространственное распределение среднеголетних значений приземной температуры воздуха (а, д), суммарных осадков (б, е), снегов запасов (в, е) в северной (а – в) и южной (д – е) частях региона

Fig. 1. Spatial distribution of the mean annual values of surface air temperature (a, d), total precipitation (b, e), snow storage (c, f) in the northern (a – c) and in the southern (d – f) parts of the region

### Неоднородность метеорологических условий региона

Как следует из табл. 1, в южной части региона приземная температура воздуха зимнего периода в 1,8 раза выше, чем в северной (–1,9 и –3,4 °С соответственно). При почти равных суммах осадков (224 и 216 мм) среднееголетние снегов запасы на севере (93 мм) практически в 2 раза больше снегов запасы на юге (50 мм). Стандартное отклонение многолетних рядов всех характеристик рассматриваемых территорий различается мало, тогда как коэффициенты линейного тренда приземной температуры воздуха (0,552 °С за 10 лет) и суммарных осадков (5,235 мм за 10 лет) в северной части региона превышают соответствующие коэффициенты линейного тренда (0,521 °С за 10 лет и 3,354 мм за 10 лет) в южной части региона в 1,1 и 1,6 раза при отсутствии значимых тенденций для снегов запасы (см. табл. 1). Связь многолетней вариабельности приземной температуры воздуха в северной и южной частях региона значима на уровне 95 % (коэффициент корреляции равен 0,93). Коэффициент корреляции многолетнего хода суммарных осадков на севере и юге невысок, но также значим (0,499). Корреляция между многолетним ходом снегов запасы в северной и южной частях региона незначима.

Таблица 1

### Изменчивость метеорологических характеристик холодного сезона

Table 1

#### Variability of meteorological characteristics of the cold season

Территория	Приземная температура воздуха, °С			Суммарные осадки, мм			Снегов запасы, мм			Индекс NAO			Индекс SCAND		
	S	σ	K	S	σ	K	S	σ	K	S	σ	K	S	σ	K
Северная часть региона	–3,4	1,61	0,552	224	25,11	5,235	93	24,7	<b>3,692</b>	0,230	0,586	0,132	0,503	–0,303	<b>–0,051</b>
Южная часть региона	–1,9	1,74	0,521	216	24,10	3,354	50	29,2	<b>–2,794</b>						

Примечания: 1. Используемые обозначения: S – среднееголетнее значение; σ – стандартное отклонение; K – коэффициент линейного тренда за 10 лет. 2. Полу жирным начертанием выделены незначимые на уровне 95 % коэффициенты линейного тренда.

Среднееголетние значения приземной температуры воздуха и снегов запасы изменяются в пространстве согласно зональным закономерностям, увеличиваясь и снижаясь с севера на юг соответственно (см. рис. 1). Величины стандартного отклонения и коэффициенты линейного тренда незначительно возрастают с юга на север. Диапазон пространственных изменений среднееголетних значений

приземной температуры воздуха, суммарных осадков и снегозапасов составляет  $-6,1 \dots +0,3$  °C, 188–274 и 63–132 мм соответственно в северной части региона и  $-3,4 \dots +3,0$  °C, 198–254 и 41–79 мм соответственно в южной части региона. Величины стандартного отклонения изменяются в пределах 1,2–2,5 °C, 32,4–51,1 и 30,4–52,6 мм на севере региона и в пределах 1,3–2,7 °C, 33,2–55,4 и 22,9–40,1 мм на юге региона. Размах значений коэффициентов линейного тренда лежит в границах 0,02–0,07 °C за 10 лет,  $-0,19 \dots +1,46$  мм за 10 лет и  $-1,31 \dots +4,10$  мм за 10 лет на севере региона и в границах 0,04–0,06 °C за 10 лет,  $-0,77 \dots +1,47$  мм за 10 лет и  $-0,21 \dots -0,71$  мм за 10 лет на юге региона.

Изменения характеристик происходят на фоне положительного тренда индекса NAO (0,132 за 10 лет при среднемноголетней величине 0,230 и стандартном отклонении 0,526) и отсутствия значимой тенденции изменения индекса SCAND (при среднемноголетней величине 0,503 и стандартном отклонении 0,303) для осреднения за ноябрь – март в период 1966–2019 гг. Слабая, но значимая корреляционная связь многолетней динамики среднемесячных индексов прослеживается только в отдельные месяцы для хода приземной температуры воздуха: в январе, феврале (индекс NAO составляет 0,45 и 0,52 соответственно) и марте (индекс SCAND равен  $-0,38$ ) на севере региона и в январе (индекс NAO составляет 0,39) и марте (индекс SCAND равен  $-0,34$ ) на юге региона.

Как показал регрессионный анализ, многолетняя изменчивость максимальных снегозапасов повсеместно зависит прежде всего от хода приземной температуры воздуха и в меньшей степени от хода суммарных осадков: для северной части региона при общем коэффициенте регрессии 0,566 бета-коэффициенты составляют  $-0,451$  и  $0,271$  соответственно, для южной части региона при общем коэффициенте регрессии 0,743 бета-коэффициенты равны  $-0,595$  и  $0,223$  соответственно. Коэффициенты регрессии для отдельных метеорологических станций приведены в табл. 2. Здесь прослеживается явное превышение общих коэффициентов регрессии на юге над общими коэффициентами регрессии на севере региона ( $0,608-0,742$  и  $0,425-0,736$  соответственно).

Таблица 2

**Регрессионная зависимость многолетнего хода максимальных снегозапасов от изменений приземной температуры воздуха и суммарных осадков холодного сезона**

Table 2

**Regression dependence of the long-term variability of maximum snow storage on changes in surface air temperature and total precipitation of the cold season**

Пункт	Общий коэффициент регрессии	Бета-коэффициенты	
		Вклад приземной температуры воздуха	Вклад суммарных осадков
<i>Северная часть региона</i>			
Выборг	0,425	$-0,275$	0,235
Белогорка	0,593	$-0,398$	0,448
Бологое	0,723	$-0,534$	0,694
Великие Луки	0,521	$-0,619$	0,116
Гдов	0,520	$-0,503$	0,313
Петрозаводск	0,452	$-0,347$	0,275
Пушкинские Горы	0,544	$-0,531$	0,386
Соргавала	0,541	$-0,346$	0,295
Старая Русса	0,606	$-0,423$	0,380
Тихвин	0,736	$-0,615$	0,116
<i>Территория в целом</i>	<i>0,566</i>	<i><math>-0,451</math></i>	<i>0,271</i>
<i>Южная часть региона</i>			
Барановичи	0,717	$-0,651$	0,259
Верхнедвинск	0,608	$-0,557$	0,524
Витебск	0,673	$-0,619$	0,326
Льнгупы	0,742	$-0,663$	0,237
Сенно	0,662	$-0,494$	0,338
Шарковщина	0,688	$-0,674$	0,255
Гродно	0,677	$-0,629$	0,151
Вилейка	0,633	$-0,547$	0,225
<i>Территория в целом</i>	<i>0,743</i>	<i><math>-0,595</math></i>	<i>0,223</i>

Примечание. Коэффициенты регрессии значимы на уровне 95 %.

Особенности многолетних изменений приземной температуры воздуха и суммарных осадков дополнительно уточнялись авторами с использованием разностных интегральных кривых (для метеорологических станций, имеющих непрерывные ряды в 1950–2019 гг.). Для этого рассчитывались суммы отклонений модульных коэффициентов от середины ( $\sum (K - i)$ , где  $K - i$ -е значение ряда), для корректного сопоставления колебаний характеристик разных регионов исключалось влияние их временной изменчивости в виде коэффициента вариации ( $C_v$ ). Таким образом, ординаты кривых вычислялись как  $\frac{\sum (K - i)}{C_v}$ . В результате были выявлены пространственные различия во времени переломных точек, разделяющих квазиоднородные совокупности значений характеристик (табл. 3, рис. 2). Для приземной температуры воздуха, осредненной по территории северной и южной частей региона, переломная точка наблюдается в 1988 и 1987 гг. соответственно при значениях  $-5,5$  и  $-5,7$  °С. Переломные точки суммарных осадков имеют значительное несовпадение во времени (1974 г. для северной части региона и 1987 г. для южной части региона при значениях 201 и 162 мм), что может быть связано в том числе с неравномерностью распределения осадков по территории год от года.

Таблица 3

Параметры разностных интегральных кривых характеристик  
холодного сезона (1950–2019)

Table 3

Parameters of difference integral curves for characteristics  
of the cold season (1950–2019)

Пункт	Значение (год перелома)	
	Приземная температура воздуха, °С	Суммарные осадки, мм
<i>Северная часть региона</i>		
Выборг	-5,8 (1988)	188 (1969)
Белогорка	-7,1 (1988)	182 (1985)
Бологое	-6,8 (1998)	253 (1982)
Великие Луки	-4,1 (1988)	116 (1964)
Гдов	-6,6 (1988)	152 (1972)
Петрозаводск	-2,2 (1988)	162 (1965)
Пушкинские Горы	-7,8 (1988)	244 (1988)
Сортавала	-6,1 (1988)	157 (1989)
Старая Русса	-4,3 (1988)	253 (1984)
Тихвин	-5,8 (1988)	222 (1970)
<i>Территория в целом</i>	<i>-5,5 (1988)</i>	<i>201 (1974)</i>
<i>Южная часть региона</i>		
Барановичи	-5,3 (1987)	162 (1988)
Верхнедвинск	-2,7 (1988)	210 (1987)
Витебск	-6,6 (1987)	215 (1986)
Лынтупы	-3,0 (1988)	228 (1981)
Сенно	-3,0 (1988)	176 (1986)
Шарковщина	-6,1 (1987)	182 (1979)
Гродно	-4,6 (1987)	168 (1982)
Вилейка	-3,1 (1988)	165 (1976)
<i>Территория в целом</i>	<i>-5,7 (1987)</i>	<i>162 (1987)</i>

Примечание. Переломные точки для индексов атмосферной циркуляции:  $-17,7$  (1980) для индекса NAO и  $+7,0$  (1979) для индекса SCAND.

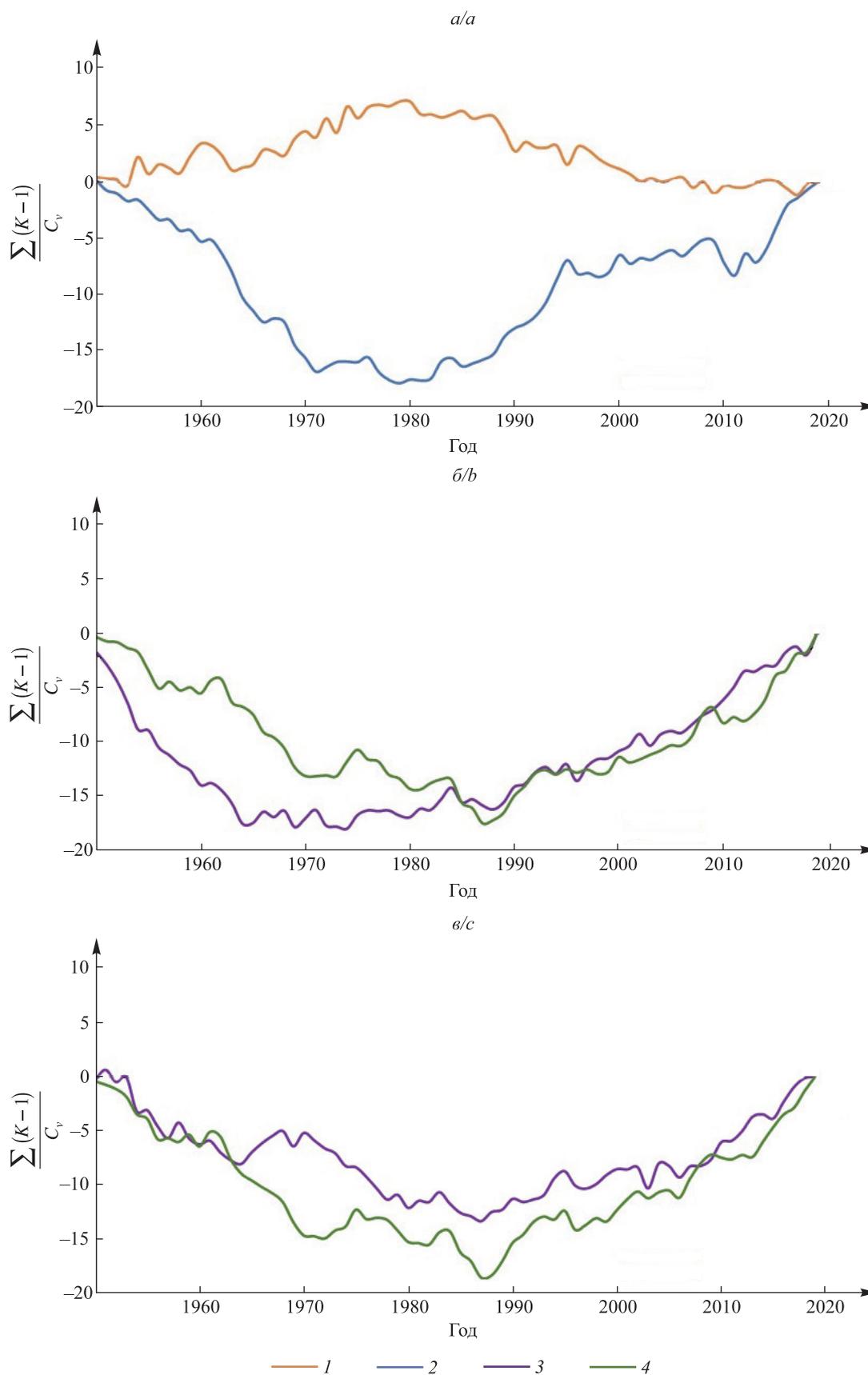


Рис. 2. Разностные интегральные кривые: а – индексы атмосферной циркуляции SCAND (1) и NAO (2); б, в – суммарные осадки (3) и приземная температура воздуха (4) для северной и южной частей региона соответственно

Fig. 2. Difference integral curves: а – atmospheric circulation indexes SCAND (1) and NAO (2); б, в – total precipitation (3) and surface air temperature (4) for the northern and southern parts of the region respectively

### Экстремальные случаи метеорологических характеристик региона

Как показатель экстремальности часто рассматривается изменение частот значений, превышающих заданные фиксированные пороги [17; 18]. На рис. 3 представлены графики многолетнего распределения аномалий анализируемых характеристик, рассчитанных как превышение стандартного отклонения по рядам с удаленным трендом. Повсеместно многолетний ход суммарных осадков и снегозапасов имеет от 9 до 12 случаев аномалий как в положительном, так и отрицательном диапазоне значений, а многолетний ход приземной температуры воздуха – от 8 до 12 случаев. Аномалии суммарных осадков и снегозапасов выше границ +50 мм редки, равно как и аномалии ниже границ –30 мм. Также редки аномалии приземной температуры воздуха более +3 °С и менее –1,5 °С. Количество случаев совпадения аномалий в северной и южной частях региона за исследуемый период невелико: по четыре случая в положительной и отрицательной областях распределения значений для снегозапасов, четыре и два случая для суммарных осадков при полном отсутствии совпадений аномалий приземной температуры воздуха (см. рис. 2). Отсутствуют совпадения аномальных лет индексов NAO и SCAND как таковых и в сравнении с многолетним ходом аномалий метеорологических характеристик.

Исследование многолетних изменений метеорологических характеристик по средним значениям не всегда позволяет в полной мере оценить структуру изменчивости выборки значений. В данном случае проведен анализ экстремальных пороговых значений характеристик: рассматриваются экстремальные, близкие к вероятности 0 или 1 процентилю сезонной (ноябрь – март) выборки среднесуточной приземной температуры воздуха и суточных сумм осадков, а также максимальных за зиму снегозапасов для каждой метеорологической станции и пространственного осреднения. Для приземной температуры воздуха рассчитывались сезонные 5-й и 95-й процентилю, для суммарных осадков – 95-й процентилю и количество дней без осадков с последующим анализом их временных изменений. Поскольку снегозапасы рассматриваются в виде одного, максимального за сезон, значения, 5-й и 95-й процентилю рассчитывались для многолетних рядов каждой метеорологической станции и особенности многолетней изменчивости анализировались по средним значениям процентилю трех равных отрезков исследуемого периода – 1966–1984, 1985–2002 и 2003–2019 гг.

Диапазон экстремальных пороговых значений приземной температуры воздуха в северной части региона (–20,7...–15,9 °С для 5-го процентилю и +0,9...+2,4 °С для 95-го процентилю) ниже диапазона экстремальных пороговых значений в южной части региона (–16,6...–15,0 °С для 5-го процентилю и +1,9...+2,6 °С для 95-го процентилю) при осредненных по площади значениях –18,5 и –15,8 °С для 5-го процентилю и +1,9 и +2,3 °С для 95-го процентилю на севере и юге соответственно (табл. 4 и 5). Многолетняя вариабельность малых процентилю повсеместно существенно превышает вариабельность больших процентилю. Средние значения 5-го и 95-го процентилю стандартного отклонения в северной части региона составляют 3,48 и 1,67 °С соответственно, а в южной части региона – 3,71 и 1,84 °С. Несущественные различия значений процентилю стандартного отклонения на севере и юге соответствуют незначительной изменчивости по региону стандартного отклонения средних значений. Близкие величины коэффициентов линейного тренда средних значений приземной температуры воздуха в северной и южной частях региона (0,552 и 0,521 °С за 10 лет) (см. табл. 1) на севере сопровождаются преобладающим значимым многолетним увеличением 5-го процентилю (0,630 °С за 10 лет). На юге региона значимое многолетнее увеличение имеет 95-й процентилю (0,657 °С за 10 лет). В обоих случаях многолетний прирост значений экстремальных процентилю превышает скорость изменения средней приземной температуры воздуха (см. табл. 4 и 5).

Значения 95-го процентилю для осадков мало различаются по территории региона (в диапазоне 6–12 мм при средних величинах 6 и 7 мм на юге и севере соответственно). Его значения для стандартного отклонения многолетнего ряда также меняются незначительно (1,9–2,0 мм при средних значениях 1,1 и 1,8 мм на юге и севере). Выявленные особенности 95-го процентилю соответствуют малой изменчивости средних значений суммарных осадков (224 мм на севере и 216 мм на юге) и их стандартного отклонения (25,1 мм на севере и 24,1 мм на юге). Положительные коэффициенты линейного тренда 95-го процентилю суммарных осадков повсеместно невелики или незначимы, что не противоречит выявленной многолетней тенденции увеличения средних значений суммарных осадков (5,23 и 3,35 мм за 10 лет в северной и южной частях региона соответственно) (см. табл. 1, 4 и 5). Дискретность выпадения небольшого количества осадков усложняет анализ малых экстремальных пороговых значений. В данном случае как некоторый аналог 5-го процентилю рассматривается количество дней без осадков за сезон. В целом их распределение по территории довольно равномерно (в диапазоне 26–50 дней при средних значениях 36 и 35 дней на севере и юге соответственно). Также небольшие и незначимые отрицательные коэффициенты линейного тренда соответствуют особенностям динамики средних значений суммарных осадков (см. табл. 1, 4 и 5).

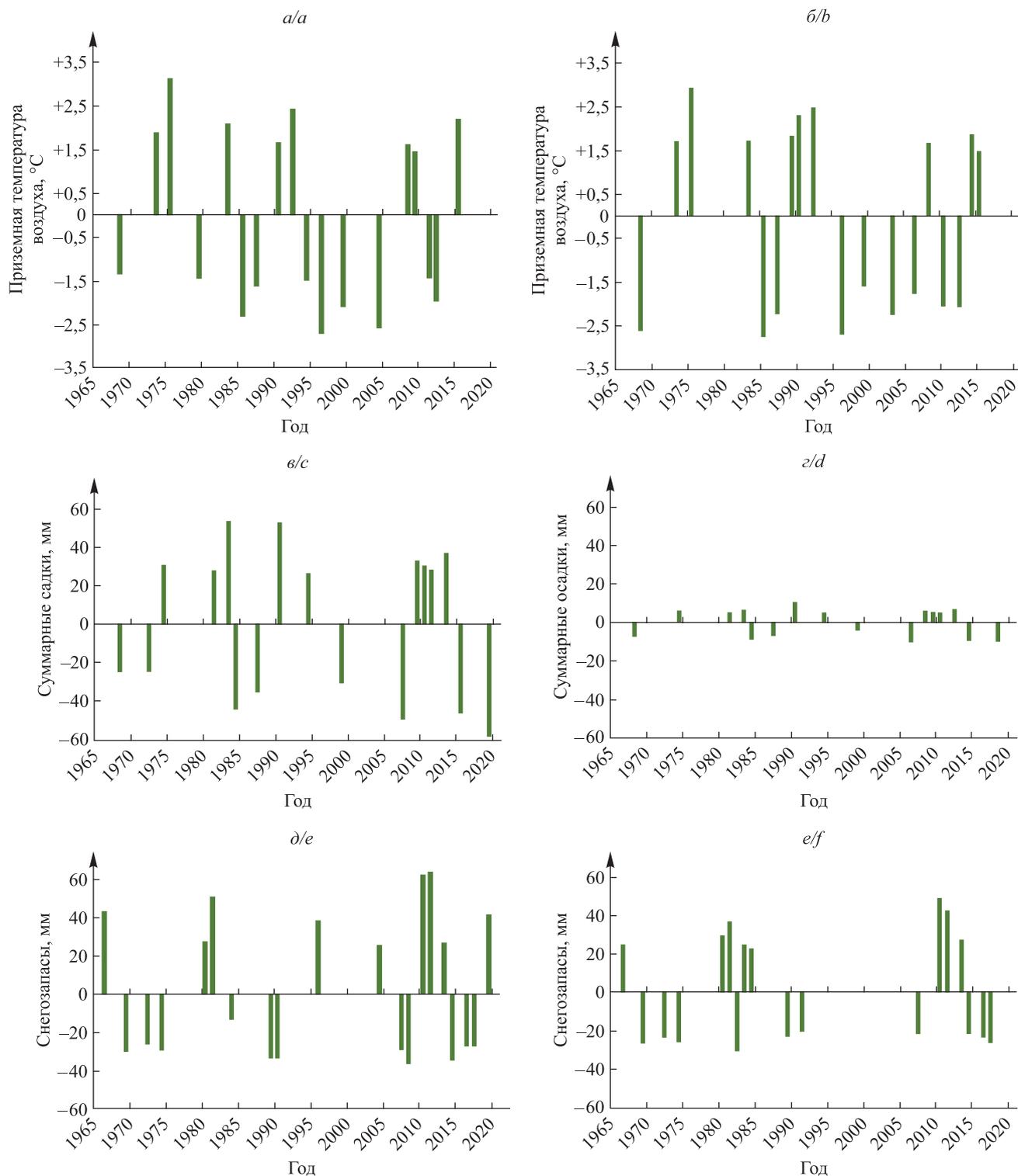


Рис. 3. Многолетний ход аномалий (превышение стандартного отклонения) снегозапасов, приземной температуры воздуха и суммарных осадков в северной (а, в, д) и южной (б, г, е) частях региона

Fig. 3. Long-term variabilities of anomalies (exceeding the standard deviation) of snow storage, surface air temperature and total precipitation in the northern (a, c, e) and southern (b, d, f) parts of the region

Таблица 4

Многолетняя изменчивость перцентилей приземной температуры воздуха  
и суммарных осадков в северной части региона

Table 4

Long-term variability of the percentiles of surface air temperature  
and total precipitation in the northern part of the region

Пункт	Температура воздуха, 5-й процентиль, °C / 95-й процентиль, °C			Суммарные осадки, количество дней без осадков / 95-й процентиль, мм		
	<i>S</i>	$\sigma$	<i>K</i>	<i>S</i>	$\sigma$	<i>K</i>
Выборг	-20,3/+2,2	3,80/0,98	0,833/0,378	38/7	6,69/1,79	<b>-0,355/+0,599</b>
Белогорка	+18,9/+1,5	4,01/1,63	0,811/0,362	34/6	7,51/1,28	-1,336/+0,241
Бологое	-17,8/+1,9	3,95/1,43	<b>0,496/0,433</b>	29/6	7,09/1,05	-1,390/+2,354
Великие Луки	-17,9/+2,4	4,57/1,41	0,834/0,422	38/5	5,89/1,22	-1,133/ <b>+0,143</b>
Гдов	-15,9/+2,0	3,86/1,33	<b>0,317/0,447</b>	50/12	8,15/3,53	<b>+0,574/+0,691</b>
Петрозаводск	-20,4/+0,9	3,92/0,95	0,660/ <b>0,163</b>	32/5	6,76/0,93	-0,404/+0,182
Пушкинские Горы	-16,5/+2,4	4,15/1,39	0,823/ <b>0,348</b>	38/7	7,16/1,37	<b>+0,520/-0,550</b>
Сортавала	-20,3/+2,0	3,79/0,96	0,831/ <b>0,368</b>	36/6	7,61/1,54	-1,877/+0,557
Старая Русса	-19,3/+2,2	3,72/1,55	<b>0,465/0,575</b>	38/5	6,63/1,09	-1,769/+0,280
Тихвин	-20,7/+1,3	4,55/1,07	0,805/0,450	26/6	5,98/1,59	<b>-0,651/+0,379</b>
<i>Территория в целом</i>	<i>-18,5/+1,9</i>	<i>3,48/1,67</i>	<i>0,630/0,361</i>	<i>36/7</i>	<i>6,46/1,79</i>	<i>-0,990/+0,205</i>

Примечания: 1. Используемые обозначения: *S* – среднегодовое значение;  $\sigma$  – стандартное отклонение; *K* – коэффициент линейного тренда за 10 лет. 2. Полужирным начертанием выделены незначимые на уровне 95 % коэффициенты линейного тренда.

Таблица 5

Многолетняя изменчивость перцентилей приземной температуры воздуха  
и суммарных осадков в южной части региона

Table 5

Long-term variability of the percentiles of surface air temperature  
and total precipitation in the southern part of the region

Пункт	Температура воздуха, 5-й процентиль, °C / 95-й процентиль, °C			Суммарные осадки, количество дней без осадков / 95-й процентиль, мм		
	<i>S</i>	$\sigma$	<i>K</i>	<i>S</i>	$\sigma$	<i>K</i>
Барановичи	-15,8/+2,5	3,80/1,89	<b>+0,240/+0,751</b>	35/7	6,91/1,37	<b>-0,655/+0,225</b>
Верхнедвинск	-15,8/+2,4	3,81/1,88	+0,298/+0,703	39/6	7,24/1,46	<b>-0,355/+0,599</b>
Витебск	-16,1/+2,0	3,77/1,79	<b>+0,269/+0,663</b>	35/8	7,81/1,86	-1,422/+0,732
Лынтупы	-15,0/+2,4	3,56/2,00	<b>+0,113/+0,598</b>	33/7	7,04/2,00	-1,589/ <b>+0,213</b>
Сенно	-15,7/+2,2	3,52/1,81	<b>-0,091/+0,577</b>	32/6	7,28/1,14	-0,986/ <b>+0,320</b>
Шарковщина	-15,5/+2,6	3,84/1,93	+0,372/+0,667	37/6	6,94/1,31	-1,044/ <b>-0,010</b>
Гродно	-16,6/+1,9	4,21/1,75	+0,499/+0,639	32/6	6,63/1,09	-3,838/ <b>-0,021</b>
Вилейка	-15,9/+2,1	3,72/1,84	+0,308/+0,703	33/8	7,12/1,49	<b>-0,611/+0,202</b>
<i>Территория в целом</i>	<i>-15,8/+2,3</i>	<i>3,71/1,84</i>	<b><i>+0,297/+0,657</i></b>	<i>35/6</i>	<i>6,40/1,13</i>	<b><i>-0,416/+0,276</i></b>

Примечания: 1. Используемые обозначения: *S* – среднегодовое значение;  $\sigma$  – стандартное отклонение; *K* – коэффициент линейного тренда за 10 лет. 2. Полужирным начертанием выделены незначимые на уровне 95 % коэффициенты линейного тренда.

Средняя величина снеготпасов в северной части региона (93 мм) почти в 2 раза превышает величину снеготпасов в южной части региона (55 мм). Малые и большие процентилю многолетнего ряда максимальных за зимний период снеготпасов изменяются в диапазонах 19–85 и 81–283 мм на севере и в диапазонах 11–58 и 80–180 мм на юге соответственно при осредненных по территориям значениях 57 и 146 мм на севере, 36 и 100 мм на юге. Многолетняя изменчивость в данном случае оценивалась путем сравнения трех равных отрезков исследуемого периода (табл. 6 и 7). Для северной части региона значения процентилю промежутка 1985–2002 гг. выделяются как явно более низкие, для южной части региона системы в распределении значений не наблюдается.

Таблица 6

**Многолетняя изменчивость процентилю максимальных значений снеготпасов в северной части региона**

Table 6

**Long-term variability of the percentiles of the maximum snow storage in the northern part of the region**

Пункт	Значение 5-го процентилю, мм / значение 95-го процентилю, мм		
	1966–1984	1985–2002	2003–2019
Выборг	67/213	48/167	78/157
Белогорка	75/197	31/100	33/176
Бологое	55/152	46/135	57/159
Великие Луки	30/99	24/81	29/119
Гдов	30/132	19/105	31/176
Петрозаводск	59/184	58/135	36/136
Пушкинские Горы	36/133	29/111	25/125
Сортавала	55/283	67/164	66/204
Старая Русса	41/130	19/90	21/103
Тихвин	85/206	82/190	41/219
<i>Территория в целом</i>	<i>72/146</i>	<i>61/107</i>	<i>51/149</i>

Таблица 7

**Многолетняя изменчивость процентилю максимальных снеготпасов в южной части региона**

Table 7

**Long-term variability of percentiles of maximum snow storage in the southern part of the region**

Пункт	Значение 5-го процентилю, мм / значение 95-го процентилю, мм		
	1966–1984	1985–2002	2003–2019
Барановичи	23/80	26/99	22/90
Верхнедвинск	26/96	30/120	36/111
Витебск	33/144	31/139	48/108
Лынтупы	46/139	12/180	30/121
Сенно	58/93	32/81	19/119
Шарковщина	32/104	22/106	46/113
Гродно	23/135	12/82	11/85
Вилейка	29/127	26/109	23/110
<i>Территория в целом</i>	<i>36/100</i>	<i>41/106</i>	<i>38/96</i>

## Заключение

Оценены региональные различия изменчивости метеорологических условий холодного сезона в восточной части водосбора Балтийского моря. Среднемноголетние значения исследуемых характеристик соответствуют зональной изменчивости: в северной части региона приземная температура воздуха в 1,8 раза ниже, а снеготпасы – в 2,0 раза выше, чем в южной части региона, что при практически равных осадках говорит о большей зависимости формирования снеготпасов от температурного режима территории. Тенденции многолетних изменений снеготпасов повсеместно незначимы при значимом увеличении осадков, что также позволяет связать отсутствие многолетнего роста снеготпасов в первую очередь с заметным многолетним ростом приземной температуры воздуха.

Тесная корреляционная связь отмечается для многолетнего хода приземной температуры воздуха в северной и южной частях региона. Меньшая, но также значимая зависимость существует для суммарных осадков (коэффициенты корреляции 0,93 и 0,39) при отсутствии сходства многолетней изменчивости снеготпасов. Можно предположить, что в сравнении с ходом приземной температуры воздуха ход суммарных осадков и снеготпасов в большей степени связан с локальными особенностями территории, к тому же он имеет заметные погрешности при измерениях на метеорологических станциях.

Значимая корреляционная связь многолетнего хода индексов атмосферной циркуляции повсеместно отмечена только для приземной температуры воздуха со сдвигом во времени (для январских и февральских индексов NAO и мартовских индексов SCAND) с большей теснотой связи на юге региона. Подобные результаты были получены ранее для территории Республики Беларусь и Восточно-Европейской равнины в целом [7; 19].

Как показал регрессионный анализ, вклад приземной температуры воздуха в многолетнюю изменчивость максимальных снеготпасов повсеместно превышает вклад суммарных осадков. При этом значения общих коэффициентов регрессии и бета-коэффициентов в южной части региона больше их значений в северной части региона. Так, общие коэффициенты регрессии для осредненных по территориям характеристик составляют 0,743 на юге и 0,411 на севере. Можно предположить, что данная ситуация складывается в связи с относительно теплыми зимами региона в целом и более высокими температурами при сравнительно небольших снеготпасах в его южной части. Кроме того, увеличение с каждым годом количества жидких осадков в зимний период года также снижает роль суммарных осадков холодного сезона в формировании снеготпасов.

Согласно суммарным интегральным кривым перелом в многолетних тенденциях осредненных по площади значений приземной температуры воздуха на севере и юге совпадает во времени (1987–1988) при переломе в многолетних тенденциях индексов NAO и SCAND в 1980 и 1979 гг. Перелом в многолетнем ходе суммарных осадков повсеместно имеет значительный разброс во времени, что может быть связано с заметной от года к году пространственной неоднородностью выпадения осадков.

Многолетний ход аномалий характеристик (превышение стандартного отклонения) в северной и южной частях региона характеризуется сходными количеством аномальных случаев (17–23 % от продолжительности рассматриваемого периода) и их амплитудой (от  $\mp 30$  до  $\pm 50$  мм для осадков и снеготпасов и от  $\mp 1,5$  до  $\pm 3$  °C для приземной температуры воздуха). Совпадения аномалий в северной и южной частях региона наблюдаются лишь в двух-трех случаях для каждой характеристики, что, возможно, связано с преобладающим для возникновения аномалий значением местных условий.

Структура многолетних изменений метеорологических характеристик уточнена путем анализа изменчивости сезонных (ноябрь – март) крайних порогов экстремальности характеристик. Диапазон экстремальных пороговых значений приземной температуры воздуха на севере региона ниже диапазона экстремальных пороговых значений на юге, что соответствует пространственному распределению средних температур. Многолетняя вариабельность малых процентилей повсеместно существенно превышает вариабельность больших процентилей при незначительных различиях в распределении по площади. Сходство скорости многолетнего увеличения средних значений приземной температуры воздуха на севере и юге региона сопровождается значимым увеличением 5-го перцентиля на севере и 95-го перцентиля на юге.

Значения 95-го перцентиля для суммарных осадков и их стандартного отклонения мало различаются по территории в целом, что соответствует незначительной изменчивости по площади средних значений суммарных осадков. Положительные многолетние тенденции 95-го перцентиля суммарных осадков повсеместно невелики или незначимы, что не противоречит выявленной многолетней тенденции увеличения средних значений суммарных осадков. Ввиду дискретности выпадения малого количества осадков проведен анализ изменчивости числа дней без осадков за сезон. В целом их распределение по территории довольно равномерно (в диапазоне 26–50 дней при средних значениях 36 и 35 дней на севере и юге соответственно). Также небольшие и незначимые отрицательные коэффициенты линейного тренда соответствуют изменчивости средних значений суммарных осадков.

Средняя величина максимальных снеготпасов в северной части региона (93 мм) почти в 2 раза превышает величину максимальных снеготпасов на юге (55 мм), малые и большие перцентили многолетнего

ряда максимальных снегозапасов различаются соответственно. Многолетняя изменчивость в данном случае оценивалась путем сравнения трех равных промежутков исследуемого периода. Для северной части региона значения процентилей промежутка 1985–2002 гг. выделяются как явно более низкие, для южной части региона систематических изменений не наблюдается.

Проведенная оценка степени региональной неоднородности распределения метеорологических характеристик на примере восточной части водосбора Балтийского моря актуальна для уточнения имеющихся крупномасштабных оценок изменчивости климата. Кроме того, полученные закономерности могут быть использованы для верификации результатов численного моделирования гидроклиматических процессов.

### Библиографические ссылки

1. Акентьева ЕМ, Александров ЕИ, Алексеев ГВ, Анисимов ОА, Балонишниковая ЖА, Булыгина ОН и др. *Доклад о климатических рисках на территории Российской Федерации*. Катцов ВМ, редактор. Санкт-Петербург: Главная геофизическая обсерватория имени А. И. Воейкова; 2017. 106 с.
2. Логинов ВФ, Микуцкий ВС. *Изменения климата: тренды, циклы, паузы*. Минск: Беларуская навука; 2017. 179 с.
3. Huang Jianbin, Zhang Xiangdong, Zhang Qiyi, Lin Yanluan, Hao Mingju, Luo Yong, et al. Recently amplified arctic warming has contributed to a continual global warming trend. *Nature Climate Change*. 2017;7(12):875–879. DOI: 10.1038/s41558-017-0009-5.
4. Screen JA, Deser C, Smith DM, Zhang X, Blackport R, Kushner PJ, et al. Consistency and discrepancy in the atmospheric response to Arctic sea-ice loss across climate models. *Nature Geoscience*. 2018;11(3):155–163. DOI: 10.1038/s41561-018-0059-y.
5. Логинов ВФ. *Глобальные и региональные изменения климата: причины и следствия*. Минск: ТетраСистемс; 2008. 495 с.
6. Переведенцев ЮП, Васильев АА, Шерстюков БГ, Шанталинский КМ. Климатические изменения на территории России в конце XX – начале XXI века. *Метеорология и гидрология*. 2021;10:14–26.
7. Partasenok IS, Groisman PYa, Chekan GS, Melnik V. Winter cyclone frequency and following freshet streamflow formation on the rivers in Belarus. *Environmental Research Letters*. 2014;9(9):095005. DOI: 10.1088/1748-9326/9/9/095005.
8. Мишон ВМ. *Снежные ресурсы и местный сток: закономерности формирования и методы расчета*. Воронеж: Издательство Воронежского университета; 1988. 192 с.
9. Мишон ВМ. *Река Воронеж и ее бассейн: ресурсы и водно-экологические проблемы*. Михно ВБ, редактор. Воронеж: Издательство Воронежского университета; 2000. 296 с.
10. Китаев ЛМ, Аблеева ВА, Асаинова ЖА. Влияние лесной растительности на тенденции локальной изменчивости снегозапасов. В: Щербаков АВ, редактор. *Труды Приокско-Террасного заповедника. Выпуск 6*. Тула: Аквариус; 2015. с. 67–77.
11. Китаев ЛМ, Желтухин АС, Коробов ЕД, Аблеева ВА. Снежный покров: особенности локального распределения в лесных массивах как возможный источник погрешностей спутниковых данных. *Известия Российской академии наук. Серия географическая*. 2020;84(6):855–863. DOI: 10.31857/S2587556620060072.
12. Логинов ВФ, Волчек АА, Шелест ТА. Анализ и моделирование гидрографов дождевых паводков рек Беларуси. *Водные ресурсы*. 2015;42(3):268–278. DOI: 10.7868/S0321059615030074.
13. Логинов ВФ. Тренды, «скачки» и паузы в изменении глобального и регионального климата и их возможные причины. В: Лопух ПС, редактор. *Проблемы гидрометеорологического обеспечения хозяйственной деятельности в условиях изменяющегося климата. Материалы Международной научной конференции; 5–8 мая 2015 г.; Минск, Беларусь*. Минск: Издательский центр БГУ; 2015. с. 18–20.
14. Поликша ДС, Данилович ИС, Квач ЕГ. Влияние изменения климата на водный режим бассейна реки Западная Двина на территории Беларуси. В: Кольмакова ЕГ, Матюшевская ЕВ, Яротов АЕ, Ермолович ММ, редакторы. *Современные направления развития физической географии: научные и образовательные аспекты в целях устойчивого развития. Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 85-летию факультета географии и геоинформатики Белорусского государственного университета и 65-летию Белорусского географического общества; 13–15 ноября 2019 г.; Минск, Беларусь*. Минск: БГУ; 2019. с. 208–212.
15. Китаев ЛМ, Аблеева ВА, Асаинова ЖА. Изменчивость температуры почвы характерных ландшафтов Приокско-Террасного заповедника. В: Покровская ИВ, редактор. *Труды Приокско-Террасного заповедника. Выпуск 7*. Москва: Товарищество научных изданий КМК; 2018. с. 58–67.
16. Barnston AG, Livezey RE. Classification, seasonality and persistence of low frequency atmospheric circulation patterns. *Monthly Weather Review*. 1987;115(6):1083–1126. DOI: 10.1175/1520-0493(1987)115<1083:CSAPOL>2.0.CO;2.
17. Киктёв ДБ, Сизе Д, Александр Л. Сравнение многолетних средних и тенденций изменения ежегодных экстремумов температуры и осадков по данным моделирования и наблюдений. *Известия Российской академии наук. Физика атмосферы и океана*. 2009;45(3):305–315.
18. Alexander LV, Zhang X, Peterson TC, Caesar J, Gleason B, Klein Tank AMG, et al. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research. Atmospheres*. 2006;111(D5):D05109. DOI: 10.1029/2005JD006290.
19. Попова ВВ. Современные изменения климата на севере Евразии как проявление вариаций крупномасштабной атмосферной циркуляции. *Фундаментальная и прикладная климатология*. 2018;1:84–111. DOI: 10.21513/2410-8758-2018-1-84-111.

### References

1. Akent'eva EM, Aleksandrov EI, Alekseev GV, Anisimov OA, Balonishnikova ZhA, Bulygina ON, et al. *Doklad o klimaticheskikh riskakh na territorii Rossiiskoi Federatsii* [Report on climate risks in the Russian Federation]. Kattsov VM, editor. Saint Petersburg: Voeikov Main Geophysical Observatory; 2017. 106 p. Russian.
2. Loginov VF, Mikutskii VS. *Izmeneniya klimata: trendy, tsikly, pauzy* [Climate change: trends, cycles, pauses]. Minsk: Belaruskaja navuka; 2017. 179 p. Russian.

3. Huang Jianbin, Zhang Xiangdong, Zhang Qiyi, Lin Yanluan, Hao Mingju, Luo Yong, et al. Recently amplified arctic warming has contributed to a continual global warming trend. *Nature Climate Change*. 2017;7(12):875–879. DOI: 10.1038/s41558-017-0009-5.
4. Screen JA, Deser C, Smith DM, Zhang X, Blackport R, Kushner PJ, et al. Consistency and discrepancy in the atmospheric response to Arctic sea-ice loss across climate models. *Nature Geoscience*. 2018;11(3):155–163. DOI: 10.1038/s41561-018-0059-y.
5. Loginov VF. *Global'nye i regional'nye izmeneniya klimata: prichiny i sledstviya* [Global and regional climate change: causes and consequences]. Minsk: TetraSistems; 2008. 495 p. Russian.
6. Perevedentsev YuP, Vasiliev AA, Sherstyukov BG, Shantalinsky KM. Climate change in Russia at the end of the 20<sup>th</sup> – beginning of the 21<sup>st</sup> century. *Meteorologiya i gidrologiya*. 2021;10:14–26. Russian.
7. Partasenok IS, Groisman PYa, Chekan GS, Melnik V. Winter cyclone frequency and following freshet streamflow formation on the rivers in Belarus. *Environmental Research Letters*. 2014;9(9):095005. DOI: 10.1088/1748-9326/9/9/095005.
8. Mishon VM. *Snezhnye resursy i mestnyi stok: zakonomernosti formirovaniya i metody rascheta* [Snow resources and local runoff: patterns of formation and methods of calculation]. Voronezh: Izdatel'stvo Voronezhskogo universiteta; 1988. 192 p. Russian.
9. Mishon VM. *Reka Voronezh i ee bassein: resursy i vodno-ekologicheskie problemy* [Voronezh River and its catchment: resources and water-ecological problems]. Mikhno VB, editor. Voronezh: Izdatel'stvo Voronezhskogo universiteta; 2000. 296 p. Russian.
10. Kitaev LM, Ableeva VA, Asainova ZhA. [Influence of forest vegetation on trends in local variability of snow reserves]. In: Shcherbakov AV, editor. *Trudy Prioksko-Terrasnogo zapovednika. Vypusk 6* [Proceedings of the Prioksko-Terrasny Reserve. Issue 6]. Tula: Akvarius; 2015. p. 67–77. Russian.
11. Kitaev LM, Zheltukhin AS, Korobov ED, Ableeva VA. Snow cover: characteristics of local distribution in forests as possible source of satellite data errors. *Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Seriya geograficheskaya*. 2020;84(6):855–863. Russian. DOI: 10.31857/S2587556620060072.
12. Loginov VF, Volchek AA, Shelest TA. [Analysis and modelling of hydrographs of rain floods in rivers of Belarus]. *Vodnye resursy*. 2015;42(3):268–278. Russian. DOI: 10.7868/S0321059615030074.
13. Loginov VF. [Trends, «jumps» and pauses in global and regional climate change and their possible causes]. In: Lopukh PS, editor. *Problemy gidrometeorologicheskogo obespecheniya khozyaistvennoi deyatel'nosti v usloviyakh izmenyayushchegosya klimata. Materialy Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii; 5–8 maya 2015 g.; Minsk, Belarus'* [Problems of hydrometeorological support of economic activity in a changing climate. Proceedings of the International scientific conference; 2015 May 5–8; Minsk, Belarus]. Minsk: Publishing House of the Belarusian State University; 2015. p. 18–20. Russian.
14. Poliksha DS, Danilovich IS, Kvach EG. Hydroclimatic changes in the Western Dvina River basin within the territory of Belarus. In: Kol'makova EG, Matyushevskaya EV, Yarotov AE, Ermolovich MM, editors. *Sovremennye napravleniya razvitiya fizicheskoi geografii: nauchnye i obrazovatel'nye aspekty v tselyakh ustoychivogo razvitiya. Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, posvyashchennoi 85-letiyu fakul'teta geografii i geoinformatiki Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta i 65-letiyu Belorusskogo geograficheskogo obshchestva; 13–15 noyabrya 2019 g.; Minsk, Belarus'* [Modern trends in the development of physical geography: scientific and educational aspects for sustainable development. Proceedings of the International scientific and practical conference dedicated to the 85<sup>th</sup> anniversary of the faculty of geography and geoinformatics of the Belarusian State University and the 65<sup>th</sup> anniversary of the Belarusian Geographical Society; 2019 November 13–15; Minsk, Belarus]. Minsk: Belarusian State University; 2019. p. 208–212. Russian.
15. Kitaev LM, Ableeva VA, Asainova ZhA. [Soil temperature variability in characteristic landscapes of the Prioksko-Terrasny Reserve]. In: Pokrovskaya IV, editor. *Trudy Prioksko-Terrasnogo zapovednika. Vypusk 7* [Proceedings of the Prioksko-Terrasny Reserve. Issue 7]. Moscow: KMK Scientific Press; 2018. p. 58–67. Russian.
16. Barnston AG, Livezey RE. Classification, seasonality and persistence of low frequency atmospheric circulation patterns. *Monthly Weather Review*. 1987;115(6):1083–1126. DOI: 10.1175/1520-0493(1987)115<1083:CSAPOL>2.0.CO;2.
17. Kiktev DB, Caesar J, Alexander L. Temperature and precipitation extremes in the second half of the twentieth century from numerical modeling results and observational data. *Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Fizika atmosfery i okeana*. 2009;45(3):305–315. Russian.
18. Alexander LV, Zhang X, Peterson TC, Caesar J, Gleason B, Klein Tank AMG, et al. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research. Atmospheres*. 2006;111(D5):D05109. DOI: 10.1029/2005JD006290.
19. Popova VV. Present-day changes in climate in the north of Eurasia as a manifestation of variation of the large-scale atmospheric circulation. *Fundamental and Applied Climatology*. 2018;1:84–111. Russian. DOI: 10.21513/2410-8758-2018-1-84-111.

Получена 17.02.2022 / исправлена 14.06.2022 / принята 04.07.2022.  
Received 17.02.2022 / revised 14.06.2022 / accepted 04.07.2022.

## ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ И ФАКТОРЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ В ВОЗРАСТЕ ОТ 0 ДО 14 ЛЕТ В КИТАЕ

Е. А. АНТИПОВА<sup>1)</sup>, ЛИ ЧЭНЬ<sup>1)</sup>

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

На основе официальной демографической статистики Китая за 2000–2020 гг. проведен экономико-географический анализ пространственных и временных трендов распределения населения в возрасте от 0 до 14 лет в разрезе провинций. С использованием методов статистического и корреляционного анализа, линейной и географически взвешенной регрессии, пространственного анализа демографических данных, географической систематизации, сравнительно-географического и картографического методов, а также метода типографов получены ряд новых научных результатов. В ходе анализа численности населения Китая в возрасте от 0 до 14 лет установлен тренд сокращения и выявлена территориальная дифференциация, позволившая выделить на территории страны три зоны – восточную высокой численности, западную и центрально-восточную средней численности и меридиональную центральную низкой численности – с преобладанием второй и третьей зон в структуре. На примере выборочных социально-экономических показателей определено, что наиболее сильное влияние на численность населения в возрасте от 0 до 14 лет оказывают размер ВВП и количество медицинских учреждений, в то время как годовой доход на душу населения характеризуется слабым влиянием. Расчет и визуализация географически взвешенной регрессии на уровне провинций подтвердили эти результаты. Анализ доли населения в возрасте от 0 до 14 лет свидетельствует о значительном ее сокращении (до 17,8 %) и пространственной гетерогенности с выделением западной зоны с наиболее высокими значениями и северо-восточной зоны с наиболее низкими значениями. По характеру динамики численности населения в возрасте от 0 до 14 лет провинции Китая разделены на два типа – провинции с ростом численности населения и провинции с сокращением численности населения – с преобладанием провинций второго типа (70,6 %). Использование центропериферийного подхода в итоговой географической систематизации позволило выделить в пространстве Китая три типа провинций – центральные, буферные и периферийные. Выявленная территориальная неоднородность и значительная доля в структуре провинций периферийного типа (32,4 %) выступают научным обоснованием необходимости применения геопространственного подхода при разработке направлений государственной демографической политики для обеспечения устойчивого экономического роста Китая.

**Ключевые слова:** Китай; возрастная структура населения; пространственный анализ демографических данных; географически взвешенная регрессия; население в возрасте от 0 до 14 лет; территориальная дифференциация; демографический типограф; прогноз возрастной структуры.

### Образец цитирования:

Антипова ЕА, Ли Чэнь. Пространственно-временные особенности и факторы распределения населения в возрасте от 0 до 14 лет в Китае. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология.* 2022;2:30–42. <https://doi.org/10.33581/2521-6740-2022-2-30-42>

### For citation:

Antipova EA, Li Chen. Spatial and temporal features and factors of the distribution of the population aged from 0 to 14 years in China. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology.* 2022;2:30–42. Russian. <https://doi.org/10.33581/2521-6740-2022-2-30-42>

### Авторы:

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

**Ли Чэнь** – младший научный сотрудник кафедры экономической и социальной географии факультета географии и геоинформатики.

### Authors:

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

[antipovaekaterina@gmail.com](mailto:antipovaekaterina@gmail.com)  
<https://orcid.org/0000-0001-7862-5500>

**Li Chen**, junior researcher at the department of economic and social geography, faculty of geography and geoinformatics.  
[1914391266@qq.com](mailto:1914391266@qq.com)

## SPATIAL AND TEMPORAL FEATURES AND FACTORS OF THE DISTRIBUTION OF THE POPULATION AGED FROM 0 TO 14 YEARS IN CHINA

*E. A. ANTIPOVA<sup>a</sup>, LI CHEN<sup>a</sup>*

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

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

The economic and geographical analysis of spatial and temporal trends in the distribution of the population aged from 0 to 14 years by provinces was carried out at the article based on China's official demographic statistics for 2000–2020. Using the methods of statistical and correlation analysis, linear and geographically weighted regression, spatial analysis of demographic data, comparative geographic method, typographer's method, geographic systematisation and cartographic method, the authors obtained a number of new scientific results. In the course of the analysis of the population of China at the age from 0 to 14 years, a reduction trend and territorial differentiation were established, which made it possible to distinguish three zones on the territory of the country – eastern with high population, western and central-eastern with medium abundance and meridional central with low abundance, with a predominance of the second and third zones in the structure. On the example of selected socio-economic indicators, it was determined that the size of the GDP and the number of medical institutions affect the size of population aged from 0 to 14 years, while the annual income per capita has a weak effect. Calculation and visualisation of geographically weighted regression at the provincial level confirmed these results. An analysis of the proportion of the population aged from 0 to 14 years indicates a significant reduction (up to 17.8 %), and the heterogeneity of space with the allocation of the western zone with the highest values and the northeastern zone with the lowest values. According to the nature of the dynamics of the size of population aged from 0 to 14 years, the provinces of China are divided into two types – provinces with population growth and provinces with population decrease, with a prevalence of the provinces of second type (70.6 %). The use of the center-periphery approach in the final geographical systematisation makes it possible to single out three types of provinces in China – central, buffer and peripheral. The revealed territorial heterogeneity and a significant share in the structure of provinces of the peripheral type (32.4 %) serve as a scientific justification for the need to use a geospatial approach in developing the directions of state demographic policy to ensure China's sustainable economic growth.

**Keywords:** China; population age structure; spatial analysis of demographic data; geographically weighted regression; population aged from 0 to 14 years; territorial differentiation; demographic typography; age structure forecast.

### Введение

Современный мир, независимо от уровня социально-экономического развития отдельных стран, необратимо вступил в эпоху демографического старения. В связи с этим решение проблемы старения населения при сохранении устойчивого экономического роста стало одним из главных приоритетов для многих государств, в том числе Китая. Для эффективного решения данной проблемы требуется всестороннее изучение возрастной структуры населения страны. Каждая возрастная группа выполняет важную функцию в жизни общества, а ее численность и доля определяют характер возрастной структуры населения. Для стареющего общества Китая большое значение имеет своевременный анализ динамики численности населения в возрасте от 0 до 14 лет и его распределения по провинциям, так как эта группа напрямую определяет численность трудоспособного населения в ближайшие 20 лет, а трудоспособное население непосредственно связано с потенциалом социально-экономического развития страны в целом и отдельных регионов. Современная численность данной возрастной группы также косвенно определяет численность пожилых людей в ближайшие 40 лет через прямое влияние на трудоспособное население, что связано с тенденцией развития и будущим страны или региона. По этой причине в условиях устойчивого старения населения во всем мире изучение трендов динамики численности населения в возрасте от 0 до 14 лет и его территориального распределения, а также определяющих этот процесс факторов может сыграть ключевую роль в решении проблемы старения.

На основе официальной демографической статистики о населении в возрасте от 0 до 14 лет по провинциям Китая с 2000 по 2020 г. в настоящей работе проведен комплексный экономико-географический анализ пространственного распределения населения данной возрастной группы, а также выполнен линейный прогноз возрастной структуры населения.

Целью исследования являлось изучение временных трендов и пространственных закономерностей распределения населения в возрасте от 0 до 14 лет на мезогеографическом уровне. Объектом исследования выступало население Китая в возрасте от 0 до 14 лет в разрезе провинций. Предметом исследования были тренды и характер динамики численности и доли населения в возрасте от 0 до 14 лет. Информационной базой исследования служили официальные статистические данные Национального статистического бюро Китая ([www.stats.gov.cn](http://www.stats.gov.cn)). Все представленные в работе таблицы и рисунки составлены на их основе.

## Текущее состояние исследований возрастной структуры населения

Научный интерес к проблематике исследования обусловлен двумя основными причинами. Во-первых, возрастная структура населения мира в настоящее время испытывает существенную трансформацию, связанную со старением населения и сокращением численности населения молодого возраста, что ведет к пересмотру стратегий развития многих государств для обеспечения устойчивого экономического роста, а следовательно, активизирует исследования различных аспектов возрастной структуры, в том числе внутривосточных различий. Во-вторых, все чаще объектом исследований возрастной структуры становится Китай, поскольку именно здесь наблюдаются наиболее масштабные в мире и территориально дифференцированные сдвиги в возрастной структуре, а именно сокращение численности населения в возрасте от 0 до 14 лет при интенсивном старении.

В предыдущих работах авторов проводился системный анализ научных публикаций зарубежных и белорусских ученых в области геодемографии за последние 5 лет [1]. В данной статье акцент делается на успехах китайских ученых в области исследований возрастной структуры населения за последние 10 лет. В частности, в публикациях китайских ученых сделан вывод о коренных изменениях возрастной структуры в сторону ее регрессии [2] и проанализировано влияние этих изменений на процессы рождаемости [3]. Отдельным проблемным полем являются исследования снижения демографической нагрузки детьми и в связи с этим демографического дивиденда [4]. Кроме того, изучаются последствия изменений возрастной структуры, связанные с сокращением численности женщин репродуктивного возраста и прироста населения [5], сокращением численности населения молодого возраста, увеличением численности пожилых людей и трендами экономического роста [6; 7], изменениями численности основных возрастных групп и расходами на здравоохранение [8]. При этом в китайских исследованиях делается общий вывод о том, что главным демографическим фактором трансформации возрастной структуры в 1960–2012 гг. является не снижение смертности, а сокращение рождаемости [9].

Глобальным трендом демографических процессов выступает усиление территориальной дифференциации в пределах регионов под влиянием комплекса социальных, экономических, экологических и других факторов. В связи с этим все больше ученых приходят к выводу о необходимости изучения населения с позиций геопространственной парадигмы. Фундаментальной теоретической основой таких исследований китайских специалистов выступили научные результаты в области пространственного анализа демографических данных и пространственной автокорреляции известных зарубежных ученых [10–14]. Так, в работах китайских авторов с применением ГИС-технологий и корреляционного анализа исследуются взаимосвязи между распределением населения и типами рельефа на примере отдельных провинций [15], с использованием моделей пространственной корреляции изучаются демографические центры тяжести и центры концентрации населения [16], а с использованием гравитационной модели на примере провинции Сычуань выделяются основные агломерационные зоны [17].

## Методика исследования

Возрастная структура, являющаяся основным естественным признаком населения, выступает важной характеристикой демографического анализа. Исследование факторов и пространственно-временных особенностей распределения населения Китая в возрасте от 0 до 14 лет осуществлялось в несколько этапов.

**Этап 1.** Сбор статистических данных о численности и доле населения в возрасте от 0 до 14 лет по провинциям Китая за 2000–2020 гг. и расчет показателей динамики численности и доли населения данной возрастной группы с использованием статистико-математического метода.

**Этап 2.** Установление факторов, влияющих на численность и распределение населения в возрасте от 0 до 14 лет, и выявление пространственных взаимосвязей на основе проведения корреляционного и регрессионного анализа путем расчета географически взвешенной регрессии<sup>1</sup> между численностью населения в возрасте от 0 до 14 лет, годовым доходом на душу населения, размером ВВП и количеством медицинских учреждений. Все собранные статистические показатели были размещены в базе данных *Excel*, которая потом экспортировалась в *ArcGIS* и *ArcScene* для проведения дальнейшего пространственно-временного анализа и картографирования результатов. В настоящем исследовании впервые в белорусской геодемографической научной школе апробируется методика 3D-картографирования возрастной структуры с использованием модуля *ArcScene*<sup>2</sup>.

**Этап 3.** Группировка провинций Китая по численности населения в возрасте от 0 до 14 лет и ее динамике с последующей географической систематизацией в виде типографа провинций по характеру динамики численности населения в возрасте от 0 до 14 лет.

**Этап 4.** Прогноз возрастной структуры населения Китая на период до 2027 г. с использованием линейной экстраполяции.

<sup>1</sup>Географически взвешенная регрессия (Пространственная статистика) [Электронный ресурс]. URL: <https://pro.arcgis.com/ru/pro-app/latest/tool-reference/spatial-statistics/geographically-weighted-regression.htm> (дата обращения: 02.03.2022).

<sup>2</sup>3D Analyst и ArcScene [Электронный ресурс]. URL: <https://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/latest/extensions/3d-analyst/3d-analyst-and-arcscene.htm> (дата обращения: 02.03.2022).

## Результаты и их обсуждение

**Динамика численности населения Китая в возрасте от 0 до 14 лет и определяющие ее факторы.** Возрастная структура населения Китая к началу XXI в. характеризовалась интенсивным старением. Уже в 2000 г. доля населения в возрасте 65 лет и старше составляла 7 %, что по шкале старения ООН означает наступление демографической старости. При этом в начале XXI в. в стране наблюдалась значительная доля трудоспособного населения (70,2 %) и более чем каждый пятый житель (22,8 %) находился в возрасте от 0 до 14 лет (табл. 1).

Таблица 1

Возрастная структура населения Китая в 2000–2020 гг.

Table 1

Age structure of the population of China in 2000–2020

Возрастная группа	Численность населения, млн чел.			Доля в возрастной структуре, %			Динамика численности населения, %		
	2000	2010	2020	2000	2010	2020	2000	2010	2020
0–14 лет	294,3	226,2	257,4	22,8	16,5	17,8	-12,5	9,0	115,7
15–64 года	906,7	1015,1	988,3	70,2	74,5	68,6			
65 лет и старше	90,7	122,1	195,6	7,0	9,0	13,6			

Однако в кратчайшие сроки (всего за 20 лет) в возрастной структуре населения Китая произошли значительные сдвиги: резко сократилась численность населения в возрасте от 0 до 14 лет (на 40 млн человек, или 12,5 %) при более чем двукратном увеличении численности населения в возрасте 65 лет и старше. Данная тенденция является следствием многолетней государственной политики по сокращению рождаемости в стране. Соответственно, произошло снижение доли детей и в возрастной структуре (до 17,8 %). Но несмотря на это, по данным за 2020 г., численность населения в возрасте от 0 до 14 лет (257,4 млн человек) превышала численность населения в возрасте 65 лет и старше (195,6 млн человек). Тренд сокращения численности дотрудоспособного населения (0–14 лет) определенно не является положительным фактором для долгосрочного развития населения и представляет серьезную проблему в будущем, связанную с сокращением численности трудовых ресурсов и обеспечением устойчивого экономического роста.

Значительная площадь территории Китая обуславливает географические, экономические и культурные различия в разных регионах. Распределение детского населения между провинциями также весьма дифференцировано.

На основе статистического анализа данных о численности населения в возрасте от 0 до 14 лет в разрезе провинций были выделены четыре группы провинций в зависимости от величины контингента детей:

- малые провинции (менее 5 млн человек);
- средние провинции (5–10 млн человек);
- провинции с численностью выше средней (10–15 млн человек);
- крупные провинции (более 15 млн человек).

Метод группировки позволил объяснить географические различия, которые нашли отражение в табл. 2. Несмотря на выявленные различия в трендах по десятилетиям (сокращение до 2010 г. и рост до 2020 г. в результате либерализации демографической политики в отношении двоих детей), численность населения данной возрастной группы не достигла показателей 2000 г. Анализ на мезогеографическом уровне показал, что в 2000 и 2020 гг. в структуре наблюдается относительная устойчивость: преобладают средние и малые провинции по численности населения в возрасте от 0 до 14 лет. Следовательно, эффект от политики всеобщности двух детей [1] на уровне провинций был обеспечен.

Таблица 2

Структура провинций Китая по численности населения в возрасте от 0 до 14 лет, %

Table 2

Structure of China's provinces by population aged from 0 to 14 years, %

Год	Крупные провинции (более 15 млн чел.)	Провинции с численностью населения выше средней (10–15 млн чел.)	Средние провинции (5–10 млн чел.)	Малые провинции (менее 5 млн чел.)
2000	17,6	20,6	32,4	29,4
2010	8,8	14,7	26,5	50,0
2020	11,8	14,7	29,4	44,1

С использованием картографического анализа в *ArcScene* построена 3D-картодиаграмма распределения провинций Китая по численности населения в возрасте от 0 до 14 лет (рис. 1), которая позволяет проследить пространственные закономерности распределения детского населения. В течение 2000–2020 гг. численность детей более 15 млн человек была характерна для 2 самых населенных в Китае провинций – Гуандун и Шаньдун. Гуандун является крупнейшей экономически развитой провинцией страны, Шаньдун представляет собой индустриальный и транснациональный центр. Широкие возможности для трудоустройства, экономическая политика реформ и открытости привлекают большое количество рабочей силы, поэтому здесь сосредоточена значительная численность населения репродуктивного возраста, что и обуславливает высокую численность детского населения. Провинции с численностью детей менее 5 млн человек в основном распространены в западных и северо-восточных регионах, а также в юго-восточных прибрежных районах. Прежде всего это связано с особенностями рельефа, климата (западные и северо-восточные регионы) и влиянием уровня социально-экономического развития (юго-восточные прибрежные районы). В 2020 г. в пределах Китая четко выделяются три зоны численности населения в возрасте от 0 до 14 лет – восточная зона высокой численности, западная и центрально-восточная зона средней численности и меридиональная центральная зона низкой численности.

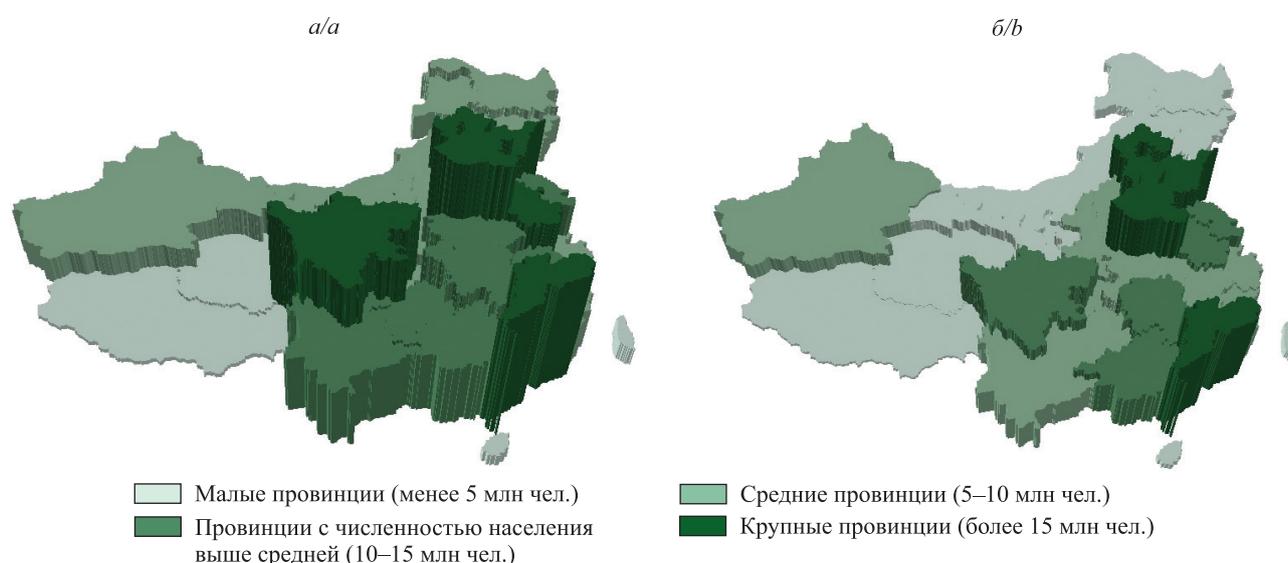


Рис. 1. Распределение провинций Китая по численности населения в возрасте от 0 до 14 лет в 2000 г. (а) и 2020 г. (б)  
 Fig. 1. Distribution of China's provinces by population aged from 0 to 14 years in 2000 (a) and 2020 (b)

Для установления факторов, влияющих на численность населения в возрасте от 0 до 14 лет в Китае, проведен корреляционный анализ между численностью населения этой возрастной группы и такими социально-экономическими показателями, как годовой доход на душу населения, размер ВВП и количество медицинских учреждений (табл. 3). Как видно из табл. 3, годовой доход на душу населения оказывает слабое влияние на численность населения в возрасте от 0 до 14 лет. В то же время к 2020 г. между размером ВВП, количеством медицинских учреждений и численностью детского населения наблюдается увеличение корреляции до значений сильной положительной связи.

Таблица 3

**Коэффициенты корреляции между численностью населения в возрасте от 0 до 14 лет и отдельными социально-экономическими показателями Китая в 2000–2020 гг.**

Table 3

**Correlation coefficients between the population aged from 0 to 14 years and individual socio-economic indicators of China in 2000–2020**

Социально-экономические показатели	Корреляция с численностью населения в возрасте от 0 до 14 лет ( $R^2$ )	
	2000	2020
Годовой доход на душу населения	–0,218	–0,082
Размер ВВП	0,207	0,751
Количество медицинских учреждений	0,678	0,856

На следующем этапе были проведены расчеты географически взвешенной регрессии в *ArcGIS*. Географически взвешенная регрессия показывает, насколько пространственный эффект усиливает или ослабляет регрессию. Цель расчета географически взвешенной регрессии, как и линейной регрессии, состоит в нахождении модели, которая с наибольшей достоверностью объясняет зависимую переменную, но уже с учетом эффекта соседства. Для визуализации результатов расчета географически взвешенной регрессии сначала создавались оценочные карты коэффициентов (локальные коэффициенты классифицируются по пятиквантильной шкале и отображаются с использованием многоцветных цветовых схем). Затем карты *t*-статистики накладывались на карты локальных коэффициентов для получения уточненных карт, представляющих только те локальные коэффициенты, которые статистически значимы на уровне  $\alpha = 5\%$  после корректировки (рис. 2).

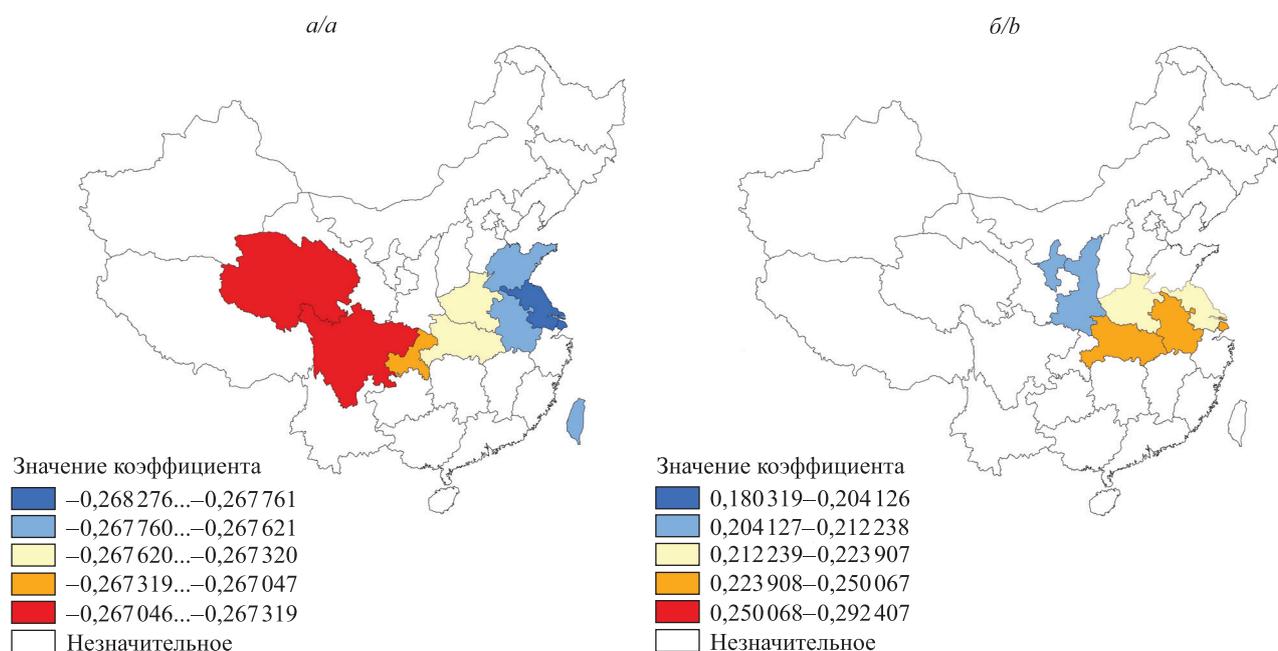


Рис. 2. Локальные коэффициенты географически взвешенной регрессии на уровне провинций (показаны провинции со значительными зависимостями):

*a* – годовой доход на душу населения; *b* – количество медицинских учреждений

Fig. 2. Local geographically weighted regression coefficients at the provincial level (provinces with significant dependencies shown):

*a* – annual income per capita; *b* – number of medical institutions

На рис. 2, *a*, представлена пространственная взаимосвязь между численностью детей в возрасте от 0 до 14 лет и годовым доходом на душу населения в каждой провинции. В целом все провинции демонстрируют отрицательную корреляцию. Наибольшую отрицательную корреляцию имеют Цинхай и Сычуань, а наименьшую – Цзянсу и Шанхай. Полученные результаты подтверждают приведенные выше расчеты по стране (см. табл. 3) и объясняются сильным влиянием государственной политики по регулированию рождаемости в предыдущие годы.

На рис. 2, *b*, представлена пространственная зависимость между численностью детей в возрасте от 0 до 14 лет и количеством медицинских учреждений в каждой провинции. В целом все провинции показывают положительную корреляцию, что соответствует данным по стране (см. табл. 3). Относительно слабой положительной корреляцией характеризуются Нинся-Хуэйский автономный район (АР) и Шэньси. Это связано с тем, что в последние годы количество медицинских учреждений в этих провинциях стало резко возрастать.

Однако анализ распределения исключительно численности населения в возрасте от 0 до 14 лет не позволяет оценить степень трансформации возрастной структуры населения страны. Для этого необходим анализ изменения доли населения данной возрастной группы. Распределение провинций Китая по доле населения в возрасте от 0 до 14 лет позволило четко выделить наиболее проблемные провинции и регионы, в которых резко нарушается возрастная структура из-за сокращения доли детей (табл. 4, рис. 3).

Сравнительный анализ показывает, что удельный вес провинций с низкой долей детей увеличился с 5,9 % в 2000 г. до 32,4 % в 2020 г., а провинции с высокой долей детей к 2020 г. исчезли из возрастной структуры. В 2000 г. провинции с долей детей более 25 % в основном были представлены на северо-западе, юго-западе и в отдельных частях центрального региона. В 2020 г. среднее значение доли детей снизилось до 17,8 %, и на карте четко выделяется небольшой ареал только из 9 провинций с долей

детей более 20 %. Они расположены в западных (Синьцзян-Уйгурский АР, Тибетский АР), северо-западных (Нинся-Хуэйский АР), центральных (Хэнань, Хэбэй, Цинхай) и южных (Цзянси, Гуанси-Чжуанский АР, Гуйчжоу) регионах. В западных и северо-западных регионах значительная доля детей обусловлена привлечением большого количества молодых рабочих репродуктивного возраста из-за быстрого экономического развития в последние годы, а в центральных и южных регионах – более высокими показателями рождаемости. Также в Китае есть 11 провинций с долей детей менее 15 %. В основном они расположены в северных и северо-восточных регионах (Внутренняя Монголия, Ляонин, Хэйлунцзян, Цзилинь), крупных городах с высоким уровнем экономического развития (Шанхай, Тяньцзинь, Пекин, Сянган, Аомэнь) и прибрежных районах (Чжэцзян, Тайвань). В северных и северо-восточных регионах низкий удельный вес детского населения объясняется сокращением численности трудовых ресурсов, малочисленностью местного населения репродуктивного возраста и небольшим числом рождающихся детей. В других регионах с высоким уровнем экономического развития и прибрежных районах низкая доля детского населения обусловлена в основном сокращением количества жителей, которые хотят иметь детей, из-за высокой нагрузки, связанной с большой занятостью на работе, и высоких расходов на воспитание и образование детей.

Таблица 4

Структура провинций Китая по доле населения в возрасте от 0 до 14 лет в 2000–2020 гг., %

Table 4

Structure of China's provinces by share of population aged from 0 to 14 years in 2000–2020, %

Год	Провинции с низкой долей детей (менее 15 %)	Провинции со средней долей детей (15–20 %)	Провинции с долей детей выше средней (20–25 %)	Провинции с высокой долей детей (более 25 %)
2000	5,9	23,5	32,4	38,2
2010	38,2	35,3	23,5	3,0
2020	32,4	41,1	26,5	0

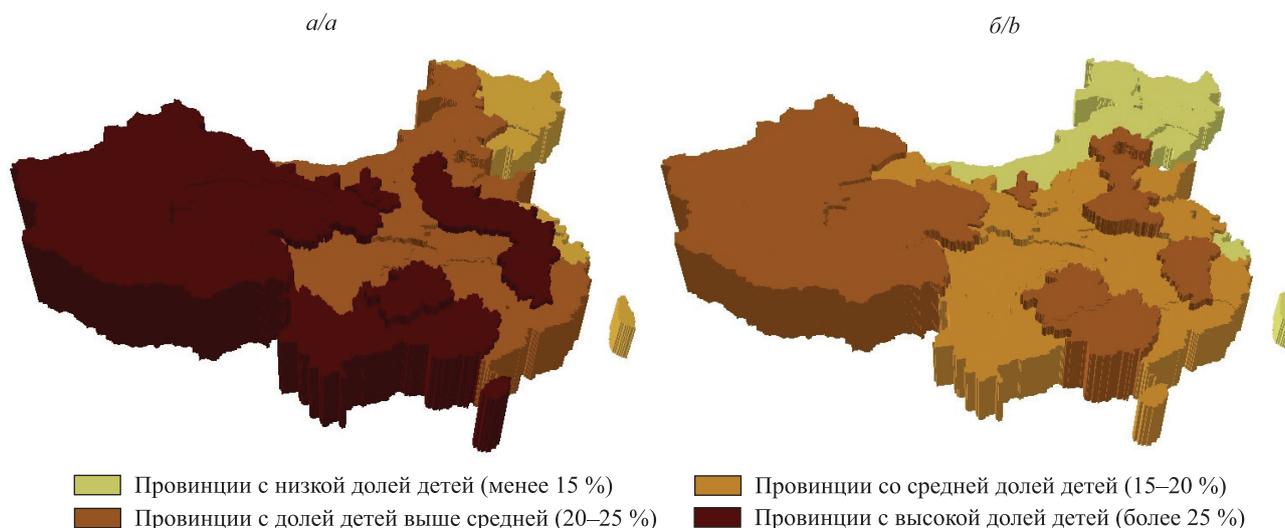


Рис. 3. Распределение провинций Китая по доле населения в возрасте от 0 до 14 лет в 2000 г. (а) и 2020 г. (б)

Fig. 3. Distribution of China's provinces by share of population aged from 0 to 14 years in 2000 (a) and 2020 (b)

В целом пространственное распределение детей в различных провинциях Китая за 2000–2020 гг. демонстрирует высокую степень гетерогенности, что объясняется неравномерным экономическим развитием регионов и различиями в уровне жизни населения.

Доля детей во всех провинциях Китая снижается, что указывает на то, что политика Китая в области регулирования рождаемости достигла значительных результатов. В долгосрочной перспективе сокращение доли детей приведет к сокращению численности трудовых ресурсов китайского населения и будет препятствовать экономическому развитию.

Выявленная территориальная дифференциация численности населения Китая в возрасте от 0 до 14 лет обусловила анализ трендов динамики численности населения данной возрастной группы. Для этого проведены расчеты показателя роста или сокращения численности населения исследуемой возрастной группы за 2000–2020 гг. В результате по характеру динамики провинции Китая были разделены на два типа – провинции с ростом численности населения и провинции с сокращением численности населения – с выделением подтипов в зависимости от масштабов роста либо сокращения (табл. 5).

Таблица 5

**Типология провинций Китая по динамике численности населения  
в возрасте от 0 до 14 лет в 2000–2020 гг.**

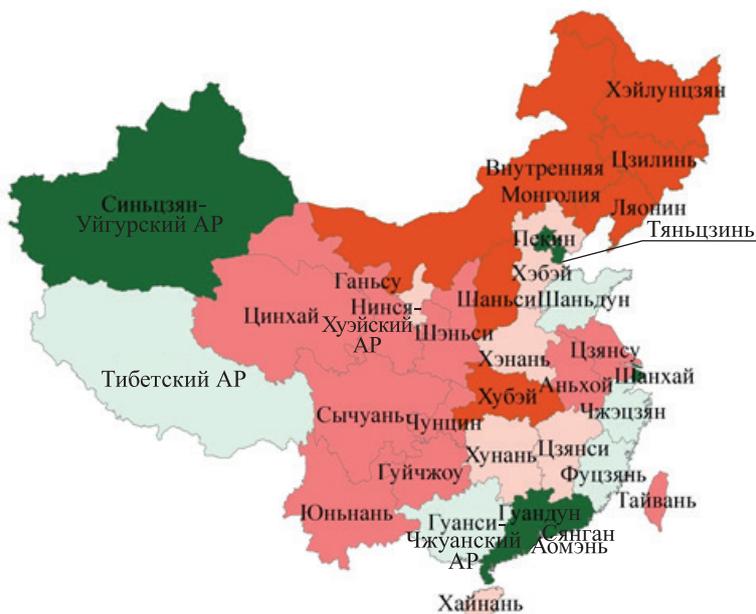
Table 5

**Typology of China's provinces according to the dynamics  
of population aged from 0 to 14 years in 2000–2020**

Типы и подтипы	Провинции	Величина роста или сокращения, %	Доля от общего количества провинций, %
Тип 1. Провинции с ростом численности населения	–	–	29,4
Подтип 1.1. Провинции с высоким ростом численности населения (более 10 %)	Синьцзян-Уйгурский АР Тяньцзинь Гуандун Шанхай Пекин	10,6 11,2 13,9 19,5 37,9	14,7
Подтип 1.2. Провинции с низким ростом численности населения (менее 10 %)	Фуцзянь Гуанси-Чжуанский АР Шаньдун Чжэцзян Тибетский АР	0,6 0,7 0,8 3,3 9,5	14,7
Тип 2. Провинции с сокращением численности населения	–	–	70,6
Подтип 2.1. Провинции с низким сокращением численности населения (менее 10 %)	Аомэнь Хунань Нинся-Хуэйский АР Цзянси Хайнань Хэнань Хэбэй	9,6 9,2 8,2 7,8 6,4 4,2 1,9	20,6
Подтип 2.2. Провинции со средним сокращением численности населения (10–30 %)	Ганьсу Сычуань Чунцин Шэньси Аньхой Сянган Юньнань Тайвань Гуйчжоу Цзянсу Цинхай	29,9 29,0 24,7 24,0 23,1 17,7 17,2 15,3 13,4 11,8 10,6	32,4
Подтип 2.3. Провинции с высоким сокращением численности населения (более 30 %)	Хэйлунцзян Цзилинь Ляонин Внутренняя Монголия Шаньси Хубэй	53,0 45,7 36,8 33,3 32,9 32,1	17,6

За 2000–2020 гг. на территории Китая произошел кардинальный сдвиг, заключающийся в преобладании провинций с сокращением численности населения в возрасте от 0 до 14 лет. В 2020 г. рост численности населения данной возрастной группы наблюдался только в 10 провинциях (или 29,4 %). Половина из

них, где рост составил более 10 %, расположены в западном регионе (Синьцзян-Уйгурский АР) (в данном случае увеличение численности детей связано с государственной политикой развития западного региона [1]), а также в регионах с крупными городами и высоким уровнем экономического развития (Тяньцзинь, Шанхай, Пекин) и в прибрежном районе (Гуандун). В 24 провинциях (или 70,6 %) в настоящее время наблюдается сокращение численности населения в возрасте от 0 до 14 лет. Выявлены 6 провинций с наиболее неблагоприятной ситуацией, где численность детского населения сократилась более чем на 30 %. В основном они расположены в северных и северо-восточных (Внутренняя Монголия, Ляонин, Цзилинь, Хэйлуцзян), а также центральных (Шаньси, Хубэй) регионах (рис. 4).



- Тип 1. Провинции с ростом численности населения
- Подтип 1.1. Провинции с высоким ростом численности населения (более 10 %)
  - Подтип 1.2. Провинции с низким ростом численности населения (менее 10 %)
- Тип 2. Провинции с сокращением численности населения
- Подтип 2.1. Провинции с низким сокращением численности населения (менее 10 %)
  - Подтип 2.2. Провинции со средним сокращением численности населения (10–30 %)
  - Подтип 2.3. Провинции с высоким сокращением численности населения (более 30 %)

Рис. 4. Типология провинций Китая по динамике численности населения в возрасте от 0 до 14 лет в 2000–2020 гг.

Fig. 4. Typology of China's provinces according to the dynamics of population aged from 0 to 14 years in 2000–2020

В целом выполненная картограмма (см. рис. 4) позволяет выделить на территории страны две зоны – западную (Синьцзян-Уйгурский АР, Тибетский АР) с ростом численности населения и центрально-восточную (Хунань, Нинся-Хуэйский АР, Цзянси, Хэнань, Хэбэй, Ганьсу, Сычуань, Чунцин, Шэньси, Аньхой, Аомэнь, Сянган, Тайвань, Гуйчжоу, Цзянсу, Цинхай) с сокращением численности населения. Наблюдаются также отдельные ареалы в виде провинций с ростом численности населения на восточном побережье (Тяньцзинь, Гуандун, Шанхай, Пекин, Фуцзянь, Гуанси-Чжуанский АР, Шаньдун, Чжэцзян).

На заключительном этапе географической систематизации был использован метод типографов. На основе синтеза двух промежуточных результатов анализа территориальной дифференциации численности населения в возрасте от 0 до 14 лет и ее динамики с использованием центропериферийного подхода данные были объединены в типограф, что позволило выделить три типа провинций – центральные (с большой численностью населения и положительной динамикой), периферийные (с малой численностью населения и отрицательной динамикой) и буферные (с переходными сценариями развития). В зависимости от тренда динамики численности населения буферные провинции подразделяются на два подтипа – полуженитральные (с малой и средней численностью населения и положительной динамикой) и полупериферийные (с дифференцированной численностью населения и отрицательной динамикой) (табл. 6).

Типограф провинций Китая по характеру динамики численности населения в возрасте от 0 до 14 лет

Table 6

Typograph of China's provinces by the nature of dynamics of population aged from 0 to 14 years

Группы провинций по численности населения в возрасте от 0 до 14 лет	Типы провинций по динамике численности населения в возрасте от 0 до 14 лет				
	Тип 1. Провинции с ростом численности населения		Тип 2. Провинции с сокращением численности населения		
	Подтип 1.1. Провинции с высоким ростом численности населения (более 10 %)	Подтип 1.2. Провинции с низким ростом численности населения (менее 10 %)	Подтип 2.1. Провинции с низким сокращением численности населения (менее 10 %)	Подтип 2.2. Провинции со средним сокращением численности населения (10–30 %)	Подтип 2.3. Провинции с высоким сокращением численности населения (более 30 %)
Малые провинции (менее 5 млн чел.)	Тяньцзинь Шанхай Пекин	Тибетский АР	Аомэнь Нинся-Хуэйский АР Хайнань	Ганьсу Сянган Тайвань Цинхай	Хэйлунцзян Цзилинь Ляонин Внутренняя Монголия
Средние провинции (5–10 млн чел.)	Синьцзян-Уйгурский АР	Фуцзянь Чжэцзян	Цзянси	Чунцин Шэньси Юньнань Гуйчжоу	Шаньси Хубэй
Провинции с численностью населения выше средней (10–15 млн чел.)	–	Гуанси-Чжуанский АР	Хунань	Сычуань Аньхой Цзянсу	–
Крупные провинции (более 15 млн чел.)	Гуандун	Шаньдун	Хэнань Хэбэй	–	–

Примечание. Голубым фоном выделены буферные провинции полуметрализованного подтипа, розовым – периферийные провинции, желтым – центральные провинции, зеленым – буферные провинции полупериферийного типа.

Анализ показывает, что в 2020 г. в Китае было только 3 провинции центрального типа (или 8,8 %), которые располагались в прибрежных районах (Гуанси-Чжуанский АР, Гуандун, Шаньдун). Этот тип имеет большой потенциал развития с высокими темпами роста численности детского населения (идеальная модель развития). К периферийному типу с самым негативным сценарием развития (сокращение и без того малой численности детей) относятся 11 провинций (или 32,4 %). Они расположены в северных (Хэйлунцзян, Цзилинь, Ляонин, Внутренняя Монголия, Ганьсу, Цинхай) и центральных (Шаньси, Хубэй,) регионах, а также в прибрежных районах (Сянган, Тайвань). Для провинций данного типа необходимо совершенствовать модели пространственного развития детского населения (рис. 5). Большинство провинций (58,8 %) относятся к буферному типу. В его структуре риск представляет второй подтип (буферные полупериферийные провинции), где при разной численности населения в возрасте от 0 до 14 лет происходит ее сокращение. Это 13 провинций (или 38,2 %), которые расположены в центральных (Аньхой, Нинся-Хуэйский АР, Цзянси, Хунань, Чунцин, Шэньси, Хэнань, Хэбэй) и юго-западных (Юньнань, Гуйчжоу, Сычуань) регионах и прибрежных районах (Аомэнь, Хайнань). Изменения численности детского населения в этих областях будут сильно влиять на развитие общей возрастной структуры.

Влияние множества социальных факторов, таких как жилищные проблемы, высокие расходы на воспитание и образование детей и др., привело к постоянному снижению детского населения в указанных районах. Подводя итог, отметим, что для провинций центрального типа рекомендуется проводить стимулирующую политику для поддержания устойчивого роста численности детского населения. Для буферных полуметрализованных провинций следует развивать политику в области регулирования рождаемости, оказывать большую социальную и экономическую поддержку и стимулировать рост количества детей в семьях. Для буферных полупериферийных провинций в соответствии с разными особенностями развития необходимо выяснить основные причины сокращения численности детского населения и принять активные меры по снижению его интенсивности. Для периферийных провинций рекомендуется повышать уровень социально-экономического развития.



Рис. 5. Типограф провинций Китая по характеру динамики численности населения в возрасте от 0 до 14 лет в 2000–2020 гг.

Fig. 6. Typograph of China's provinces by the nature of dynamics of population aged from 0 to 14 years in 2000–2020

На заключительном этапе исследования был выполнен прогноз возрастной структуры населения Китая. Расчет линейной экстраполяции возрастной структуры населения до 2027 г. (табл. 7) показывает, что при отсутствии влияния других факторов в ближайшие 5 лет численность детей продолжит снижаться, а численность трудоспособного населения продолжит увеличиваться за счет инерционного развития населения.

Таблица 7

**Прогноз возрастной структуры населения Китая на 2027 г.**

Table 7

**Forecast of the age structure of China's population for 2027**

Возрастная группа	Численность населения, млн чел.	Доля в возрастной структуре, %
0–14 лет	223,6	14,1
15–64 года	1135,6	71,4
65 лет и старше	231,6	14,5

При дальнейшем росте численности и доли пожилого населения доля детей в возрастной структуре будет снижаться. Можно видеть, что китайская тенденция к малой численности дотрудоспособного населения и старению населения продолжит усиливаться, поэтому существует острая необходимость в практической социально-экономической политике и политике стимулирования рождаемости.

### Выводы

Проведенное исследование позволило получить новые научные результаты в области пространственного анализа численности населения Китая в возрасте от 0 до 14 лет за 2000–2020 гг. Во-первых, установлено, что основным трендом динамики численности и доли детского населения Китая является их сокращение. Это вызвано резким снижением рождаемости в результате проводимой на протяжении многих лет государственной политики в области регулирования рождаемости. Несмотря на либерализацию данной политики в последние годы, заключающуюся в возможности иметь троих детей, эффект остается неудовлетворительным: произошла трансформация возрастной структуры в сторону необратимого старения. Как отмечают китайские эксперты в области демографии, готовность молодых китайцев рожать детей в настоящее время невысока. Это является большой проблемой современного китайского общества и объясняется тремя основными причинами: высокой стоимостью родов, которая выступает дополнительной экономической нагрузкой; слишком большой занятостью, связанной с работой молодого населения, и, как следствие, сокращением ресурсов времени и сил на воспитание детей; длительностью восстановления женского организма и послеродового ухода, из-за чего для некоторых семей воспитание только одного ребенка может оказаться лучшим вариантом. Во-вторых, в стране выявлена территориальная дифференциация в распределении населения в возрасте от 0 до 14 лет с выделением трех зон – зоны с высокой численностью, приуроченной к восточным регионам, зоны со средней численностью, расположенной в западных и центрально-восточных регионах, и зоны с низкой численностью, имеющей меридиональное расположение в центральной части страны. В-третьих, провинции Китая поляризованы по характеру динамики численности населения в возрасте от 0 до 14 лет за 2000–2020 гг. Среди них доминируют провинции с сокращением численности данной возрастной группы (70,6 %), которые приурочены к центральной и восточной частям страны. В-четвертых, в контексте обеспечения устойчивого экономического роста провинции Китая дифференцированы с позиций центропериферийного подхода на относительно благополучные, или центральные (8,8 %), с достаточно большой численностью населения в возрасте от 0 до 14 лет и ее положительной динамикой, наиболее неблагополучные, или периферийные (32,4 %), где сохраняется малая численность населения данной группы, характеризующаяся сокращением, и буферные (58,8 %), которые отличаются переходными сценариями развития. В-пятых, в связи с установленной неоднородностью пространственных трендов развития возрастной группы 0–14 лет в Китае проведенное исследование выступает научным обоснованием при разработке новых направлений государственной политики по повышению рождаемости.

С учетом всех факторов и особенностей пространственного распределения населения в возрасте от 0 до 14 лет, выдвигаются ряд предложений. Для Китая в целом необходимо продолжать поощрять рождаемость и оказывать большую поддержку населению, желающему иметь детей, в районах с благоприятными демографическими тенденциями. На фоне установленных мезогеографических различий рекомендуется шире использовать локальные культурные традиции в разных регионах для изменения представления о рождении детей на идеологическом уровне. Учитывая характеристики социально-экономического развития в каждом регионе, следует более широко применять направления экономической политики поддержки рождаемости, такие как льготные субсидии на рождение ребенка, продление отпуска по беременности и родам, льготное медицинское обслуживание при родах, льготные субсидии на образование ребенка и т. д. Для периферийных провинций с наиболее неблагоприятным характером динамики численности населения в возрасте от 0 до 14 лет (северо-восточный регион, несколько северо-западных и центральных провинций) предлагается при проведении политики активно строить медицинские учреждения, укреплять медицинскую безопасность, уделять больше внимания поддержке регионального экономического развития.

### Библиографические ссылки / References

1. Antipova E, Li Chen. Spatial and temporal shifts in the demographic development of China at the end of the 20<sup>th</sup> and the beginning of the 21<sup>st</sup> centuries. *Journal of Settlements and Spatial Planning*. 2021;12(2):93–105.
2. Mu Xilin. [A brief analysis of the disproportion of the gender structure of the contemporary Chinese population]. *Reform & Opening*. 2013;10:97–98. Chinese. DOI: 10.16653/j.cnki.32-1034/f.2013.10.085.
3. Yuan Xiaoping, Liang Haiyan. [Study on the impact of changes in China's population age structure on the birth rate]. *Northwest Population Journal*. 2014;35(6):49–53. Chinese. DOI: 10.15884/j.cnki.issn.1007-0672.2014.06.010.

4. Sun Zheng. [Research on China's population structure change and fiscal sustainability]. *Journal of Dalian University of Technology (Social Sciences)*. 2020;41(3):51–62. Chinese. DOI: 10.19525/j.issn1008-407x.2020.03.007.
5. Jun Wang, Lu Zhang. [Population situation, long-term development strategy and governance strategy under the low fertility level in China]. *Governance Studies*. 2021;37(4):61–70. Chinese. DOI: 10.15944/j.cnki.33-1010/d.2021.04.006.
6. Wang Yunduo, Jiang Wenjuan. [The impact of population structure changes on economic growth]. *Journal of Chongqing University of Science and Technology (Social Science Edition)*. 2021;3:41–47. Chinese. DOI: 10.19406/j.cnki.cqkjxyxbskb.2021.03.009.
7. Ren Huiling. [Research on the impact of population structure changes on economic growth in the context of aging]. *Price: Theory & Practice*. 2017;12:134–137. Chinese. DOI: 10.19851/j.cnki.cn11-1010/f.2017.12.036.
8. Wang Xueyi, Zhang Chong. [China's population age structure and residents' health care consumption]. *Statistical Research*. 2013;30(3):59–63. Chinese. DOI: 10.19343/j.cnki.11-1302/c.2013.03.009.
9. Yang Jisheng, Wan Yue. [The derailment effect of China's population policy]. *Journal of Huazhong University of Science and Technology (Social Science Edition)*. 2016;30(1):103–114. Chinese. DOI: 10.19648/j.cnki.jhustss1980.2016.01.014.
10. Fotheringham AS, Brunson C, Charlton M. *Quantitative geography: perspectives on spatial data analysis*. London: Sage Publications; 2000. 288 p.
11. Matthews S, Parker DM. Progress in spatial demography. *Demographic Research*. 2013;28:271–312. DOI: 10.4054/DemRes.2013.28.10.
12. Oyana TJ, Margai FM. *Spatial analysis: statistics, visualization, and computational methods*. Boca Raton: CRC Press; 2015. 323 p. DOI: 10.1201/b18808.
13. Raymer J, Willekens F, Rogers A. Spatial demography: a unifying core and agenda for further research. *Population, Space and Place*. 2019;25(4):e2179. DOI: 10.1002/psp.2179.
14. Batista e Silva F, Freire S, Schiavina M, Rosina K, Marín-Herrera MA, Ziembra L, et al. Uncovering temporal changes in Europe's population density patterns using a data fusion approach. *Nature Communications*. 2020;11:4631. DOI: 10.1038/s41467-020-18344-5.
15. Liu Musheng, Lin Liansheng, Zhang Qihai, Cai Haisheng, Guo Qiuzhong, Tan Yingjing. [Spatialization of Jiangxi demographic data based on RS and GIS]. *Jiangxi Science*. 2008;26(6):928–931. Chinese. DOI: 10.13990/j.issn1001-3679.2008.06.034.
16. Li Jing, Lin Tianying. [Research on the change of population spatial distribution in Xi'an based on GIS]. *Journal of Shaanxi Normal University (Natural Science Edition)*. 2011;39(3):78–83. Chinese. DOI: 10.15983/j.cnki.jsnu.2011.03.013.
17. Dou Xinyi, Chang Xiaili, Luo Mingliang, Tan Yaling, Dong Chengyan. [Based on GIS Sichuan county-scale population aggregation pattern and layer division]. *Northwest Population Journal*. 2015;36(1):12–16. Chinese. DOI: 10.15884/j.cnki.issn.1007-0672.2015.01.003.

Получена 04.05.2022 / исправлена 07.06.2022 / принята 04.07.2022.  
Received 04.05.2022 / revised 07.06.2022 / accepted 04.07.2022.

## ЭКОНОМИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СПЕЦИАЛИЗАЦИИ ГОРОДОВ БЕЛАРУСИ

А. П. БЕЗРУЧЕНОК<sup>1)</sup>, М. А. ДУБОВЕЦ<sup>2)</sup>

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

<sup>2)</sup>Научно-исследовательский экономический институт Министерства экономики Республики Беларусь, ул. Славинского, 1, корп. 1, 220086, г. Минск, Беларусь

Проведена сравнительно-географическая характеристика экономической специализации городов областного подчинения и Минска в разрезе основных отраслей экономики (секций видов экономической деятельности) за 2010–2020 гг. На основе материалов базы данных Национального статистического комитета Республики Беларусь рассчитаны коэффициенты специализации для рассматриваемых населенных пунктов. С использованием картографического метода отражена их ведущая экономическая специализация (наибольшие значения коэффициентов) во внутриреспубликанском разделении труда. Результаты исследования позволяют говорить об изменении экономической специализации городов областного подчинения и Минска, при этом характер динамики экономической специализации различается по городам. Общей закономерности в динамике экономической специализации для всей группы анализируемых городов не установлено. Для большинства из них характерно отсутствие выраженного изменения специализации в 2010–2015 гг. Динамика экономической специализации имеет место для Барановичей, Пинска, Новополоцка и Могилёва. В 2016–2020 гг. отмечены незначительные сдвиги в специализации восьми городов и ярко выраженное изменение специализации Гродно. Разработана группировка городов по количеству специализированных секций видов экономической деятельности. Выявлены пространственные различия в экономической специализации западных и восточных городов в разрезе сферы производства и сферы услуг.

**Ключевые слова:** города Беларуси; экономическая специализация; виды экономической деятельности; экономическая трансформация городов; типологическая группировка.

## ECONOMIC AND GEOGRAPHICAL ANALYSIS OF CHANGES IN THE ECONOMIC SPECIALISATION OF THE CITIES OF BELARUS

A. P. BEZRUCHONAK<sup>a</sup>, M. A. DUBAVETS<sup>b</sup>

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

<sup>b</sup>Research Economic Institute, Ministry of Economy of the Republic of Belarus,  
1 Slavinskaha Street, 1 building, Minsk 220086, Belarus

Corresponding author: M. A. Dubavets (maksim.dubovecz@gmail.com)

A comparative geographical characteristic of the economic specialisation of cities of regional subordination and the city of Minsk in the context of the main sectors of the economy (sections of types of economic activity) was carried out for

### Образец цитирования:

Безрученко АП, Дубовец МА. Экономико-географический анализ изменения экономической специализации городов Беларуси. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология.* 2022;2:43–54. <https://doi.org/10.33581/2521-6740-2022-2-43-54>

### For citation:

Bezruchonak AP, Dubavets MA. Economic and geographical analysis of changes in the economic specialisation of the cities of Belarus. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology.* 2022;2:43–54. Russian. <https://doi.org/10.33581/2521-6740-2022-2-43-54>

### Авторы:

**Андрей Петрович Безрученко** – кандидат географических наук, доцент; доцент кафедры экономической и социальной географии факультета географии и геоинформатики.  
**Максим Александрович Дубовец** – младший научный сотрудник отдела мониторинга и прогнозирования регионального развития.

### Authors:

**Andrei P. Bezruchonak**, PhD (geography), docent; associate professor at the department of economic and social geography, faculty of geography and geoinformatics. [bezruchonak@bsu.by](mailto:bezruchonak@bsu.by)  
<https://orcid.org/0000-0001-6554-4234>  
**Maksim A. Dubavets**, junior researcher at the department of monitoring and forecasting regional development. [maksim.dubovecz@gmail.com](mailto:maksim.dubovecz@gmail.com)  
<https://orcid.org/0000-0002-8221-0305>

2010–2020. Using materials from the database of the National Statistical Committee of the Republic of Belarus, the coefficients of specialisation for the considered cities were calculated. Using the cartographic method, the leading economic specialisation (the highest values of the coefficients) of the cities in the intra-republican division of labour is reflected. The research allows us to talk about changes in the economic specialisation of the cities of regional subordination and the city of Minsk, while the nature of the dynamics of economic specialisation differs by city. A general pattern in the dynamics of economic specialisation has not been established for the entire group of analysed cities. The most cities are characterising by the absence of pronounced changes in specialisation for 2010–2015. The dynamics of economic specialisation takes place for Baranovichi, Pinsk, Novopolotsk and Mogilev. The minor shifts were revealed in specialisation of eight cities and a pronounced change in specialisation of Grodno for 2016–2020. The authors developed a grouping of cities according to the number of specialised sections of types of economic activity. Spatial differences are revealed between western and eastern cities in economic specialisation in terms of production and service sectors.

**Keywords:** cities of Belarus; economic specialisation; types of economic activity; economic transformation of cities; typological grouping.

## Введение

Под действием различных процессов и факторов (в частности, постиндустриализации, цифровизации) города претерпевают преобразование своей экономической специализации. С момента основания белорусские города прошли долгий путь формирования и развития своих функций, изменение которых в разные исторические эпохи обуславливалось экономико-географическим положением, административным статусом, развитием мануфактурного производства, индустриализацией и др. Современная хозяйственная специализация большинства городов Беларуси была заложена в советский период. Актуальной проблемной областью исследования являются оценка экономической специализации городов Беларуси в XXI в. и анализ ее изменений во времени, построение группировки городов по какому-либо признаку специализации.

Одной из предпосылок динамики занятости населения в городах, которая может отразиться на динамике их специализации, являются тренды занятости населения в Беларуси. Республиканские тенденции динамики занятого населения по ведущим отраслям экономики (секциям видов экономической деятельности (ВЭД)) в XXI в. можно описать следующим образом. Существенное снижение численности работников имеет место во всех отраслях промышленного производства (в том числе в обрабатывающей промышленности), в строительстве, ряде отраслей сферы услуг (транспортной деятельности, образовании). Значительный рост численности работников присущ таким отраслям сферы услуг, как здравоохранение и социальные услуги, информация и связь, профессиональная, научная и техническая деятельность, а также деятельность в сфере административных и вспомогательных услуг. Данная закономерность может быть связана с увеличением спроса на специалистов сферы услуг на рынке труда и более интенсивной подготовкой кадров для данной сферы.

Однако в современной белорусской научной школе социально-экономической географии отсутствуют работы, посвященные не только определению экономической специализации, но и оценке ее изменений во времени. В связи с этим цель настоящего исследования заключается в экономико-географическом анализе изменения хозяйственной специализации городов Беларуси в XXI в. Объектом исследования выступают города областного подчинения и Минск, преимущественно представляющие собой наиболее крупные республиканские центры по численности населения, предметом исследования – динамика современной экономической специализации городов областного подчинения и Минска. Периодом исследования являются 2010–2020 гг. К задачам исследования относятся:

1) сравнительно-географическая характеристика экономической специализации городов областного подчинения и Минска;

2) оценка изменений экономической специализации за период исследования;

3) разработка типологической группировки городов по степени выраженности экономической специализации.

В современной научной литературе изучению городов в рамках социально-экономической географии посвящено большое количество публикаций. Среди зарубежных литературных источников можно выделить работы в области анализа динамики социально-экономического развития и экономического профиля городов. Британские географы Р. Мартин, П. Санли, П. Тайлер, Б. Гардинер провели оценку уровня занятости населения городов Великобритании по секторам экономики и проанализировали его изменение за 30-летний период [1]. Влияние пандемии COVID-19 на динамику уровня занятости населения городов Великобритании рассмотрели К. Битти и С. Фотергилл [2]. Ученые польской школы

географии городов опубликовали ряд работ, посвященных оценке экономического развития городов. Так, Л. Межеевская проанализировала тенденции демографической и социально-экономической трансформации городов Польши [3]. Е. Парысек охарактеризовал пространственные изменения польских городов и сдвиги в их экономической структуре после 1989 г. [4]. Оценку структурных изменений экономики Варшавы на основе статистических показателей (индекса излишка сотрудников и индекса специализации) провела К. Пшибыла [5].

Российскими экономикогеографами также накоплен большой опыт социально-экономического исследования городов. Территориальные особенности процессов урбанизации, динамику демографического развития городов России изучали Г. М. Лаппо [6], О. Ю. Голубчиков, А. Г. Махрова [7]. Динамику социально-экономического развития российских городов исследовали Н. В. Зубаревич и С. Г. Сафронов [8]. Пространственно-временной анализ динамики развития городской агломерации осуществляли Е. Г. Анимица и Н. Ю. Власова [9]. Определение градообразующих функций городов региона с использованием коэффициента специализации проводили Ю. В. Фаронова, Р. Г. Сафиуллин, Р. М. Сафиуллина [10]. Изучением трансформационных процессов внутригородских территорий занимались А. Г. Махрова и О. Ю. Голубчиков [11].

Среди украинских географических исследований можно отметить работу К. В. Мезенцева и Н. И. Мезенцевой [12], посвященную анализу пространственного и социально-экономического развития Киевской агломерации. В статье К. В. Мезенцева и Т. И. Ключко [13] выделены функциональные типы городов-спутников Киева. Демографические тенденции городского населения Украины, а также историко-географические особенности формирования сети городов рассмотрены в публикации Л. Г. Руденко и И. Г. Савчука [14].

У представителей белорусской школы социально-экономической географии также имеются работы в области изучения городов и городской системы расселения. Характеристике особенностей урбанизации Беларуси, пространственно-временному анализу структуры городского расселения республики посвящена статья И. И. Пирожника и Е. А. Антиповой [15]. К. К. Красовский в своих исследованиях занимался анализом тенденций развития территориально-урбанистической структуры городского расселения [16], изучением проблем классификации и типологии городских населенных пунктов, моделей систем расселения городского населения Беларуси [17]. Объектом внимания ряда географов выступают отдельные города (в частности, Минск) и категории городов (например, моногорода). Так, в публикации Е. А. Антиповой и Л. В. Фокеевой [18] проанализирована динамика социально-экономических и демографических изменений Минска. В работах Е. А. Антиповой и А. Н. Титова рассмотрены демографический и социально-экономический профиль [19], урбанистическая структура моногородов Беларуси [20].

Аналитический обзор литературных источников позволил выявить основные методы, применяемые географами для оценки экономического профиля городов, изменений экономической структуры (математико-статистический, графический, картографический, сравнительно-географический). В своих исследованиях авторы используют различные статистические показатели (индекс излишка сотрудников, индексы специализации (индекс специализации Кругмана, индекс относительной специализации, индекс специализации Флоренса), коэффициент специализации с последующей визуализацией результатов в графическом виде). Недостатком предложенных методик выступает отсутствие аналогичных показателей для городов Беларуси. В настоящем исследовании целесообразно использовать коэффициент специализации, для расчета которого имеются статистические данные по городам, с последующей визуализацией результатов в виде картодиаграмм. В ряде рассмотренных географических работ применялись методы группировки и географической систематизации. Результаты группировки и типологии городов были представлены преимущественно в картографическом виде. По мнению авторов, для построения группировки городов Беларуси целесообразно использовать значения коэффициента специализации.

### Методика исследования

Источником информации послужили материалы базы данных Национального статистического комитета Республики Беларусь ([dataportal.belstat.gov.by](http://dataportal.belstat.gov.by)), на основе которых были выполнены все расчеты и составлены картографические изображения.

Общая методическая схема исследования состояла из следующих последовательных этапов:

1) программного (анализ литературных источников, определение объекта, предмета, цели и задач исследования);

2) информационного (сбор и обработка первичной и вторичной статистической информации, создание базы данных);

3) картографического (построение картографических изображений на основе результатов обработки статистической информации);

4) аналитического (интерпретация результатов исследования).

В базе данных исследования были представлены более 3000 значений 4 показателей для 11 городов за 2010–2020 гг. по блоку исследования (табл. 1). Ключевой статистический показатель (коэффициент специализации) рассчитывался для каждого города по 18 секциям ВЭД за исследуемый период.

Таблица 1

**Переменные экономико-географического анализа по блоку исследования**

Table 1

**Variables of economic and geographical analysis by study block**

Блок исследования	Переменные	
	Первичные (абсолютные)	Вторичные (относительные)
Изменение экономической специализации города	Численность работников по секции ВЭД в городе Численность работников по секции ВЭД в Беларуси Численность занятого населения города Численность занятого населения Беларуси	Коэффициент специализации

Коэффициент специализации (К), используемый авторами для определения экономической специализации города, вычисляется по формуле

$$K = \frac{Ч_1}{Ч_2} \cdot \left( \frac{Ч_3}{Ч_4} \right)^{-1},$$

где  $Ч_1$  – численность работников по секции ВЭД в городе;  $Ч_2$  – численность работников по секции ВЭД в Беларуси;  $Ч_3$  – численность занятого населения города (в среднем за период);  $Ч_4$  – численность занятого населения Беларуси (в среднем за период). Секции ВЭД города, значения коэффициентов которых составили не менее 1,0, могут быть отнесены к специализированным секциям ВЭД, определяющим специализацию города во внутривнутриреспубликанском разделении труда.

С 1 января 2016 г. Беларусь перешла на общегосударственный классификатор Республики Беларусь ОКРБ 005-2011 «Виды экономической деятельности», включающий 21 секцию ВЭД. До 2016 г. применялась другая версия классификатора – общегосударственный классификатор Республики Беларусь ОКРБ 005-2006 «Виды экономической деятельности», который включал в себя 17 секций ВЭД. В связи с этим оценка изменения экономической специализации была проведена по двум временным срезам – 2010–2015 и 2016–2020 гг. Наибольшие значения коэффициентов специализации (топ-3) по городам областного подчинения и Минску, отражающие внутривнутриреспубликанскую специализацию городов, визуализированы посредством картодиаграмм, выполненных в программной среде *ArcGIS* (версия 10.3).

В основу построения группировки городов положено количество специализированных секций ВЭД (со значением коэффициента специализации 1,0 и более) по каждому городу на 2020 г. В зависимости от числа специализированных секций ВЭД исследуемые города разделены на слабоспециализированные, среднеспециализированные и гиперспециализированные. Также добавлен критерий динамики экономической специализации за 2016–2020 гг. для каждого города с визуальным отображением характеристики динамики.

Основными методами исследования являлись математический, сравнительно-географический и картографический методы, а также метод группировки.

**Результаты и их обсуждение**

Перед обоснованием полученных результатов следует кратко рассмотреть исторические особенности формирования хозяйственных функций городов. На развитие городов влияли как природные,

так и социально-экономические факторы, роль последних с течением времени все больше возрастала. Выгодное экономико-географическое положение белорусских городов способствовало становлению торгово-ремесленных и административных функций. С развитием мануфактурного производства в первой половине XIX в. города стали выполнять функцию торгово-промышленных центров. Железнодорожное сообщение, появившееся во второй половине XIX в., и выгодное транспортно-географическое положение обусловили развитие отдельных городов и формирование у них транспортно-промышленных функций. В XX в. наиболее значительное влияние на преобразование функций белорусских городов оказала индустриализация, которая превратила их в промышленные центры. Именно индустриализация способствовала становлению таких городов, как Новополоцк и Жодино. Современный хозяйственный профиль городов Беларуси, сочетающий в себе промышленные, научно-образовательные, культурные и другие функции, был заложен в советские годы. В настоящее время большинство городов областного подчинения имеют статус многофункциональных центров. Однако, по мнению авторов, в нише международного географического разделения труда города Беларуси преимущественно выступают центрами обрабатывающей промышленности. Исключением является Минск, который представляет собой и крупный промышленный центр, и центр предоставления различных услуг (прежде всего научно-образовательных и финансовых услуг, а также услуг ИКТ-сектора).

Характеризуя изменения экономической специализации городов, стоит остановиться на анализе основных социально-экономических показателей развития городов в динамике (табл. 2).

Таблица 2

**Основные демографические и экономические показатели развития городов Беларуси за 2010–2020 гг.**

Table 2

**The main demographic and economic indicators of the development of cities in Belarus for 2010–2020**

Город	Численность населения (в среднем за период), тыс. чел.		Численность занятого населения (в среднем за период), тыс. чел.		Объем промышленного производства, млн долл. США на 1 тыс. чел. населения*	
	2010	2020	2010	2020	2010	2020
Барановичи	169,1	174,2	81,3	71,1	4,0	3,4
Бобруйск	215,7	211,4	101,6	86,1	6,4	3,8
Брест	315,8	340,3	178,3	173,2	5,2	6,6
Витебск	354,6	362,9	177,3	158,2	4,3	5,4
Гомель	491,8	507,8	256,4	226,7	5,2	4,5
Гродно	338,3	357,5	174,3	170,2	6,7	6,0
Жодино	62,1	64,7	31,7	28,7	12,4	7,5
Минск	1864,1	2009,8	1086,3	1083,3	5,6	4,0
Могилёв	360,9	357,4	192,2	168,1	6,2	4,9
Новополоцк	99,3	98,1	52,7	45,5	52,9	29,0
Пинск	132,4	125,9	61,0	52,1	3,7	4,3

\*Рассчитано авторами с учетом среднего официального курса доллара.

В исследуемую группу городов входят девять городов (за исключением Новополоцка и Жодино) с высочайшим демографическим и социально-экономическим потенциалом. За 2010–2020 гг. наибольший прирост численности населения отмечен для Минска, Бреста и Гродно, а наибольшая убыль населения – для Пинска, Бобруйска и Могилёва. Тенденции демографического развития связаны с различиями в естественном и миграционном движении населения городов. Тренды экономического развития городов

могут обуславливаться изменениями на рынке труда, особенностями естественного и миграционного движения населения. Крупнейшими промышленными центрами в анализируемой группе городов являются Новополоцк и Жодино.

Наибольший прирост объема промышленного производства характерен для Бреста, Витебска и Пинска, наибольшее снижение – для Новополоцка, Жодино и Бобруйска, что связано со степенью диверсификации промышленного профиля городов (чем больше разнообразие видов промышленного производства городов, тем выше потенциал для его роста). Соответственно, динамика промышленного производства в моноиндустриальных городах во многом зависит от одного градообразующего предприятия.

Полученные расчетные значения коэффициентов специализации свидетельствуют о различиях в специализации исследуемых городов (рис. 1). На протяжении 2010–2015 гг. Новополоцк, Жодино и Бобруйск сохраняли свою специализацию (наибольшие значения коэффициентов), являясь центрами обрабатывающей промышленности. Это связано с сохранением удельного веса работников секций сферы производства в общей структуре работников городов. Данное обстоятельство указывает на слабую степень диверсификации занятого населения в перечисленных городах, которые выступают моноиндустриальными городами. Специализация Бобруйска и Жодино представлена только в двух секциях ВЭД.

К городам с экономической специализацией в рамках Беларуси как в сфере производства, так и в сфере услуг можно отнести Гродно, Барановичи, Пинск, Гомель, Могилёв, Витебск. Среди них выделяется Витебск как единственный город, специализацией которого в рамках республики является добывающая промышленность (ОАО «Доломит»). К городам с ведущей экономической специализацией в сфере услуг за 2010–2015 гг. можно отнести Минск и Брест. Данное утверждение основывается на высоких показателях численности и удельного веса работников секций ВЭД сферы услуг в этих городах в общей численности работников секций ВЭД сферы услуг в Беларуси, что позволяет говорить о Минске и Бресте как о крупных центрах предоставления услуг в рамках страны.

Выгодное транспортно-географическое положение может обуславливать отдельную хозяйственную специализацию города в рамках республики. Так, Брест, Барановичи и Гомель являются одними из крупнейших транспортных узлов страны, для которых характерна высокая доля работников в транспортном секторе. Данная закономерность определяет специализацию этих трех городов – предоставление услуг в сфере транспорта и связи.

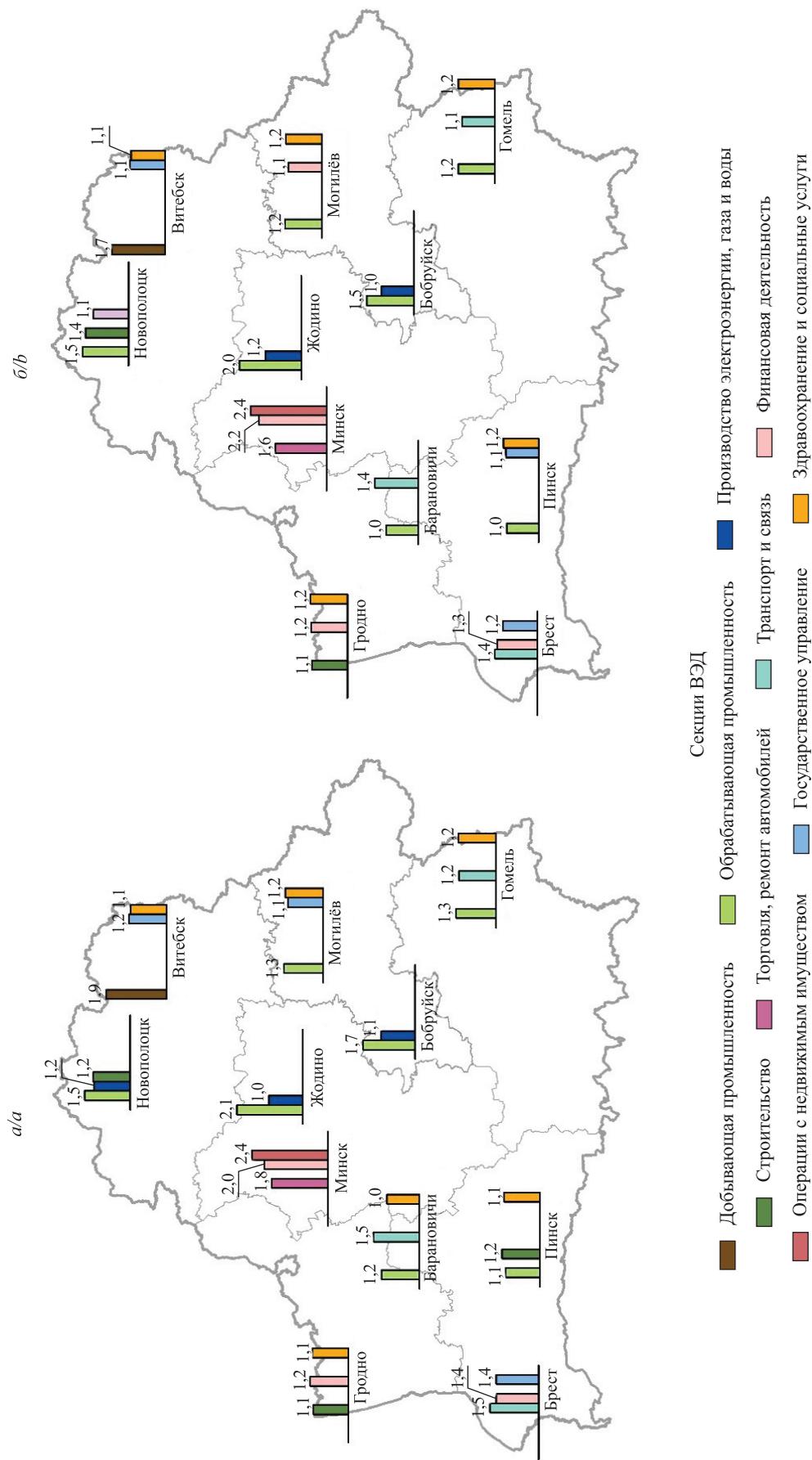
Стоит обратить внимание, что для Гродно, Гомеля, Витебска и Могилёва в 2010–2015 гг. была характерна экономическая специализация как в сфере производства, так и в сфере услуг с перевесом в сторону последней. Только два областных центра (Могилёв и Гомель) отличались более выраженной специализацией в обрабатывающей промышленности. К ведущей специализации столицы Беларуси в 2010–2015 гг. можно отнести такие секции ВЭД сферы услуг, как торговля, финансовая деятельность и операции с недвижимым имуществом.

Анализируя изменение экономической специализации городов за 2010–2015 гг., можно сделать следующие выводы.

1. Прослеживаются слабозаметные различия в изменении хозяйственной специализации городов. Только для четырех городов (Барановичи, Пинск, Новополоцк и Могилёв) установлены незначительные сдвиги в специализации (смена одной секции ВЭД на другую). Для остальных городов экономическая специализация осталась без изменений. В целом это позволяет говорить об общей закономерности в отсутствии динамики экономической специализации городов за 2010–2015 гг.

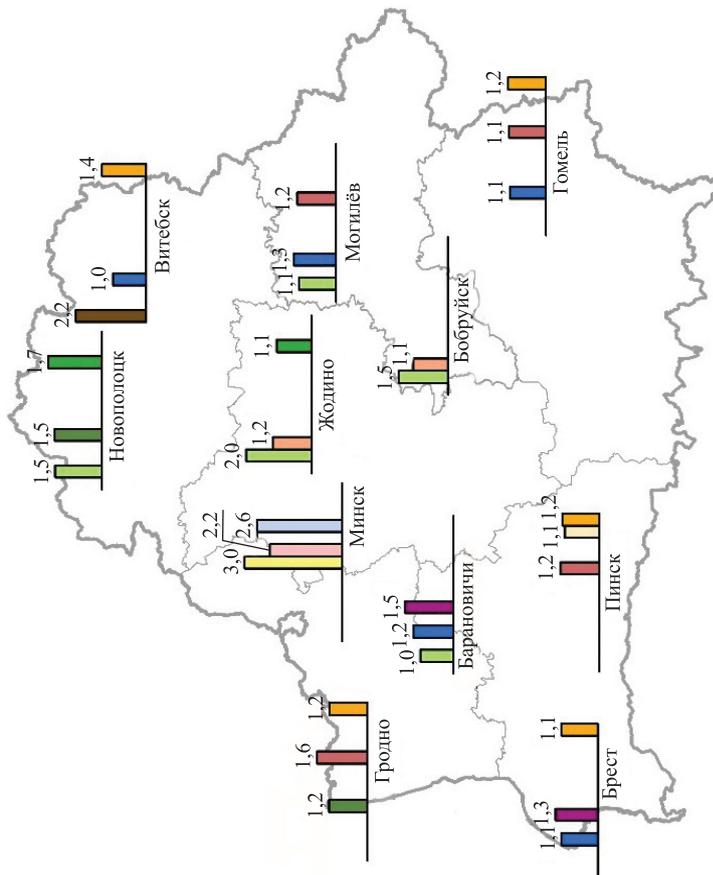
2. Изменения значений коэффициентов специализации зависят от динамики численности населения города и Беларуси в целом, динамики численности работников по секциям ВЭД города и Беларуси. Чем менее значимой является динамика показателей, тем меньше меняются значения коэффициентов, отражающих специализацию городов. Полагаем, что на динамику перечисленных показателей главным образом будет влиять демографический фактор (естественное и миграционное движение населения).

В 2016 г. единственными городами, ведущая специализация которых была выражена только в секциях ВЭД сферы услуг, являлись Минск и Пинск (рис. 2). Из исследуемых городов выделяются Новополоцк, Жодино и Бобруйск, специализация которых ярко выражена в секциях ВЭД сферы производства, что обуславливается индустриальной моделью их развития. Новополоцк и Жодино, помимо секций ВЭД сферы производства, в 2016 г. специализировались на деятельности в сфере административных и вспомогательных услуг, что связано с довольно высокой долей работников данной секции ВЭД в городе относительно доли работников секции в Беларуси.

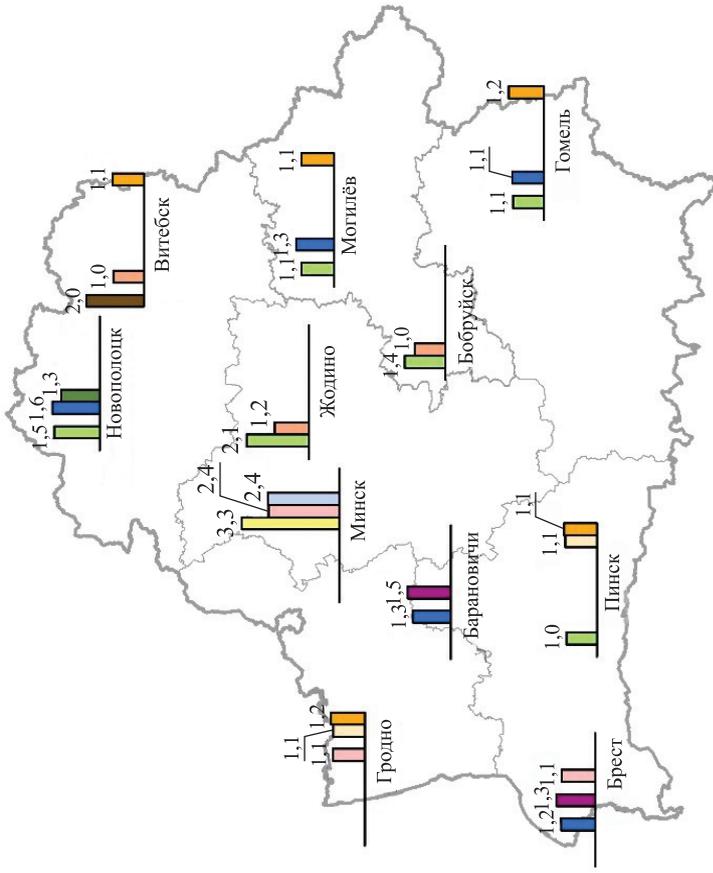


*Рис. 1. Наибольшие значения коэффициентов специализации для городов областного подчинения и Минска на 2010 г. (а) и 2015 г. (б)*  
*Fig. 1. The highest values of coefficients of specialisation in cities of regional subordination and Minsk for 2010 (a) and 2015 (b)*

a/a



b/b



Секции ВЭД

- Добывающая промышленность
- Обрабатывающая промышленность
- Снабжение электроэнергией, паром, газом, горячей водой
- Водоснабжение, сбор, обработка и удаление отходов
- Строительство
- Транспортная деятельность
- Информационная и связь
- Финансовая и страховая деятельность
- Деятельность в сфере административных и вспомогательных услуг
- Профессиональная, научная и техническая деятельность
- Образование
- Здравоохранение и социальные услуги
- Операции с недвижимым имуществом

Рис. 2. Наибольшие значения коэффициентов специализации для городов областного подчинения и Минска на 2016 г. (a) и 2020 г. (б)  
 Fig. 2. The highest values of coefficients of specialisation in cities of regional subordination and Minsk for 2016 (a) and 2020 (b)

Специализация областных центров Беларуси в 2016 г. была представлена как секциями ВЭД сферы производства, так и секциями ВЭД сферы услуг. В сравнении с другими городами Минск выделялся специализацией в таких секциях ВЭД, как информация и связь, профессиональная, научная и техническая деятельность. Данная закономерность обусловлена тем, что столица является местом сосредоточения крупнейших финансовых, научных и телекоммуникационных организаций, IT-компаний и др. В 2016–2020 гг. Минск сохранял свою специализацию в рамках указанных секций ВЭД сферы услуг.

Будучи крупными транспортными узлами, Брест и Барановичи выделяются высокой долей работников в транспортном секторе экономики, что является следствием экономической специализации городов на транспортной деятельности.

Сравнительно-географическая характеристика экономической специализации городов в 2020 г. выявила следующие особенности:

- среди областных центров, специализирующихся на обрабатывающей промышленности, выделяются только Могилёв и Гомель. Наиболее ярко выраженной специализированной секцией ВЭД сферы услуг для областных центров является образование, что обусловлено большим количеством учреждений всех видов образования и высокой долей работников данной отрасли в областных городах;

- Жодино, Бобруйск и Новополоцк характеризуются экономической специализацией, представленной только секциями ВЭД сферы производства. Незначительные доли работников секций ВЭД сферы услуг в этих городах позволяют охарактеризовать их как сугубо промышленные центры;

- в экономической специализации областных центров прослеживаются различия. Так, Гродно является единственным областным центром с ведущей специализацией в секциях ВЭД сферы услуг. Брест, Витебск, Гомель и Могилёв специализируются как на секциях ВЭД сферы услуг, так и на секциях ВЭД сферы производства.

Анализ изменения экономической специализации городов Беларуси за 2016–2020 гг. позволил сделать следующие выводы.

1. Общей закономерности в характере изменения хозяйственной специализации всех исследуемых городов не установлено. Выявлены отдельные различия по городам: наиболее ярко выраженное изменение специализации отмечено для Гродно в двух секциях ВЭД (финансовая деятельность и образование заменили строительство и операции с недвижимым имуществом), менее выраженное изменение специализации (одна секция ВЭД замещена другой секцией) – для Барановичей, Пинска, Бреста, Жодино, Новополоцка, Витебска, Могилёва, Гомеля.

2. Минск и Бобруйск характеризуются отсутствием преобразований ведущей специализации. Для Минска выявлена тенденция к увеличению численности работников в представленных секциях ВЭД, что способствует закреплению их на лидирующих местах. Сохранение специализации Бобруйска в секциях ВЭД сферы производства обусловлено снижением численности работников в двух специализированных секциях при общем сокращении численности работников в данных секциях по республике.

В соотношении специализации городов в сфере производства и сфере услуг прослеживается следующая пространственная дифференциация. Более выраженная специализация городов в секциях материального производства характерна для востока Беларуси (города Витебской, Могилёвской и Гомельской областей, а также восточной части Минской области (Жодино)). Для западных областных центров более выражена специализация в сфере услуг. Данная особенность может быть связана с историческим развитием городов, когда в советские годы индустриализация затронула вначале восточную часть Беларуси. Индустриализация городов западной части Беларуси произошла уже в послевоенное время. В данном случае можно говорить о некой исторической преемственности в специализации городов восточной части Беларуси как промышленных центров, создаваемых по индустриальной модели развития.

Обобщая полученные результаты построения группировки, авторы выделили три группы городов по количеству специализированных секций ВЭД с заложением дополнительного критерия – динамики экономической специализации (рис. 3). В группу слабоспециализированных городов вошли шесть населенных пунктов – Гродно, Гомель, Витебск, Жодино, Бобруйск и Барановичи. К среднеспециализированным городам в рамках внутриреспубликанского разделения труда можно отнести Брест, Пинск, Могилёв и Новополоцк. Единственным гиперспециализированным городом Беларуси является Минск. Анализ динамики экономической специализации показывает, что для большей части исследуемых городов характерно слабо выраженное изменение специализации, это не позволяет говорить о коренной трансформации хозяйственной специализации какого-либо города. Те города, которым свойственна экономическая специализация в отраслях сферы услуг или в отраслях сферы услуг и сферы производства в равном соотношении, претерпевают более выраженное преобразование специализации (Минск, Брест, Гомель, Гродно, Витебск, Могилёв, Барановичи, Пинск). Для Жодино и Бобруйска отмечается слабое изменение или же стагнация экономической специализации за 2010–2020 гг., что обусловлено низкой степенью диверсификации экономики данных городов.

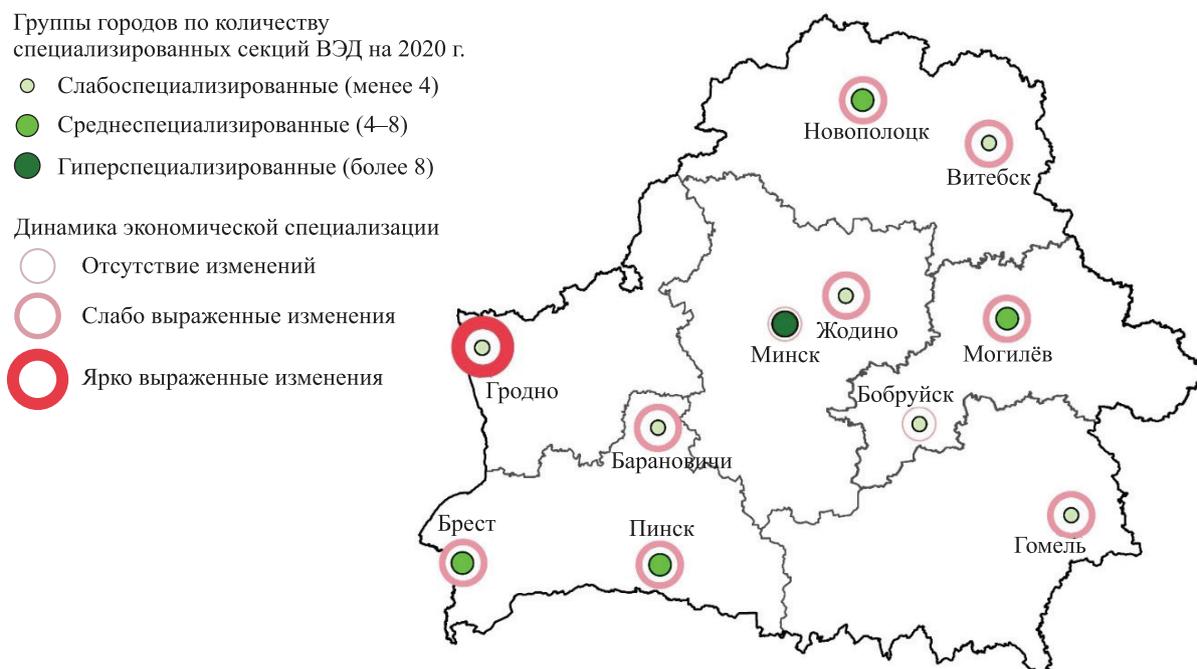


Рис. 3. Группировка городов Беларуси по количеству специализированных секций ВЭД в 2020 г.

Fig. 3. Grouping of cities in Belarus by the number of specialised sections of types of economic activity in 2020

### Заклучение

За 2016–2020 гг. произошли более весомые изменения в специализации городов областного подчинения и Минска, чем за 2010–2015 гг. Общей закономерности в динамике экономической специализации городов Беларуси не установлено. За исследуемый период ни для одного из городов не наблюдалось кардинального изменения (трансформации) экономической специализации (когда на смену трем секциям ВЭД пришли бы три совершенно другие секции ВЭД).

Установлены различия в характере изменения специализации за рассматриваемый период. Единственным городом с ярко выраженным изменением экономической специализации в сфере услуг является Гродно. Для большей части городов (Брест, Барановичи, Пинск, Жодино, Могилёв, Гомель, Витебск, Новополоцк) имеет место слабо выраженное изменение их специализации во внутривнутриреспубликанском разделении труда. Для двух городов (Минск и Бобруйск) выявлено отсутствие динамики хозяйственной специализации.

Изменение экономической специализации может обуславливаться как демографическим фактором (естественная убыль и (или) миграционная убыль населения), так и экономическим фактором (сокращение численности работников в промышленности, например в результате роста автоматизации производства и производительности труда на промышленных предприятиях после проведения модернизации). Кроме того, оно может быть связано с уменьшением спроса на работников отраслей материального производства и увеличением спроса на специалистов отраслей сферы услуг, что является одной из общих тенденций постиндустриализации экономики.

Установлена пространственная дифференциация в экономической специализации между городами западной и восточной частей Беларуси. По результатам типологической группировки городов сделан вывод, что преимущественной специализацией в сфере услуг отличаются только три города (Минск, Гродно, Брест), расположенные в центре и на западе республики. Специализация остальных городов характеризуется либо равным соотношением сферы производства и сферы услуг (Витебск и Барановичи), либо преобладанием сферы производства (шесть городов (Бобруйск, Гомель, Жодино, Могилёв, Новополоцк и Пинск), которые находятся преимущественно в восточной части Беларуси). В целом результаты исследования свидетельствуют о различиях в современной экономической специализации городов Беларуси и характере динамики специализации. Данный вывод может служить обоснованием необходимости разработки типологии городов по уровню экономической специализации (или по уровню конкурентоспособности).

## Библиографические ссылки

1. Martin R, Sunley P, Tyler P, Gardiner B. Divergent cities in post-industrial Britain. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*. 2016;9(2):269–299. DOI: 10.1093/cjres/rsw005.
2. Beatty C, Fothergill S. *The impact of the coronavirus crisis on older industrial Britain*. Sheffield: Sheffield Hallam University; 2021. 60 p.
3. Mierzejewska L. Socio-economic transformation of Poland's largest cities over the years 1998–2008: a multivariate approach. *Rozwój Regionalny i Polityka Regionalna*. 2013;24:83–98.
4. Parysek J. The socio-economic and spatial transformation of Polish cities after 1989. *Dela*. 2004;21:109–119. DOI: 10.4312/dela.21.109-119.
5. Przybyła K. Structural transformations of economic functions of Warsaw. *Research Papers of Wrocław University of Economics*. 2017;476:70–77. DOI: 10.15611/pn.2017.476.06.
6. Лаппо ГМ. Особенности российской урбанизации и их отражение в урбанистической структуре страны. *Региональные исследования*. 2004;1:3–12.
7. Голубчиков ОЮ, Махрова АГ. Факторы неравномерного развития российских городов. *Вестник Московского университета. Серия 5. География*. 2013;2:54–60.
8. Зубаревич НВ, Сафронов СГ. Неравенство социально-экономического развития регионов и городов России 2000-х годов: рост или снижение? *Общественные науки и современность*. 2013;6:15–26.
9. Анимитца ЕГ, Власова НЮ. Эволюция развития и исследования Екатеринбургской городской агломерации. В: Махрова АГ, Агирречу АА, Акименко АД, Сафронов СГ, Шувалов ВЕ, редакторы. *Геоурбанистика и градостроительство: теоретические и прикладные исследования*. Москва: Географический факультет МГУ; 2021. с. 126–140.
10. Фаронова ЮВ, Сафиуллин РГ, Сафиуллина РМ. Иерархия городов Республики Башкортостан по градообразующим функциям. *Доклады Башкирского университета*. 2017;2(1):60–66.
11. Махрова АГ, Голубчиков ОЮ. Российский город в условиях капитализма: социальная трансформация внутригородского пространства. *Вестник Московского университета. Серия 5. География*. 2012;2:26–31.
12. Мезенцев КВ, Мезенцева НИ. Пространственные социально-экономические изменения в Киеве и агломерации. *Социально-экономическая география. Вестник Ассоциации российских географов-обществоведов*. 2012;1:109–123.
13. Мезенцев КВ, Клейко ТИ. Функциональная типизация городов-спутников Киева. *Южно-Российский форум: экономика, социология, политология, социально-экономическая география*. 2015;1:20–29.
14. Руденко ЛГ, Савчук ИГ. Украина: изменения городского пространства. *Український географічний журнал*. 2013;2:48–56.
15. Пирожник ИИ, Антипова ЕА. Пространственная структура городского расселения и характер урбанизации Беларуси в условиях глобализации. *Региональные исследования*. 2013;2:82–93.
16. Красовский КК. Типология городских населенных пунктов и некоторые направления совершенствования системы расселения Беларуси. *Земля Беларуси*. 2006;3:10–14.
17. Красовский КК. Геодемографическое развитие городских структур Беларуси в начале XXI в. *Весті БДПУ. Серія 3. Фізика. Математика. Інформатика. Біялогія. Геаграфія*. 2012;3:35–39.
18. Antipova EA, Fakeyeva LV. Socio-economic transformation of the capital cities (case study of Minsk, Belarus). In: Mądry C, Dirin D, editors. *The economic transformation of the cities and regions in the post-communist countries*. Poznan: Bogucki Wydawnictwo Naukowe; 2014. p. 27–45.
19. Антипова ЕА, Титов АН. Современный портрет белорусского монопрофильного города. *Земля Беларуси*. 2017;2:27–36.
20. Антипова ЕА, Титов АН. Демографические тренды монопрофильных городов Беларуси в XXI в. *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экономика*. 2018;26(3):479–494.

## References

1. Martin R, Sunley P, Tyler P, Gardiner B. Divergent cities in post-industrial Britain. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*. 2016;9(2):269–299. DOI: 10.1093/cjres/rsw005.
2. Beatty C, Fothergill S. *The impact of the coronavirus crisis on older industrial Britain*. Sheffield: Sheffield Hallam University; 2021. 60 p.
3. Mierzejewska L. Socio-economic transformation of Poland's largest cities over the years 1998–2008: a multivariate approach. *Rozwój Regionalny i Polityka Regionalna*. 2013;24:83–98.
4. Parysek J. The socio-economic and spatial transformation of Polish cities after 1989. *Dela*. 2004;21:109–119. DOI: 10.4312/dela.21.109-119.
5. Przybyła K. Structural transformations of economic functions of Warsaw. *Research Papers of Wrocław University of Economics*. 2017;476:70–77. DOI: 10.15611/pn.2017.476.06.
6. Lappo GM. Russian urbanization peculiarities and their reflection in the country's urbanistic structure. *Regional'nye issledovaniya*. 2004;1:3–12. Russian.
7. Golubchikov OYu, Makhrova AG. Factors of unequal development of Russian cities. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya*. 2013;2:54–60. Russian.
8. Zubarevich NV, Safronov SG. [Inequality in the socio-economic development of regions and cities in Russia in the 2000s: growth or decline?]. *Obshchestvennye nauki i sovremennost'*. 2013;6:15–26. Russian.
9. Animitsa EG, Vlasova NYu. [Evolution of development and research of the Yekaterinburg urban agglomeration]. In: Makhrova AG, Agirrechu AA, Akimenko AD, Safronov SG, Shuvalov VE, editors. *Geourbanistika i gradostroitel'stvo: teoreticheskie i prikladnye issledovaniya* [Geourbanistics and urban planning: theoretical and applied research]. Moscow: Faculty of geography of the Lomonosov Moscow State University; 2021. p. 126–140. Russian.
10. Faronova YuV, Safiullin RG, Safiullina RM. The hierarchy of the Republic of Bashkortostan cities by city-forming functions. *Doklady Bashkirskogo universiteta*. 2017;2(1):60–66. Russian.
11. Makhrova AG, Golubchikov OYu. Russian town under capitalism: social transformation of intraurban space. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya*. 2012;2:26–31. Russian.

12. Mezentsev KV, Mezentseva NI. [Spatial socio-economic changes in Kyiv and the agglomeration]. *Sotsial'no-ekonomicheskaya geografiya. Vestnik Assotsiatsii rossiiskikh geografov-obshchestvovedov*. 2012;1:109–123. Russian.
13. Mezentsev KV, Klyuiko TI. [Functional typification of satellite cities of Kyiv]. *Yuzhno-Rossiiskii forum: ekonomika, sotsiologiya, politologiya, sotsial'no-ekonomicheskaya geografiya*. 2015;1:20–29. Russian.
14. Rudenko LG, Savchuk IG. Ukraine: cities space changes. *Ukrainian Geographical Journal*. 2013;2:48–56. Russian.
15. Pirozhnik II, Antipova EA. Spatial structure of urban settlement and trends urbanization Belarus in conditions of globalization. *Regional'nye issledovaniya*. 2013;2:82–93. Russian.
16. Krasovskii KK. Typology of urban settlements and some directions of the improvement of the settling system of Belarus. *Zemlya Belarusi*. 2006;3:10–14. Russian.
17. Krasovskii KK. [Geodemographic development of urban structures in Belarus at the beginning of the 21<sup>st</sup> century]. *Vesci BDPU. Seryja 3. Fizika. Matjematyka. Infarmatyka. Bijalogija. Geografija*. 2012;3:35–39. Russian.
18. Antipova EA, Fakeyeva LV. Socio-economic transformation of the capital cities (case study of Minsk, Belarus). In: Mądry C, Dirin D, editors. *The economic transformation of the cities and regions in the post-communist countries*. Poznan: Bogucki Wydawnictwo Naukowe; 2014. p. 27–45.
19. Antipova EA, Titov AN. Modern portrait of the Belarusian single-industry town. *Zemlya Belarusi*. 2017;2:27–36. Russian.
20. Antipova EA, Titov AN. Demographic trends of the single-industry towns of Belarus in the 21<sup>st</sup> century. *RUDN Journal of Economics*. 2018;26(3):479–494. Russian.

Получена 06.03.2022 / исправлена 21.06.2022 / принята 04.07.2022.  
Received 06.03.2022 / revised 21.06.2022 / accepted 04.07.2022.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДОВ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО И СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ СПЕКТРАЛЬНО-ОТРАЖАТЕЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР БЕЛАРУСИ

Е. В. КАЗЯК<sup>1)</sup>, Ю. С. ДАВИДОВИЧ<sup>1), 2)</sup>, Н. А. ШЕСТАКОВ<sup>1)</sup>

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

<sup>2)</sup>Институт прикладных физических проблем им. А. Н. Севченко БГУ,  
ул. Курчатова, 7, 220045, г. Минск, Беларусь

Приведены результаты использования методов геоинформационного и статистического анализа для изучения спектрально-отражательных характеристик девяти наиболее типичных сельскохозяйственных культур Беларуси. Коэффициенты спектральной яркости и значения нормализованного относительного вегетационного индекса (NDVI) извлечены из мультиспектральных спутниковых снимков Landsat-8 в программном пакете *ENVI* (версия 5.2) и проанализированы на основе методов зональной статистики в программном комплексе *ArcGIS* (версия 10.2) и математико-статистического анализа в программе *Statistica* (версия 10). С применением корреляционного анализа осуществлена верификация спутниковых данных с соответствующими полевыми измерениями, а именно установлена достоверная сильная положительная линейная связь между значениями индекса NDVI, измеренными в полевых условиях специализированным прибором *GreenSeeker*, и значениями индекса NDVI, рассчитанными по спутниковым данным Landsat-8. Оценка характера распределения коэффициентов спектральной яркости и средних значений индекса NDVI в зависимости от вида сельскохозяйственной культуры проведена на основе дисперсионного анализа, позволившего выявить скрытые в спектральных данных закономерности. В частности, в результате применения процедуры множественных сравнений с помощью тестов *post hoc* установлено, какие именно виды культур достоверно отличались друг от друга и в какие даты наблюдались эти различия. Полученные научные результаты были систематизированы и представлены в виде таблиц. Содержащиеся в них данные позволили усовершенствовать алгоритм автоматизированного распознавания рассматриваемых в исследовании сельскохозяйственных культур.

**Ключевые слова:** коэффициенты спектральной яркости; вегетационный индекс; NDVI; корреляционный анализ; дисперсионный анализ; методы зональной статистики; Landsat-8; ГИС.

**Благодарность.** Исследование выполнено при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках научного проекта 15-35-51243.

### Образец цитирования:

Казяк ЕВ, Давидович ЮС, Шестаков НА. Результаты использования методов геоинформационного и статистического анализа для изучения спектрально-отражательных характеристик сельскохозяйственных культур Беларуси. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология.* 2022;2:55–68.  
<https://doi.org/10.33581/2521-6740-2022-2-55-68>

### For citation:

Kaziak AV, Davidovich YS, Shastakou MA. Results of using geoinformation and statistical analysis methods to study spectral reflectance characteristics of agricultural crops of Belarus. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology.* 2022;2:55–68. Russian.  
<https://doi.org/10.33581/2521-6740-2022-2-55-68>

### Авторы:

**Елена Витальевна Казяк** – старший преподаватель кафедры геодезии и космоаэрокартографии факультета географии и геоинформатики.

**Юрий Сергеевич Давидович** – преподаватель кафедры геодезии и космоаэрокартографии факультета географии и геоинформатики<sup>1)</sup>, стажер младшего научного сотрудника лаборатории оптико-физических измерений отдела аэрокосмических исследований<sup>2)</sup>.

**Никита Алексеевич Шестаков** – студент факультета географии и геоинформатики. Научный руководитель – Е. В. Казяк.

### Authors:

**Alena V. Kaziak**, senior lecturer at the department of geodesy and aerospace cartography, faculty of geography and geoinformatics.

[alena.kaziak@gmail.com](mailto:alena.kaziak@gmail.com)

**Yury S. Davidovich**, lecturer at the department of geodesy and aerospace cartography, faculty of geography and geoinformatics<sup>a</sup>, and trainee junior researcher at the laboratory of optical and physical measurements, department of aerospace studies<sup>b</sup>.

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

**Mikita A. Shastakou**, student at the faculty of geography and geoinformatics.

[geo.shestakona@bsu.by](mailto:geo.shestakona@bsu.by)

## RESULTS OF USING GEOINFORMATION AND STATISTICAL ANALYSIS METHODS TO STUDY SPECTRAL REFLECTANCE CHARACTERISTICS OF AGRICULTURAL CROPS OF BELARUS

A. V. KAZIAK<sup>a</sup>, Y. S. DAVIDOVICH<sup>a, b</sup>, M. A. SHASTAKOU<sup>a</sup>

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

<sup>b</sup>A. N. Sevchenko Institute of Applied Physical Problems, Belarusian State University,  
7 Kurčatava Street, Minsk 220045, Belarus

Corresponding author: A. V. Kaziak (alena.kaziak@gmail.com)

The results of using geoinformation and statistical analysis methods to study spectral reflectance characteristics of the nine most typical agricultural crops of Belarus are presented. Spectral brightness coefficients and normalised difference vegetation index (NDVI) values were extracted from Landsat-8 multispectral satellite images in the software package *ENVI* (version 5.2) and analysed based on the methods of zonal statistics in the software complex *ArcGIS* (version 10.2) and mathematical and statistical analysis in the program *Statistica* (version 10). The verification of satellite data with the corresponding field measurements was carried out on the basis of correlation analysis, namely, a reliable strong positive linear relationship between the measured in the field by a specialised GreenSeeker instrument NDVI values and the calculated by Landsat-8 satellite data NDVI values was established. The character of the distribution of spectral brightness coefficients and average NDVI values depending on the type of agricultural crop was assessed using a dispersion analysis, which allowed revealing patterns hidden in the spectral data. In particular, after applying the procedure of multiple comparisons using *post hoc* tests, it was established which types of crops significantly differ from each other and for which dates these differences were observed. The obtained scientific results were systematised and presented in the form of corresponding tables. The data contained in the tables made it possible to improve the methodology of automated recognition of the crops considered in the study.

**Keywords:** spectral brightness coefficients; vegetation index; NDVI; correlation analysis; analysis of variance; zonal statistics methods; Landsat-8; GIS.

**Acknowledgements.** The reported study was funded by the Russian Foundation for Basic Research according to the research project 15-35-51243.

### Введение

В настоящее время в мире сельское хозяйство является одной из ведущих сфер использования данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) [1; 2].

Отражательные свойства сельскохозяйственных культур были достаточно хорошо изучены по материалам наземных и самолетных наблюдений [3; 4]. Однако большинство собранной во второй половине XX в. информации имеет существенные ограничения по использованию в современной цифровой среде.

Начиная с 1980-х гг. изучение спектральных свойств сельскохозяйственной растительности осуществляется на основе спутниковых данных [5; 6]. Современный этап исследований связан с развитием методов обработки преимущественно цифровых многозональных спутниковых снимков [7]. Исследования в данной области проводятся в нескольких направлениях: по спутниковым изображениям изучаются как спектральные свойства групп сельскохозяйственной растительности отдельных регионов России, Казахстана, Украины, Беларуси [8–10], так и узкие спектральные характеристики конкретных видов сельскохозяйственных культур [11–13]. В стратегии планирования агротехнологических решений очень широко применяется геостатистический подход [14]. Для анализа временной и пространственной изменчивости свойств сельскохозяйственных культур и почв в работе [15] были использованы многомерные геостатистические методики (факторный кригинг-анализ). В публикации [16] представлены результаты геостатистического анализа ряда показателей почвенно-растительного покрова, полученных в полевых условиях. При этом установлено, что большинство почвенных параметров достоверно взаимосвязаны и могут быть успешно картированы с применением кригинга, тогда как построение картограмм для растительного покрова на основе этой процедуры является менее эффективным. В статье [17] для статистического анализа спектральных данных сельскохозяйственных культур использованы вегетационные индексы, показатели спектрального расстояния и спектрального угла (по материалам гиперспектральной съемки).

Более детальное изучение работ по исследованию спектральных данных сельскохозяйственной растительности показало, что некоторые авторы утверждают о выявлении тех или иных спектральных

особенностей на основе лишь визуального анализа изображений и, как следствие, не могут подтвердить результаты конкретными количественными показателями. Часто исследования проводятся на основе крайне малых выборок полей, которые нельзя считать репрезентативными для установления каких-либо общих спектральных закономерностей. Нередко изучение спектров осуществляется по снимку только за одну дату, что не позволяет учитывать особенности сезонного развития посевов, существенным образом влияющие на изменение их спектрального отклика.

Цель настоящего исследования – систематизация и анализ количественной спектральной информации, собранной для выявления скрытых спектральных особенностей и закономерностей, которые легли бы в основу автоматизированного дешифрирования видов сельскохозяйственных посевов Беларуси.

Для реализации поставленной цели было необходимо отобрать репрезентативную выборку тестовых полей, сформировать архив спутниковых данных за разные даты в течение сезона вегетации, изучить методы цифровой обработки спутниковых снимков и выбрать наиболее эффективные инструменты геоинформационного и статистического анализа спектрально-отражательных характеристик, графически оформить и проанализировать результаты корреляционного и дисперсионного анализа коэффициентов спектральной яркости (КСЯ) и значений нормализованного относительного вегетационного индекса (*normalised difference vegetation index*, NDVI), рассчитанных для тестовых полигонов.

### Материалы и методы исследования

С учетом сложившейся в Беларуси системы земледелия и структуры посевных площадей в качестве объекта исследования были выбраны наиболее распространенные виды сельскохозяйственных культур – озимая и яровая пшеница, озимая тритикале, яровой ячмень, озимый рапс, кукуруза, многолетние травы, картофель и сахарная свекла. Указанные культуры ежегодно занимают более 90 % всех пахотных земель<sup>1</sup>.

Исходя из базовых основ статистики, для каждого вида посевов были подготовлены репрезентативные выборки, насчитывающие не менее 30 полей с соответствующими посевами (табл. 1).

Таблица 1

Суммарная статистика по тестовым полигонам

Table 1

Summary statistics for test polygons

Культура	Количество полей	Общая площадь, га	Средний размер поля, га
Озимая пшеница	85	8340	76
Озимая тритикале	129	14 774	67
Озимый рапс	109	4624	56
Яровая пшеница	61	2980	83
Яровой ячмень	76	9569	78
Кукуруза	204	17 416	66
Многолетние травы	205	23 056	44
Картофель	60	3122	34
Сахарная свекла	75	7390	111
<i>Всего</i>	<i>1004</i>	<i>91 271</i>	–

Всего для анализа спектральных данных было отобрано более 1000 эталонных площадок, которые в силу своего размера уверенно дешифрировались по материалам космической съемки среднего и высокого пространственного разрешения. Информация о видовой структуре посевов базировалась на результатах полевых объездов территории.

Векторизация тестовых полигонов, создание электронной карты полей и внесение атрибутивной информации о произрастающих на полях культурах выполнены в лицензионном программном комплексе *ArcGIS* (версия 10.2).

В качестве источника спектральных данных сформирован архив мультиспектральных спутниковых снимков Landsat-8, в который вошли 120 изображений, покрывающих исследуемую территорию. Боль-

<sup>1</sup>Сельское хозяйство Республики Беларусь : стат. сб. / Нац. стат. ком. Респ. Беларусь. Минск, 2021. С. 47–48.

шой объем спутниковых данных обусловлен тем, что анализ спектральной информации осуществлялся не по единичным изображениям тестовых полей, а по набору из 5–8 сцен спутника Landsat-8 за разные даты в течение всего сезона вегетации (март – сентябрь).

Эффективность использования материалов ДЗЗ зависит от фотограмметрических особенностей исходного изображения и применяемых методов обработки. Именно на этапе выбора подходящих методов и алгоритмов работы часто возникают затруднения, так как методы в этой области являются преимущественно проблемно ориентированными и общего подхода к анализу изображений не существует [18]. Указанная проблема была решена путем комплексного использования трех групп методов – цифровой обработки материалов ДЗЗ, геоинформационного анализа и математико-статистической обработки данных.

Для унификации данных и обеспечения возможности сопоставления спектральной информации разных сцен спутниковые снимки Landsat-8 прошли предварительную коррекцию с помощью модуля FLAASH (*fast line of sight atmospheric analysis of spectral hypercubes*) лицензионного программного пакета *ENVI* (версия 5.2). Изучение особенностей спектрального отклика различных видов посевов по спутниковым снимкам Landsat-8 осуществлялось двумя способами – на основе анализа КСЯ и путем расчета вегетационного индекса NDVI.

**Изучение особенностей сезонной динамики КСЯ, посевов в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах электромагнитного спектра методами цифровой обработки материалов ДЗЗ.** Для этих целей в программном пакете *ENVI* (версия 5.2) с помощью инструмента ROI (*region of interest*) на предварительно откалиброванные снимки для каждого вида изучаемых посевов были нанесены так называемые области интереса. Их местоположение определялось следующим образом: 1) для ROI отбирались участки с однородным спектральным откликом; 2) входящая в состав ROI территория была свободна от облачности; 3) ROI строились на одних и тех же участках для сравнения спектральных кривых, полученных по снимкам за разные даты.

Из каждой области обработки были извлечены КСЯ, и на их основе в программе *Microsoft Excel* построены графики сезонной динамики значений КСЯ, соответствующие синему ( $\lambda = 480$  нм), зеленому ( $\lambda = 560$  нм), красному ( $\lambda = 650$  нм), ближнему инфракрасному (NIR) ( $\lambda = 860$  нм) и коротковолновому инфракрасному (SWIR) ( $\lambda = 1600$  нм) спектральным каналам спутника Landsat-8 (рис. 1), а также сформированы выборки для последующего математико-статистического анализа.

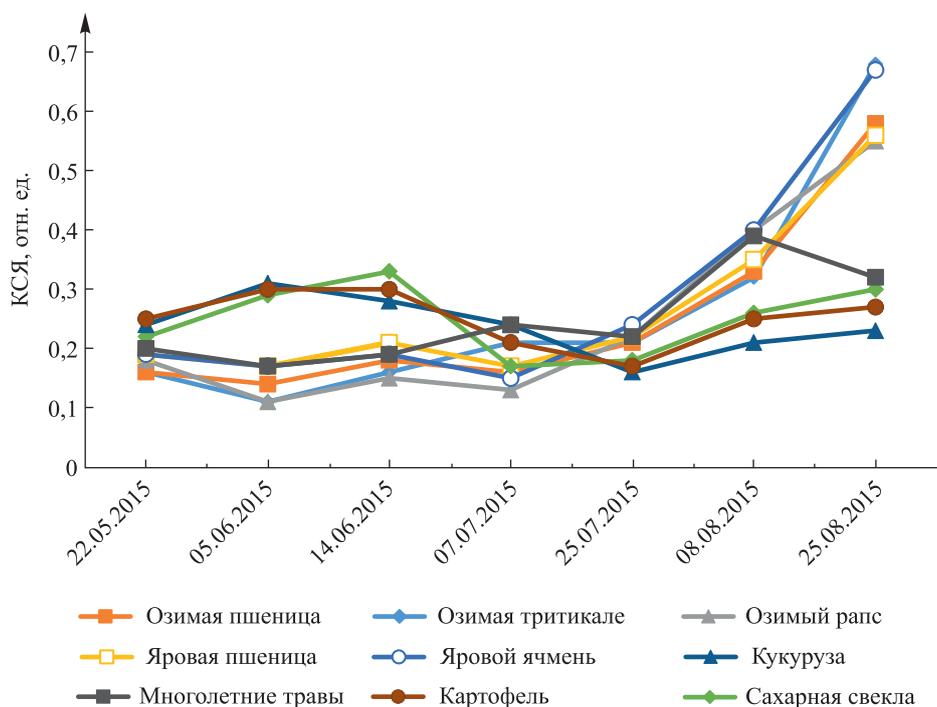


Рис. 1. Пример графика, отображающего распределение значений КСЯ в красном ( $\lambda = 650$  нм) диапазоне электромагнитного спектра

Fig. 1. An example of a graph showing the distribution of the values of spectral brightness coefficients in the red ( $\lambda = 650$  nm) range of the electromagnetic spectrum

**Изучение особенностей сезонной динамики значений вегетационного индекса NDVI методами зональной статистики в ГИС.** Вегетационные индексы – это показатели, полученные в ходе математических операций над разными спектральными каналами данных ДЗЗ и имеющие отношение к параметрам растительности в конкретном пикселе снимка. Одним из наиболее информативных индексов для изучения растительности считается вегетационный индекс NDVI [10]. Он вычисляется как разница интенсивностей отраженного света в ближнем инфракрасном и красном диапазонах, деленная на сумму их интенсивностей. Для расчета вегетационного индекса NDVI в среде *ArcGIS* был разработан алгоритм *NDVI\_selection*, позволяющий в автоматизированном режиме строить временные ряды значений индекса NDVI. В качестве входных данных модель использует красный и ближний инфракрасный (четвертый и пятый) спектральные каналы снимков спутника Landsat-8, прошедших предварительную атмосферную коррекцию (рис. 2).

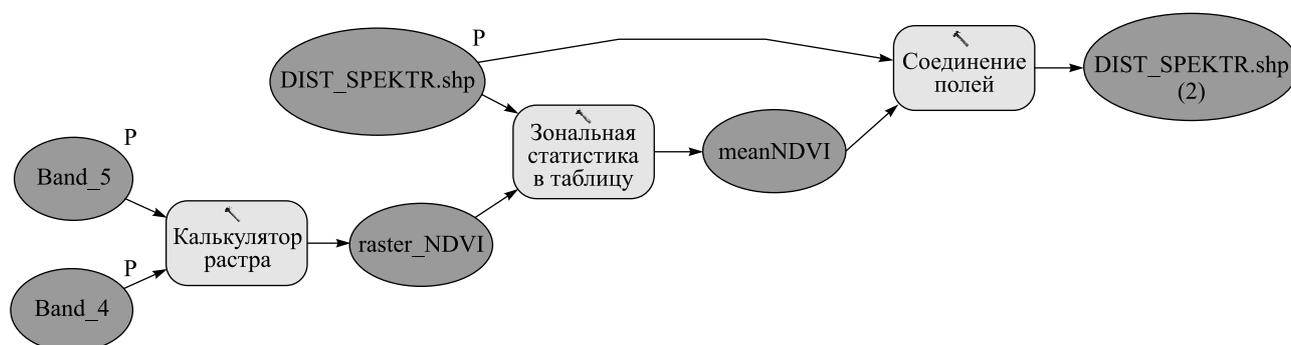


Рис. 2. Схема авторского алгоритма *NDVI\_selection* для автоматизированного построения временных рядов значений индекса NDVI

Fig. 2. Scheme of the author's *NDVI\_selection* algorithm for automated construction of NDVI values time series

В результате выполнения алгоритма *NDVI\_selection* в атрибутивной таблице ГИС-проекта строится столбец с набором усредненных значений индекса NDVI для каждого анализируемого векторного контура (поля). Поскольку для построения временных рядов значений индекса NDVI за весь сельскохозяйственный сезон предполагается использование не менее 5–8 спутниковых снимков, алгоритм *NDVI\_selection* позволяет существенно сократить затраты времени на ручную обработку информации, а также минимизирует количество случайных ошибок, возникающих при работе с большими массивами данных. Из программного комплекса *ArcGIS* значения индекса NDVI были экспортированы в программу *Microsoft Excel* для формирования выборок, необходимых на этапе математико-статистического анализа.

**Математико-статистическая обработка КСЯ и значений вегетационного индекса NDVI.** Для того чтобы подобрать наиболее эффективные статистические тесты, необходимо знать, для какого вида данных (параметрических или непараметрических) они будут применяться. Параметрические тесты (в сравнении с непараметрическими) являются более достоверными и чувствительными к выявлению закономерностей. Параметрические данные должны одновременно удовлетворять трем условиям: содержать в выборке не менее 30 наблюдений, быть непрерывными и иметь близкое к нормальному распределение [15].

Используемые в работе данные являются параметрическими, так как удовлетворяют вышеуказанным условиям. При этом нормальность распределения полученных значений КСЯ и вегетационного индекса NDVI была установлена на основании анализа следующих параметров: объема выборки, среднего арифметического, медианы, коэффициента асимметрии, коэффициента эксцесса, стандартного отклонения. Также к данным были применены тесты на нормальность Колмогорова – Смирнова (Kolmogorov – Smirnov), Лиллиефорса (Lilliefors) и Шапиро – Уилка (Shapiro – Wilk) и на их основе для каждого вида посевов построены соответствующие графики (рис. 3).

Уровень значимости ( $p$ ), полученный по тестам Колмогорова – Смирнова и Лиллиефорса, был больше 0,2, а уровень значимости, полученный по тесту Шапиро – Уилка, превышал 0,05. В таком случае гипотеза нормальности не опровергается, т. е. выборка может иметь нормальное распределение.

После подготовки и проверки данных важно подобрать подходящий метод статистического анализа.

Корреляционный анализ – метод обработки статистических данных, с помощью которого измеряется теснота связи между двумя переменными [19].

Одной из важнейших задач при изучении спектрально-отражательных особенностей растительного покрова по материалам ДЗЗ является верификация спутниковых данных с соответствующими поле-

выми измерениями. Так как индекс NDVI можно измерить наземными (с помощью оптических датчиков) и дистанционными (с применением спутниковой съемки или аэрофотосъемки) методами, то его значения, полученные путем полевых измерений, и соответствующие им спутниковые значения были подвергнуты корреляционному анализу.

В качестве объекта анализа выбран участок с посевами озимой пшеницы площадью 130 га, расположенный в пределах одного из используемых в исследовании полей (координаты центра поля:  $x = 516\,649,733$  м,  $y = 5\,962\,352,635$  м (WGS 84 / UTM zone 35N)). Для этого участка по спутниковому снимку Landsat-8 построено индексное изображение, на котором хорошо виден разброс значений индекса NDVI, свидетельствующий о значительной неоднородности фитомассы озимой пшеницы в пределах тестового поля. По картограмме значений индекса NDVI создана выборка из 30 наиболее репрезентативных участков – исследовательских площадей для полевого отбора показателей NDVI (рис. 4).

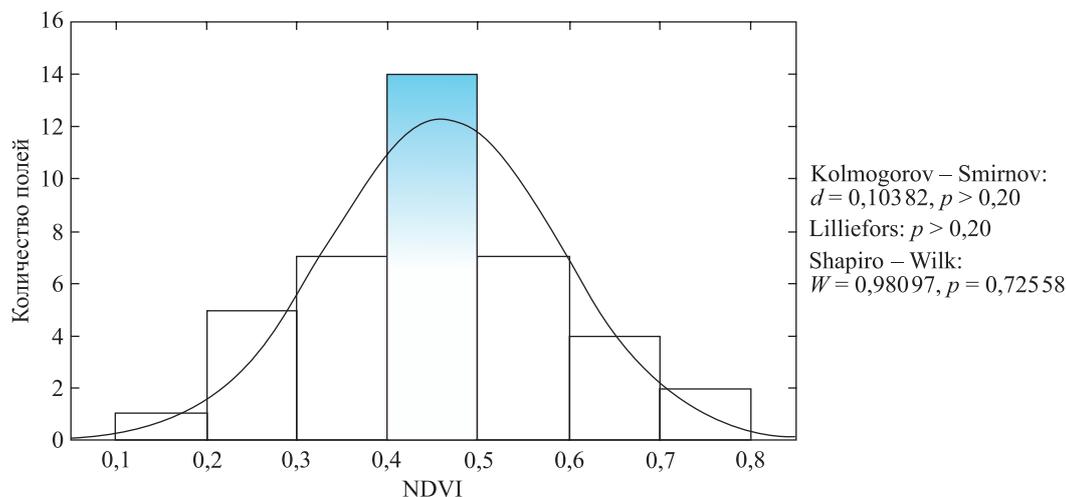


Рис. 3. Внешний вид графика, отображающего нормальное распределение (на примере значений индекса NDVI озимого рапса за 22.05.2015)

Fig. 3. The appearance of the graph showing the normal distribution (using the example of the NDVI values of winter rapeseed for 22.05.2015)

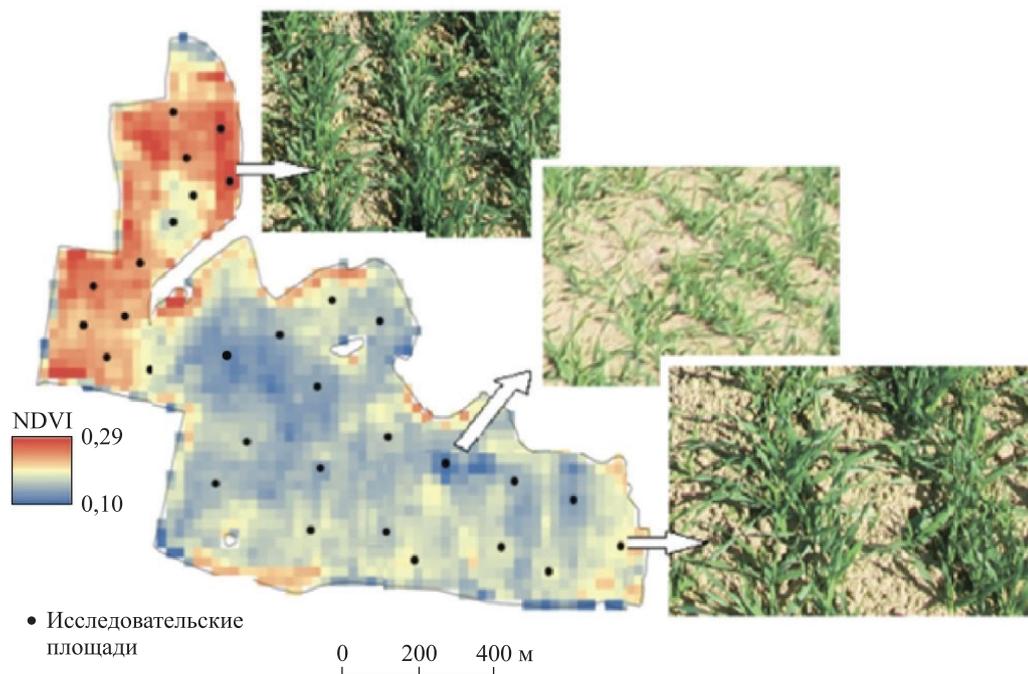


Рис. 4. Картограмма значений индекса NDVI (по спутниковым данным Landsat-8 за 11.04.2015) и внешний вид посевов в местах полевых измерений

Fig. 4. NDVI values cartogram (according to Landsat-8 satellite data for 11.04.2015) and the appearance of crops in field measurement sites

Координаты исследовательских площадей были занесены в GPS-приемник, с помощью которого определено расположение точек выборки на местности. На всех 30 участках измерены значения индекса NDVI с использованием специализированного прибора GreenSeeker, а также проведен визуальный осмотр культур в местах полевых наблюдений.

Мерой линейной взаимосвязи между переменными является коэффициент корреляции ( $r$ ). Его значения по модулю могут варьироваться от 0 до 1. Принимается следующая характеристика тесноты корреляционной связи. Нулевой коэффициент корреляции говорит о том, что значения одной переменной совершенно не связаны со значениями другой переменной. Если коэффициент корреляции равен  $0 \pm 0,4$ , то связь считается слабой. Значения коэффициента корреляции в диапазоне от  $\pm 0,4$  до  $\pm 0,7$  указывают на среднюю тесноту связи, а значения в диапазоне от  $\pm 0,7$  до  $\pm 1,0$  говорят о сильной связи [20].

Для графической демонстрации наличия или отсутствия корреляции между двумя переменными используются диаграммы рассеяния – математические диаграммы, изображающие значения двух переменных в виде точек на декартовой плоскости. Отображаемые на диаграммах рассеяния паттерны позволяют увидеть разные типы корреляции (рис. 5).

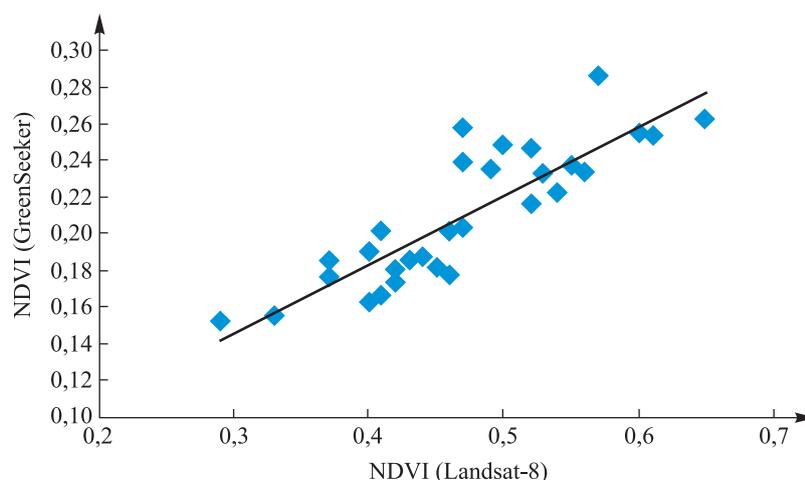


Рис. 5. Диаграмма рассеяния значений индекса NDVI, полученных наземными (GreenSeeker) и спутниковыми (Landsat-8) методами

Fig. 5. Scattering diagram of NDVI values obtained by ground-based (GreenSeeker) and satellite (Landsat-8) methods

В рассматриваемом случае коэффициент корреляции составил 0,84 (при уровне значимости, меньшем 0,05), т. е. диаграмма рассеяния продемонстрировала положительный линейный тип корреляции. Таким образом, можно утверждать, что между полевыми и спутниковыми (рассчитанными по данным Landsat-8) значениями индекса NDVI существует достоверная сильная положительная линейная связь.

Дисперсионный анализ (*analysis of variance*, ANOVA) является одним из методов математической статистики, направленным на поиск зависимостей в экспериментальных данных путем исследования значимости различий их средних значений. На его основе можно утверждать о достоверности установленных различий. Как правило, дисперсионный анализ данных применяется при сравнении трех и более выборок [19].

С учетом того что используемые в исследовании данные распределены по девяти выборкам (по одной выборке на каждый вид исследуемых культур), эти данные были подвергнуты процедуре однофакторного дисперсионного анализа (с уровнем значимости 0,05).

Для проведения дисперсионного анализа необходимо сформулировать и проверить гипотезу, а также рассчитать ее вероятность. Поскольку в настоящем исследовании рассматривались спектральные данные двух типов (КСЯ и значения индекса NDVI), были сформулированы две гипотезы. В качестве первой гипотезы выдвинуто предположение о том, что такой фактор, как вид культуры, влияет на значения КСЯ, полученные в определенные временные срезы. По аналогии составлена вторая гипотеза, предполагающая, что вышеуказанный фактор влияет на значения индекса NDVI.

Для визуализации результатов были построены диаграммы размаха (ящичковые диаграммы) – графики, использующиеся в описательной статистике для сравнения распределений между несколькими группами или наборами данных (рис. 6) [21].

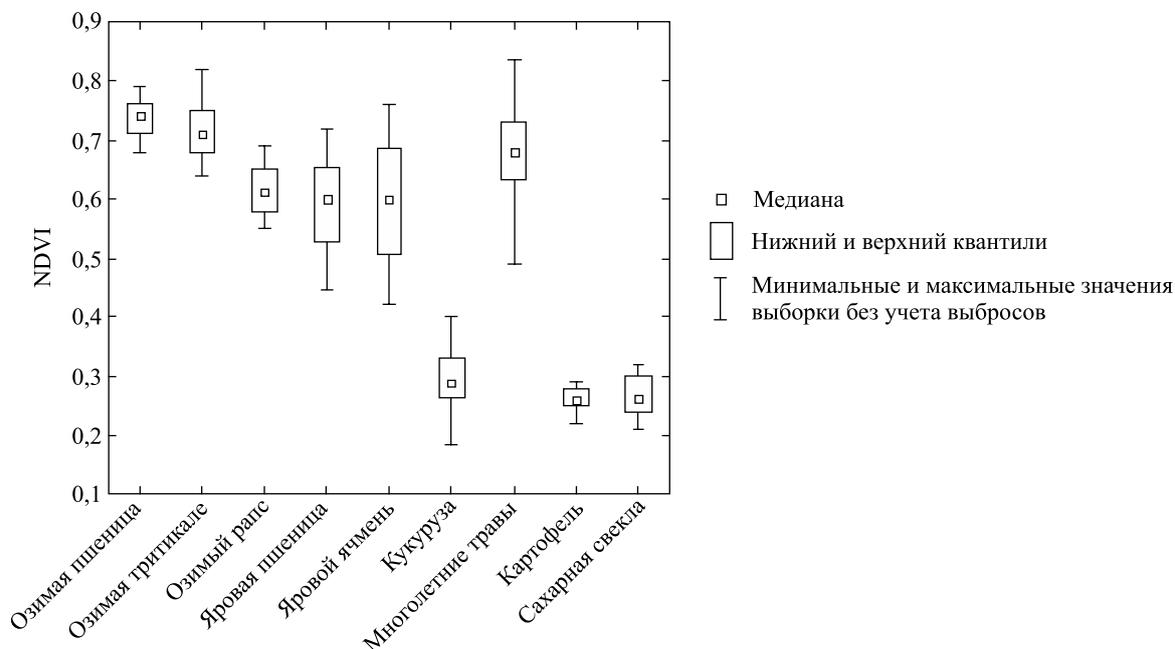


Рис. 6. Пример ящичковой диаграммы, отображающей характер распределения усредненных значений индекса NDVI культур (по спутниковым данным за 22.05.2015)

Fig. 6. An example of a box diagram showing the nature of the distribution of the average NDVI values of crops (according to satellite data for 22.05.2015)

На основе полученных диаграмм проведена оценка характера распределения КСЯ и средних значений индекса NDVI в зависимости от вида сельскохозяйственной культуры. В первом приближении установлено, что исследуемые значения имеют определенные различия. Однако с помощью дисперсионного анализа было невозможно выяснить, между какими именно группами посевов существуют значимые различия. По этой причине после общего дисперсионного анализа для определения того, какое из нескольких сравнений является значимым, проведена процедура множественных сравнений с помощью тестов *post hoc* (по критерию Шеффе). В результате получены матрицы, показывающие, какие именно виды культур достоверно отличались друг от друга и в какие даты наблюдались данные различия (табл. 2).

Таблица 2

Матрица результатов теста *post hoc* для выборок с неравным объемом (на примере значений индекса NDVI за 22.05.2015)

Table 2

Matrix of *post hoc* test results for samples with unequal volume (using the example of NDVI values for 22.05.2015)

Культура	Уровень разделимости								
	Озимая пшеница	Озимая тритикале	Озимый рапс	Яровая пшеница	Яровой ячмень	Кукуруза	Многолетние травы	Картофель	Сахарная свекла
Озимая пшеница	–	0,475 981	0,000 010	0,000 010	0,000 010	0,000 010	0,000 037	0,000 010	0,000 010
Озимая тритикале	0,475 981	–	0,000 010	0,000 010	0,000 010	0,000 010	0,001 145	0,000 010	0,000 010
Озимый рапс	0,000 010	0,000 010	–	0,575 951	0,529 459	0,000 010	0,002 231	0,000 010	0,000 010
Яровая пшеница	0,000 010	0,000 010	0,575 951	–	1,000 000	0,000 010	0,000 012	0,000 010	0,000 010
Яровой ячмень	0,000 010	0,000 010	0,529 459	1,000 000	–	0,000 010	0,000 010	0,000 010	0,000 010
Кукуруза	0,000 010	0,000 010	0,000 010	0,000 010	0,000 010	–	0,000 010	0,447 905	0,568 428

Окончание табл. 2  
Ending table 2

Культура	Уровень разделимости								
	Озимая пшеница	Озимая тритикале	Озимый рапс	Яровая пшеница	Яровой ячмень	Кукуруза	Многолетние травы	Картофель	Сахарная свекла
Многолетние травы	<i>0,000 037</i>	<i>0,001 145</i>	<i>0,002 231</i>	<i>0,000 012</i>	<i>0,000 010</i>	<i>0,000 010</i>	–	<i>0,000 010</i>	<i>0,000 010</i>
Картофель	<i>0,000 010</i>	<i>0,000 010</i>	<i>0,000 010</i>	<i>0,000 010</i>	<i>0,000 010</i>	0,447 905	<i>0,000 010</i>	–	1,000 000
Сахарная свекла	<i>0,000 010</i>	<i>0,000 010</i>	<i>0,000 010</i>	<i>0,000 010</i>	<i>0,000 010</i>	0,568 428	<i>0,000 010</i>	1,000 000	–

Примечание. Курсивом выделены значения достоверно отличающихся от других посевов культур ( $p < 0,05$ ). Остальные значения соответствуют культурам с более высокой долей ошибок в их определении ( $p > 0,05$ ).

Чем выше степень отличия значений индекса NDVI конкретного вида культуры от всех остальных, тем выше вероятность его эффективного дешифрирования.

### Результаты и их обсуждение

Анализ значений КСЯ посевов, полученных для разных диапазонов электромагнитного спектра, позволил сделать ряд заключений об особенностях их спектрального отклика.

1. КСЯ посевов, относящихся к одному виду, но произрастающих на разных тестовых полигонах, были схожи (при условии, что в выбранные для ROI эталонные области попали здоровые, неугнетенные культуры). Отсюда следует, что на спектрально-отражательные характеристики посевов в большей степени влияют локальные условия произрастания и возделывания, чем расположение агроэкосистем в пределах физико-географических областей.

2. Ни в одну из исследуемых дат не выявлено периодов, когда по снимку за одну дату имелись бы достоверные отличия значений КСЯ одновременно для всех видов посевов.

3. КСЯ за одну и ту же дату съемки значительно отличались для одних видов посевов и имели крайне близкие значения для других видов. На основе статистического анализа значений спектрального отклика исследуемые культуры разделены на три группы. К первой группе отнесены озимые зерновые культуры, ко второй – яровые зерновые культуры, к третьей – кукуруза, картофель и сахарная свекла. У посевов озимого рапса и многолетних трав выявлены уникальные особенности спектрального отклика, не позволяющие соотнести их ни с одной из вышеперечисленных групп.

4. В пределах выделенных групп определены наиболее информативные периоды для видового распознавания посевов. Результаты математико-статистической оценки базовых статистических характеристик представлены в табл. 3.

Таблица 3

#### Наличие достоверных различий в спектральном отклике посевов (на основе однофакторного дисперсионного анализа)

Table 3

#### The presence of significant differences in the spectral response of crops (based on one-factor analysis of variance)

Дата	Длина волны электромагнитного излучения				
	$\lambda = 480$ нм	$\lambda = 560$ нм	$\lambda = 650$ нм	$\lambda = 860$ нм	$\lambda = 1600$ нм
<i>Озимая тритикале и озимая пшеница</i>					
20.05.2015	–	–	–	–	–
05.06.2015	–	–	–	+	–
14.06.2015	–	–	–	–	–
07.07.2015	–	–	–	–	–
25.07.2015	–	–	–	–	–
08.08.2015	–	–	–	–	–

Дата	Длина волны электромагнитного излучения				
	$\lambda = 480$ нм	$\lambda = 560$ нм	$\lambda = 650$ нм	$\lambda = 860$ нм	$\lambda = 1600$ нм
<i>Яровой ячмень и яровая пшеница</i>					
20.05.2015	–	+	+	–	+
05.06.2015	–	–	–	–	+
14.06.2015	–	–	–	–	–
07.07.2015	–	–	–	+	–
25.07.2015	–	–	–	–	–
08.08.2015	–	–	–	–	–
<i>Кукуруза, картофель и сахарная свекла</i>					
20.05.2015	–	–	–	–	–
05.06.2015	–	–	–	–	–
14.06.2015	–	–	–	–	–
07.07.2015	–	–	–	–	–
25.07.2015	–	–	–	–	–
08.08.2015	–	+	–	+ (кукуруза)	–
24.08.2015	–	+ (кукуруза)	+ (кукуруза)	+	+
18.09.2015	–	+	+	+ (картофель)	+

Пр и м е ч а н и я: 1. Знаком «плюс» обозначено достоверное отличие видов культур, знаком «минус» – отсутствие достоверного отличия (уровень значимости 0,05). 2. Если достоверные отличия наблюдаются только у одного вида в пределах группы, в скобках приводится название этого вида.

Наиболее узкие временные рамки дешифрирования определены для посевов озимых зерновых культур. Информативный для разделения озимой пшеницы и озимой тритикале период захватывает промежуток с начала до середины июня и наблюдается только в ближнем инфракрасном канале.

Для яровых зерновых культур наиболее информативными для классификации были спектральные данные, полученные в зеленом, красном и ближнем коротковолновом инфракрасном (SWIR) каналах в период со второй половины мая до начала июня, а также в ближнем инфракрасном (NIR) канале в начале июля.

У посевов кукурузы, картофеля и сахарной свеклы наиболее достоверные различия наблюдаются во второй половине августа – начале сентября в ближних инфракрасных каналах. При этом различия в значениях КСЯ чаще всего отмечались для одного из трех видов посевов в пределах группы.

Геоинформационная обработка и математико-статистический анализ значений индекса NDVI также способствовали получению новых научных сведений.

1. Осуществлена верификация спутниковых данных Landsat-8 с соответствующими полевыми измерениями. С учетом результатов корреляционного анализа и сильной положительной связи, выявленной между полевыми и дистанционными значениями индекса NDVI, сделан вывод, что мультиспектральные снимки спутника Landsat-8 могут быть использованы в качестве альтернативного полевым данным источника информации о количестве фотосинтетически активной фитомассы и характере сезонного развития посевов.

2. На основе сопоставления сроков увеличения или снижения значений индекса NDVI у различных видов культур, а также анализа базовых статистических характеристик сделан вывод, что сезонные значения индекса NDVI могут использоваться при детектировании отдельных видов или групп сельскохозяйственных культур. По характеру распределения значений индекса NDVI исследуемые посевы объединены в три группы. В первую группу попали озимые зерновые культуры, озимый рапс и многолетние травы, во вторую – яровые зерновые культуры, в третью – сахарная свекла, кукуруза и картофель. Результаты математико-статистической оценки представлены в табл. 4.

Таблица 4

Достоверность взаимного отличия значений индекса NDVI исследуемых культур  
в разные периоды времени (на основе дисперсионного анализа)

Table 4

The reliability of the mutual difference of the NDVI values of the studied cultures  
in different time periods (based on the analysis of variance)

Дата	Первая группа				Вторая группа		Третья группа		
	Озимая пшеница	Озимая тритикале	Озимый рапс	Многолетние травы	Яровая пшеница	Яровой ячмень	Сахарная свекла	Кукуруза	Картофель
09.03.2015	+				-		-		
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25.03.2015	+				-		-		
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10.04.2015	+				-		-		
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19.04.2015	+				-		-		
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26.04.2015	+				-		-		
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12.05.2015	-				-		-		
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22.05.2015	-				-		+		
	-	-	+	-	-	-	-	-	-
06.06.2015	-				-		+		
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14.06.2015	-				+		-		
	-	-	-	-	-	-	-	-	+
07.07.2015	-				-		-		
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25.07.2015	+				+		+		
	-	-	-	+	-	-	+	-	-
08.08.2015	-				-		+		
	-	-	-	+	-	-	+	-	-
25.08.2015	-				-		+		
	-	-	-	+	-	-	+	-	+
17.09.2015	-				-		+		
	-	-	-	+	-	-	+	+	+

Примечания: 1. Знаком «плюс» обозначено достоверное отличие от остальных групп или видов культур, знаком «минус» – отсутствие достоверного отличия. 2. Для каждой даты в верхней строке указана достоверность распознавания групп посевов, а в нижней строке – результаты разделения отдельных видов посевов.

За весь сезон вегетации возможность достоверного разделения трех групп посевов одновременно по единичному снимку была установлена лишь в одну дату – 25.07.2015. Это можно объяснить тем, что во второй половине июля посевы озимых культур преимущественно убраны с полей и характеризуются более низкими значениями индекса NDVI, чем яровые зерновые культуры. В остальное время можно было отделить лишь одну группу посевов от двух других групп.

Для первой группы оптимальные сроки отмечены в ранневесенний период (март – начало мая), когда засеянные озимыми культурами и многолетними травами поля характеризуются более высокими значениями индекса NDVI.

У второй группы посевов, кроме общего для всех групп периода (вторая половина июля), была отмечена лишь одна репрезентативная дата для распознавания – 14.06.2015, так как в период с середины до конца июня посевы яровых зерновых культур достигают значительного объема фитомассы и имеют более высокие, чем у других культур, значения вегетационного индекса. Отделение третьей группы от остальных возможно по снимкам, полученным не ранее конца июля – начала августа.

Достоверное разделение отдельных видов посевов внутри групп, несмотря на некоторые различия средних значений индекса NDVI, было возможно лишь в редких случаях.

Наибольшие различия отмечены между культурами третьей группы, тогда как для достоверного разделения зерновых культур не удалось выявить ни одной даты в течение вегетационного сезона. Посевы зерновых культур часто трудно различимы даже в полевых условиях, что на дистанционных материалах проявляется в виде крайне большой схожести значений индекса NDVI и их высокой вариабельности.

По значениям индекса NDVI посевы рапса детектируются хуже, чем по ранее выявленным дешифровочным признакам. Для отделения рапса от других озимых культур может быть использовано только характерное уменьшение значений индекса NDVI во второй половине мая.

Распознавание многолетних трав по единичному индексному изображению затруднено как их большим видовым разнообразием (люцерна, клевер, злаково-бобовые смеси и пр.), так и различием в количестве и времени укосов. По этой же причине у многолетних трав наблюдается уникальный сезонный ход значений индекса NDVI, при этом точность определения их посевов на основе временных рядов значений индекса NDVI может достигать 99 % и более.

3. На основе вышеуказанных результатов предложены пороговые значения вегетационного индекса, позволяющие проводить разделение общего массива значений индекса NDVI посевов на определенные группы.

Полученные данные свидетельствуют о том, что дешифрирование видового состава сельскохозяйственных культур осуществимо для посевов многолетних трав, озимого рапса и пропашных культур (сахарная свекла, кукуруза, картофель), тогда как выделение конкретных видов зерновых культур по временным рядам значений индекса NDVI не представляется возможным.

Важно отметить, что обнаружение достоверного влияния вида посевов на значения индекса NDVI еще не гарантирует разделения сельскохозяйственных культур между собой по значениям вегетационного индекса. Об этом можно судить по результатам дискриминантного анализа, реализованного путем классификации с обучением в программном комплексе *ENVI*.

### Заключение

Из вышеизложенной информации следует, что комплексное использование методов цифровой обработки материалов ДЗЗ, геоинформационного анализа и математико-статистической обработки данных является крайне эффективным для изучения сельскохозяйственной растительности по материалам ДЗЗ, а также для верификации спутниковых снимков с соответствующими полевыми измерениями.

На основе вышеперечисленных методов были проанализированы спектрально-отражательные свойства наиболее типичных для Беларуси культур. Показана возможность изучения видовой структуры посевов озимой и яровой пшеницы, озимой тритикале, озимого рапса, ярового ячменя, кукурузы, сахарной свеклы, картофеля и многолетних трав по спектральным характеристикам спутниковых изображений Landsat-8. Выявлены закономерности сезонного развития сельскохозяйственной растительности и особенности ее спектрального отклика. Для каждого вида культур определены наиболее оптимальные сроки дешифрирования и сформирована электронная библиотека спектральных данных.

Полученные результаты легли в основу оригинальной авторской регионально адаптированной методики геоинформационного картографирования пространственной структуры агроэкосистем Беларуси, позволяющей на основе мультиспектральных спутниковых снимков повысить эффективность автоматизированного распознавания видовой структуры сельскохозяйственных культур с общей точностью выше 85 % (при использовании алгоритма классификации с обучением по методу максимального правдоподобия).

### Библиографические ссылки

1. Кравцов СЛ, Голубцов ДВ, Лисова ЕН. Анализ спектральных каналов для дистанционного мониторинга состояния растительности (по зарубежным публикациям). *Исследование Земли из космоса*. 2013;1:79–91. DOI: 10.7868/S020596141301003X.
2. Терехин ЭА. Оценка пространственно-временных изменений в зеленой фитомассе аграрной растительности с использованием спектрально-отражательных признаков. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2021;18(1):138–148. DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-1-138-148.

3. Кринов ЕЛ. *Спектральная отражательная способность природных образований*. Москва: Издательство АН СССР; 1947. 272 с.
4. Кочубей СМ, редактор. *Применение методов дистанционной диагностики в сельском хозяйстве*. Киев: Наукова думка; 1989. 150 с.
5. Asrar G, Fuchs M, Haltfield JL. Estimating absorbed photosynthetic radiation and leaf area index from spectral reflectance in wheat. *Agronomy Journal*. 1984;76:300–306. DOI: 10.2134/agronj1984.00021962007600020029x.
6. Кондратьев КЯ, Козодеров ВВ, Федченко ПП. *Аэрокосмические исследования почв и растительности*. Ленинград: Гидрометеониздат; 1986. 232 с.
7. Станкевич СА, Пестова ИА. Картирование изменений растительного покрова Киевской агломерации на основе долговременных временных рядов многоспектральных космических снимков Landsat. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2014;11(2):187–196.
8. Белорустцева ЕВ. Мониторинг состояния сельскохозяйственных угодий Нечерноземной зоны Российской Федерации. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2012;9(1):57–64.
9. Повх ВИ, Гарбузов ГП, Шляхова ЛА. Космический мониторинг сельскохозяйственных угодий Ростовской области. *Исследование Земли из космоса*. 2006;3:89–96.
10. Мышлякоў С. Картаграфаванне пасаваў сельскагаспадарчых культур па касмічных здымках для ўнутрыгаспадарчага землеўпарадкавання і аўтарскага нагляду. *Земля Беларусі*. 2012;1:52–56.
11. Гурова ТА, Клименко ДН, Луговская ОС, Елкин ОВ, Козик ВИ. Спектральные характеристики сортов пшеницы при биотическом стрессе. *Достижения науки и техники АПК*. 2019;33(10):71–75. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-11016.
12. Труфляк ЕВ, Скубиев СИ, Цыбулевский ВВ. Дистанционный мониторинг посевов риса и алгоритм выявления неоднородностей. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2019;16(3):110–124. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-110-124.
13. Давидович ЮС. Изменение спектральной отражательной способности рапса в зависимости от степени увлажнения почв. В: *Материалы 18-й Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»; 16–20 ноября 2020 г.; Москва, Россия*. Москва: ИКИ РАН; 2020. с. 313. DOI: 10.21046/18DZZconf-2020a.
14. Захарян ЮГ, Янко ЮГ. Геоestatистика в сельскохозяйственной науке с учетом глобального изменения климата при стратегии планирования агротехнологических решений. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2022;19(2):70–78. DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-2-70-78.
15. Casa R, Castrignanò A. Analysis of spatial relationships between soil and crop variables in a durum wheat field using a multivariate geostatistical approach. *European Journal of Agronomy*. 2008;28(3):331–342. DOI: 10.1016/j.eja.2007.10.001.
16. Sidorova VA, Zhukovskii EE, Lekomtsev PV, Vakushev VV. Geostatistical analysis of the soil and crop parameters in a field experiment on precision agriculture. *Eurasian Soil Science*. 2012;45(8):783–792. DOI: 10.1134/S1064229312080066.
17. Yang Chenghai, Everitt JH. Using spectral distance, spectral angle and plant abundance derived from hyperspectral imagery to characterize crop yield variation. *Precision Agriculture*. 2012;13(1):62–75. DOI: 10.1007/s11119-011-9248-z.
18. Кочуб ЕВ, Топаз АА. Анализ методов обработки материалов дистанционного зондирования Земли. *Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F*. 2012;16:132–140.
19. Волкова ПА, Шипунов АБ. Статистическая обработка данных в учебно-исследовательских работах. Багринцева ЮА, Каплан БМ, Сиднева ЕН, редакторы. Москва: Экспресс; 2008. 60 с.
20. Чертко НК, Карпиченко АА. Математические методы в географии. Акулич НФ, редактор. Минск: БГУ; 2009. 199 с.
21. Захарян ЮГ, Комаров АА. Перспективы использования геоestatистики для анализа состояния растений по данным дистанционного зондирования Земли. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2019;16(3):140–148. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-140-148.

## References

1. Kravtsov SL, Golubtsov DV, Lisova AM. Optimal spectral channels of aerospace equipment for vegetation remote sensing monitoring (foreign publications review by the problem). *Issledovanie Zemli iz kosmosa*. 2013;1:79–91. Russian. DOI: 10.7868/S020596141301003X.
2. Terekhin EA. Assessment the spatial-temporal changes in green phytomass of agricultural vegetation using spectral response. *Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space*. 2021;18(1):138–148. Russian. DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-1-138-148.
3. Krinov EL. *Spektral'naya otrazhatel'naya sposobnost' prirodnykh obrazovaniy* [Spectral reflectivity of natural formations]. Moscow: Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR; 1947. 272 p. Russian.
4. Kochubey SM, editor. *Primenenie metodov distantsionnoi diagnostiki v sel'skom khozyaistve* [Application of remote diagnostics methods in agriculture]. Kyiv: Naukova dumka; 1989. 150 p. Russian.
5. Asrar G, Fuchs M, Haltfield JL. Estimating absorbed photosynthetic radiation and leaf area index from spectral reflectance in wheat. *Agronomy Journal*. 1984;76:300–306. DOI: 10.2134/agronj1984.00021962007600020029x.
6. Kondratyev KYa, Kozoderov VV, Fedchenko PP. *Aerokosmicheskie issledovaniya pochvy i rastitel'nosti* [Aerospace studies of soils and vegetation]. Leningrad: Gidrometeoizdat; 1986. 232 p. Russian.
7. Stankevich SA, Piestova IA. Vegetation cover changes mapping within Kiev metropolis agglomeration using long-term time series of Landsat multispectral satellite imagery. *Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space*. 2014;11(2):187–196. Russian.
8. Belorustseva EV. [Monitoring of economic use of the agricultural designation lands in the Non-Chernozem Soil Zone of the Russian Federation]. *Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space*. 2012;9(1):57–64. Russian.
9. Povkh VI, Garbuzov GP, Shlyakhova LA. Agricultural lands monitoring for Rostov Region from space. *Issledovanie Zemli iz kosmosa*. 2006;3:89–96. Russian.
10. Myshliakov S. Mapping of crops using satellite images for land management and designer's supervision. *Zemlya Belarusi*. 2012;1:52–56. Belarusian.

11. Gurova TA, Klimenko DN, Lugovskaya OS, Elkin OV, Kozik VI. Spectral characteristics of wheat varieties under biotic stress. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2019;33(10):71–75. Russian. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-11016.
12. Truflyak EV, Skubiev SI, Tsybulevsky VV. Rice crops remote monitoring and heterogeneities detection algorithm. *Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space*. 2019;16(3):110–124. Russian. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-110-124.
13. Davidovich YS. [Change in the spectral reflectivity of rapeseed depending on the degree of soil moisture]. In: *Materialy 18-i Vserossiiskoi otкрыtoy konferentsii «Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa»; 16–20 noyabrya 2020 g.; Moskva, Rossiya* [Materials of the 18<sup>th</sup> All-Russian open conference «Modern problems of remote sensing of the Earth from space»; 2020 November 16–20; Moscow, Russia]. Moscow: Institute of Space Research of the Russian Academy of Sciences; 2020. p. 313. Russian. DOI: 10.21046/18DZZconf-2020a.
14. Zakharyan YG, Yanko YG. Geostatistics in agricultural science taking into account global climate change in the strategy of regulating agrotechnological solutions. *Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space*. 2022;19(2):70–78. Russian. DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-2-70-78.
15. Casa R, Castrignanò A. Analysis of spatial relationships between soil and crop variables in a durum wheat field using a multivariate geostatistical approach. *European Journal of Agronomy*. 2008;28(3):331–342. DOI: 10.1016/j.eja.2007.10.001.
16. Sidorova VA, Zhukovskii EE, Lekomtsev PV, Vakushev VV. Geostatistical analysis of the soil and crop parameters in a field experiment on precision agriculture. *Eurasian Soil Science*. 2012;45(8):783–792. DOI: 10.1134/S1064229312080066.
17. Yang Chenghai, Everitt JH. Using spectral distance, spectral angle and plant abundance derived from hyperspectral imagery to characterize crop yield variation. *Precision Agriculture*. 2012;13(1):62–75. DOI: 10.1007/s11119-011-9248-z.
18. Kochub EV, Topaz AA. Analysis of the methods of processing of the materials from Earth remote sensing. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya F*. 2012;16:132–140. Russian.
19. Volkova PA, Shipunov AB. *Statisticheskaya obrabotka dannykh v uchebno-issledovatel'skikh rabotakh* [Statistical processing of data in education and research]. Bagrintseva YuA, Kaplan BM, Sidneva EN, editors. Moscow: Ecopress; 2008. 60 p. Russian.
20. Chertko NK, Karpichenko AA. *Matematicheskie metody v geografii* [Mathematical methods in geography]. Akulich NF, editor. Minsk: Belarusian State University; 2009. 199 p. Russian.
21. Zakharyan YG, Komarov AA. Prospects for geostatistics application for analyzing plant state on the basis of remote sensing data. *Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space*. 2019;16(3):140–148. Russian. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-140-148.

Получена 26.04.2022 / исправлена 27.06.2022 / принята 04.07.2022.  
Received 26.04.2022 / revised 27.06.2022 / accepted 04.07.2022.

## ОСОБЕННОСТИ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ НА ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ СОЮЗНОГО ГОСУДАРСТВА РОССИИ И БЕЛАРУСИ В НАЧАЛЕ XXI в.

Ю. П. ПЕРЕВЕДЕНЦЕВ<sup>1)</sup>, П. С. ЛОПУХ<sup>2)</sup>, Ю. А. ГЛЕДКО<sup>2)</sup>, Е. С. БЕРЕЖКОВА<sup>2)</sup>,  
ВАН ХАО<sup>2)</sup>, Т. В. ШЛЕНДЕР<sup>2),3)</sup>

<sup>1)</sup>Казанский (Приволжский) федеральный университет,  
ул. Кремлевская, 18, 420008, г. Казань, Россия

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

<sup>3)</sup>Национальный научно-исследовательский центр мониторинга озоносферы БГУ,  
ул. Курчатова, 7, 220045, г. Минск, Беларусь

Представлена оценка изменений термического режима территории Беларуси и европейской части России. Исследованы региональные особенности трансформации климата, происходящие на фоне выявленных глобальных изменений. Отмечено, что в рассматриваемом регионе во все месяцы года температура воздуха повышается с различной скоростью. Более интенсивно потепление происходит в декабре – марте. Установлена зависимость термического режима от типа атмосферной циркуляции. Рассмотрена динамика пожароопасной обстановки на территории Беларуси, указывающая на рост показателя пожароопасности в последние годы в связи с дефицитом осадков и волнами тепла. Проведен анализ повторяемости опасных метеорологических явлений, выявлен рост числа случаев с грозой и градом, ливнями и гололедом, а также изучены колебания уровня стратосферного озона и случаев внезапных стратосферных потеплений, с которыми связаны температурные аномалии на территории Беларуси.

**Ключевые слова:** потепление; климат; температура; тренд; корреляция; опасные метеорологические явления; пожароопасность; озон.

### Образец цитирования:

Переведенцев ЮП, Лопух ПС, Гледко ЮА, Бережкова ЕС, Ван Хао, Шлендер ТВ. Особенности климатических изменений на европейской территории Союзного государства России и Беларуси в начале XXI в. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология.* 2022; 2:69–87.

<https://doi.org/10.33581/2521-6740-2022-2-69-87>

### For citation:

Perevedentsev YuP, Lopuch PS, Hledko YA, Berezhkova KS, Van Khao, Schlender TV. Features of climate change in the European territory of the Union State of Russia and Belarus. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology.* 2022;2:69–87. Russian.

<https://doi.org/10.33581/2521-6740-2022-2-69-87>

### Авторы:

**Юрий Петрович Переведенцев** – доктор географических наук, профессор; профессор кафедры метеорологии, климатологии и экологии атмосферы Института экологии и природопользования.

**Петр Степанович Лопух** – доктор географических наук, профессор; профессор кафедры общего землеведения и гидрометеорологии факультета географии и геоинформатики.

**Юлия Александровна Гледко** – кандидат географических наук, доцент; заведующий кафедрой общего землеведения и гидрометеорологии факультета географии и геоинформатики.

**Екатерина Сергеевна Бережкова** – старший преподаватель кафедры общего землеведения и гидрометеорологии факультета географии и геоинформатики.

**Ван Хао** – соискатель кафедры общего землеведения и гидрометеорологии факультета географии и геоинформатики.

**Тимофей Викторович Шлендер** – преподаватель кафедры общего землеведения и гидрометеорологии факультета географии и геоинформатики<sup>2)</sup>, научный сотрудник лаборатории биофотоники<sup>3)</sup>.

### Authors:

**Yuri P. Perevedentsev**, doctor of science (geography), full professor; professor at the department of meteorology, climatology and atmospheric environment, Institute of environmental sciences.

[ypereved@kpfu.ru](mailto:ypereved@kpfu.ru)

**Petr S. Lopuch**, doctor of science (geography), full professor; professor at the department of Earth science and hydrometeorology, faculty of geography and geoinformatics.

[lopuch49@mail.ru](mailto:lopuch49@mail.ru)

**Yulia A. Hledko**, PhD (geography), docent; head of the department of Earth science and hydrometeorology, faculty of geography and geoinformatics.

[gledko74@mail.ru](mailto:gledko74@mail.ru)

**Katsiaryna S. Berezhkova**, senior lecturer at the department of general geography of the Earth and hydrometeorology, faculty of geography and geoinformatics.

[katarina0704@tut.by](mailto:katarina0704@tut.by)

**Van Khao**, applicant at the department of general geography and hydrometeorology, faculty of geography and geoinformatics.

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

**Tsimafei V. Schlender**, lecturer at the department of general geography and hydrometeorology, faculty of geography and geoinformatics<sup>2)</sup>, and researcher at the laboratory of biophotonics<sup>3)</sup>.

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

## FEATURES OF CLIMATE CHANGE IN THE EUROPEAN TERRITORY OF THE UNION STATE OF RUSSIA AND BELARUS AT THE BEGINNING OF THE 21<sup>st</sup> CENTURY

*Yu. P. PEREVEDENTSEV<sup>a</sup>, P. S. LOPUCH<sup>b</sup>, Y. A. HLEDKO<sup>b</sup>,  
K. S. BEREZHKOVA<sup>b</sup>, VAN KHAO<sup>b</sup>, T. V. SCHLENDER<sup>b, c</sup>*

<sup>a</sup>*Kazan Federal University, 18 Kremlyovskaya Street, Kazan 420008, Russia*

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

<sup>c</sup>*National Research Centre for Ozonosphere Monitoring, Belarusian State University,  
7 Kurčatava Street, Minsk 220045, Belarus*

*Corresponding author: P. S. Lopuch (lopuch49@mail.ru)*

The article is devoted to the assessment of changes in the thermal regime the Republic of Belarus and the European territory of Russia. The relevance of the topic is due to the need to study regional climatic changes in the context of modern global warming. As a result of the study, it was revealed that in the region in the period 1900–2019 in all months of the year the air temperature rises at different rates. Warming occurs more intensely during the December – March period. The dependence of the thermal regime on the type of circulation modes has been established. The fire hazard on the territory of Belarus, the dynamics of dangerous meteorological phenomena depending on the navigation period and the distribution of stratospheric ozone as one of the most important climatic factors are considered.

**Keywords:** warming; climate; temperature; trend; correlation; dangerous meteorological phenomena; fire hazard; ozone.

### Введение

Рассмотрение проблемы современных глобальных и региональных изменений климата актуально в связи с необходимостью обеспечения безопасности государств от неблагоприятных последствий этих изменений. Согласно публикациям [1; 2] вследствие возрастания в атмосфере концентрации парниковых газов наблюдается непрерывный рост глобальной приповерхностной температуры, который продолжается и в XXI в. Известно, что потепление в разных регионах Земли происходит с различной скоростью. Наиболее интенсивно оно проявляется в Арктике (так называемое арктическое ускорение потепления) и высоких широтах Северного полушария. Анализ этих изменений – новое и главное научное направление в изучении современного климата.

В частности, в работах [3; 4] представлена динамика температурно-влажностного режима в Поволжье и Предуралье в XIX–XXI вв. В настоящей статье географические рамки исследования расширены благодаря сотрудничеству климатологов Казанского (Приволжского) федерального университета и Белорусского государственного университета в рамках совместного проекта «Многолетние и сезонные особенности изменения климата и их экстремальных проявлений на территории России и Беларуси». Результатом этих исследований должно стать решение проблемы адаптации к новым климатическим условиям.

Объектом изучения являются региональные особенности потепления климата, его влияние на различные секторы экономики. Основой исследований послужили данные инструментальных измерений гидрометеорологической сети наблюдений Белгидромета и Росгидромета, а также других профильных организаций.

Цель работы – оценить происходящие на территории Союзного государства России и Беларуси климатические изменения и их влияние на различные секторы экономики, а также выявить негативные последствия глобального потепления и социально-экономических явлений. В настоящей статье освещены первые итоги исследований в данной предметной области, позволяющие наметить пути дальнейших перспективных научных разработок.

### Материалы и методы исследования

На основании данных длиннорядных метеорологических станций за 1900–2019 гг. (в некоторых случаях за 1900–2021 гг.) рассмотрена изменчивость температурного режима Беларуси и европейской части России. Построены карты пространственного распределения температуры воздуха для различных месяцев и сезонов, а также для года в целом. Дополнительно созданы карты пространственного распределения коэффициентов корреляции между средней температурой всего рассматриваемого региона и температурой отдельных станций для января и июля, а также зимнего и летнего сезонов.

В процессе исследования использовалась база фактических гидрометеорологических данных Белгидромета (42 метеостанции) за время инструментальных наблюдений с акцентом на период устойчивого климатического потепления (1989–2021).

Рассмотрены пространственно-временные тенденции изменения опасных метеорологических явлений за 1975–2021 гг. Исследована динамика пожароопасной обстановки за 1990–2019 гг. по 118 районам Беларуси. Динамика лесных пожаров проанализирована по десятилетним периодам.

Для изучения атмосферного озона использовались данные наблюдений (1980–2021) за атмосферным озоном в Национальном научно-исследовательском центре мониторинга озоносферы БГУ на Минской озонометрической станции. На основе данных прибора «ПИОН-УФ» (Национальный научно-исследовательский центр мониторинга озоносферы БГУ, Беларусь) и спутниковых измерений проводился ежегодный анализ состояния озонового слоя и особенностей динамики общего содержания озона, результаты которого публиковались в экологическом бюллетене «Состояние природной среды Беларуси».

### Результаты и их обсуждение

**Температура воздуха и атмосферная циркуляция.** Для общей характеристики фона температурных изменений рассматриваемой территории приведены средние многолетние значения средневековой приземной температуры воздуха Беларуси и европейской части России (рис. 1).

Для оценки влияния циркуляционных колебаний рассчитывались коэффициенты корреляции между индексами AO, NAO, EAWR, SCAND и температурой воздуха всех станций в январе и июле в 1900–2019 гг. (рис. 2).

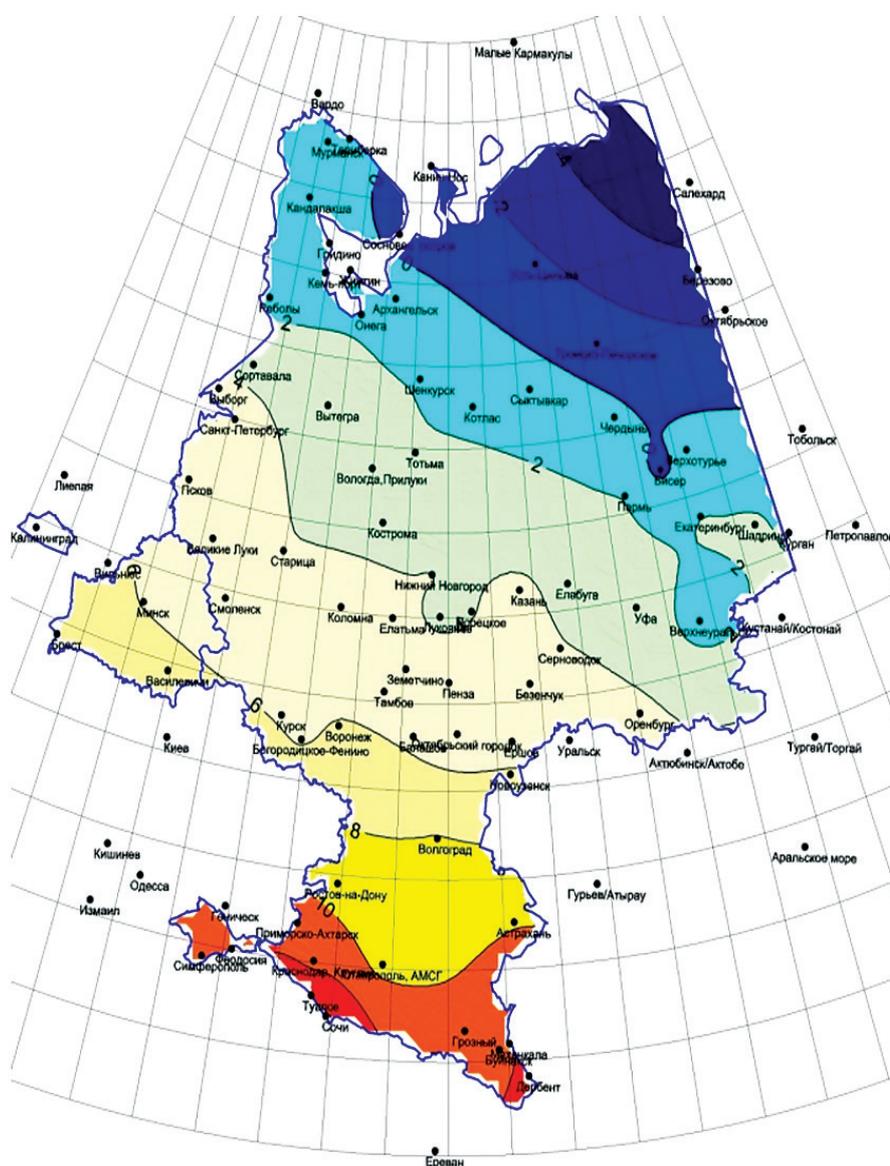


Рис. 1. Средние многолетние значения средневековой приземной температуры воздуха за 1900–2019 гг.  
Fig. 1. Average long-term values of medieval surface air temperature for 1900–2019

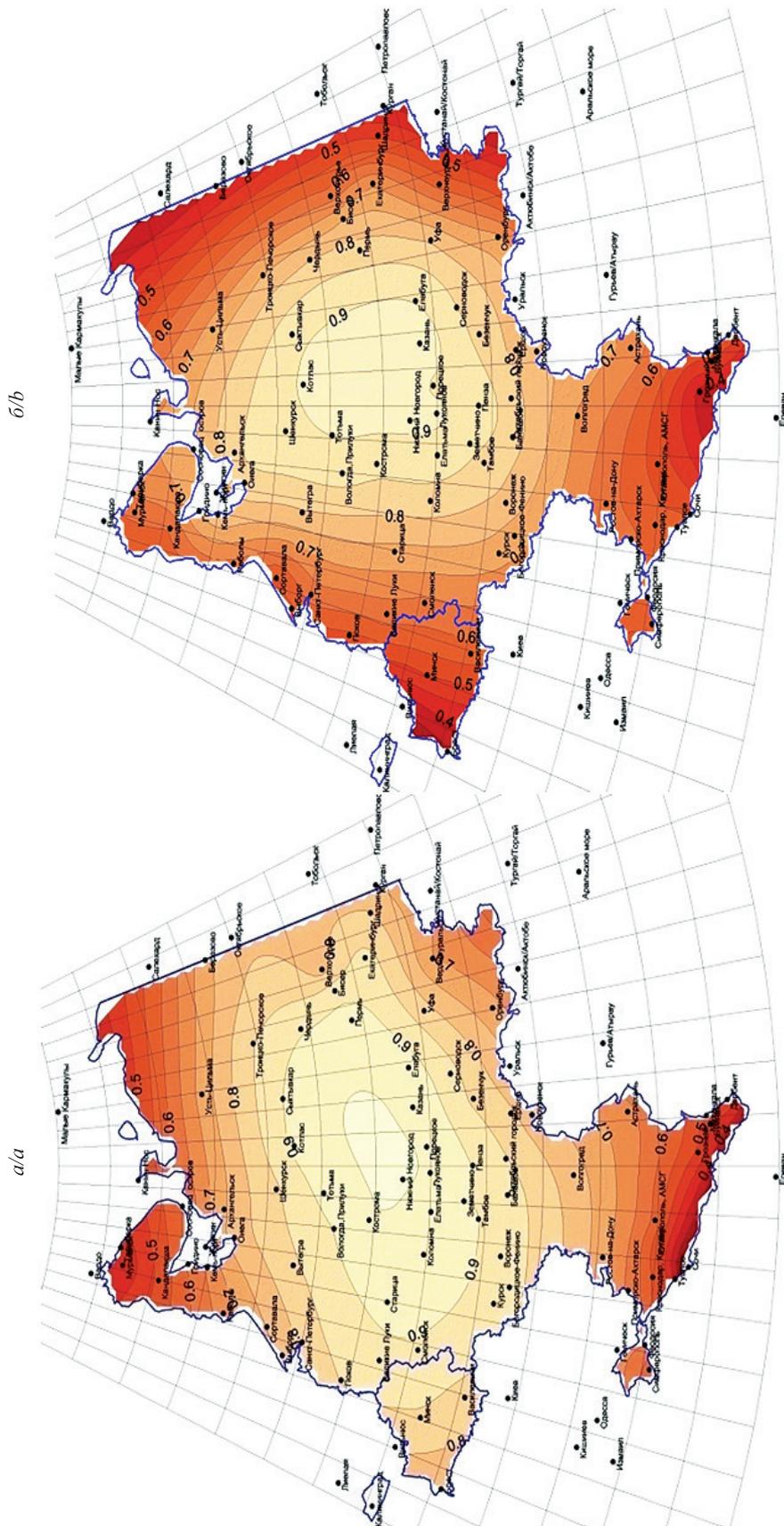


Рис. 2. Коэффициенты корреляции между индексами атмосферной циркуляции и температурой воздуха всех станций в январе (а) и июле (б) за 1900–2019 гг.

Fig. 2. Correlation coefficients between indices of atmospheric circulation and air temperature of all stations in January (a) and July (b) for 1900–2019

Для смягчения негативных последствий изменения температуры приземного слоя атмосферы определены направления отдельных региональных научных исследований на примере Беларуси и России.

В целях выявления долговременных тенденций изменения термического режима построены линейные тренды температуры воздуха рассматриваемого региона для каждого месяца зимнего и летнего сезонов, а также для года в целом. Для выделения долговременных температурных колебаний в 1900–2019 гг. (частота наблюдений – около 20 лет) рассчитывались низкочастотные компоненты. Результаты расчетов представлены в табл. 1.

Как видно из табл. 1, на территории хорошо прослеживается годовой ход температуры воздуха с минимумами в январе ( $-11,30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) и максимумами в июле ( $+18,38\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Годовая амплитуда составила  $29,68\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Средние квадратические отклонения температуры воздуха менялись в пределах от  $3,19\text{ }^{\circ}\text{C}$  (февраль) до  $1,24\text{ }^{\circ}\text{C}$  (август). Наибольшее значение коэффициента наклонного линейного тренда выявлено в марте ( $0,290\text{ }^{\circ}\text{C}$  за 10 лет), а наименьшее – в августе ( $0,068\text{ }^{\circ}\text{C}$  за 10 лет). В декабре значение данного коэффициента составило  $0,226\text{ }^{\circ}\text{C}$  за 10 лет. Таким образом, осредненные по территории данные показывают, что во все месяцы года наблюдалось потепление, но с различной интенсивностью. Осредненное за год значение коэффициента наклонного линейного тренда равно  $0,147\text{ }^{\circ}\text{C}$  за 10 лет, при этом скорость потепления в зимний период ( $0,190\text{ }^{\circ}\text{C}$  за 10 лет) в 2 раза превышает скорость потепления в летний период ( $0,081\text{ }^{\circ}\text{C}$  за 10 лет). В целом средняя годовая температура воздуха всей рассматриваемой территории составляет  $3,45\text{ }^{\circ}\text{C}$ , среднее квадратическое отклонение –  $0,96\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а скорость потепления –  $0,147\text{ }^{\circ}\text{C}$  за 10 лет.

Согласно кривой низкочастотных компонентов в зимний период с начала 1970-х гг. в регионе наблюдалось повышение температуры воздуха примерно на  $2,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , в летний период активное повышение температуры воздуха происходило с середины 1970-х гг., при этом его величина достигала лишь  $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  (рис. 3). В целом за год потепление составило около  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Таким образом, с начала 1970-х гг. в регионе наблюдалось заметное потепление климата, отличающееся по своей интенсивности и характеру в различные месяцы года, что хорошо видно из поведения кривой низкочастотных компонентов температуры воздуха. Например, в ноябре четко прослеживалась периодичность изменения температуры (кривая низкочастотных компонентов имеет вид волны с продолжительностью около 40 лет).

Таблица 1

**Характеристики изменения осредненной по территории Беларуси и европейской части России температуры воздуха за 1900–2019 гг.**

Table 1

**Characteristics of changes in air temperature averaged over the territory of the Belarus and European part of Russia for 1900–2019**

Месяц или период	$\bar{A}_v$ , $^{\circ}\text{C}$	RMS, $^{\circ}\text{C}$	$A$ , $^{\circ}\text{C}$ за 10 лет	$R^2L$ , %	$R^2F$ , %
Январь	$-11,30$	3,02	0,165	2	12
Февраль	$-10,54$	3,19	0,195	3	12
Март	$-4,95$	2,50	0,290	15	24
Апрель	$+3,68$	1,95	0,161	7	12
Май	$+10,68$	1,75	0,171	10	17
Июнь	$+15,89$	1,33	0,081	3	11
Июль	$+18,38$	1,30	0,094	5	15
Август	$+16,49$	1,24	0,068	2	23
Сентябрь	$+10,84$	1,34	0,090	4	15
Октябрь	$+3,83$	1,78	0,127	5	15
Ноябрь	$-3,12$	2,20	0,094	1	18
Декабрь	$-8,51$	2,83	0,226	6	12
Январь – декабрь	$+3,45$	0,96	0,147	27	38
Декабрь – февраль	$-9,60$	2,07	0,190	9	15
Июнь – август	$+16,92$	0,90	0,081	8	22

Примечание.  $\bar{A}_v$  – среднее значение; RMS – среднее квадратическое отклонение;  $A$  – коэффициент наклонного линейного тренда;  $R^2L$  – коэффициент детерминации линейного тренда;  $R^2F$  – коэффициент детерминации низкочастотной компоненты.

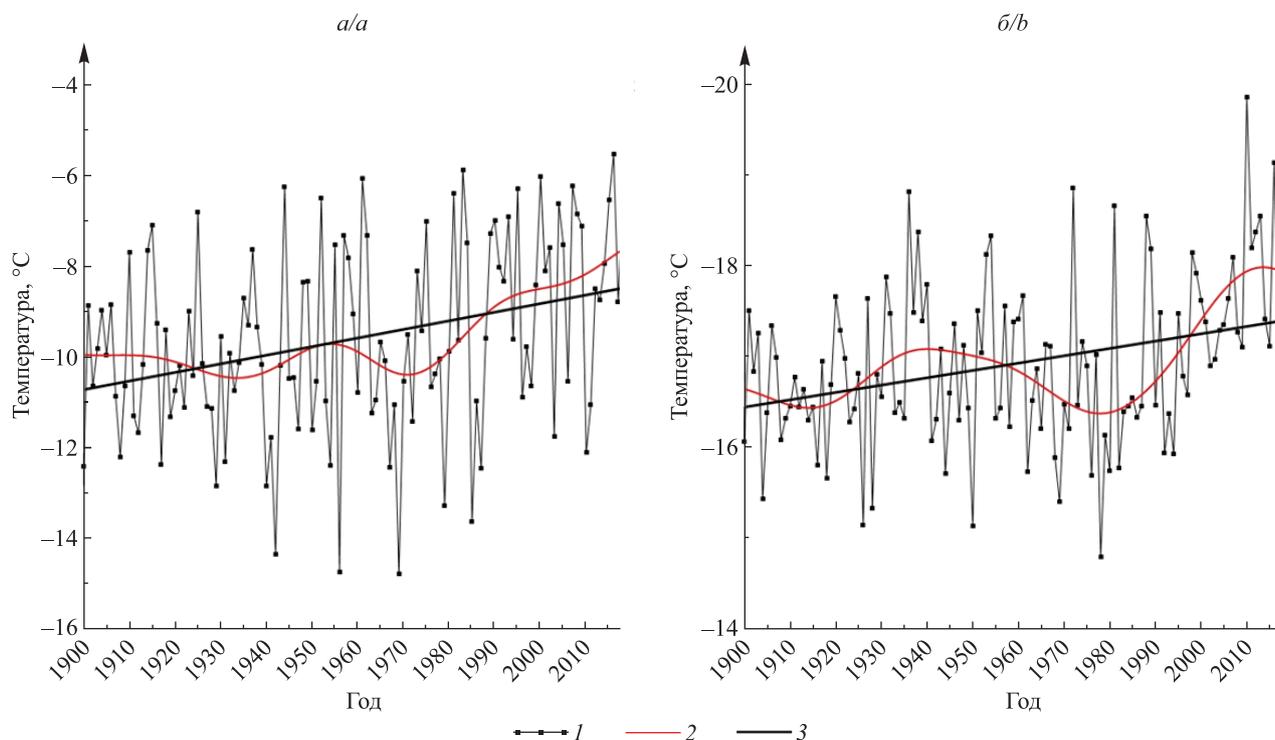


Рис. 3. Многолетняя динамика приземной температуры воздуха, осредненной по территории Беларуси и европейской части России, в декабре – феврале (а) и июне – августе (б) за 1900–2019 гг: 1 – исходный ряд; 2 – низкочастотные компоненты; 3 – коэффициент наклонного линейного тренда

Fig. 3. Long-term dynamics of surface air temperature average over the territory of Belarus and the European part of Russia in December – February (a) and June – August (b) for 1900–2019: 1 – original row; 2 – low-frequency components; 3 – oblique linear trend coefficient

Карты распределения температуры воздуха в январе и июле показывают, что температура воздуха понижается с юго-запада на северо-восток. Так, среднеянварская температура на территории Беларуси составляет приблизительно  $-6^{\circ}\text{C}$ . На Северном Кавказе она является положительной (около  $+4^{\circ}\text{C}$ ), а на северо-востоке европейской части России опускается до  $-22^{\circ}\text{C}$ . В июле изотермы имеют квазизональный характер и температура воздуха возрастает с севера на юг от  $10^{\circ}\text{C}$  в северной части России до  $24^{\circ}\text{C}$  на Северном Кавказе. Среднеиюльская температура на территории Беларуси составляет около  $18^{\circ}\text{C}$ .

Зимой средняя температура воздуха в Беларуси достигает приблизительно  $-4^{\circ}\text{C}$ , на северо-востоке европейской части России – около  $-20^{\circ}\text{C}$ , а в районе побережья Черного моря – примерно  $+4^{\circ}\text{C}$ . Летом средняя температура воздуха на Северном Кавказе составляет  $22^{\circ}\text{C}$ , на арктическом побережье европейской части России она опускается до  $8^{\circ}\text{C}$ , на территории Беларуси равняется около  $18^{\circ}\text{C}$ . Изотермы зимней и летней температуры практически совпадают со среднеянварскими и среднеиюльскими.

Были рассчитаны коэффициенты корреляции ( $r$ ) между температурой воздуха, осредненной по всему региону, и температурой, зафиксированной на 95 станциях. Поскольку среднерегиональное значение температуры характерно для центральной части регионов, то построенные карты изокоррелят позволяют оценить как форму, так и скорость затухания связей в поле температуры при увеличении расстояния от центра. Если в январе (и зимой в целом) изокорреляты образуют эллипс с большой осью, направленной с юго-запада на северо-восток (направление определяющего потока), то в июле (и летом в целом) овал вытянут в меридиональном направлении. При этом зимой статистические связи с удаленными районами более тесные, чем летом. Так, в январе коэффициент корреляции между температурами в Беларуси и центре европейской части России составил около  $0,8$ , а в июле –  $0,4$ . То же наблюдается в зимний и летний периоды.

Для оценки влияния циркуляции атмосферы на термический режим региона рассчитывались коэффициенты корреляции за 120-летний период между временными рядами индексов атмосферной циркуляции (AO, NAO, EAWR, SCAND) и температурой воздуха на отдельных станциях. Были построены карты корреляции для января и июля. Выявлено, что в январе на западе региона (в районе Пскова) связи

с индексом АО более тесные ( $r = 0,6$ ). С запада на восток (в Предуралье) происходит их ослабление ( $r = 0,4$ ). В июле связи незначимы. В январе корреляция с индексом NAO также более тесная в западной части региона ( $r = 0,6$ ), в восточном направлении происходит заметное ослабление влияния индекса NAO, а на юго-востоке европейской части России (Оренбург) коэффициент корреляции снижается до 0,2 и меньших значений. В июле значения коэффициентов корреляции незначительны (около 0,2). Таким образом, индексы АО и NAO влияют на термический режим региона в зимний период, прежде всего в его западной части. Это воздействие положительное, т. е. атмосферная циркуляция способствует потеплению в регионе в зимний период. Циркуляционная мода EAWR наибольшее влияние оказывает в летний период на центр и особенно восток региона ( $r = -0,6$ ), что свидетельствует об охлаждающем влиянии Северной Атлантики в этот период. Связь температуры воздуха с индексом SCAND в январе лучше выражена в центре и на востоке территории (Урал, Оренбуржье, Северный Кавказ) ( $r = -0,6$ ). Так, формирование блокирующего скандинавского антициклона заметно влияет на зимний термический режим востока европейской части России и способствует понижению температуры воздуха. В июле связь между компонентами сильнее на северо-западе европейской части России ( $r = 0,4$ ) и ослабевает в направлении юго-востока.

Выявлено, что по всей сети метеорологических станций Беларуси среднегодовая температура воздуха в 1988–2018 гг. на 1,3 °С выше в сравнении с аналогичными показателями в 1948–2018 гг. (рис. 4). Для адаптации к складывающимся климатическим изменениям на территории Беларуси наибольшее значение имеют средние температуры самого холодного и самого теплого месяцев (рис. 5). Изменение климата может оказывать положительное влияние, что выражается в увеличении продолжительности теплообеспеченности вегетационного периода, сокращении сроков созревания сельскохозяйственных культур, продолжительности отопительного периода и т. д. По данным В. Ф. Логинова, наиболее погодозависимыми отраслями экономики являются сельское и коммунальное хозяйство, энергетика и транспорт.

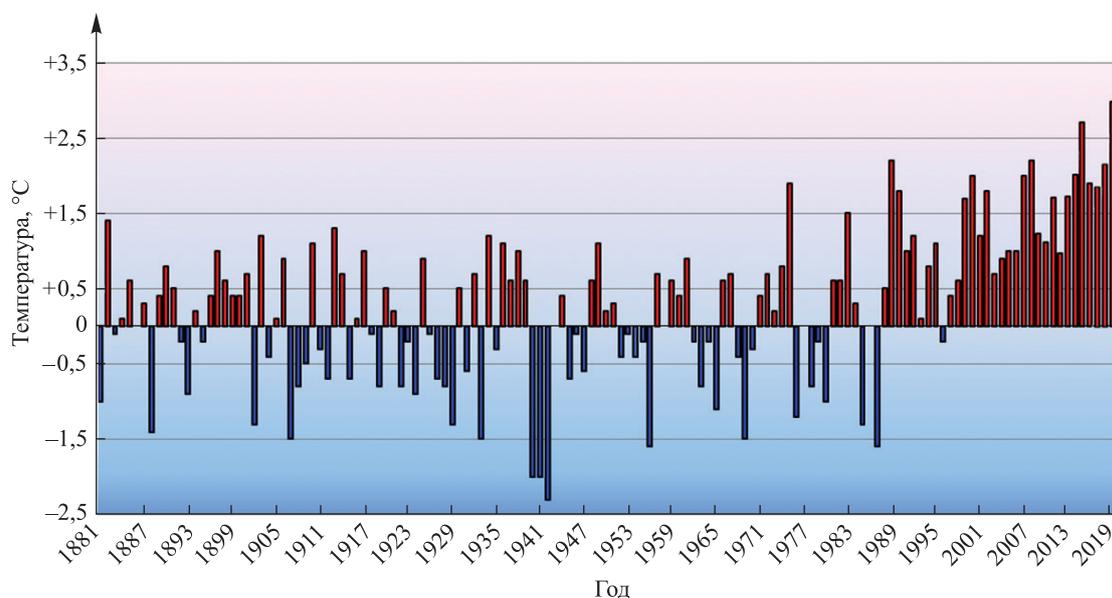


Рис. 4. Отклонение среднегодовой температуры воздуха от климатической нормы (+5,8 °С) по Беларуси за 1881–2019 гг.

Fig. 4. Deviation of the average annual air temperature from the climatic norm (+5.8 °C) in Belarus for 1881–2019

Согласно результатам исследования глобальный процесс изменения климата влияет на широкий ряд областей хозяйства [5]. Субъекты хозяйствования должны адаптироваться к новым неустойчивым климатическим условиям – повышению температуры воздуха, изменению тепловых условий и увеличению частоты опасных метеорологических условий [6; 7].

Максимальные показатели роста среднегодовых температур характерны для крупных промышленных центров страны – Витебска, Гомеля, Жлобина, Минска, Орши и Пинска.

**Опасные и неблагоприятные явления погоды.** Выполнен анализ повторяемости явлений погоды, которые прямо или косвенно могут привести к авиационным происшествиям, в осенне-зимний (низкая видимость, сильный ветер, ливень, осадки и гололед) и весенне-летний (низкая видимость, сильный ветер, ливень, осадки и грозы) периоды.

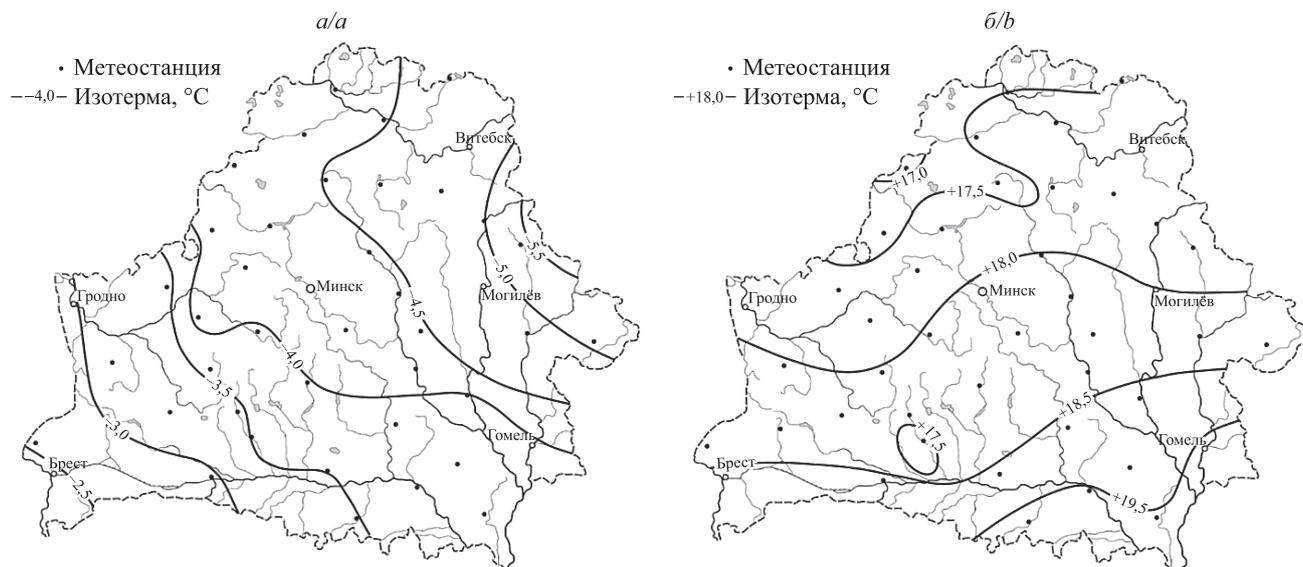


Рис. 5. Средняя температура воздуха в январе (а) и июле (б) за 1988–2018 гг. (период потепления)

Fig. 5. Average air temperature in January (a) and July (b) for 1988–2018 (warming period)

Важным критерием определения роста или снижения рисков, связанных с наступлением опасных метеорологических явлений, становятся значения трендов в исследуемый период (1975–2021) и особенно в период заметной трансформации климата (1989–2021).

Картосхема количества грозовых дней за 1975–2021 гг. на территории Беларуси представлена на рис. 6.

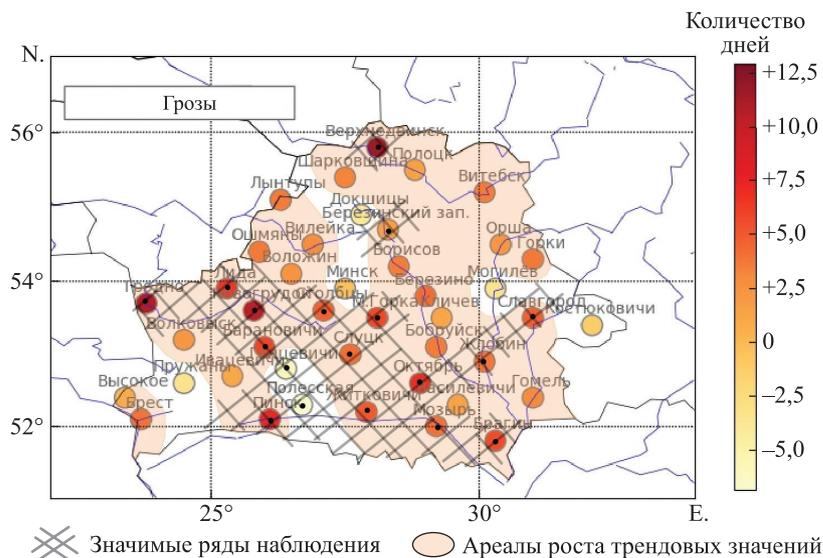


Рис. 6. Карта распределения числа дней с грозами на территории Беларуси за 1975–2021 гг.

Fig. 6. Distribution map of the number of days with thunderstorms on the territory of Belarus for 1975–2021

Отмечается увеличение количества грозовых дней на большинстве метеорологических метеостанций Белгидромета (83 % от общего количества) в 1975–2021 гг. Наибольший рост характерен для региона, простирающегося от северо-западной границы Гродненской области к югу Гомельской области. Максимальный уровень роста составил 12,0 дня с грозой. Увеличение количества грозовых дней отмечено в феврале, апреле, мае, июле, августе, октябре и ноябре. В период потепления рост данного показателя отмечается в апреле – августе.

На рис. 7 представлена карта распределения числа дней с гололедом за рассматриваемый период.

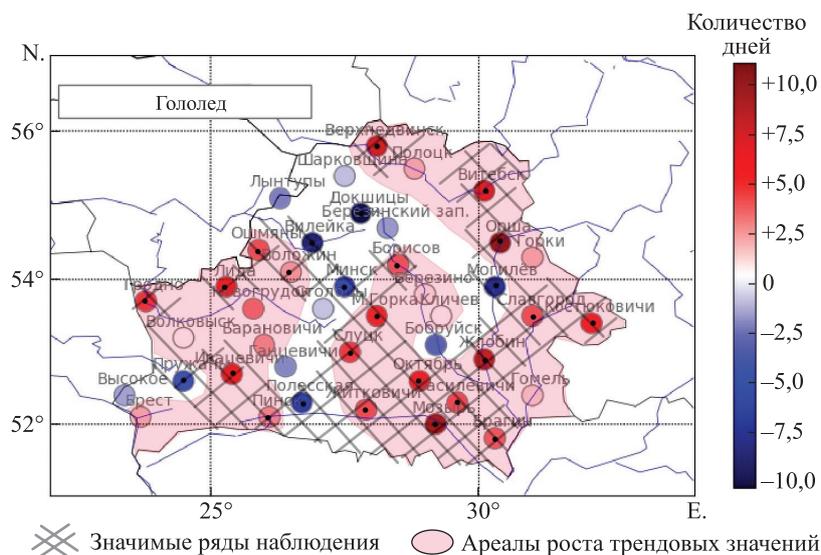


Рис. 7. Карта распределения числа дней с гололедом на территории Беларуси за 1975–2021 гг.

Fig. 7. Distribution map of the number of days with ice on the territory of Belarus for 1975–2021

Практически повсеместно отмечается увеличение количества дней с гололедом, кроме полосы, протянувшейся с северо-северо-запада на юг Беларуси. Максимальный рост числа дней с гололедом составил более 10,0 дня (абсолютный максимум (11,04 дня) отмечен на метеостанции Орша). Ареал с наибольшими показателями выявлен в Гомельской области. Рост количества дней с гололедом характерен для 62 % метеостанций Беларуси за исследуемый период и для 69 % метеостанций за период потепления климата.

За 1975–2021 гг. увеличение гололедных явлений отмечено в январе, октябре и ноябре, а за 1989–2021 гг. – в марте и сентябре – декабре.

Карта распределения числа дней с градом представлена на рис. 8.

Увеличение количества дней с градом установлено почти на всей территории Беларуси, кроме юго-востока Брестской области и ареала на стыке Витебской и Минской областей. Рост данного показателя характерен для 67 % метеостанций Беларуси за 1975–2021 гг. и для 76 % метеостанций за 1989–2021 гг. Наибольшее увеличение количества дней с градом за период исследования составило более 2,0 дня. Максимальный рост количества дней с градом (2,33 дня) выявлен на метеостанции Полоцк.

Увеличение повторяемости дней с градом фиксируется в феврале – июне, августе и ноябре – декабре. За 1989–2021 гг. рост данного показателя отмечен в марте – августе и октябре – ноябре.

На рис. 9 представлена карта распределения количества дней с метелью.

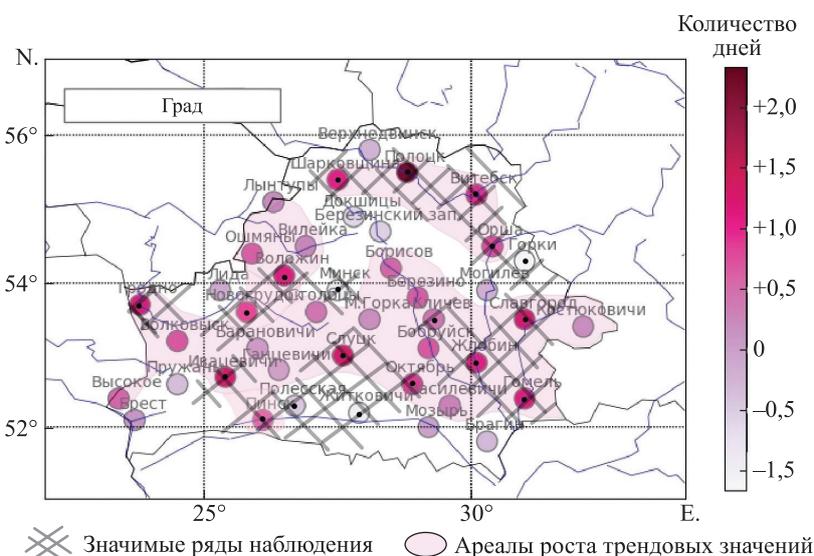


Рис. 8. Карта распределения числа дней с градом на территории Беларуси за 1975–2021 гг.

Fig. 8. Distribution map of the number of days with hail on the territory of Belarus for 1975–2021

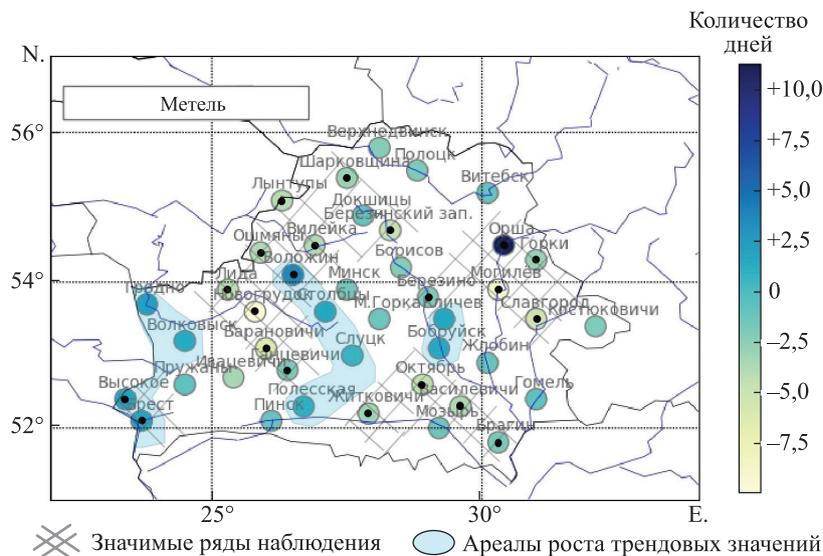


Рис. 9. Карта распределения числа дней с метелью на территории Беларуси за 1975–2021 гг.

Fig. 9. Distribution map of the number of days with blizzard on the territory of Belarus for 1975–2021

На большей площади Беларуси отмечается уменьшение количества дней с метелью. Районы, в которых наблюдается рост количества дней с метелью, представляют собой небольшие области, расположенные на западной окраине Беларуси, в пределах узкой полосы в восточной и центральной частях страны. За 1975–2021 гг. рост количества дней с метелью характерен для 26 % метеостанций Беларуси, а за 1989–2021 гг. – для 48 % метеостанций. Максимальный показатель роста числа дней с метелью за период исследования составил более 10,0 дня (наибольшее количество дней с метелью (11,26 дня) отмечено на метеостанции Орша). За 1975–2021 гг. уменьшение количества дней с метелью составило 0,07 дня в год (в течение года рост отмечался только в октябре), а за 1989–2021 гг. – 0,08 дня в год (в течение года рост фиксировался только в марте).

Карты распределения числа дней с осадками за 1975–2021 гг. в осенне-зимний и весенне-летний периоды представлены на рис. 10 и 11 соответственно.

Практически на всей территории Беларуси в осенне-зимний период отмечается рост количества осадков. Максимальные показатели выявлены в восточной и центральной части Беларуси. Увеличение количества осадков в осенне-зимний период за 1975–2021 гг. характерно для 83 % метеостанций Беларуси, а за 1989–2021 гг. – для 69 % метеостанций. Установлено замедление роста количества осадков.

В весенне-летний период отмечается рост количества осадков почти на всей территории Беларуси. Он характерен для 79 % метеостанций Беларуси за 1975–2021 гг. и для 45 % метеостанций за 1989–2021 гг. Установлено замедление роста количества осадков.

Среднегодовое увеличение количества осадков за период исследования составило 0,12 мм, а за период потепления климата – 0,48 мм, т. е. в 4 раза больше. За период исследования рост количества осадков выявлен в январе – марте, мае, июле – августе и октябре – ноябре, а за период потепления климата – в январе, мае, июле – августе, ноябре – декабре.

Карты распределения ливневых осадков на территории Беларуси в осенне-зимний и весенне-летний периоды за 1975–2021 гг. представлены на рис. 12 и 13.

Практически на всей территории Беларуси в осенне-зимний период отмечается рост количества случаев ливневых осадков. Максимальные показатели выявлены на западной окраине страны и в Гомельском регионе. Увеличение количества случаев ливней в осенне-зимний период за 1975–2021 гг. характерно для 98 % метеостанций Беларуси, а за 1989–2021 гг. – для 79 % метеостанций. В связи с этим ареалы роста случаев на карте не отмечены. Максимальный уровень увеличения количества случаев ливней за период исследования (0,85 случая в год) выявлен на метеостанции Вилейка (см. рис. 12). В осенне-зимний период за 1975–2021 гг. рост составил 0,06 случая в год, а за 1989–2021 гг. – 0,04 случая в год.

В весенне-летний период в Беларуси зафиксирован рост количества случаев ливневых осадков, за исключением территории, пролегающей по южной границе страны. Увеличение количества случаев ливней в этот период характерно для 74 % метеостанций Беларуси за 1975–2021 гг. и 67 % метеостанций за 1989–2021 гг. Максимальный уровень роста за период исследования (0,38 случая в год) зафиксирован на метеостанции Жлобин (см. рис. 13). В весенне-летний период за 1975–2021 гг. изменения составляли 0,04 случая, а за 1989–2021 гг. – 0,05 случая в год.



Рис. 10. Карта распределения количества осадков в осенне-зимний период на территории Беларуси за 1975–2021 гг.

Fig. 10. Distribution map of the number of rainfall in autumn – winter period on the territory of Belarus for 1975–2021

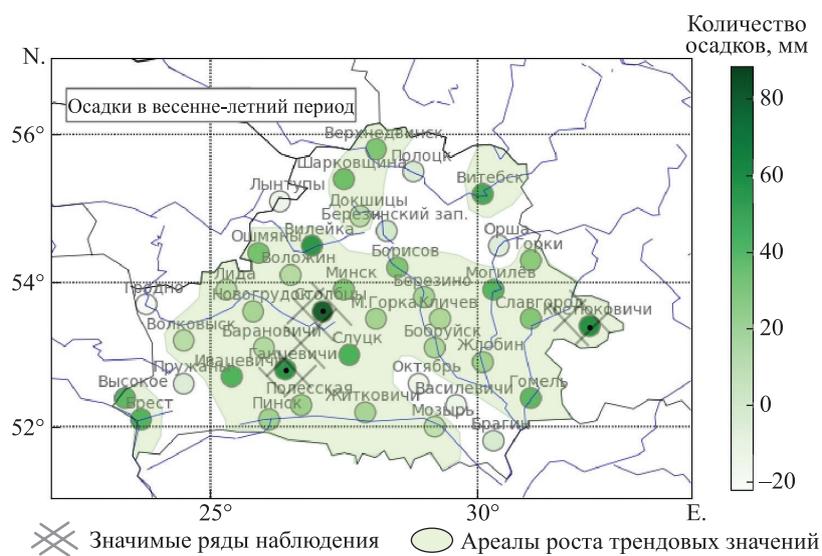


Рис. 11. Карта распределения количества осадков в весенне-летний период на территории Беларуси за 1975–2021 гг.

Fig. 11. Distribution map of the number of rainfall in spring – summer period on the territory of Belarus for 1975–2021

В среднем увеличение числа дней с ливнями составляет 1 случай за 2 года. Рост случаев ливневых осадков отмечается в течение всех месяцев года, кроме июня, а в период потепления климата – в феврале – июне, августе и октябре – декабре.

В 1975–2021 гг. наметилась отрицательная тенденция изменения количества случаев с видимостью 1 км и менее за 1975–2021 гг. на территории Беларуси в осенне-зимний и весенне-летний периоды представлены на рис. 14 и 15 соответственно.

Установлено, что рост количества случаев с видимостью 1 км и менее в осенне-зимний период распределен мелкими ареалами на юге, западе, востоке и в центре Беларуси. Увеличение числа случаев характерно для 10 % метеостанций за 1975–2021 гг. и для 12 % метеостанций за 1989–2021 гг. Максимальный рост за 1989–2021 гг. (0,79 случая в год) выявлен в Брестской области на метеостанции Полесская (см. рис. 14). В среднем за 1975–2021 гг. уменьшение количества случаев с видимостью 1 км и менее составило 0,3 случая, а за 1989–2021 гг. – 0,2 случая в год. Отмечено замедление сокращения количества случаев с видимостью 1 км и менее.

В весенне-летний период зафиксировано уменьшение количества случаев с видимостью 1 км и менее. Рост отмечается точечно на юге, востоке, западе и в центре Беларуси и характерен для 10 % метеостанций

за исследуемый период и для 24 % метеостанций за период потепления климата. Максимальный уровень роста (0,78 случая в год, или 35,22 случая за весь период исследования) выявлен на метеостанции Полесская (см. рис. 15). В среднем за 1975–2021 гг. уменьшение составило 0,14 случая, а за 1989–2021 гг. – 0,13 случая.

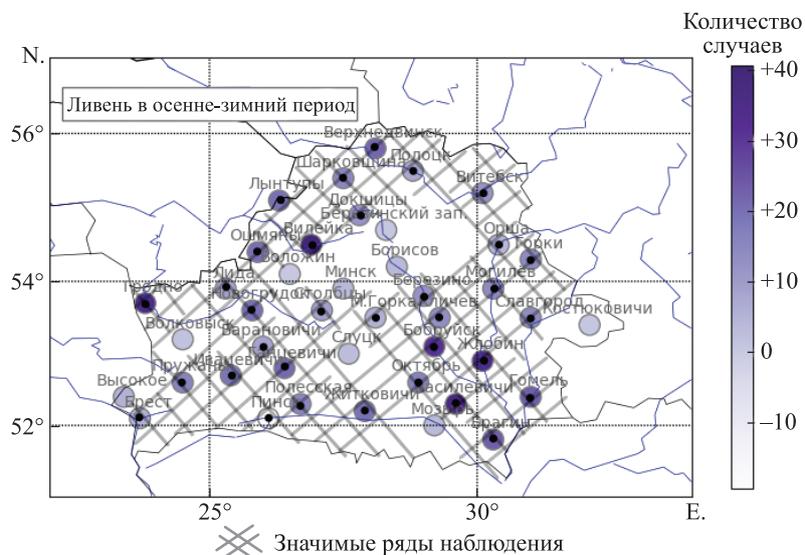


Рис. 12. Карта распределения числа случаев ливневых осадков на территории Беларуси в осенне-зимний период за 1975–2021 гг.

Fig. 12. Distribution map of the number of cases with rainfall events on the territory of Belarus in the autumn – winter period for 1975–2021

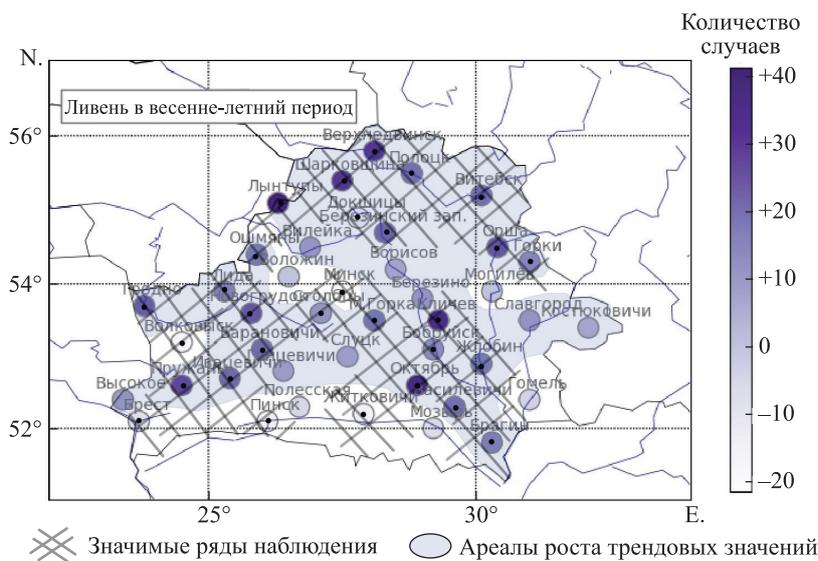


Рис. 13. Карта распределения числа случаев с ливневыми осадками на территории Беларуси в весенне-летний период за 1975–2021 гг.

Fig. 13. Distribution map of the number of cases with heavy rainfall on the territory of Belarus in the spring– summer period for 1975–2021

В 1975–2021 гг. выявлена отрицательная тенденция изменения количества случаев с видимостью 1 км и менее в течение года. За 1975–2021 гг. среднегодовое уменьшение составило 1,3 случая, а за 1989–2021 гг. – 0,06 случая. За период потепления климата рост выявлен в мае (0,12 случая). Отмечено замедление уменьшения количества случаев с видимостью 1 км и менее.

На рис. 16 и 17 представлены карты распределения числа дней с туманом в осенне-зимний и весенне-летний периоды соответственно.

На большей территории Беларуси отмечается уменьшение количества дней с туманом в осенне-зимний период. Увеличение количества дней характерно для 5 % метеостанций за исследуемый период и 33 % метеостанций за период потепления климата. Максимальный уровень роста за 1989–2021 гг. (0,52 дня

в год) выявлен на метеостанции Мозырь (см. рис. 16). В среднем по Беларуси за исследуемый период уменьшение количества дней с туманом составило 0,05 дня, за период потепления климата – 0,01 дня. Отмечено замедление уменьшения количества дней с туманом.

Рост количества дней с туманом в весенне-летний период фиксируется точно. Он характерен для 3 % метеостанций за исследуемый период и 17 % метеостанций за период потепления. Максимальный уровень роста (0,21 дня в год) выявлен на метеостанции Березино (см. рис. 17). В среднем в весенне-летний период уменьшение количества дней с туманом составило 0,04 дня за 1975–2021 гг. и 0,03 дня за 1989–2021 гг. Отмечено замедление уменьшения количества дней с туманом.

В целом за год выявлено снижение количества дней с туманом (0,6 дня за рассматриваемый период и 0,3 дня за период потепления климата). За 1989–2021 гг. рост количества дней зафиксирован в феврале и мае. Отмечено замедление уменьшения количества дней с туманом.

На рис. 18 и 19 представлены карты распределения числа дней со скоростью ветра 14 м/с и более в осенне-зимний и весенне-летний периоды.

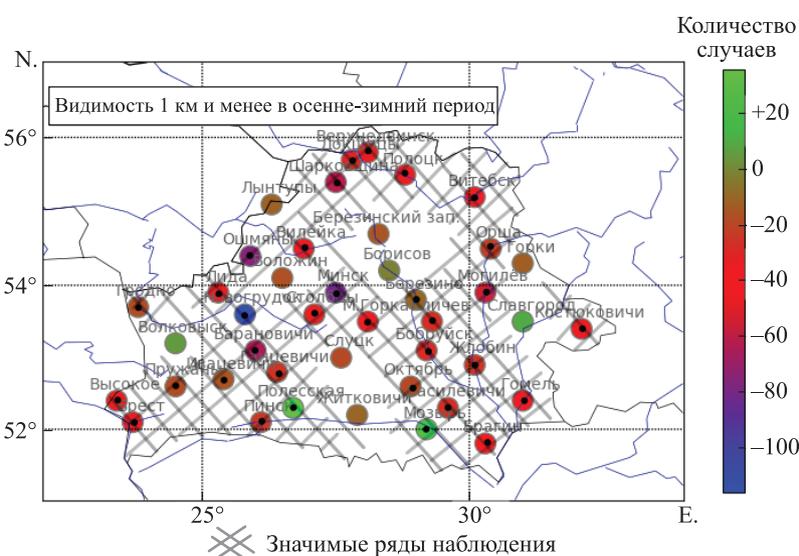


Рис. 14. Карта распределения числа случаев с видимостью 1 км и менее на территории Беларуси в осенне-зимний период за 1975–2021 гг.

Fig. 14. Distribution map of the number of cases with visibility of 1 km or less on the territory of Belarus in the autumn – winter period for 1975–2021

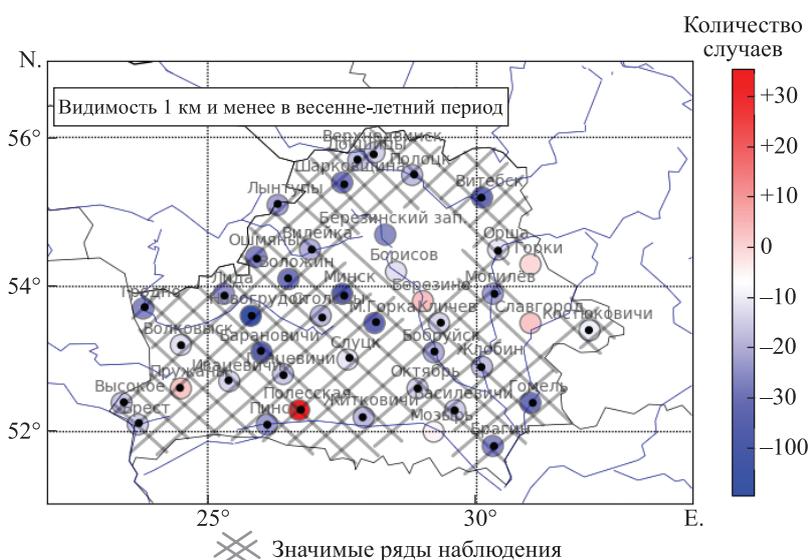


Рис. 15. Карта распределения числа случаев с видимостью 1 км и менее на территории Беларуси в весенне-летний период за 1975–2021 гг.

Fig. 15. Distribution map of the number of cases with visibility of 1 km or less on the territory of Belarus in the spring – summer period for 1975–2021

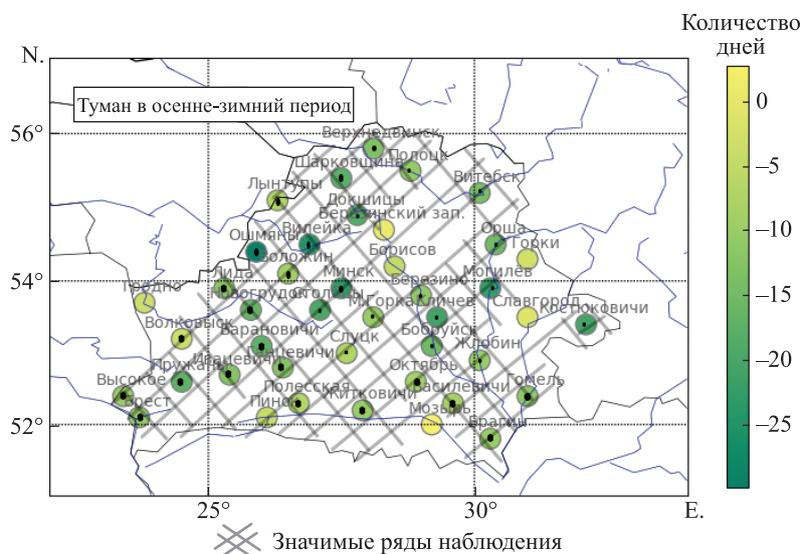


Рис. 16. Карта распределения числа дней с туманом на территории Беларуси в осенне-зимний период за 1975–2021 гг.

Fig. 16. Distribution map of the number of days with fog on the territory of Belarus in the autumn – winter period for 1975–2021

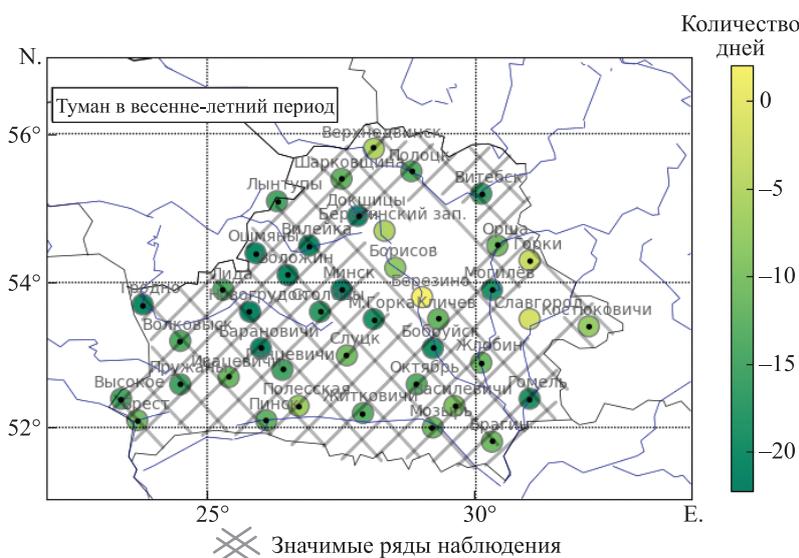


Рис. 17. Карта распределения числа дней с туманом на территории Беларуси в весенне-летний период за 1975–2021 гг.

Fig. 17. Distribution map of the number of days with fog on the territory of Belarus in the spring – summer period for 1975–2021

На большей части территории Беларуси отмечается уменьшение количества дней с ветром со скоростью 14 м/с и более. Точечно в осенне-зимний период зафиксировано увеличение количества дней за 1975–2021 гг. Рост характерен для 12 % метеостанций за исследуемый период и 14 % метеостанций за период потепления климата. Максимальные показатели установлены в Гомельском регионе. Наибольший уровень роста (1,63 дня в год) выявлен на метеостанции Борисов. В среднем за 1975–2021 гг. уменьшение составило 0,007 дня, за 1989–2021 гг. – 0,004 дня. Отмечено замедление уменьшения количества дней с ветром со скоростью 14 м/с и более.

В весенне-летний период увеличение количества дней с ветром со скоростью 14 м/с и более характерно для 21 % метеостанций за исследуемый период и 14 % метеостанций за период потепления. Максимальный уровень роста (0,59 дня) выявлен на метеостанции Слуцк (см. рис. 19). В среднем по Беларуси уменьшение количества дней с ветром со скоростью 14 м/с и более составило 0,001 дня (за оба периода).

За 1975–2021 гг. уменьшение составило 0,04 дня в год, за 1989–2021 гг. – 0,02 дня. Выявлено замедление уменьшения количества дней с ветром со скоростью 14 м/с и более за 1989–2021 гг. по отношению к уменьшению числа дней с ветром со скоростью 14 м/с и более за 1975–1988 гг. За период потепления климата рост количества дней со скоростью ветра 14 м/с и более выявлен в мае и октябре.

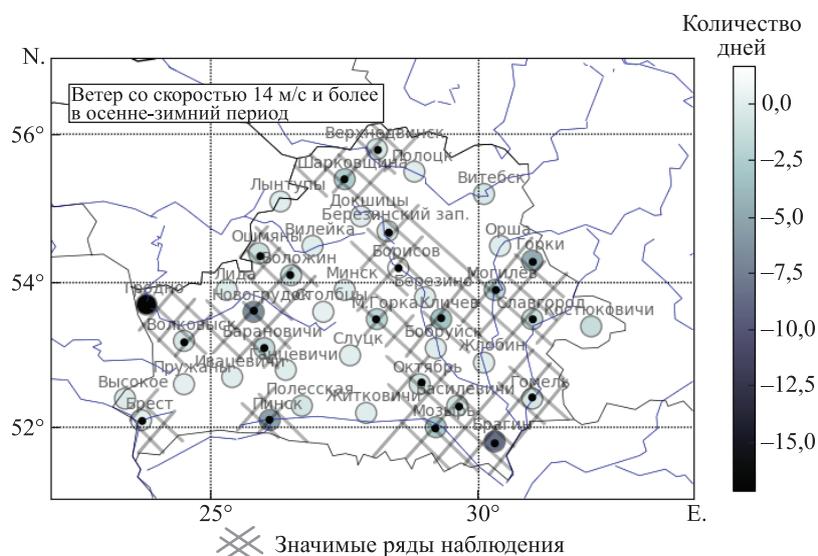


Рис. 18. Карта распределения числа дней с ветром со скоростью 14 м/с и более на территории Беларуси в осенне-зимний период за 1975–2021 гг.  
Fig. 18. Distribution map of the number of days with a wind speed of 14 m/s or more on the territory of Belarus in the autumn – winter period for 1975–2021

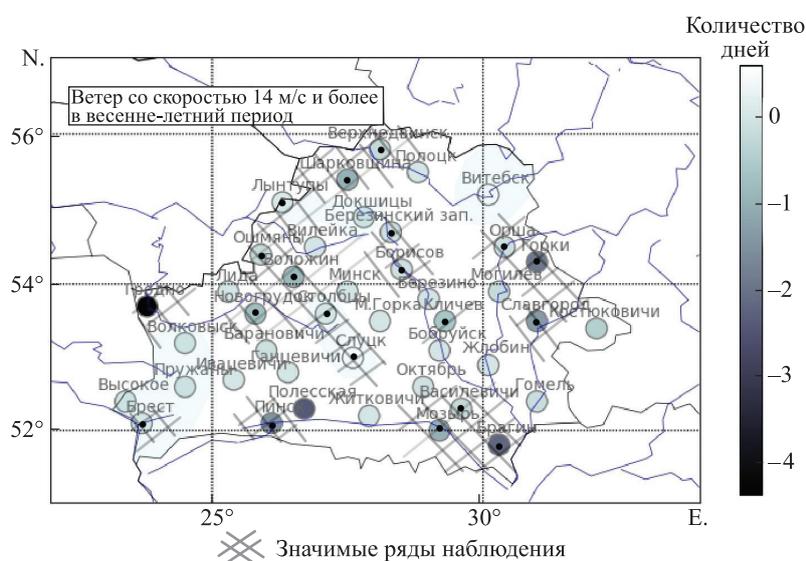


Рис. 19. Карта распределения числа дней с ветром со скоростью 14 м/с и более на территории Беларуси в весенне-летний период за 1975–2021 гг.  
Fig. 19. Distribution map of the number of days with a wind speed of 14 m/s or more on the territory of Belarus in the spring – summer period for 1975–2021

**Пожароопасная обстановка.** Наиболее сложная пожароопасная обстановка в лесных массивах на территории Беларуси за 1990–2019 гг. отмечалась в летний период. Пожароопасные годы характеризуются небольшим количеством осадков и очень низкой относительной влажностью воздуха (20–30 %). При этом дневные максимумы температуры воздуха достигали 34 и 36 °С. Данные климатические условия стали причиной массовых лесных пожаров. Для минимизации и предотвращения негативных последствий от метеорологических условий ежегодно проводятся расчеты показателя пожароопасности в лесах в соответствии с условиями погоды и горимостью лесов.

При анализе динамики лесных пожаров за 1990–2019 гг. выявлен рост пожарной опасности в 2010, 2015 и 2019 гг. (рис. 20).

По результатам анализа наиболее пожароопасным стал 2015 г. Этому сопутствовал ряд метеорологических условий в течение года: малоснежная зима, раннее наступление весны (теплый и сухой март), уровень половодья ниже среднего многолетнего, низкое содержание влаги в почве. Весной 2015 г. на территории Беларуси были зафиксированы 1019 пожаров. Летний период 2015 г. характеризуется дефицитом осадков, повышенными температурами и порывистыми ветрами. Как следствие, в совокупности метеорологические условия привели к сложной обстановке в природных экосистемах (рис. 21).

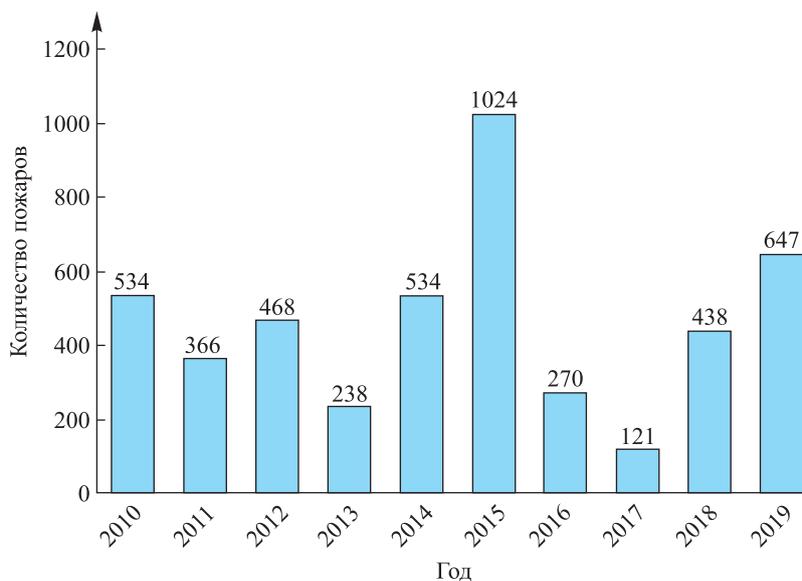


Рис. 20. Динамика лесных пожаров за 2010–2019 гг.  
 (составлено по данным Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь)

Fig. 20. Dynamics of forest fires for 2010–2019  
 (compiled according to the data of Ministry of Forestry of the Republic of Belarus)

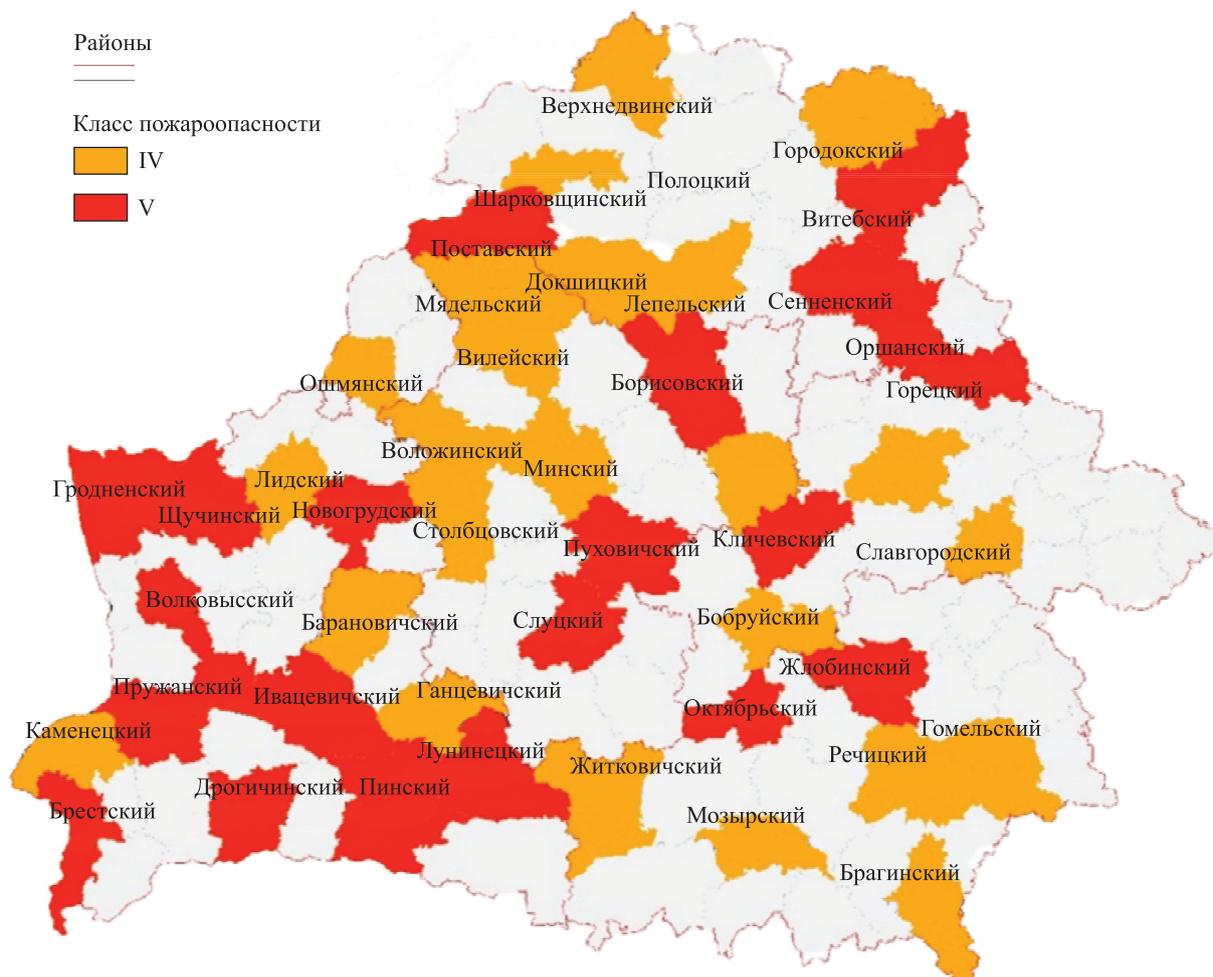


Рис. 21. Карта пожарной обстановки на 25.08.2015 (составлено на основе данных Белгидромета)

Fig. 21. Map of the fire situation on 25.08.2015 (compiled according to the data of Belhydromet)

**Общее содержание озона.** Влияние стратосферного озона на климат представляет собой сложный механизм, обусловленный различными процессами с обратными связями, определяющими теплообмен в атмосфере и зависящими от внешних и внутренних геофизических факторов. В настоящее время Всемирная метеорологическая организация рассматривает стратосферный озон как один из важнейших климатических факторов [8]. Его изменчивость определяется фотохимическими, динамическими, климатическими и циркуляционными факторами. Годовая динамика значений общего содержания озона над территорией Беларуси имеет типичное для средних европейских широт распределение (максимум весной и минимум осенью). Зафиксирована большая межсуточная и межгодовая изменчивость общего содержания озона. Однако в зимний период могут наблюдаться его значительные увеличения над территорией Беларуси и Восточной Европы. Подобные явления связывают с внезапными стратосферными потеплениями, которые резко увеличивают в течение 1–2 дней температуру воздуха и концентрацию озона, а также приводят к смене направления ветра в слое выше 25 км на противоположное [9]. Проведен анализ влияния всех крупных случаев внезапных стратосферных потеплений (высоких значений общего содержания озона), которые смещались на территорию Европы, на погодные условия в Европе (в частности, на территории Беларуси) за 1980–2021 гг.

При смещении внезапных стратосферных потеплений в сторону северо-восточной части Европы наблюдается значительное понижение приземной температуры воздуха. Для территории Беларуси диапазон минимальных приземных температур воздуха на юго-западе и северо-востоке колеблется от  $-13$  до  $-21$  °C. Общее содержание озона возрастает до 450 ед. Добсона и выше, а показатель высоты динамической тропопаузы, или потенциальной завихренности, – выше 4 ед., что соответствует высоте тропопаузы 300–340 ГПа (рис. 22). В большинстве случаев, когда внезапное стратосферное потепление смещается на Европу, фиксируются аномальные сильные морозы (до  $-25...-30$  °C) в северо-восточной части Европы. По сравнению с периодами до внезапного стратосферного потепления и после его прохождения над Европой во время внезапного стратосферного потепления минимальная температура воздуха над территорией Беларуси уменьшается почти в 2 раза. Таким образом, подобные явления необходимо учитывать для своевременной адаптации к сильным морозам в зимний период.

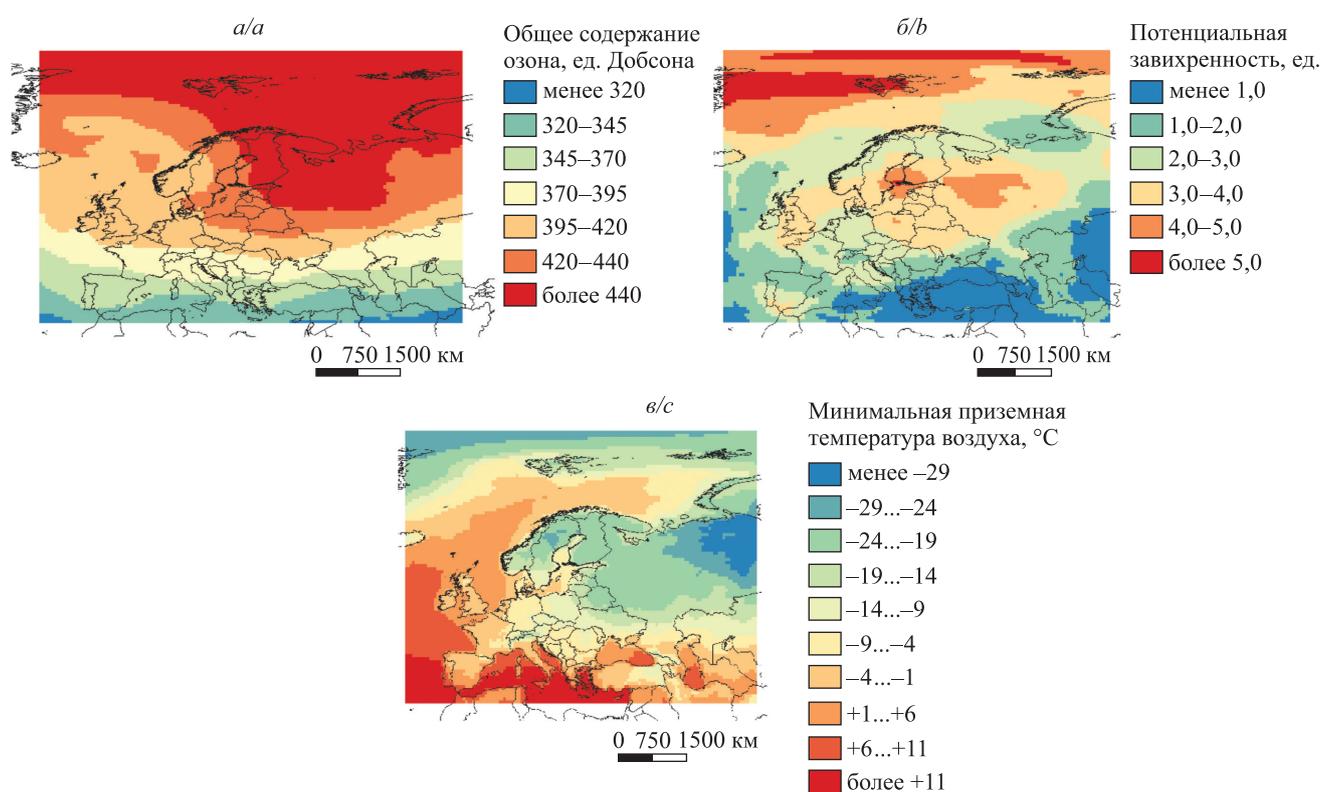


Рис. 22. Усредненные пространственные карты общего содержания озона (а), потенциальной завихренности (б) и минимальной приземной температуры воздуха (в) для всех крупных случаев внезапного стратосферного потепления, когда они смещаются на Европейский регион (по данным реанализа MERRA-2)

Fig. 22. Averaged spatial maps of total ozone (a), potential vorticity (b), and minimum surface air temperature (c) for all major sudden stratospheric warming events as they shift to the European region (according to MERRA-2 reanalysis)

## Выводы

В ходе исследования выполнена оценка изменчивости температурного режима в Беларуси и европейской части России за 1900–2019 гг., а также оценка влияния циркуляционных колебаний путем расчета коэффициентов корреляции между индексами АО, NAO, EAWR, SCAND и температурой воздуха в январе и июле. Рассмотрена динамика опасных метеорологических явлений за 1975–2021 гг. на территории Беларуси за летний и зимний периоды, а также динамика пожароопасности на территории Беларуси и сопутствующие ей метеорологические условия за 1990–2019 гг. Изучено колебание общего содержания стратосферного озона, влияние стратосферных потеплений на высоту тропопаузы и погодные условия в приземном слое над территорией Беларуси и северо-восточной части Европы.

С помощью метода тренд-анализа выявлена неоднородная картина интенсивности потепления на территории Беларуси и европейской части России. Наибольшая скорость потепления отмечается в марте и декабре, где значения коэффициента наклонного линейного тренда равны 0,226 и 0,290 °C за 10 лет соответственно. Менее интенсивно происходит потепление в летний период (в августе коэффициент наклонного линейного тренда составил 0,068 °C за 10 лет).

В зимний период скорость потепления в 2 раза превышает скорость потепления в летний период (коэффициенты наклонного линейного тренда равны 0,190 и 0,081 °C за 10 лет соответственно). При этом во все сезоны и месяцы интенсивность потепления усилилась с 1970-х гг.

По данным корреляционного анализа в зимний период статистические связи между метеостанциями, расположенными в центре региона, и периферийными метеостанциями более тесные, чем в летний период. Если зимой главная ось овала корреляции направлена с юго-запада на северо-восток, то летом она вытянута с юга на север.

Важную роль в динамике термического режима играет циркуляционный фактор. Происходит заметное изменение характера статистических связей в зависимости от индекса циркуляции. Если индексы АО и NAO более эффективно влияют на термический режим западных районов зимой (положительные связи), то индекс SCAND в большей степени воздействует на термический режим восточного региона зимой (отрицательная связь). Колебание индекса EAWR также эффективнее влияет на термический режим восточного региона, но уже в летний период (отрицательная связь). Роль циркуляционных факторов на рассматриваемой территории неоднородная как по знаку, так и по интенсивности.

При анализе опасных метеорологических явлений выявлено, что за 1975–2021 гг. установлен рост количества дней с грозами (0,07 дня в год), градом (0,01 дня в год), гололедом (0,03 дня в год), числа случаев ливней (0,06 случая в зимний период, 0,04 случая в летний период, 0,53 случая в среднем в год), увеличение количества осадков (0,13 мм в зимний период, 0,06 мм в летний период, 0,12 мм в среднем в год) и уменьшение количества дней с метелью (0,07 дня в год), числа случаев с видимостью 1 км и менее (0,3 случая в зимний период, 0,14 случая в летний период, 1,3 случая в год), ветром со скоростью 14 м/с и более (0,007 дня в зимний период, 0,001 дня в летний период, 0,04 дня в среднем в год) и количества дней с туманом (0,05 дня в зимний период, 0,04 дня в летний период, 0,06 дня в среднем в год).

При анализе пожароопасности на территории Беларуси установлено, что за 1990–2019 гг. наиболее пожароопасным стал 2015 г., который характеризуется совокупностью неблагоприятных метеорологических условий в течение года – небольшим количеством осадков, относительной влажностью воздуха на уровне 20–30 %, летними максимальными температурами воздуха (34 и 36 °C), малоснежной зимой, ранним наступлением весны, уровнем половодья ниже среднего многолетнего и низким содержанием влаги в почве.

При анализе динамики уровня стратосферного озона над территорией Беларуси выявлено, что при смещении внезапных стратосферных потеплений в сторону северо-восточной части Европы наблюдается значительное понижение приземной температуры воздуха. Диапазон минимальных приземных температур воздуха в таких случаях колеблется от –13 до –21 °C, общее содержание озона возрастает до 450 ед. Добсона и выше, а высота динамической тропопаузы снижается.

В совокупности перечисленные результаты исследования могут использоваться при разработке мер адаптации к неблагоприятным последствиям изменения климата.

## Библиографические ссылки

1. Ясюкевич ВВ, Говоркова ВА, Корнева ИА, Павлова ТВ, Попова ЕН, редакторы. *Второй оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации*. Москва: Росгидромет; 2014. 1008 с.
2. Переведенцев ЮП, Гурьянов ВВ, Шанталинский КМ, Аухадеев ТР. *Динамика тропосферы и стратосферы в умеренных широтах Северного полушария и современные изменения климата в Приволжском федеральном округе*. Казань: Издательство Казанского университета; 2017. 186 с.

3. Переведенцев ЮП, Вильфанд РМ, Гурьянов ВВ, Шанталинский КМ, Николаев АА, Исмагилов НВ. *Мониторинг и прогнозирование климатической изменчивости на территории Приволжского федерального округа*. Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2019;371(1):67–94.

4. Stocker TF, Qin D, Plattner G-K, Tignor MMB, Allen SK, Boschung J, et al., editors. *Climate change 2013: the physical science basis. Contribution of working group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press; 2013. 1552 p.

5. Бедрицкий АИ, Коршунов АА, Хандожко ЛА, Шаймарданов МЗ. Показатели влияния погодных условий на экономику: чувствительность потребителя к воздействию гидрометеорологическому фактору. *Метеорология и гидрология*. 2000;2:5–9.

6. Логинов ВФ, Лысенко СА. *Современные изменения глобального и регионального климата*. Минск: Беларуская навука; 2019. 315 с.

7. Логинов ВФ, Лысенко СА, Мельник ВИ. *Изменения климата Беларуси: причины, последствия, возможности регулирования*. Минск: Энциклопедикс; 2020. 218 с.

8. World Meteorological Organisation. *Scientific assessment of ozone depletion: 2014*. Geneva: World Meteorological Organisation; 2014. 416 p. (Global ozone research and monitoring project; report No. 55).

9. Schlender TV, Zhuchkevich VV, Krasouski AN, Umreika SD. Sudden Stratospheric Warming (SSW) climatic contribution to winter temperature in Belarus: case of SSW 2017/2018. In: *Climate change: causes, risks, consequences, problems of adaptation and management; 2019 November 26–28; Moscow, Russia* [Internet]. 2019 [cited 2022 February 6]. Available from: [https://elib.bsu.by/bitstream/123456789/288761/1/Schlender\\_2020\\_IOP\\_Conf\\_Ser\\_Earth\\_Environ\\_Sci\\_606\\_012053.pdf](https://elib.bsu.by/bitstream/123456789/288761/1/Schlender_2020_IOP_Conf_Ser_Earth_Environ_Sci_606_012053.pdf) (IOP conference series: Earth and environmental science; volume 606). DOI: 10.1088/1755-1315/606/1/012053.

## References

1. Yasyukevich VV, Govorkova VA, Korneva IA, Pavlova TV, Popova EN, editors. *Vtoroi otsenochnyi doklad ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossiiskoi Federatsii* [Second assessment report on climate change and its consequences in the territory of the Russian Federation]. Moscow: Rosgidromet; 2014. 1008 p. Russian.

2. Perevedentsev YuP, Guryanov VV, Shantalinsky KM, Aukhadееv TR. *Dinamika troposfery i stratosfery v umerennykh shiro-takh Severnogo polushariya i sovremennye izmeneniya klimata v Privolzhskom federal'nom okruge* [Dynamics of the troposphere and stratosphere in the temperate latitudes of the Northern Hemisphere and current climate changes in the Volga Federal District]. Kazan: Publishing House of Kazan University; 2017. 186 p. Russian.

3. Perevedentsev YuP, Vil'fand RM, Guryanov VV, Shantalinsky KM, Nikolaev AA, Ismagilov NV. Monitoring and prediction of climate variability in the Volga Region. *Hydrometeorological Research And Forecastsing*. 2019;371(1):67–94. Russian.

4. Stocker TF, Qin D, Plattner G-K, Tignor MMB, Allen SK, Boschung J, et al., editors. *Climate change 2013: the physical science basis. Contribution of working group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press; 2013. 1552 p.

5. Bedritsky AI, Korshunov AA, Khandozhko LA, Shaimardanov MZ. Indices of weather impact on the economy: user sensitivity to the influencing hydrometeorological factor. *Meteorologiya i Gidrologiya*. 2000;2:5–9. Russian.

6. Loginov VF, Lysenko SA. *Sovremennye izmeneniya global'nogo i regional'nogo klimata* [Modern changes in the global and regional climate]. Minsk: Belaruskaja navuka; 2019. 315 p. Russian.

7. Loginov VF, Lysenko SA, Melnik VI. *Izmeneniya klimata Belarusi: prichiny, posledstviya, vozmozhnosti regulirovaniya* [Climate changes in Belarus: causes, consequences, possibilities of regulation]. Minsk: Entsyklopediks; 2020. 218 p. Russian.

8. World Meteorological Organisation. *Scientific assessment of ozone depletion: 2014*. Geneva: World Meteorological Organisation; 2014. 416 p. (Global ozone research and monitoring project; report No. 55).

9. Schlender TV, Zhuchkevich VV, Krasouski AN, Umreika SD. Sudden Stratospheric Warming (SSW) climatic contribution to winter temperature in Belarus: case of SSW 2017/2018. In: *Climate change: causes, risks, consequences, problems of adaptation and management; 2019 November 26–28; Moscow, Russia* [Internet]. 2019 [cited 2022 February 6]. Available from: [https://elib.bsu.by/bitstream/123456789/288761/1/Schlender\\_2020\\_IOP\\_Conf\\_Ser\\_Earth\\_Environ\\_Sci\\_606\\_012053.pdf](https://elib.bsu.by/bitstream/123456789/288761/1/Schlender_2020_IOP_Conf_Ser_Earth_Environ_Sci_606_012053.pdf) (IOP conference series: Earth and environmental science; volume 606). DOI: 10.1088/1755-1315/606/1/012053.

Получена 17.05.2022 / исправлена 28.06.2022 / принята 05.07.2022.

Received 17.05.2022 / revised 28.06.2022 / accepted 05.07.2022.

УДК 614.27(476)

## ТОРГОВЛЯ ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИМИ ПРЕПАРАТАМИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ: ДИНАМИКА И ГЕОГРАФИЯ

Н. С. ШЕВЦОВА<sup>1)</sup>, А. К. ВИШНЯК<sup>1)</sup>

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

На основе ряда показателей (общий объем продаж, распределение в аптечном и госпитальном секторах, реализация отечественной и импортной продукции на уровне 6 областей и г. Минска) с применением системного, территориального и временного подходов проведен анализ динамики и географии торговли фармацевтическими препаратами в Республике Беларусь, а также представлены его результаты. Выявлена положительная динамика объемов торговли лекарственными средствами как в стране в целом, так и в разрезе областей и г. Минска. Отмечено, что столица лидирует в общих объемах продаж фармацевтических препаратов в стоимостном выражении за рассматриваемый период. Это обусловлено высокой численностью проживающего в ней населения. Установлено преобладание импортной продукции в общем объеме продаж на страновом и административно-территориальном уровнях. Зафиксирован рост доли отечественных препаратов в общем объеме продаж, что связано с развитием белорусской фармацевтической промышленности и ее поддержкой со стороны государства. В течение всего исследуемого периода в качестве доминирующего рынка сбыта на страновом уровне и на уровне областей и г. Минска выступает аптечный сегмент. В расположении фармацевтических предприятий наблюдается тенденция их пространственной деконцентрации, связанной с их размещением не только в столичной области, но и в других областях, что свидетельствует о намечающихся географических сдвигах данной отрасли внутри страны.

**Ключевые слова:** фармацевтические препараты; торговля; общий объем продаж; аптечный сектор; госпитальный сектор; отечественная и импортная продукция.

## PHARMACEUTICAL SALES IN THE REPUBLIC OF BELARUS: DYNAMICS AND GEOGRAPHY

N. S. SHEVTSOVA<sup>a</sup>, A. K. VISHNYAK<sup>a</sup>

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

Corresponding author: A. K. Vishnyak (ann.vishnyak@mail.ru)

The article presents the results of the analysis of the dynamics and geography of the state of pharmaceutical trade in the Republic of Belarus for the period from 2010 to 2020, which was conducted on the basis of a number of indicators (total sales, distribution in the pharmacy and hospital sectors, sales of domestic and imported products at the level of

### Образец цитирования:

Шевцова НС, Вишняк АК. Торговля фармацевтическими препаратами в Республике Беларусь: динамика и география. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология.* 2022;2:88–98.  
<https://doi.org/10.33581/2521-6740-2022-2-88-98>

### For citation:

Shevtsova NS, Vishnyak AK. Pharmaceutical sales in the Republic of Belarus: dynamics and geography. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology.* 2022; 2:88–98. Russian.  
<https://doi.org/10.33581/2521-6740-2022-2-88-98>

### Авторы:

**Наталья Сергеевна Шевцова** – кандидат географических наук, доцент; доцент кафедры экономической и социальной географии факультета географии и геоинформатики.  
**Анна Константиновна Вишняк** – аспирантка кафедры экономической и социальной географии факультета географии и геоинформатики. Научный руководитель – Н. С. Шевцова.

### Authors:

**Nataliya S. Shevtsova**, PhD (geography), docent; associate professor at the department of economic and social geography, faculty of geography and geoinformatics.  
[shevtsova-ns@yandex.ru](mailto:shevtsova-ns@yandex.ru)  
**Anna K. Vishnyak**, postgraduate student at the department of economic and social geography, faculty of geography and geoinformatics.  
[ann.vishnyak@mail.ru](mailto:ann.vishnyak@mail.ru)

6 regions and Minsk) using a systematic, territorial and temporary approaches. The positive dynamics of pharmaceutical trade volumes was revealed both in the country as a whole and in the context of the regions and Minsk. The leadership of the capital in total sales of pharmaceuticals in value terms for the period under review was noted, which is due to the high number of the population living in it. The predominance of imported products in the total volume of sales both at the country and at the administrative-territorial level has been established. An increase in the share of domestic drugs in total sales was recorded, which is due to the development of the Belarusian pharmaceutical industry and its comprehensive support from the state. The pharmacy segment acts as the dominant sales market, both at the country level and at the level of the regions and the city of Minsk during the entire study period. In the placement of pharmaceutical enterprises, there is a tendency of their spatial deconcentration associated with their placement not only in the capital, but also in other areas, which indicates the emerging geographical shifts of this industry within the country.

**Keywords:** pharmaceuticals; sales; total sales; pharmacy sector; hospital sector; domestic and imported products.

## Введение

Развитие фармацевтической промышленности определено процессами глобализации и интернационализации, в результате которых формирование фармацевтики как направления химической промышленности наблюдается в экономиках не только развитых стран постиндустриального типа, но и развивающихся стран, а также стран с переходным типом экономики, к числу которых относится Республика Беларусь. Пандемия COVID-19 показала, что организация собственного промышленного производства лекарственных средств и наличие развитой системы их реализации являются стратегически важной задачей социально ориентированного государства. Это и предопределило актуальность данной статьи.

Объектом исследования выступает торговля фармацевтическими препаратами, предметом исследования – структура и динамика их реализации на уровне 6 областей и г. Минска с 2010 по 2020 г., а также география рассматриваемой торговли.

Цель работы – оценка структуры, динамики и географии торговли фармацевтическими препаратами в Республике Беларусь. Для достижения поставленной цели осуществлены сбор, систематизация, обработка и анализ статистических данных по объемам продаж лекарственных средств за период исследования, а также сформирована информационная электронная база данных (ИЭБД) «Торговля фармацевтическими препаратами в Республике Беларусь за 2010–2020 гг.» по критериям оценки реализации лекарственных средств на внутреннем рынке рассматриваемой страны; проведен анализ торговли лекарственными препаратами по базовым социально-экономическим показателям (общий объем продаж, соотношение отечественных и импортных фармацевтических препаратов на региональном рынке, структура продаж в разрезе аптечного и госпитального секторов); сделана графическая визуализация полученных результатов исследования.

## Материалы и методы исследования

Проблемами динамики реализации фармацевтических препаратов и географии их торговли на протяжении многих лет занимались как отечественные, так и иностранные ученые. С учетом сложившихся научных связей целесообразно проанализировать вклад в изучение данного вопроса российской и белорусской научных школ.

Российская научная школа, рассматривая вопрос развития химико-фармацевтической промышленности, базируется на работах экономикогеографов географического факультета Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова, например Т. Х. Ткаченко<sup>1</sup>, В. М. Сокольского [1], А. П. Горкина [2] и П. В. Подгорнева<sup>2</sup>. Определяя фармацевтическую отрасль как часть химического комплекса, ученые делают акцент на высокой наукоемкости фармацевтического производства, характерной для постиндустриальных стран, где фармацевтика получила соответствующее развитие. Кроме этого, вопросы производства и реализации лекарственных препаратов представлены в трудах таких исследователей, как А. А. Лин и С. В. Соколова [3], И. И. Богачёв и И. А. Родионова [4], Н. Н. Зязева [5], Е. В. Сапир и И. А. Карачев [6]. В указанных работах выделены факторы, сдерживающие или стимулирующие развитие фармацевтического рынка, и связанные с длительностью процедуры регистрации препаратов, государственным контролем над ценами, а также с проблемами финансирования

<sup>1</sup>Ткаченко Т. Х. Отраслевая и территориальная структура химической промышленности ГДР : автореф. дис. ... канд. геогр. наук : 11.00.03. М., 1972. 34 с.

<sup>2</sup>Подгорнев П. В. Территориальная структура фармацевтической промышленности в постиндустриальную эпоху : автореф. дис. ... канд. геогр. наук : 25.00.24. М., 2015. 21 с.

научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ и импортозамещения; рассмотрено влияние открытия предприятий отрасли на развитие региона в целом.

При изучении фармацевтики белорусские исследователи не опираются на концепции экономико-географической школы, однако соответствующие концепции представлены в работах по изучению химического комплекса ученых факультета географии и геоинформатики Белорусского государственного университета Е. А. Антиповой<sup>3</sup> и В. П. Сидоренко [7]. Е. А. Антипова выявила региональные особенности внешнеэкономических связей химического комплекса Республики Беларусь, тогда как В. П. Сидоренко проанализировал трансформацию факторов развития химико-фармацевтического комплекса и определил усиление роли потребительского фактора. И. И. Запрудский<sup>4</sup> разработал методику анализа размещения промышленного комплекса Республики Беларусь. Отдельные положения данной методики могут применяться и к фармацевтической отрасли. В частности, благодаря оценке корреляционной связи показателей, относящихся к внутренним и внешним факторам развития промышленности, можно сделать выводы о территориальной трансформации фармацевтической промышленности.

На национальном уровне проблемами теоретико-методологического и практико-ориентированного характера также занимались М. М. Шоломицкая [8], Е. М. Пархоменко [9], Л. Ю. Пшебельская, Ю. Ю. Лавор [10], Т. А. Бизунок [11], С. Э. Ржеусский и Е. В. Игнатъева [12], однако вопросам выявления структуры и динамики реализации фармацевтических препаратов и географии их торговли на уровне административно-территориальных единиц в современных условиях не было уделено должного внимания.

В работах зарубежных исследователей стоит отметить практикоориентированность. С использованием информационных технологий в изучении реализации лекарственных препаратов, включая методы ГИС-анализа и моделирования, представляют интерес статьи таких авторов, как Х. Кешаварза, А. Х. Мешкини, Р. Хайати, С. Дехган, А. Кебриезде [13], М. К. Перейра, Х. Виларес [14], Э. Эздеylan, А. Услу, М. Эрбаш, Дж. Четинкая, С. К. Ишлеен [15], К. Вильча и С. Аврам [16]. В их публикациях акцентируется внимание на территориальной организации и транспортной доступности пунктов реализации лекарственных средств через аптечную сеть в регионах, в которых население не имеет возможности получить консультацию профильного медицинского специалиста. Кроме доступности, в данных трудах внимание уделяется необходимости оценки общего количества существующих объектов торговли фармацевтическими препаратами.

Практические результаты оценки торговли лекарственными средствами с использованием регионального подхода и экономико-географического анализа отражены в статье А. Кебриезде с соавторами [17]. В их работе представлена методика анализа (с применением инструментов математической статистики) фармацевтического рынка Ирана путем нахождения взаимосвязи между численностью населения и емкостью рынка лекарственных средств, его структурой в натуральном и стоимостном выражении. Для изучения реализации фармацевтических препаратов в Республике Беларусь данный методический прием не может быть использован по причине отсутствия корреляционной зависимости между численностью населения страны и объемами торговли медицинскими препаратами.

Для достижения цели исследования был разработан организационный алгоритм, включающий следующие этапы:

- анализ теоретико-методических основ изучения продаж лекарственных средств;
- определение программы исследования;
- сбор, систематизация, обработка и анализ статистических данных по объемам продаж фармацевтических препаратов с 2010 по 2020 г.;
- формирование ИЭБД «Торговля фармацевтическими препаратами в Республике Беларусь за 2010–2020 гг.» по базовым критериям социально-экономической оценки реализации лекарственных средств на внутреннем рынке Республики Беларусь;
- проведение социально-экономической оценки данных ИЭБД с использованием пакета программ *Microsoft Office* и *ESRI ArcGIS* для создания графических и картографических продуктов, отображающих изучаемые характеристики на уровне 6 областей и г. Минска за период исследования.

В качестве методической основы изучения рассматриваемого вопроса использовались системный, территориальный и временной подходы, а также экономико-статистический анализ, картографический и сравнительно-географический методы.

<sup>3</sup> Антипова Е. А. География внешнеэкономических связей Республики Беларусь в новых экономических условиях (на примере химической промышленности) : автореф. дис. ... канд. геогр. наук : 11.00.02. Минск, 1995. 20 с.

<sup>4</sup> Запрудскі І. І. Трансфармацыя тэрытарыяльна-галаіновай структуры і рэгіяналізацыя прамысловасці Рэспублікі Беларусь : аўтарэф. дыс. ... канд. геагр. навук : 25.03.02. Мінск, 2019. 24 с.

### Результаты и их обсуждение

Общий анализ белорусского фармацевтического рынка за исследуемый период позволил выявить ежегодный рост объемов продаж лекарственных средств в стоимостном выражении (табл. 1). Несмотря на наблюдаемую демографическую убыль (в 2010 г. она составила 9,5 млн человек, в 2020 г. – 9,4 млн человек<sup>5</sup>), общий объем продаж рассматриваемых препаратов на рынке достиг 816,1 млн долл. США в 2020 г. по сравнению с 676,1 млн долл. США в 2010 г., что эквивалентно увеличению на 20,7 %.

Таблица 1

Объемы продаж лекарственных препаратов на розничном фармацевтическом рынке Республики Беларусь с 2010 по 2020 г., млн долл. США

Table 1

Sales volumes of medicines on the retail pharmaceutical market of the Republic of Belarus in 2010–2020, mln US dollars

Год	Регион							Республика Беларусь
	Брестская область	Витебская область	Гомельская область	Гродненская область	Минская область	Могилёвская область	Город Минск	
2010	87,6	74,7	92,9	65,5	65,5	62,2	227,7	676,1
2011	83,9	69,9	85,0	63,4	62,8	60,8	224,6	650,4
2012	92,3	86,7	108,7	73,3	78,0	74,5	283,8	797,3
2013	127,0	132,9	104,0	403,8	44,4	1057,6	106,3	1976,0
2014	127,3	136,3	111,6	407,4	47,0	1093,2	115,2	2038,0
2015	126,7	110,7	128,8	93,4	99,4	92,8	408,7	1060,5
2016	108,1	94,8	110,6	82,9	97,1	78,2	388,7	960,4
2017	120,1	103,8	124,9	91,0	112,5	87,1	430,2	1069,6
2018	98,5	86,9	103,8	76,0	98,2	71,7	269,1	804,2
2019	102,7	89,6	108,8	77,7	93,7	75,2	272,9	820,6
2020	101,2	84,9	105,3	77,4	96,2	75,1	276,0	816,1
<i>Итого</i>	<i>1175,4</i>	<i>1071,2</i>	<i>1184,4</i>	<i>1511,8</i>	<i>894,8</i>	<i>2828,4</i>	<i>3003,2</i>	<i>11 669,2</i>

Примечание. Здесь и далее при составлении таблиц использовались данные базы *MedMarket*.

Анализ географического аспекта продаж фармацевтических препаратов показал, что в столице самый большой объем продаж. Это связано с высокой численностью проживающего в ней населения. Однако в отдельные годы наблюдаются статистические выбросы по данному показателю в Гродненской, Минской, Могилёвской областях и г. Минске. Так, для приграничных областей характерны равные объемы продаж в течение всего рассматриваемого периода, за исключением 2013 и 2014 гг. Данные колебания обусловлены увеличением доли импортных препаратов в госпитальном секторе, при этом в указанные годы в столице и ее области было отмечено снижение объема продаж лекарств в стоимостном выражении в 2 раза.

Способ реализации фармацевтических препаратов за исследуемый период не менялся. Лидирующим рынком сбыта продукции с течением времени остается аптечный сегмент (78,3 %), доля которого увеличилась с 74,0 % в 2010 г. до 75,7 % в 2020 г. (рис. 1). Удельный вес госпитального сектора снизился с 26,0 % в 2010 г. до 24,3 % в 2020 г., при этом незначительные колебания доли продаж в данном секторе связаны с тем, что он обеспечивает медицинскими препаратами больных с наиболее тяжелыми формами заболеваний, нуждающихся в стационарном лечении.

Преобладание аптечного сегмента в продажах лекарственных средств отмечено и на уровне административно-территориальных единиц (табл. 2 и 3). По данному показателю лидирует Минская область (80,8 % от общего объема продаж приходится на аптечный сегмент). Далее в направлении снижения доли продаж фармацевтических препаратов располагаются Могилёвская (79,3 %), Брестская (79,2 %), Гомельская (78,3 %), Витебская (78,1 %) и Гродненская (77,2 %) области. Наименьший процент данного показателя выявлен в г. Минске (76,8 %).

<sup>5</sup>Регионы Беларуси, 2021 / Нац. стат. ком. Респ. Беларусь. Минск, 2021.



Рис. 1. Динамика доли аптечного и госпитального секторов в торговле фармацевтическими препаратами в Республике Беларусь с 2010 по 2020 г. (составлено авторами по данным базы MedMarket)

Fig. 1. Dynamics of the share of the pharmacy and hospital sectors in the pharmaceutical trade in the Republic of Belarus from 2010 to 2020 (compiled by the authors according to the MedMarket database)

Таблица 2

**Объемы продаж лекарственных препаратов в аптечном сегменте розничного фармацевтического рынка Республики Беларусь с 2010 по 2020 г., млн долл. США**

Table 2

**Sales volumes of medicines in the pharmacy of the retail pharmaceutical market of the Republic of Belarus from 2010 to 2020, mln US dollars**

Год	Регион							Республика Беларусь
	Брестская область	Витебская область	Гомельская область	Гродненская область	Минская область	Могилёвская область	Город Минск	
2010	65,1	55,9	68,1	47,6	55,6	45,7	162,4	500,4
2011	68,5	57,0	68,2	50,5	52,6	50,1	183,3	530,2
2012	71,2	66,9	79,6	56,3	65,6	59,9	204,6	604,1
2013	99,1	97,7	89,7	294,2	34,0	816,8	86,8	1518,3
2014	101,5	108,1	96,5	310,7	37,3	871,2	93,9	1619,2
2015	105,7	92,5	105,1	77,7	81,6	79,1	338,8	880,5
2016	89,2	75,7	85,3	69,1	77,6	65,4	314,8	777,1
2017	96,7	81,6	95,3	74,7	89,3	66,0	339,8	843,4
2018	76,0	67,2	78,3	61,5	78,7	65,5	193,9	621,1
2019	79,4	67,9	81,3	62,8	74,0	61,8	194,9	622,1
2020	78,2	66,5	80,5	62,2	76,4	62,1	191,9	617,8
Итого	930,6	837,0	927,9	1167,3	722,7	2243,6	2305,1	9134,2

Таблица 3

**Объемы продаж лекарственных препаратов  
в госпитальном сегменте розничного фармацевтического рынка Республики Беларусь  
с 2010 по 2020 г., млн долл. США**

Table 3

**Sales volumes of medicines in the hospital segment of the retail pharmaceutical market  
of the Republic of Belarus from 2010 to 2020, mln US dollars**

Год	Регион							Республика Беларусь
	Брестская область	Витебская область	Гомельская область	Гродненская область	Минская область	Могилёвская область	Город Минск	
2010	22,5	18,8	24,8	17,9	9,9	16,5	65,3	175,7
2011	15,4	12,9	16,8	12,9	10,2	10,7	41,3	120,2
2012	21,1	19,8	29,1	17,0	12,4	14,6	79,2	193,2
2013	27,9	35,2	14,3	109,6	10,4	240,8	19,5	457,7
2014	25,8	28,2	15,1	96,7	9,7	222,0	21,3	418,8
2015	21,0	18,2	23,7	15,7	17,8	13,7	69,9	180,0
2016	18,9	19,1	25,3	13,8	19,5	12,8	73,9	183,3
2017	23,4	22,2	29,6	16,3	23,2	21,1	90,4	226,2
2018	22,5	19,7	25,5	14,5	19,5	6,2	75,2	183,1
2019	23,3	21,7	27,5	14,9	19,7	13,4	78,0	198,5
2020	23,0	18,4	24,8	15,2	19,8	13,0	84,1	198,3
<i>Итого</i>	<i>244,8</i>	<i>234,2</i>	<i>256,5</i>	<i>344,5</i>	<i>172,1</i>	<i>584,8</i>	<i>698,1</i>	<i>2535,0</i>

В разрезе отечественной и импортной продукции наблюдается устойчивое доминирование продаж зарубежной продукции (64,8 %). На основании анализа данных табл. 4 можно отметить, что общий объем продаж отечественных лекарственных средств в 2020 г. увеличился в 2 раза по сравнению с 2010 г. (314,1 млн долл. США и 158,8 млн долл. США соответственно). Одновременно на 3 % снизился объем продаж на рынке импортных лекарств в 2020 г. по сравнению с аналогичным показателем в 2010 г. (502 млн долл. США и 517,3 млн долл. США соответственно) (табл. 5).

Таблица 4

**Объемы продаж отечественных лекарственных препаратов  
на розничном фармацевтическом рынке Республики Беларусь с 2010 по 2020 г., млн долл. США**

Table 4

**Sales volumes of domestic medicines in the retail pharmaceutical market  
of the Republic of Belarus from 2010 to 2020, mln US dollars**

Год	Регион							Республика Беларусь
	Брестская область	Витебская область	Гомельская область	Гродненская область	Минская область	Могилёвская область	Город Минск	
2010	22,0	20,8	25,9	17,0	18,3	16,6	38,2	158,8
2011	20,7	20,1	23,9	17,0	18,7	16,0	37,7	154,1
2012	24,5	27,2	32,0	21,4	22,6	20,2	51,1	199,0
2013	37,9	39,5	34,1	79,4	11,1	274,0	34,8	510,8
2014	41,0	42,9	38,7	90,4	12,9	309,4	39,8	575,1
2015	63,4	55,4	64,4	46,7	49,7	46,4	204,3	530,3
2016	54,1	47,4	55,3	41,4	48,5	39,1	194,3	480,1
2017	60,1	51,9	62,5	45,5	56,2	43,6	215,1	534,9

Окончание табл. 4  
Ending table 4

Год	Регион							Республика Беларусь
	Брестская область	Витебская область	Гомельская область	Гродненская область	Минская область	Могилёвская область	Город Минск	
2018	42,3	39,4	45,1	34,0	44,2	32,7	85,4	323,1
2019	42,8	39,4	47,1	34,0	43,7	34,1	82,0	323,1
2020	41,5	38,2	44,8	34,4	44,2	34,1	76,9	314,1
<i>Итого</i>	<i>450,3</i>	<i>422,2</i>	<i>473,8</i>	<i>461,2</i>	<i>370,1</i>	<i>866,2</i>	<i>1059,6</i>	<i>4103,4</i>

Таблица 5

**Объемы продаж импортных лекарственных препаратов на розничном фармацевтическом рынке Республики Беларусь с 2010 по 2020 г., млн долл. США**

Table 5

**Sales volumes of imported medicines in the retail pharmaceutical market of the Republic of Belarus from 2010 to 2020, mln US dollars**

Год	Регион							Республика Беларусь
	Брестская область	Витебская область	Гомельская область	Гродненская область	Минская область	Могилёвская область	Город Минск	
2010	65,6	53,9	67,0	48,5	47,2	45,6	189,5	517,3
2011	63,2	49,8	61,1	46,4	44,1	44,8	186,9	496,3
2012	67,8	59,5	76,7	51,9	55,4	54,3	232,7	598,3
2013	89,1	93,4	69,9	324,4	33,3	783,6	71,5	1465,2
2014	86,3	93,4	72,9	317,0	34,1	783,8	75,4	1462,9
2015	63,3	55,3	64,4	46,7	49,7	46,4	204,4	530,2
2016	54,0	47,4	55,3	41,5	48,6	39,1	194,4	480,3
2017	60,0	51,9	62,4	45,5	56,3	43,5	215,1	534,7
2018	56,2	47,5	58,7	42,0	54,0	39,0	183,7	481,1
2019	59,9	50,2	61,7	43,7	50,0	41,1	190,9	497,5
2020	59,7	46,7	60,5	43,0	52,0	41,0	199,1	502,0
<i>Итого</i>	<i>725,1</i>	<i>649,0</i>	<i>710,6</i>	<i>1050,6</i>	<i>524,7</i>	<i>1962,2</i>	<i>1943,6</i>	<i>7565,8</i>

Главными причинами поступательного увеличения доли белорусских лекарственных препаратов на рынке страны с 2011 г. стали утверждение и последующая реализация ряда целевых государственных программ в этой области, регламентирующих сокращение доли импортных препаратов за счет роста удельного веса отечественных, – Государственной программы по развитию импортозамещающих производств фармацевтических субстанций, готовых лекарственных и диагностических средств в Республике Беларусь на 2010–2014 гг. и на период до 2020 г., а также Государственной программы развития фармацевтической промышленности Республики Беларусь на 2016–2020 гг. (рис. 2).

В структуре продаж отечественных и импортных препаратов на уровне 6 областей и г. Минска наблюдается повсеместное преобладание импортных лекарственных средств. В 2020 г. во всех областях Республики Беларусь отмечен рост доли медицинских препаратов белорусского производства в общем объеме продаж по сравнению с 2010 г. (см. табл. 4). Лидером по доле продаж зарубежных лекарственных средств стала Гродненская область (69,5 %). Промежуточное положение заняли Могилёвская область (69,4 %), г. Минск (64,7 %), Брестская (61,7 %), Витебская (60,6 %) и Гомельская (60,0 %) области. Наименьший объем продаж таких препаратов зафиксирован в Минской области (58,6 %), при этом доля продаж данных лекарств в Республике Беларусь за рассматриваемый период составила 64,8 % (см. табл. 5).

В отношении географии стран, импортирующих фармацевтические препараты в Республику Беларусь, стоит отметить следующую динамику. В 2010 г. в стране была представлена 651 компания из 57 стран мира, в то время как в 2020 г. функционировали 853 компании из 55 стран (рис. 3).



Рис. 2. Динамика доли продаж отечественных и импортных фармацевтических препаратов в Республике Беларусь с 2010 по 2020 г. (составлено авторами по данным базы MedMarket)

Fig. 2. Dynamics of the share of sales of domestic and imported pharmaceutical products in the Republic of Belarus from 2010 to 2020 (compiled by the authors according to the MedMarket database)

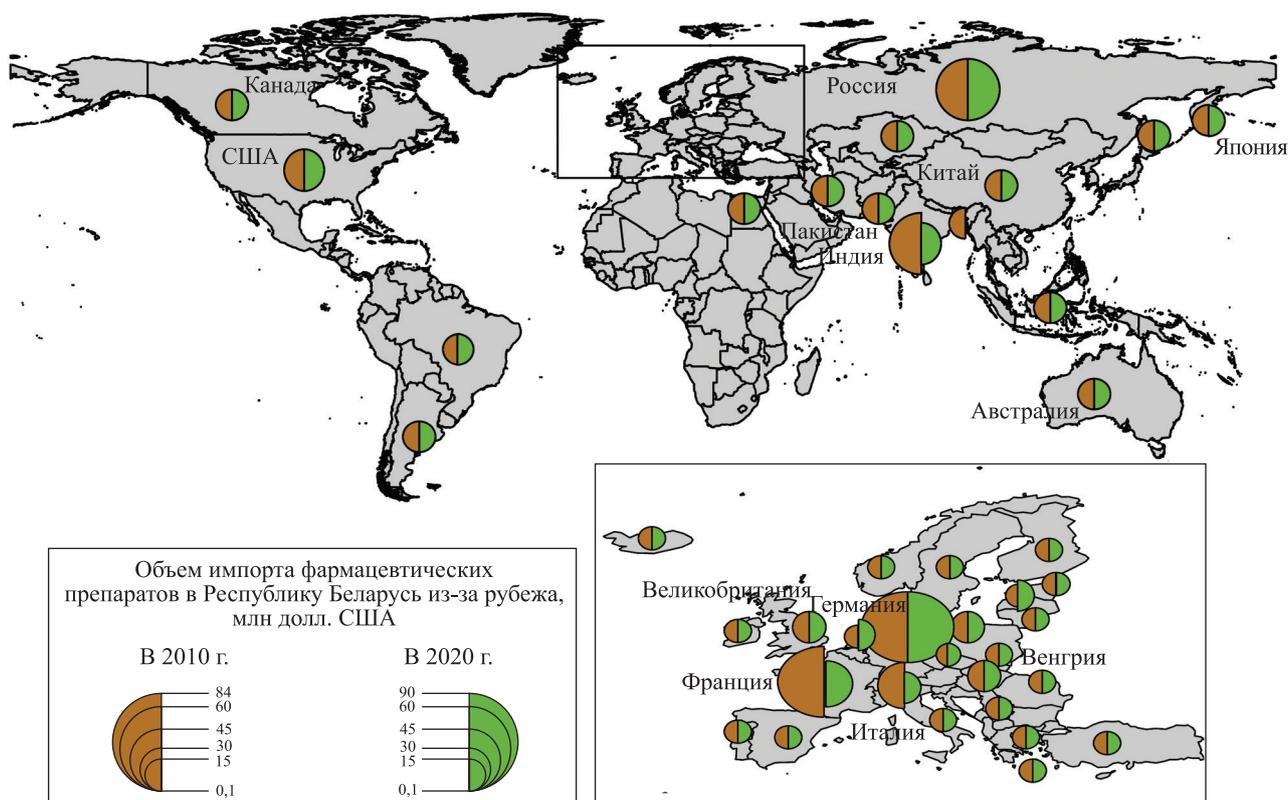


Рис. 3. География стран, импортирующих фармацевтические препараты в Республику Беларусь в 2010 и 2020 г. (составлено авторами по данным базы MedMarket)

Fig. 3. Geography of pharmaceutical products importing countries to the Republic of Belarus in 2010 and 2020 (compiled by the authors according to the MedMarket database)

Сравнительно-географический анализ показателей торговли фармацевтическими препаратами в 2010 и 2020 гг. показал, что в топ-10 компаний по продажам лекарств на внутреннем рынке Республики Беларусь в 2010 г. вошли 3 отечественных предприятия, к 2020 г. количество белорусских фирм возросло в рейтинге до 6 компаний. Это свидетельствует о тенденции роста спроса на лекарственные средства белорусских производителей. Диаметрально противоположная ситуация наблюдалась в отношении зарубежных компаний по торговле фармацевтическими препаратами на внутреннем рынке страны. В частности, в 2010 г. в топ-10 входили 7 таких компаний, а к 2020 г. – только 4 предприятия, что указывает на усиление процессов импортозамещения медицинских препаратов в Республике Беларусь (табл. 6 и 7).

Таблица 6

**Топ-10 корпораций-производителей по объемам продаж на розничном фармацевтическом рынке Республики Беларусь в 2010 г.**

Table 6

**Sales volumes of the top 10 manufacturing corporations in the retail pharmaceutical market of the Republic of Belarus in 2010**

№ п/п	Корпорации-производители	Объем продаж, млн долл. США
1	Белмедпрепараты	44,2
2	Фармлэнд	30,4
3	БЗМП	28,1
4	Санофи-авентис групп	26,9
5	Гедеон Рихтер	19,1
6	Ф. Хоффманн-Ля Рош Лтд.	18,1
7	Берлин-Хеми/Менарини групп	17,4
8	Байер Консьюмер Кэр АГ	15,0
9	ГлаксоСмитКляйн фармасьютикалз С. А.	13,9
10	Такеда	13,8

Примечание. Фоном выделены производители фармацевтических препаратов Республики Беларусь.

Таблица 7

**Топ-10 корпораций-производителей по объемам продаж на розничном фармацевтическом рынке Республики Беларусь в 2020 г.**

Table 7

**Sales volumes of the top 10 manufacturing corporations in the retail pharmaceutical market of the Republic of Belarus in 2020**

№ п/п	Корпорации-производители	Объем продаж, млн долл. США
1	Белмедпрепараты	63,7
2	БЗМП	52,2
3	Лекфарм	43,9
4	Фармлэнд	27,7
5	Байер Шеринг фарма АГ	21,7
6	Санофи-авентис групп	20,4
7	Ф. Хоффманн-Ля Рош Лтд.	19,8
8	Фармтехнология	18,4
9	КРКА	17,7
10	Минскинтеркапс	17,6

Примечание. Фоном выделены производители фармацевтических препаратов Республики Беларусь.

Таким образом, с 2010 по 2020 г. в Республике Беларусь были открыты 18 новых фармацевтических предприятий, расположенных исключительно в г. Минске, что нашло отражение в позитивной динамике торговли отечественными лекарственными препаратами, т. е. объем продаж отечественных препаратов для столицы в 2020 г., по сравнению с 2010 г., увеличился в 2 раза. Одновременно с этим география действующих предприятий представлена в Брестской (2 предприятия), Витебской (1 предприятие), Гродненской (2 предприятия) и Минской (20 предприятий) областях, однако их наличие не оказывает значительного влияния на увеличение доли продаж белорусских препаратов в структуре данных регионов.

### Заключение

Наибольший объем продаж лекарственных препаратов на уровне 6 областей и г. Минска установлен в столице, что связано с происходящими центропериферийными процессами размещения объектов фармацевтической промышленности.

В структуре продаж медицинских препаратов превалирует аптечный сегмент как в разрезе областей и г. Минска, так и на страновом уровне (78,3 %). Это подтверждается стабильностью положительной динамики аптечного сектора на страновом уровне (с 74,0 % в 2010 г. до 75,7 % в 2020 г.). На уровне административно-территориальных единиц максимальная доля продаж лекарств в аптечном сегменте отмечена в Минской области (80,8 %), а минимальная – в г. Минске (76,8 %).

Кроме того, выявлено устойчивое доминирование продаж импортных лекарственных средств (64,8 %) в структуре торговли отечественными и зарубежными фармацевтическими препаратами при максимальной доле их продаж в Гродненской области (69,5 %) и минимальной доле продаж в Минской области (58,6 %). С течением времени формируется тенденция снижения доли продаж зарубежных фармацевтических препаратов (с 76,5 % в 2010 г. до 61,5 % в 2020 г.). Одновременно во всех областях зафиксирован рост доли отечественных лекарственных средств, что связано с интенсивным развитием белорусской фармацевтической промышленности и ее поддержкой со стороны государства.

На дальнейшее развитие центропериферийных процессов в системе торговли лекарственными препаратами будет влиять фактор географической диспропорции размещения объектов фармацевтической промышленности, проявляющийся в максимальной концентрации предприятий в столичной области и их отсутствии в восточных областях страны.

### Библиографические ссылки

1. Сокольский ВМ. Глобализация мировой химической промышленности: макрогеографические процессы и индикаторы. В: Фетисов АС, Иванова ИС, Кузина ИМ, редакторы. *Общественная география: многообразие и единство. Том 19*. 2011. Москва: [б. и.]; с. 95–115.
2. Горкин АП. *География постиндустриальной промышленности*. Смоленск: Ойкумена; 2012. 348 с.
3. Лин АА, Соколова СВ. Фармацевтический рынок: фундаментальные особенности (статья 1, часть 1). *Проблемы современной экономики*. 2012;2:372–376.
4. Богачёв ИИ, Родионова ИА. Характеристика состояния и проблемы развития фармацевтического кластера в Калужской области. *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экономика*. 2014;1:24–34.
5. Зязева НН. Современное состояние, условия и перспективы развития мирового фармацевтического рынка. *Российский внешнеэкономический вестник*. 2015;12:118–129.
6. Сапир ЕВ, Карачев ИА. Общий фармацевтический рынок ЕАЭС и Евразийская интеграция. *Современная Европа*. 2017; 2:121–134. DOI: 10.15211/soveurope22017121134.
7. Сидоренко ВП. Теоретические аспекты трансформации отраслевых региональных комплексов (на примере химического комплекса Беларуси). *Вестник Белорусского государственного университета. Серия 2. Химия. Биология. География*. 2001;2:89–92.
8. Шоломицкая ММ. Состояние, проблемы и перспективы развития фармацевтической промышленности в Республике Беларусь. *Вестник Белорусского государственного экономического университета*. 2010;2:53–59.
9. Пархоменко ЕМ. Анализ фармацевтического рынка Республики Беларусь. *Вестник Белорусского государственного экономического университета*. 2013;3:79–85.
10. Пшебельская ЛЮ, Лавор ЮЮ. Перспективы развития фармацевтической промышленности Республики Беларусь. *Труды БГТУ. Экономика и управление*. 2016;7:245–249.
11. Бизунок ТА. Конкурентоспособность фармацевтической отрасли Республики Беларусь и пути ее повышения. *Белорусский экономический журнал*. 2019;4:126–138.
12. Ржеусский СЭ, Игнатъева ЕВ. Фармацевтическое производство в Республике Беларусь в 2010–2019 годах. *Вестник фармации*. 2020;2:14–22.
13. Keshavarz K, Meshkini AH, Hayati R, Dehghan S, Kebriaeezadeh A. Geographic information system analysis of accessibility to community pharmacy in Shiraz, Iran. *Iranian Journal of Pharmaceutical Sciences*. 2012;8(4):283–288.
14. Pereira MC, Vilares H. A review of the pharmaceutical market in Portugal. *Banco de Portugal. Economic Bulletin*. 2014;10: 85–98.

15. Özceylan E, Uslu A, Erbaş M, Çetinkaya C, İşleyen SK. Optimizing the location-allocation problem of pharmacy warehouses: a case study in Gaziantep. *An International Journal of Optimization and Control: Theories & Applications*. 2017;7(1):117–129. DOI: 10.11121/ijocta.01.2017.00373.
16. Vilcea C, Avram S. Using GIS methods to analyse the spatial distribution and public accessibility of pharmacies in Craiova city, Romania. *Bulletin of Geography. Socio-economic Series*. 2019;45(45):125–132. DOI: 10.2478/bog-2019-0028.
17. Kebriaeezadeh A, Koopaei NN, Abdollahiasl A, Nikfar S, Mohamadi N. Trend analysis of the pharmaceutical market in Iran 1997–2010; policy implications for developing countries. *DARU Journal of Pharmaceutical Sciences*. 2013;52:1–8. DOI: 10.1186/2008-2231-21-52.

## References

1. Sokol'skii VM. [Globalisation of the global chemical industry: macrogeographic processes and indicators]. In: Fetisov AS, Ivanova IS, Kuzina IM, editors. *Obshchestvennaya geografiya: mnogoobrazie i edinstvo. Tom 19* [Public geography: diversity and unity. Volume 19]. 2011. Moscow: [s. n.]; p. 95–115. Russian.
2. Gorkin AP. *Geografiya postindustrial'noi promyshlennosti* [Geography of the post-industrial industry]. Smolensk: Oikumena; 2012. 348 p. Russian.
3. Lin AA, Sokolova SV. Pharmaceutical market: fundamental specificities (article 1, part 1). *Problems of Modern Economics*. 2012;2:372–376. Russian.
4. Bogachev II, Rodionova IA. Main features and problems of the Kaluga Region innovative pharmaceutical cluster development. *RUDN Journal of Economics*. 2014;1:24–34. Russian.
5. Zjazeva NN. The current state of the conditions and prospects of the global pharmaceutical market. *Russian Foreign Economic Journal*. 2015;12:118–129. Russian.
6. Sapir EV, Karachev IA. Common pharmaceutical market and Eurasian integration. *Contemporary Europe*. 2017;2:121–134. Russian. DOI: 10.15211/soveurope22017121134.
7. Sidorenko VP. Theoretical aspects of transformation of regional complexes (for example chemical complexes of Belarus). *Vestnik Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 2. Khimiya. Biologiya. Geografiya*. 2001;2:89–92. Russian.
8. Sholomitskaya MM. Condition, problems and development prospects of pharmaceutical industry in the Republic of Belarus. *Vestnik Belaruskaga dzjarzhavnaga jekanamichnaga wniwersitjeta*. 2010;2:53–59. Russian.
9. Parkhomenko EM. Analysis of pharmaceutical market of the Republic of Belarus. *Vestnik Belaruskaga dzjarzhavnaga jekanamichnaga wniwersitjeta*. 2013;3:79–85. Russian.
10. Pshebel'skaja LJ, Labor JuJu. [Prospects of development of the pharmaceutical industry of the Republic of Belarus]. *Trudy BGTU. Ekonomika i upravlenie*. 2016;7:245–249. Russian.
11. Bizunok TA. Competitiveness of pharmaceutical industry in the Republic of Belarus and ways of its enhancing. *Belarusian Economic Journal*. 2019;4:126–138. Russian.
12. Rzhheusskii SE, Ignat'eva EV. [Pharmaceutical production in the Republic of Belarus in 2010–2019]. *Vestnik farmatsii*. 2020; 2:14–22. Russian.
13. Keshavarz K, Meshkinia AH, Hayati R, Dehghan S, Kebriaeezadeh A. Geographic information system analysis of accessibility to community pharmacy in Shiraz, Iran. *Iranian Journal of Pharmaceutical Sciences*. 2012;8(4):283–288.
14. Pereira MC, Vilares H. A review of the pharmaceutical market in Portugal. *Banco de Portugal. Economic Bulletin*. 2014;10: 85–98.
15. Özceylan E, Uslu A, Erbaş M, Çetinkaya C, İşleyen SK. Optimizing the location-allocation problem of pharmacy warehouses: a case study in Gaziantep. *An International Journal of Optimization and Control: Theories & Applications*. 2017;7(1):117–129. DOI: 10.11121/ijocta.01.2017.00373.
16. Vilcea C, Avram S. Using GIS methods to analyse the spatial distribution and public accessibility of pharmacies in Craiova city, Romania. *Bulletin of Geography. Socio-economic Series*. 2019;45(45):125–132. DOI: 10.2478/bog-2019-0028.
17. Kebriaeezadeh A, Koopaei NN, Abdollahiasl A, Nikfar S, Mohamadi N. Trend analysis of the pharmaceutical market in Iran 1997–2010; policy implications for developing countries. *DARU Journal of Pharmaceutical Sciences*. 2013;52:1–8. DOI: 10.1186/2008-2231-21-52.

Получена 11.05.2022 / исправлена 19.08.2022 / принята 03.10.2022.  
Received 11.05.2022 / revised 19.08.2022 / accepted 03.10.2022.

## ОЦЕНКА ИНТЕНСИВНОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ОПАСНЫХ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ НА СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКУЮ СИСТЕМУ БЕЛАРУСИ

Ю. А. ГЛЕДКО<sup>1)</sup>, М. В. МЕДВЕДЬКО<sup>1)</sup>

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

Исследована проблема воздействия опасных гидрометеорологических явлений на социальную и экономическую сферы Беларуси. Особенности этого влияния представлены посредством новых показателей, которые определяют интенсивность воздействия гидрометеорологических факторов на социально-экономическую систему страны с учетом уровня развития ее регионов. На основе официальных данных государственной сети гидрометеорологических наблюдений Беларуси с помощью статистических методов и метода картирования проанализированы опасные гидрометеорологические явления, зафиксированные в 2008–2020 гг. На базе результатов количественного анализа опасных гидрометеорологических явлений проведена оценка интенсивности их воздействия на социально-экономическую систему Беларуси с использованием официальных данных Национального статистического комитета Республики Беларусь о численности населения, площади административных районов и ВРП областей. Предложена адаптированная методика полимасштабного изучения влияния опасных гидрометеорологических явлений на социальную и экономическую сферы Беларуси в разрезе локального уровня, мезоуровня (район) и макроуровня (страна) с применением геоинформационных технологий и информационной электронной базы данных. Выявлено, что административные районы Беларуси имеют неодинаковую уязвимость для опасных проявлений погоды. Выделены наиболее уязвимые районы Беларуси, для которых специализированное гидрометеорологическое обеспечение имеет особое значение. С точки зрения интенсивности воздействия опасных гидрометеорологических явлений на социально-экономическую систему страны наиболее неблагоприятной является Минская область. Чем выше плотность населения и больше повторяемость опасных гидрометеорологических явлений, тем выше интенсивность их возможного воздействия на население. Соответственно, чем выше ВРП области, тем более значительные экономические потери ожидаются в ней. В связи с этим в областях с высоким ВРП следует предпринимать необходимые защитные меры в целях уменьшения последствий воздействия опасных гидрометеорологических явлений на социальную и экономическую сферы территории.

**Ключевые слова:** опасные гидрометеорологические явления; интенсивность воздействия опасных гидрометеорологических явлений; повторяемость опасных гидрометеорологических явлений; социально-экономическая система.

### Образец цитирования:

Гледко ЮА, Медведько МВ. Оценка интенсивности воздействия опасных гидрометеорологических явлений на социально-экономическую систему Беларуси. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология.* 2022;2:99–116.  
<https://doi.org/10.33581/2521-6740-2022-2-99-116>

### For citation:

Hledko YA, Medvedko MV. Assessment of the intensity of the impact of hazardous hydrometeorological phenomena on the socio-economic system of Belarus. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology.* 2022;2:99–116. Russian.  
<https://doi.org/10.33581/2521-6740-2022-2-99-116>

### Авторы:

**Юлия Александровна Гледко** – кандидат географических наук, доцент; заведующий кафедрой общего землеведения и гидрометеорологии факультета географии и геоинформатики.

**Мария Вячеславовна Медведько** – студентка факультета географии и геоинформатики. Научный руководитель – Ю. А. Гледко.

### Authors:

**Yulia A. Hledko**, PhD (geography), docent; head of the department of Earth science and hydrometeorology, faculty of geography and geoinformatics.

[gledko74@mail.ru](mailto:gledko74@mail.ru)

**Maria V. Medvedko**, student at the faculty of geography and geoinformatics.

[marry\\_medvedko25@mail.ru](mailto:marry_medvedko25@mail.ru)

## ASSESSMENT OF THE INTENSITY OF THE IMPACT OF HAZARDOUS HYDROMETEOROLOGICAL PHENOMENA ON THE SOCIO-ECONOMIC SYSTEM OF BELARUS

*Y. A. HLEDKO<sup>a</sup>, M. V. MEDVEDKO<sup>a</sup>*

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

*Corresponding author: M. V. Medvedko (marry\_medvedko25@mail.ru)*

The article is devoted to the study of the problem of the impact of hazardous hydrometeorological phenomena on the population and economy of the Belarus. The indicators determine the intensity of the impact of hydrometeorological factors and take into account the level of socio-economic development of the region. The authors analysed dangerous hydrometeorological phenomena in the period 2008–2020 according to the state network of hydrometeorological observations of Belarus. Statistical method and mapping method were used. The authors assessed the intensity of the impact of the hazardous hydrometeorological phenomena on the basis of a quantitative analysis of the hazardous hydrometeorological phenomena on the socio-economic system of Belarus. Official data on population, area of administrative districts and GRP of regions are the initial data of the National Statistical Committee of the Republic of Belarus. The paper proposes an adapted methodology for a multi-scale study of the impact of hazardous hydrometeorological phenomena on the economy and population in the context of the local level, mesolevel (region) and macrolevel (country) using geoinformation technologies and information electronic database. As a result of the study, it was revealed that the administrative regions of Belarus have unequal vulnerability to dangerous weather manifestations, therefore, the most vulnerable regions of Belarus were identified, for which hydrometeorological services are of particular importance. From the point of view of the intensity of the impact of the hazardous hydrometeorological phenomena on the socio-economic system, the most unfavorable is Minsk Region. The results showed that the higher the population density and the greater the frequency of hazardous hydrometeorological phenomena, the higher the intensity of the possible impact on the population. Accordingly, the higher the GRP, the more significant economic losses can be expected in a particular region of Belarus. Therefore, it is in areas with high GRP that the necessary protective measures should be taken in the first place in order to reduce the consequences of the impact of hazardous hydrometeorological phenomena.

**Keywords:** hazardous hydrometeorological phenomena; intensity of impact of hazardous hydrometeorological phenomena; frequency of weather conditions; socio-economic system.

### Введение

Социально-экономическая деятельность Беларуси во многом зависит от природных факторов, а именно от географических и гидрометеорологических условий. Особенности влияния опасных гидрометеорологических явлений на социально-экономическую систему страны (их возрастающая повторяемость, обусловленная главным образом климатическими изменениями), высокий уровень концентрации производственной и социальной активности в городах часто приводят к тому, что социальная и экономическая сферы становятся уязвимыми для гидрометеорологических условий. От погодохозяйственных решений, которые принимаются на основе данных гидрометеорологических наблюдений, прогнозов погоды, обзоров климатических особенностей и опасных гидрометеорологических явлений, ежедневно зависят жизнь и экономическое благосостояние миллионов людей во всем мире [1]. По этой причине в конце XX – начале XXI в. сформировалось такое научное направление, как экономическая метеорология, в рамках которого исследуются проблемы влияния погоды и климата на экономическую и социальную сферы жизнедеятельности общества, экономический эффект и экономическая эффективность, экономическая выгода, специфика адаптации к опасным и неблагоприятным гидрометеорологическим явлениям, а также уровень гидрометеорологической безопасности страны.

К настоящему времени белорусские ученые (В. Ф. Логинов, А. А. Волчек, И. Н. Шпока [2–5], Ю. А. Гледко [6; 7], О. В. Давыденко [8; 9], П. С. Лопух [10] и др.) опубликовали ряд работ по анализу числа опасных гидрометеорологических явлений на территории Беларуси и особенностей их пространственно-временного распределения. Кроме того, были рассмотрены синоптические условия и причины их образования, выделены территории с наибольшей повторяемостью опасных гидрометеорологических явлений. Однако ввиду небольшого спектра опасных условий на территории страны, малой степени их проявления и отсутствия отечественных методик проблемы воздействия опасных гидрометеорологических явлений на социально-экономическую систему Беларуси остается недостаточно разработанной. В связи с этим многие публикации, посвященные данной области исследования, основываются на методиках зарубежных авторов. Так, оценка интенсивности воздействия опасных гидрометеорологических явлений на социально-экономическую систему Беларуси была проведена на основе методики российских ученых А. А. Коршунова, А. Ю. Рыбановой, А. А. Фокичевой и М. З. Шаймарданова [1; 11; 12].

Авторы настоящей статьи исследуют особенности количественных и пространственно-временных изменений опасных гидрометеорологических явлений, а также специфику их влияния на социально-экономическую систему Беларуси. Опасное гидрометеорологическое явление представляет собой гидрометеорологическое явление, которое по своим характеристикам (интенсивность, продолжительность) может причинить вред жизни и (или) здоровью физических лиц, окружающей среде, повлечь утрату или повреждение имущества<sup>1</sup>.

Под термином «социально-экономическая система» понимается совокупность ресурсов и экономических субъектов, образующих единое целое (социально-экономическую структуру), взаимосвязанных и взаимодействующих между собой в сфере производства и потребления, обмена и распределения. Социально-экономическую систему характеризует такое качество, как системность (совокупность объектов и процессов, называемых компонентами системы). Примером сложных социально-экономических систем служат крупные города, административные районы, области, которым свойственна ситуация кумулятивных эффектов, последовательно усиливающих концентрацию населения и центров производства на их территории. Доля погодозависимых отраслей Беларуси составляет 41,5 % от объема производства ВВП.

В литературе применяется понятие «гидрометеорологическая уязвимость» (страны, ее территорий и производственно-хозяйственных объектов). Гидрометеорологическое воздействие проявляется в виде экономических и социальных потерь. Гидрометеорологическая уязвимость – сложная функция, аргументами которой выступают характер, повторяемость и плотность проявления опасных гидрометеорологических явлений, масштаб производственного объекта или процесса, степень его погодозависимости, особенности регионального положения, отражающие метеорологический риск, численность и плотность населения, ВВП, ВРП и ряд других характеристик отраслевого производства.

### Исходные данные и методика исследования

На территории Беларуси ежегодно ведется учет опасных гидрометеорологических явлений. На основе этих данных составляется «Обзор климатических особенностей и опасных гидрометеорологических явлений на территории Республики Беларусь». Критерии опасных гидрометеорологических явлений приведены в техническом кодексе ТКП 17.10-06-2008 (02120)<sup>2</sup>.

Для оценки интенсивности воздействия опасных гидрометеорологических явлений на социально-экономическую систему Беларуси при помощи статистического метода был проведен количественный анализ опасных гидрометеорологических явлений, зафиксированных на территории страны в 2008–2020 гг. Исходными послужили фондовые данные Республиканского центра по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды за 2008–2020 гг. Учитывались все опасные гидрометеорологические явления (метеорологические), которые были отмечены хотя бы в одном из пунктов наблюдений. Если опасное гидрометеорологическое явление наблюдалось одновременно на нескольких станциях и было вызвано одним и тем же атмосферным процессом, то оно считалось как один случай. В период исследования были зафиксированы следующие опасные гидрометеорологические явления: очень сильный дождь, очень сильная жара, ливень, очень сильный ветер, шквал, смерч, град, чрезвычайная пожарная опасность, очень сильный снег, гололед, налипание мокрого снега.

В целях установления уязвимых районов с точки зрения проявления опасных гидрометеорологических явлений был проведен анализ повторяемости и плотности их проявления (числа опасных явлений, приходящихся на 1 тыс. км<sup>2</sup>) за 2008–2020 гг., результаты которого приведены в табл. 1–6 (составлены на основе данных Республиканского центра по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды). Данные о повторяемости и плотности проявления опасных гидрометеорологических явлений, а также о численности населения, площади территорий административных районов и ВРП областей за 2020 г. представлены в табл. 7–12 (составлены по материалам Национального статистического комитета Республики Беларусь). Они позволяют провести расчеты двух показателей интенсивности воздействия опасных гидрометеорологических явлений на социально-экономическую систему Беларуси, которые отличаются от гидрометеорологического риска, так как определяются без привлечения максимальных возможных годовых экономических потерь [1].

В табл. 1–6 в столбце «Число опасных гидрометеорологических явлений» в строке «Итого» по каждому административному району приведено значение общего числа опасных гидрометеорологических явлений, которое не является суммой числа опасных гидрометеорологических явлений по административным районам соответствующих областей (деление территории Беларуси на 6 областей и 118 административных районов), так как если опасное гидрометеорологическое явление наблюдалось одновременно на нескольких станциях и было вызвано одним и тем же атмосферным процессом, то оно считалось

<sup>1</sup>Закон Республики Беларусь от 9 января 2006 г. № 93-З «О гидрометеорологической деятельности» [Электронный ресурс]. URL: <https://etalonline.by/document/?regnum=h10600093> (дата обращения: 14.05.2022).

<sup>2</sup>Охрана окружающей среды и природопользование. Гидрометеорология. Правила составления краткосрочных прогнозов погоды общего назначения: ТКП 17.10-06-2008 (02120). Введ. 01.01.09. Минск: БелНИЦ «Экология», 2008. 30 с.

как один случай. Рейтинг областей по интенсивности проявления опасных гидрометеорологических явлений представлен на рис. 1–3.

Данные о площади территории и численности населения и административных районов и областей Беларуси для расчета плотности проявления (воздействия) опасных гидрометеорологических явлений, определяемой как отношение количества случаев опасных гидрометеорологических явлений к площади района (области), приведены в табл. 7–12. Данные о ВРП областей Беларуси представлены в табл. 13 (составлена по материалам Национального статистического комитета Республики Беларусь).

Таблица 1

**Статистические данные о воздействии опасных гидрометеорологических явлений на социально-экономическую систему административных районов Брестской области в 2008–2020 гг.**

Table 1

**Statistical data on the impact of hazardous hydrometeorological phenomena on the socio-economic system of the administrative districts of Brest Region in 2008–2020**

Административный район	Число опасных гидрометеорологических явлений	Повторяемость опасных гидрометеорологических явлений	Плотность проявления опасных гидрометеорологических явлений	Среднегодовая плотность проявления опасных гидрометеорологических явлений
Барановичский	5	0,380	0,002 30	0,000 180
Березовский	–	–	–	–
Брестский	8	0,615	0,005 20	0,000 400
Ганцевичский	4	0,310	0,023 00	0,001 800
Дрогичинский	6	0,460	0,003 20	0,000 250
Жабинковский	–	–	–	–
Ивановский	1	0,077	0,000 64	0,000 050
Ивацевичский	10	0,770	0,003 30	0,000 250
Каменецкий	6	0,460	0,003 60	0,000 280
Кобринский	1	0,077	0,000 50	0,000 038
Лунинецкий	8	0,615	0,003 00	0,000 230
Ляховичский	1	0,077	0,000 74	0,000 054
Малоритский	–	–	–	–
Пинский	16	1,230	0,004 90	0,000 380
Пружанский	8	0,615	0,002 80	0,000 220
Столинский	4	0,310	0,001 20	0,000 090
<i>Итого</i>	<i>42</i>	<i>3,230</i>	<i>0,001 30</i>	<i>0,000 100</i>

Таблица 2

**Статистические данные о воздействии опасных гидрометеорологических явлений на социально-экономическую систему административных районов Витебской области в 2008–2020 гг.**

Table 2

**Statistical data on the impact of hazardous hydrometeorological phenomena on the socio-economic system of the administrative districts of Vitebsk Region in 2008–2020**

Административный район	Число опасных гидрометеорологических явлений	Повторяемость опасных гидрометеорологических явлений	Плотность проявления опасных гидрометеорологических явлений	Среднегодовая плотность проявления опасных гидрометеорологических явлений
Бешенковичский	2	0,150	0,001 60	0,000 120
Браславский	2	0,150	0,000 88	0,000 068
Верхнедвинский	8	0,615	0,003 70	0,000 280
Витебский	8	0,615	0,003 00	0,000 230

Окончание табл. 2  
Ending table 2

Административный район	Число опасных гидрометеорологических явлений	Повторяемость опасных гидрометеорологических явлений	Плотность проявления опасных гидрометеорологических явлений	Среднегодовая плотность проявления опасных гидрометеорологических явлений
Глубокский	–	–	–	–
Городокский	4	0,310	0,001 30	0,000 100
Докшицкий	5	0,380	0,002 20	0,000 170
Дубровенский	–	–	–	–
Лепельский	8	0,615	0,004 40	0,000 340
Лиозненский	–	–	–	–
Миорский	–	–	–	–
Оршанский	6	0,460	0,003 50	0,000 270
Полоцкий	8	0,615	0,002 50	0,000 190
Поставский	3	0,230	0,001 40	0,000 110
Россонский	1	0,077	0,000 52	0,000 040
Сенненский	3	0,230	0,001 50	0,000 120
Толочинский	–	–	–	–
Ушачский	–	–	–	–
Чашникский	–	–	–	–
Шарковщинский	6	0,460	0,005 00	0,000 390
Шумилинский	1	0,077	0,000 59	0,000 045
<i>Итого</i>	<i>42</i>	<i>3,230</i>	<i>0,001 04</i>	<i>0,000 080</i>

Таблица 3

**Статистические данные о воздействии опасных гидрометеорологических явлений на социально-экономическую систему административных районов Гомельской области в 2008–2020 гг.**

Table 3

**Statistical data on the impact of hazardous hydrometeorological phenomena on the socio-economic system of the administrative districts of Gomel Region in 2008–2020**

Административный район	Число опасных гидрометеорологических явлений	Повторяемость опасных гидрометеорологических явлений	Плотность проявления опасных гидрометеорологических явлений	Среднегодовая плотность проявления опасных гидрометеорологических явлений
Брагинский	13	1,000	0,006 60	0,000 510
Буда-Кошелевский	1	0,077	0,000 63	0,000 050
Ветковский	–	–	–	–
Гомельский	20	1,540	0,010 00	0,000 770
Добрушский	–	–	–	–
Ельский	1	0,077	0,000 73	0,000 056
Житковичский	22	1,690	0,007 50	0,000 580
Жлобинский	14	1,077	0,006 60	0,000 510
Калинковичский	–	–	–	–
Кормянский	–	–	–	–
Лельчицкий	5	0,380	0,001 60	0,000 120
Лоевский	1	0,077	0,000 96	0,000 074

Окончание табл. 3  
Ending table 3

Административный район	Число опасных гидрометеорологических явлений	Повторяемость опасных гидрометеорологических явлений	Плотность проявления опасных гидрометеорологических явлений	Среднегодовая плотность проявления опасных гидрометеорологических явлений
Мозырский	12	0,920	0,007 50	0,000 580
Наровлянский	1	0,077	0,000 63	0,000 050
Октябрьский	13	1,000	0,009 40	0,000 720
Петриковский	2	0,154	0,000 71	0,000 055
Речицкий	14	1,077	0,005 20	0,000 400
Рогачевский	–	–	–	–
Светлогорский	1	0,077	0,000 53	0,000 410
Хойникский	1	0,077	0,000 50	0,000 038
Чечерский	10	0,770	0,008 10	0,000 620
<i>Итого</i>	<i>56</i>	<i>4,310</i>	<i>0,001 39</i>	<i>0,000 110</i>

Таблица 4

**Статистические данные о воздействии опасных гидрометеорологических явлений на социально-экономическую систему административных районов Гродненской области в 2008–2020 гг.**

Table 4

**Statistical data on the impact of hazardous hydrometeorological phenomena on the socio-economic system of the administrative districts of Grodno Region in 2008–2020**

Административный район	Число опасных гидрометеорологических явлений	Повторяемость опасных гидрометеорологических явлений	Плотность проявления опасных гидрометеорологических явлений	Среднегодовая плотность проявления опасных гидрометеорологических явлений
Берестовицкий	2	0,150	0,002 70	0,000 210
Волковысский	5	0,380	0,004 20	0,000 320
Вороновский	–	–	–	–
Гродненский	8	0,615	0,003 10	0,000 240
Дятловский	–	–	–	–
Зельвенский	–	–	–	–
Ивьевский	–	–	–	–
Кореличский	–	–	–	–
Лидский	3	0,230	0,002 00	0,000 150
Мостовский	2	0,150	0,001 50	0,000 160
Новогрудский	4	0,310	0,002 40	0,000 180
Ошмянский	7	0,540	0,005 80	0,000 470
Островецкий	–	–	–	–
Свислочский	–	–	–	–
Слонимский	1	0,077	0,000 68	0,000 050
Сморгонский	–	–	–	–
Щучинский	3	0,230	0,001 60	0,000 120
<i>Итого</i>	<i>28</i>	<i>2,150</i>	<i>0,001 11</i>	<i>0,000 086</i>

Таблица 5

**Статистические данные о воздействии опасных гидрометеорологических явлений на социально-экономическую систему административных районов Минской области в 2008–2020 гг.**

Table 5

**Statistical data on the impact of hazardous hydrometeorological phenomena on the socio-economic system of the administrative districts of Minsk Region in 2008–2020**

Административный район	Число опасных гидрометеорологических явлений	Повторяемость опасных гидрометеорологических явлений	Плотность проявления опасных гидрометеорологических явлений	Среднегодовая плотность проявления опасных гидрометеорологических явлений
Березинский	6	0,460	0,003 10	0,000 240
Борисовский	12	0,920	0,004 00	0,000 310
Вилейский	4	0,310	0,001 63	0,000 130
Воложинский	7	0,540	0,003 70	0,000 280
Дзержинский	–	–	–	–
Клецкий	–	–	–	–
Копыльский	–	–	–	–
Крупский	–	–	–	–
Логойский	–	–	–	–
Любанский	7	0,540	0,003 70	0,000 280
Минский	12	0,920	0,003 60	0,000 490
Молодечненский	–	–	–	–
Мядельский	2	0,150	0,001 00	–
Несвижский	–	–	–	–
Пуховичский	7	0,540	0,002 90	0,000 220
Слуцкий	8	0,615	0,004 40	0,000 340
Смолевичский	1	0,077	0,000 72	0,000 055
Солигорский	2	0,150	0,000 80	0,000 062
Стародорожский	–	–	–	–
Столбцовский	7	0,540	0,003 70	0,000 290
Узденский	–	–	–	–
Червенский	–	–	–	–
<i>Итого</i>	<i>41</i>	<i>3,160</i>	<i>0,001 03</i>	<i>0,000 079</i>

Таблица 6

**Статистические данные о воздействии опасных гидрометеорологических явлений на социально-экономическую систему административных районов Могилёвской области в 2008–2020 гг.**

Table 6

**Statistical data on the impact of hazardous hydrometeorological phenomena on the socio-economic system of the administrative districts of Mogilev Region in 2008–2020**

Административный район	Число опасных гидрометеорологических явлений	Повторяемость опасных гидрометеорологических явлений	Плотность проявления опасных гидрометеорологических явлений	Среднегодовая плотность проявления опасных гидрометеорологических явлений
Бельничский	–	–	–	–
Бобруйский	5	0,38	0,003 1	0,000 24
Быховский	–	–	–	–
Глусский	2	0,15	0,001 5	0,000 12

Окончание табл. 6  
Ending table 6

Административный район	Число опасных гидрометеорологических явлений	Повторяемость опасных гидрометеорологических явлений	Плотность проявления опасных гидрометеорологических явлений	Среднегодовая плотность проявления опасных гидрометеорологических явлений
Горецкий	9	0,690	0,007 00	0,000 540
Дрибинский	–	–	–	–
Кировский	2	0,150	0,001 50	0,000 120
Климовичский	–	–	–	–
Кличевский	6	0,460	0,003 30	0,000 250
Краснопольский	–	–	–	–
Кричевский	1	0,077	0,001 30	0,000 100
Круглянский	–	–	–	–
Костюковичский	6	0,460	0,004 00	0,000 310
Могилёвский	14	1,077	0,007 40	0,000 570
Мстиславский	4	0,31	0,003 00	0,000 230
Осиповичский	–	–	–	–
Славгородский	13	1,000	0,009 90	0,000 760
Хотимский	1	0,077	0,001 20	0,000 092
Чаусский	1	0,077	0,000 68	0,000 052
Чериковский	–	–	–	–
Шкловский	–	–	–	–
<i>Итого</i>	<i>26</i>	<i>2,000</i>	<i>0,000 89</i>	<i>0,000 069</i>

Таблица 7

Социально-экономическая статистика административных районов Брестской области

Table 7

Socio-economic statistics for the administrative regions of Brest Region

Административный район	Численность населения, тыс. чел.	Площадь, тыс. км <sup>2</sup>	Плотность населения, чел./км <sup>2</sup>
Барановичский	204 807	2171,88	94,30
Березовский	60 636	1412,77	42,90
Брестский	385 052	1544,11	249,40
Ганцевичский	26 295	1709,58	15,40
Дрогичинский	36 420	1855,06	19,60
Жабинковский	24 832	684,17	36,30
Ивановский	37 896	1551,41	24,40
Ивацевичский	53 399	2998,11	17,80
Каменецкий	33 396	1687,11	19,80
Кобринский	84 434	2039,79	41,40
Лунинецкий	65 642	2708,51	24,20
Ляховичский	23 875	1352,31	17,40
Малоритский	23 801	1373,63	17,30
Пинский	170 169	3252,77	52,30
Пружанский	44 554	2825,91	15,80
Столинский	72 032	3342,06	21,60
<i>Итого</i>	<i>1 342 642</i>	<i>32 787,00</i>	<i>40,95</i>

Таблица 8

Социально-экономическая статистика административных районов Витебской области

Table 8

Socio-economic statistics for the administrative regions of Vitebsk Region

Административный район	Численность населения, тыс. чел.	Площадь, тыс. км <sup>2</sup>	Плотность населения, чел./км <sup>2</sup>
Бешенковичский	14 552	1249,65	11,600
Браславский	24 549	2270,07	10,800
Верхнедвинский	20 369	2140,76	9,500
Витебский	400 510	2705,12	148,100
Глубокский	35 177	1759,58	20,000
Городокский	22 061	2980,13	7,400
Докшицкий	22 355	2267,61	9,900
Дубровенский	14 415	1249,69	11,500
Лепельский	31 976	1822,22	17,600
Лиозненский	16 095	1417,63	11,400
Миорский	19 163	1786,64	10,700
Оршанский	147 799	1707,66	86,600
Полоцкий	202 454	3178,55	63,700
Поставский	34 496	2096,44	16,500
Россонский	9 262	1926,87	4,800
Сенненский	20 948	1966,05	10,700
Толочинский	23 983	1498,56	16,000
Ушачский	12 687	1489,38	8,5200
Чашникский	28 912	1481,12	19,500
Шарковщинский	14 675	1189,18	12,300
Шумилинский	17 643	1695,40	10,400
<i>Итого</i>	<i>1 126 995</i>	<i>40 051,00</i>	<i>28,139</i>

Таблица 9

Социально-экономическая статистика административных районов Гомельской области

Table 9

Socio-economic statistics for the administrative regions of Gomel Region

Административный район	Численность населения, тыс. чел.	Площадь, тыс. км <sup>2</sup>	Плотность населения, чел./км <sup>2</sup>
Брагинский	12 458	1960,46	6,35
Буда-Кошелевский	31 246	1594,50	19,60
Ветковский	17 625	1558,62	11,31
Гомельский	581 451	1951,40	297,97
Добрушский	36 624	1452,72	25,21
Ельский	15 295	1365,68	11,20
Житковичский	34 869	2916,27	12,00
Жлобинский	101 043	2110,77	47,87

Окончание табл. 9  
Ending table 9

Административный район	Численность населения, тыс. чел.	Площадь, тыс. км <sup>2</sup>	Плотность населения, чел./км <sup>2</sup>
Калинковичский	57 725	2756,24	20,90
Кормянский	14 127	949,15	14,93
Лельчицкий	25 047	3221,31	7,78
Лоевский	11 888	1045,53	11,40
Мозырский	127 889	1603,47	79,76
Наровлянский	10 747	1588,82	6,76
Октябрьский	14 171	1381,19	10,30
Петриковский	27 592	2835,18	9,73
Речицкий	98 621	2713,95	36,34
Рогачевский	54 012	2066,99	26,13
Светлогорский	80 791	1899,91	42,52
Хойникский	19 577	2027,74	9,65
Чечерский	14 768	1229,88	12,00
<i>Итого</i>	<i>1 381 054</i>	<i>40 372,00</i>	<i>34,21</i>

Таблица 10

Социально-экономическая статистика административных районов Гродненской области

Table 10

Socio-economic statistics for the administrative regions of Grodno Region

Административный район	Численность населения, тыс. чел.	Площадь, тыс. км <sup>2</sup>	Плотность населения, чел./км <sup>2</sup>
Берестовицкий	15 565	743,58	20,93
Волковысский	67 948	1192,85	56,96
Вороновский	24 354	1418,39	17,17
Гродненский	406 783	2594,05	156,81
Дятловский	25 017	1544,09	16,20
Зельвенский	14 560	869,69	16,74
Ивьевский	21 951	1845,50	11,90
Кореличский	19 812	1093,66	18,12
Лидский	13 034	1566,74	8,32
Мостовский	27 554	1342,04	20,50
Новогрудский	43 246	1668,01	25,93
Ошмянский	30 837	1215,92	25,36
Островецкий	27 956	1568,77	17,82
Свислочский	14 776	1449,53	10,20
Слонимский	63 716	1470,63	43,33
Сморгонский	50 849	1490,01	34,13
Щучинский	35 722	1911,54	18,69
<i>Итого</i>	<i>1 021 829</i>	<i>25 127,00</i>	<i>40,67</i>

Таблица 11

Социально-экономическая статистика административных районов Минской области

Table 11

Socio-economic statistics for the administrative regions of Minsk Region

Административный район	Численность населения, тыс. чел.	Площадь, тыс. км <sup>2</sup>	Плотность населения, чел./км <sup>2</sup>
Березинский	23 106	1940,34	11,91
Борисовский	175 558	2987,95	58,76
Вилейский	48 516	2453,81	19,77
Воложинский	34 567	1916,78	18,00
Дзержинский	69 804	1189,50	58,68
Клецкий	27 424	974,12	28,15
Копыльский	28 646	1607,66	13,24
Крупский	23 307	2138,73	10,9
Логойский	38 699	2365,02	16,36
Любанский	30 215	1913,75	15,79
Минский	2 261 990	1902,66	1188,86
Молодечненский	132 686	1392,18	95,31
Мядельский	26 130	1964,30	11,78
Несвижский	39 683	862,75	46,00
Пуховичский	68 919	2442,23	28,22
Слуцкий	89 189	1821,06	48,98
Смолевичский	116 444	1392,57	83,62
Солигорский	131 493	2498,91	52,62
Стародорожский	20 537	1370,38	14,99
Столбцовский	38 815	1884,52	20,60
Узденский	23 857	1180,97	20,20
Червенский	33 448	1630,39	20,52
<i>Итого</i>	<i>3 488 256</i>	<i>39 912,00</i>	<i>87,40</i>

Таблица 12

Социально-экономическая статистика административных районов Могилёвской области

Table 12

Socio-economic statistics for the administrative regions of Mogilev Region

Административный район	Численность населения, тыс. чел.	Площадь, тыс. км <sup>2</sup>	Плотность населения, чел./км <sup>2</sup>
Белынический	18 978	1419,52	13,37
Бобруйский	230 591	1592,67	144,78
Быховский	30 427	2263,16	13,44
Глусский	13 342	1355,44	9,84
Горецкий	40 531	1284,31	31,56
Дрибинский	10 427	766,53	13,60
Кировский	18 485	1295,20	11,96
Климовичский	23 847	1542,78	15,46
Кличевский	14 615	1800,32	8,12
Краснопольский	9522	1223,04	7,79
Кричевский	29 748	777,54	38,26
Круглянский	13 715	881,81	15,55

Окончание табл. 12  
Ending table 12

Административный район	Численность населения, тыс. чел.	Площадь, тыс. км <sup>2</sup>	Плотность населения, чел./км <sup>2</sup>
Костюковичский	22 934	1493,84	15,35
Могилёвский	399 286	1895,40	210,66
Мстиславский	20 009	1332,51	15,02
Осиповичский	45 941	1947,21	23,6
Славгородский	13 066	1317,82	9,91
Хотимский	10 574	858,87	13,31
Чаусский	18 171	1471,39	12,82
Чериковский	13 323	1020,20	13,06
Шкловский	25 978	1333,16	19,49
<i>Итого</i>	<i>1 019 176</i>	<i>29 068,00</i>	<i>35,06</i>

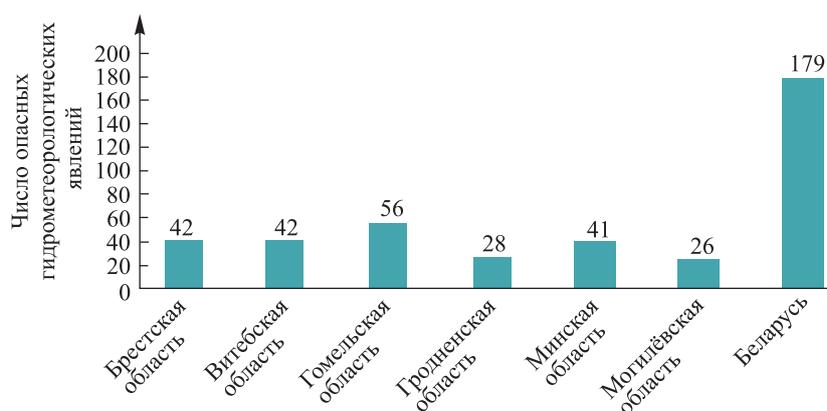


Рис. 1. Число опасных гидрометеорологических явлений, воздействующих на социально-экономическую систему областей Беларуси, в 2008–2020 гг. (составлено на основе данных Республиканского центра по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды)

Fig. 1. The recurrence of hazardous hydrometeorological phenomena affecting the socio-economic system of the regions of Belarus in 2008–2020 (compiled on the basis of data from the Republican Center for Hydrometeorology, Radioactive Contamination Control and Environmental Monitoring)

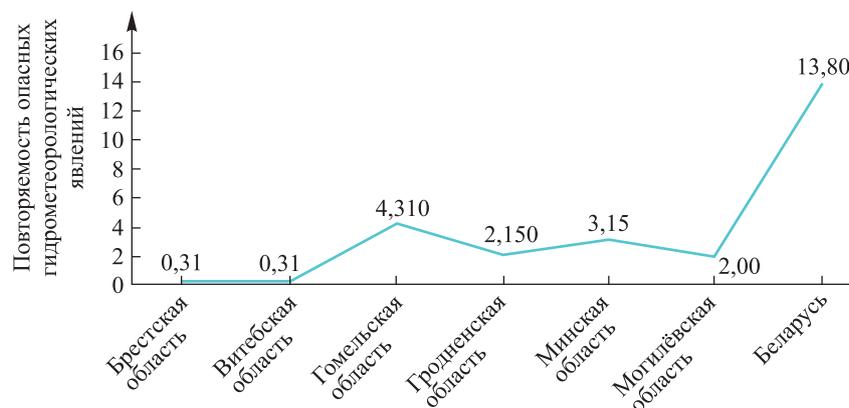


Рис. 2. Повторяемость опасных гидрометеорологических явлений, воздействующих на социально-экономическую систему областей Беларуси, в 2008–2020 гг. (составлено на основе данных Республиканского центра по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды)

Fig. 2. The number of hazardous hydrometeorological phenomena affecting the socio-economic system of the regions of Belarus in 2008–2020 (compiled on the basis of data from the Republican Center for Hydrometeorology, Radioactive Contamination Control and Environmental Monitoring)

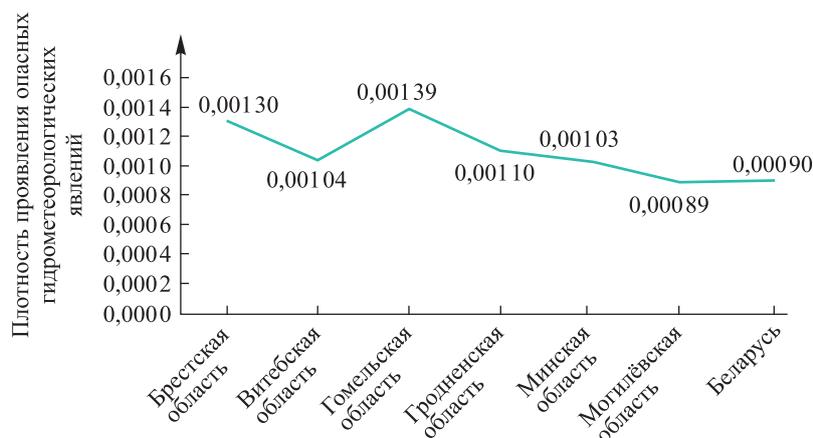


Рис. 3. Плотность проявления опасных гидрометеорологических явлений, воздействующих на социально-экономическую систему областей Беларуси, в 2008–2020 гг. (составлено на основе данных Республиканского центра по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды)

Fig. 3. The density of manifestation of hazardous hydrometeorological phenomena affecting the socio-economic system of the regions of Belarus in 2008–2020 (compiled on the basis of data from the Republican Center for Hydrometeorology, Radioactive Contamination Control and Environmental Monitoring)

По повторяемости и плотности проявления опасных гидрометеорологических явлений 1-е место занимает Гомельская область (4,310 и 0,00139 соответственно). Показатели повторяемости проявления опасных гидрометеорологических явлений, которые были зафиксированы в административных районах, входящих в состав Гомельской области, оказались значительно выше показателей других областей страны. Так, например, за рассматриваемый период в Житковичском районе были зафиксированы 22 случая опасных гидрометеорологических явлений, в Гомельском районе – 20 случаев, в Речицком и Жлобинском районах – по 14 случаев, в Брагинском и Октябрьском районах – по 13 случаев и т. д. В соответствии со статистикой повторяемости на 2-м месте находятся Брестская и Витебская области (3,230). В свою очередь, 3-е место занимает Минская область (3,160). Наименьшие показатели повторяемости и плотности проявления опасных гидрометеорологических явлений характерны для Могилёвской области (2,000 и 0,00089 соответственно).

В число административных районов Беларуси, которые относятся к уязвимым зонам с точки зрения проявления опасных гидрометеорологических явлений, входят Пинский (1,230) и Ивацевичский (0,770) районы Брестской области, Верхнедвинский, Витебский, Лепельский и Полоцкий районы (0,615) Витебской области, Гродненский (0,615) и Ошмянский (0,540) районы Гродненской области, Борисовский и Минский районы (0,920) Минской области, а также Могилёвский (1,077) и Славгородский (1,000) районы Могилёвской области.

Таблица 13

**ВРП областей Беларуси**

Table 13

**GRP of the regions of Belarus**

Область	ВРП, млн руб.
Брестская	14 374,7
Витебская	11 709
Гомельская	15 099
Гродненская	12 274,2
Минская	22 719
Могилёвская	9963,6

Таким образом, предлагается адаптированная методика полимасштабного изучения влияния опасных гидрометеорологических явлений на социальную и экономическую сферы Беларуси в разрезе локального уровня, мезоуровня (район) и макроуровня (страна) с применением геоинформационных технологий и информационной электронной базы данных.

## Результаты и их обсуждение

С 2008 по 2020 г. на территории Беларуси были зафиксированы 179 случаев опасных гидрометеорологических явлений. Из них 91 % (163 случая) – опасные гидрометеорологические явления теплого периода, 9 % (16 случаев) – опасные гидрометеорологические явления холодного периода.

На рис. 4 отражено пространственное распределение количества случаев опасных гидрометеорологических явлений на территории Беларуси.

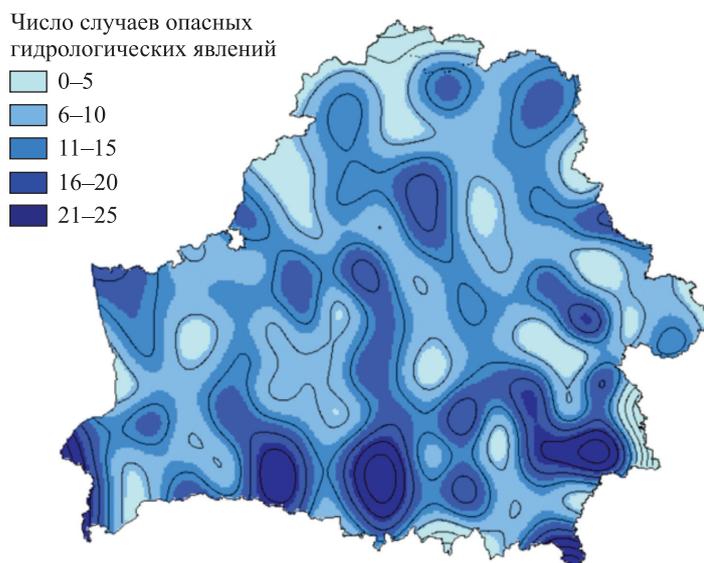


Рис. 4. Число случаев опасных гидрометеорологических явлений на территории Беларуси в 2008–2020 гг. (составлено на основе публикации [14])

Fig. 4. The number of cases of hazardous hydrometeorological phenomena on the territory of Belarus in 2008–2020 (compiled on the basis of the publication [14])

Наибольшее число случаев опасных гидрометеорологических явлений было зафиксировано на юге Беларуси, в частности в Припятском Полесье. В пределах Брестской и Гомельской областей выделяются районы, в которых за исследуемый период отмечалось наибольшее число случаев опасных гидрометеорологических явлений. К ним относятся Житковичский (22 случая) и Гомельский (20 случаев) районы Гомельской области, Пинский район (16 случаев) Брестской области. Следует отметить, что на территории Гомельской области было зафиксировано наибольшее количество видов опасных гидрометеорологических явлений, а также самое большое число случаев их проявления. В свою очередь, наименьшее число случаев опасных гидрометеорологических явлений наблюдается на западе, северо-западе и востоке страны (северо-запад Витебской области, центральные районы Гродненской и Могилёвской областей).

Из проанализированных данных следует, что на протяжении 2008–2020 гг. в Брестской, Гродненской и Витебской областях число случаев опасных гидрометеорологических явлений увеличивалось, в то время как на территории Гомельской, Могилёвской и Минской областей оно сокращалось.

Для оценки интенсивности возможного воздействия опасных гидрометеорологических явлений на социальную и экономическую сферы Беларуси был использован подход, аналогичный подходу сотрудников Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации – Мирового центра данных и Российского государственного гидрометеорологического университета. Этот подход позволяет проанализировать статистику о числе опасных гидрометеорологических явлений и социально-экономическую статистику (численность населения, площадь территории и ВРП). Используя эти показатели, можно рассчитать коэффициенты, которые служат косвенной характеристикой интенсивности возможного воздействия опасных гидрометеорологических явлений на социальную и экономическую сферы Беларуси [1]. Анализ коэффициентов оценки интенсивности воздействия опасных гидрометеорологических явлений в окончательном виде был проведен в Беларуси впервые. Он основан на официальных статистических данных, приведенных в табл. 1–13 (повторяемость опасных гидрометеорологических явлений, ВРП областей, площадь административных районов и областей, численность населения административных районов и областей).

Коэффициент  $K_1$  вычислялся как произведение повторяемости опасных гидрометеорологических явлений административного района (области) на плотность населения (см. табл. 7–12) на рассматриваемой территории. Следовательно, чем выше плотность населения и больше повторяемость опасных гидрометеорологических явлений, тем выше интенсивность их возможного воздействия на население. Таким образом, данный показатель характеризует влияние опасных гидрометеорологических явлений на социальную сферу страны. В свою очередь, коэффициент  $K_2$  рассчитывался как произведение среднегодовой плотности опасных гидрометеорологических явлений областей Беларуси на ВРП территории. Соответственно, данный показатель характеризует влияние опасных гидрометеорологических явлений на экономическую составляющую рассматриваемой системы (район, область).

Результаты расчетов этих показателей приведены на рис. 5 и 6.

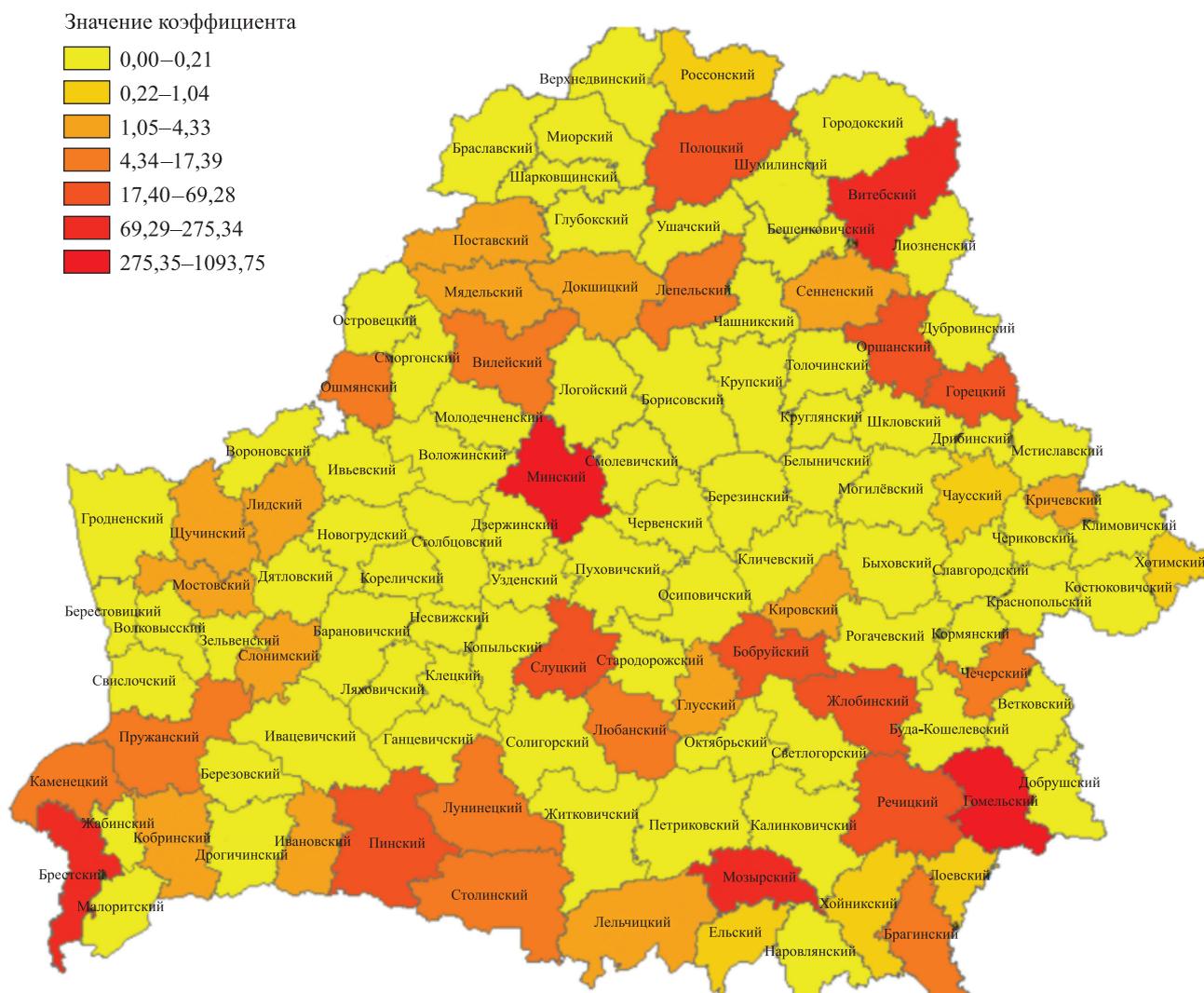


Рис. 5. Результаты расчетов коэффициентов интенсивности воздействия опасных гидрометеорологических явлений на население в разных административных районах Беларуси

Fig. 5. Calculation results of hazardous hydrometeorological phenomena impact intensity indicators on the population in different administrative districts of Belarus

С точки зрения интенсивности воздействия опасных гидрометеорологических явлений на социально-экономическую систему наиболее неблагоприятной является Минская область ( $K_1 = 276,18$ ,  $K_2 = 1,795$ ). Необходимо отметить, что на территории Беларуси данные показатели будут наиболее высокими в районах, в которых концентрируется значительное количество населения и, соответственно, располагаются крупнейшие промышленные центры страны. В их число входят в первую очередь те районы, которые относятся к областным центрам (Брестский (154,28), Витебский (91,1), Гомельский (458,87), Гродненский (97,22), Минский (1093,75) и Могилёвский (226,88) районы), а также Пинский (64,329)

и Барановичский (35,834) районы Брестской области, Оршанский (39,836) и Полоцкий (39,176) районы Витебской области, Мозырский (73,380) и Речицкий (39,140) районы Гомельской области, Волковисский район (21,650) Гродненской области, Борисовский район (54,060) Минской области, Бобруйский район (55,020) Могилёвской области. Следовательно, наибольшее воздействие опасные гидрометеорологические явления оказывают на социальную систему Минской области (в Минске проживают около 2 млн человек).

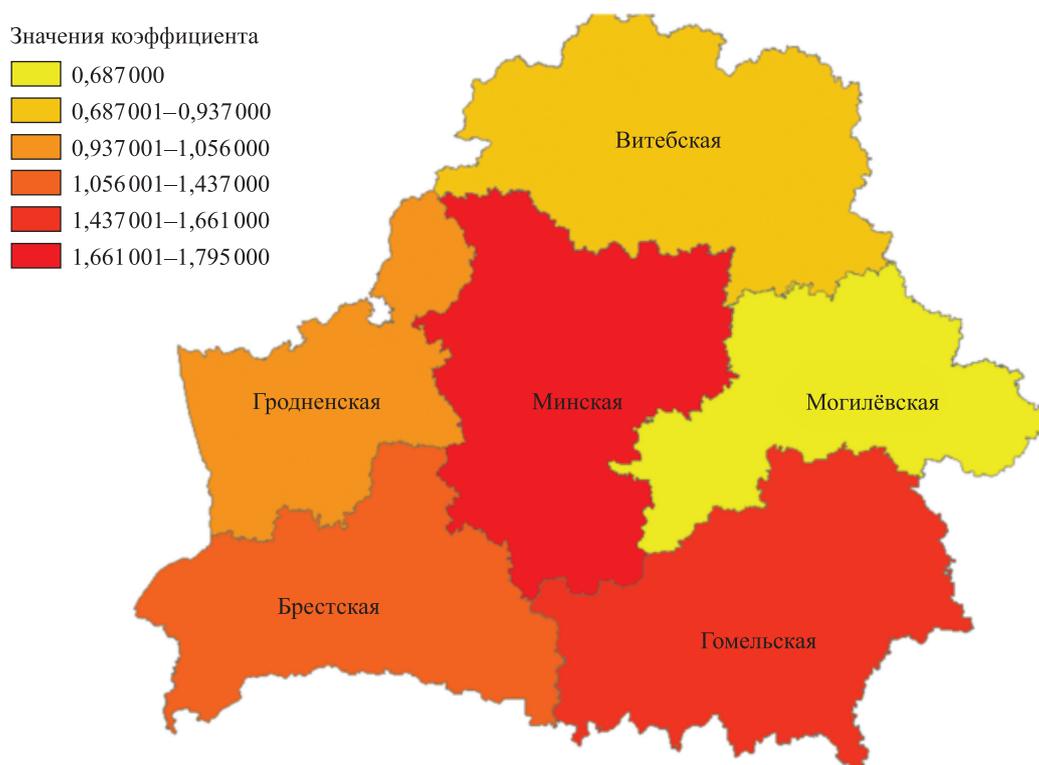


Рис. 6. Результаты расчетов коэффициентов интенсивности воздействия опасных гидрометеорологических явлений на экономику Беларуси по областям  
Fig. 6. Results of calculations of coefficients of the intensity of the impact of hazardous hydrometeorological phenomena on the economy of Belarus by regions

Анализ результатов расчетов по коэффициенту  $K_2$  (см. рис. 6) показал, что наиболее высокой является угроза воздействия опасных гидрометеорологических явлений на экономику Минской и Гомельской областей (1,795 и 1,661 соответственно), а наименее высокой – угроза воздействия опасных гидрометеорологических явлений на экономику Могилёвской области (0,687).

### Заключение

Проанализированы тенденции изменения опасных гидрометеорологических явлений на территории Беларуси. Проведена оценка интенсивности их воздействия на социально-экономическую систему страны. Выявлено, что за 2008–2020 гг. количество опасных гидрометеорологических явлений теплого периода увеличилось. Некоторые явления, например смерч и шквал, наблюдались единожды. Анализ опасных гидрометеорологических явлений холодного периода показал, что в исследуемый период их количество не превысило 8,9 % от общего количества опасных гидрометеорологических явлений, при этом число дней с очень сильным снегом и налипанием мокрого снега уменьшилось. Гололед был зафиксирован только в 2020 г.

Проведенная оценка влияния интенсивности воздействия опасных гидрометеорологических явлений на социально-экономическую систему Беларуси позволяет на основе совместного анализа социально-экономической и гидрометеорологической информации выполнять расчеты, которые могут служить косвенной характеристикой интенсивности возможного воздействия гидрометеорологических факторов на социальную и экономическую сферы страны. Предложена адаптированная методика полимасштабного изучения влияния опасных гидрометеорологических явлений на социальную и экономическую сферы Беларуси в разрезе локального уровня, мезоуровня (район) и макроуровня (страна) с применением геоинформационных технологий и информационной электронной базы данных.

Результаты показали, что чем выше плотность населения и больше повторяемость опасных гидрометеорологических явлений, тем выше интенсивность их возможного воздействия на население. Соответственно, чем выше ВРП области, тем более значительные экономические потери ожидаются в ней. Интенсивность воздействия опасных гидрометеорологических явлений на экономику страны напрямую зависит от концентрации промышленных предприятий в ее областях. Так, наиболее высокой является угроза воздействия опасных гидрометеорологических явлений на экономику Минской и Гомельской областей (1,795 и 1,661 соответственно), а наименее высокой – угроза воздействия опасных гидрометеорологических явлений на экономику Могилёвской области (0,687). В связи с этим в областях с высоким ВРП следует предпринимать необходимые защитные меры в целях уменьшения последствий воздействия опасных гидрометеорологических явлений на социальную и экономическую сферы территории.

### Библиографические ссылки

1. Коршунов АА, Рыбанова АЮ, Фокичева АА, Шаймарданов МЗ. Анализ интенсивности воздействия опасных условий погоды на социально-экономическую систему. *Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета*. 2018;53:18–33.
2. Логинов ВФ, Волчек АА, Шпока ИН. Сравнение пространственно-временных особенностей изменений опасных метеорологических явлений в характерное и нехарактерное для них время года. В: Карabanov АК, Бамбалов НН, редакторы. *Природопользование. Выпуск 19*. Минск: А. Н. Вараксин; 2011. с. 5–21.
3. Логинов ВФ, Волчек АА, Шпока ИН. Изменчивость числа дней со шквалами в Беларуси. В: Логинов ВФ, редактор. *Природопользование. Выпуск 14*. Минск: Тонпик; 2008. с. 51–57.
4. Логинов ВФ, Волчек АА, Шпока ИН. *Опасные метеорологические явления на территории Беларуси*. Минск: Беларуская навука; 2010. 128 с.
5. Шпока ИН. *Пространственно-временное распределение опасных метеорологических явлений на территории Беларуси* [диссертация]. Брест: Брестский государственный университет имени А. С. Пушкина; 2012. 210 с.
6. Гледко ЮА, Соколовская ЯА. Особенности прогнозирования грозовых явлений на территории Беларуси. В: Лопух ПС, редактор. *Проблемы гидрометеорологического обеспечения хозяйственной деятельности в условиях изменяющегося климата. Материалы Международной научной конференции; 5–8 мая 2015 г.; Минск, Беларусь*. Минск: БГУ; 2015. с. 243–245.
7. Hledko YuA. Estimation of economic effect of the use of hydrometeorological information during exploitation of highways of Belarus. In: Köppen S, Reckermann M, editors. *Earth system changes and Baltic Sea coasts. Proceedings of the 3<sup>rd</sup> Baltic Earth conference; 2020 June 1–5; Jastarnia, Poland*. Geesthacht: Helmholtz-Zentrum Hereon; 2020. p. 65–67.
8. Давыденко ОВ, Ковриго ПА. Анализ пространственно-временной динамики опасных для авиации явлений погоды в центральной части Беларуси на основе радиолокационных данных. *Вестник БГУ. Серия 2. Химия. Биология. География*. 2007;1:96–99.
9. Давыденко ОВ. Радиолокационные методы распознавания опасных атмосферных явлений. В: Пирожник ИИ, редактор. *Дистанционное зондирование природной среды: теория, практика, образование. Материалы III Международной научно-практической конференции; 21–23 ноября 2006 г.; Минск, Беларусь*. Минск: Республиканский институт высшей школы; 2006. с. 37–39.
10. Лопух ПС, Гледко ЮА, Ван Хао. Проблемы адаптации субъектов хозяйствования Беларуси к изменяющимся климатическим условиям. *Danish Scientific Journal*. 2021;46(2):10–27.
11. Истомин ЕП, Фокичева АА, Коршунов АА, Слесарева ЛС. Управление гидрометеорологическими рисками в социально-экономических системах. *Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета*. 2016;44:219–224.
12. Кобышева НВ, Галюк ЛП, Панфутова ЮА. Методика расчета социального и экономического рисков, создаваемых опасными явлениями погоды. *Труды главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова*. 2008;558:162–172.

### References

1. Korshunov AA, Rybanova AYU, Fokicheva AA, Shaimardanov MZ. Analysis of the intensity of the impact of hazardous weather conditions on the socio-economic system. *Proceedings of the Russian State Hydrometeorological University*. 2018;53:18–33. Russian.
2. 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, editors. *Prirodopol'zovanie. Vypusk 19* [Nature management. Issue 19]. Minsk: A. N. Varaksin; 2011. p. 5–21. Russian.
3. Loginov VF, Volchek AA, Shpoka IN. Variability of number of days with squalls. In: Loginov VF, editor. *Prirodopol'zovanie. Vypusk 14* [Nature management. Issue 14]. Minsk: Tonpik; 2008. p. 51–57. Russian.
4. Loginov VF, Volchek AA, Shpoka IN. *Opasnye meteorologicheskie yavleniya na territorii Belarusi* [Dangerous meteorological phenomena on the territory of Belarus]. Minsk: Belaruskaja navuka; 2010. 128 p. Russian.
5. Shpoka IN. *Prostranstvenno-vremennoe raspredelenie opasnykh meteorologicheskikh yavlenii na territorii Belarusi* [Spatio-temporal distribution of dangerous meteorological phenomena on the territory of Belarus] [dissertation]. Brest: Brest State A. S. Pushkin University; 2012. 210 p. Russian.
6. Hledko YuA, Sokolovskaya YaA. [Features of predicting thunderstorms on the territory of Belarus]. In: Lopukh PS, editor. *Problemy gidrometeorologicheskogo obespecheniya khozyaistvennoi deyatel'nosti v usloviyakh izmenyayushchegosya klimata. Materialy Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii; 5–8 maya 2015 g.; Minsk, Belarus* [Problems of hydrometeorological support of economic activity in a changing climate. Proceedings of the International scientific conference; 2015 May 5–8; Minsk, Belarus]. Minsk: Belarusian State University; 2015. p. 243–245. Russian.

7. Hledko YuA. Estimation of economic effect of the use of hydrometeorological information during exploitation of highways of Belarus. In: Köppen S, Reckermann M, editors. *Earth system changes and Baltic Sea coasts. Proceedings of the 3<sup>rd</sup> Baltic Earth conference; 2020 June 1–5; Jastarnia, Poland*. Geesthacht: Helmholtz-Zentrum Hereon; 2020. p. 65–67.

8. Davydenko OV, Kovrigo PA. [Analysis of spatio-temporal dynamics of weather phenomena dangerous for aviation in the central part of Belarus based on radar data]. *Vestnik BGU. Seriya 2. Khimiya. Biologiya. Geografiya*. 2007;1:96–99. Russian.

9. Davydenko OV. [Radar methods for recognising dangerous atmospheric phenomena]. In: Pirozhnik II, editor. *Distantsionnoe zondirovanie prirodnoi sredy: teoriya, praktika, obrazovanie. Materialy III Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii; 21–23 noyabrya 2006 g.; Minsk, Belarus'* [Remote sensing of the natural environment: theory, practice, education. Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International scientific and practical conference; 2006 November 21–23; Minsk, Belarus]. Minsk: National Institute for Higher Education; 2006. p. 37–39. Russian.

10. Lopuch PS, Hledko YuA, Wang Hao. Problems of hydrometeorological support of business entities in Belarus with the purpose of adaptation to changing climate conditions. *Danish Scientific Journal*. 2021;46(2):10–27. Russian.

11. Istomin EP, Fokicheva AA, Korshunov AA, Slesareva LS. The management of hydro meteorological risks in socio-economic systems. *Proceedings of the Russian State Hydrometeorological University*. 2016;44:219–224. Russian.

12. Kobysheva NV, Galuk LP, Panfutova JA. Estimating methods for social and economic risks caused by dangerous weather events. *Proceedings of Voeikov Main Geophysical Observatory*. 2008;558:162–172. Russian.

Получена 26.05.2022 / исправлена 11.07.2022 / принята 05.10.2022.  
Received 26.05.2022 / revised 11.07.2022 / accepted 05.10.2022.

УДК 551.435.42(476)

## МОРФОЛОГИЯ И ГЕНЕЗИС ЯСЕЛЬДИНСКИХ ЛЕДНИКОВЫХ ЛОЖБИН В БЕЛАРУСИ

М. Е. КОМАРОВСКИЙ<sup>1)</sup>

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

Геологическое картографирование, включавшее анализ вновь собранных данных бурения, выявило древнейшую ясельдинскую (донскую (на территории России), Sanian 1 (на территории Польши)) генерацию ложбин в четвертичной толще и ее подошве. Эти ложбины распространены в области ясельдинского оледенения (в его краевой и зафронтальной зонах). Они тяготеют к крупным низинам доясельдинского рельефа, к районам, где преобладают деформируемые отложения, которые залегают над выступами более прочных пород (Белорусская антеклиза, локальные структуры Припятского прогиба), а также к системам активных разломов. Распределение данных ледниковых ложбин подчиняется радиально-секторальной структуре и динамике ясельдинского ледника, что предопределило общие черты и региональные особенности их упорядоченности и морфологии. Общими чертами ясельдинских ложбин являются приуроченность к лопастным секторам ледниковых потоков, встречаемость в разновозрастных краевых комплексах, преобладание ложбин полигенетического происхождения. К региональным особенностям относятся изолированное положение, субмеридиональная и меридиональная ориентация, меньшие размеры и слабая выраженность в рельефе максимальной фазы ясельдинского оледенения, преобладание ложбин ледниковой экзарации и выдавливания и широкое развитие субгляциальных водно-эрозионных рытвин. Ложбины более молодой (новогрудской) фазы локализируются в краевых комплексах Средненеманской, Налибокской и Среднеберезинской лопастей и в языках по их периферии. Этим ложбинам свойственны связь с поясом возвышенностей, субширотная крупнофестончатая упорядоченность на площади лопастей и веерообразное, часто дугообразное (вдоль окончаний языков) расположение в языках, крупные размеры и максимальные глубины, четкое обособление в рельефе. Здесь представлены в основном полигенетические ложбины котловинного и трогового типов, ложбины выдавливания с прилегающими к ним дислокациями и субгляциальные водно-эрозионные рытвины. Формирование ложбин котловинного типа происходило одновременно с выдвиганием вывальных ледников и было результатом экзарации и гляциотектонических надвигов пород субстрата на территории

---

### Образец цитирования:

Комаровский М.Е. Морфология и генезис ясельдинских ледниковых ложбин в Беларуси. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология.* 2022;2:117–143. <https://doi.org/10.33581/2521-6740-2022-2-117-143>

### For citation:

Komarovskiy M.E. Morphology and genesis of the Yaselda glacial valleys in Belarus. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology.* 2022;2:117–143. Russian. <https://doi.org/10.33581/2521-6740-2022-2-117-143>

---

### Автор:

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

### Author:

**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)

присводового участка Белорусской антеклизы и огибающих ее с севера низин. Оформление их как крупных котловинных ложбин стало возможным на этапе регрессии ледникового покрова, когда подвижки лопастей привели к выдавливанию большого количества материала ложа и нагромождению его в окаймлении котловин в виде скибовых надвигов, отторженцев, напорных конечных морен. Троговые ложбины возникли в результате вклинивания выводных ледников в палеодолины или избирательной линейной эрозии вдоль зон структурного ослабления. В районах развития скального ложа они сформированы плакингом и абразией, а на участках мягкого субстрата – выпахиванием, удалением оторванных глыб или надвиговых блоков. Многочисленные ложбины выдавливания, гляциокупола и складчато-чешуйчатые валы образовались за счет интенсивного выдавливания мезокайнозойских отложений из-под ледниковых языков в краевые зоны на этапе деградации ледникового покрова. Субгляциальные водно-эрозионные ложбины зародились в результате канализированной эрозии, переноса и аккумуляции отложений во время быстрых выбросов воды из подледниковых озер, происходивших в фазу сокращения ледника. Большинство крупных ложбин созданы не одним, а несколькими процессами (ледниковая экзарация, выдавливание или водно-ледниковая эрозия), т. е. имеют полигенетическое происхождение.

**Ключевые слова:** троговые ложбины; гляциодепрессии; гляциотектонопары; субгляциальные водно-эрозионные рытвины; ясельдинская генерация; выводной ледник.

## MORPHOLOGY AND GENESIS OF THE YASELDA GLACIAL VALLEYS IN BELARUS

*M. E. KOMAROVSKIY<sup>a</sup>*

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

Geological mapping revealed the oldest Yaselda (Don (on the territory of Russia), Sanian 1 (on the territory of Poland)) generation of valleys in the Quaternary strata. Valleys are widespread in marginal and inner zones of the Yaselda glaciation area. They are located in the pre-Yaselda lowlands, in the areas of deformable deposits that lie above the more hard rocks protrusion and in fault systems. The distribution of glacial valleys is depends on the radial-sectoral structure and dynamics of the Yaselda glacier, which predetermined both the common and regional features of the valley regularity and morphology. The common features are the location in lobed sectors, occurrence in heterochronous ice marginal complexes, the predominance of polygenetic valleys. The regional features include isolated position, submeridional and meridional orientation, smaller size and weak expression of valleys in the maximum phase relief, the predominance of valleys of glacial exaration and extrusion and tunnel valleys. Valleys of the younger (Novogrudok) phase are located in the marginal complexes of the Middle Neman, Naliboky and Middle Berezina ice lobes and tongues. Valleys are characterised by connection with the belt of marginal highlands, sublatitudinal large-festoon ordering on the area of the lobes and a fan structure in the tongues, large size and maximum depths, clear expression in relief. Here, mainly polygenetic basins and trough valleys, extrusion valleys and subglacial tunnel valleys have been established. Basins arose simultaneously with the advance of outlet glaciers and are the result of exaration and glaciotectonic overthrusts of substrate rocks in the territory of the Belarusian antecline and lowlands enveloping from the north. Their formation became possible at the regressive stage, when the readvances of the ice lobes led to the extrusion of a large amount of bed material and its accumulation in the basin borders. Trough valleys arose due to the wedging of outlet glaciers into paleovalleys or selective linear erosion along zones of structural weakening. In areas of rock bed, they were formed by plucking and abrasion, and in areas of soft substrate – by plucking, removal of thrust blocks. Numerous extrusion valleys appeared due to the extrusion in the Meso-Cenozoic deposits from under the glacial tongues into the marginal zones during the glacial retreat phase. Tunnel valleys originated as a result of canal erosion of sediments during rapid outbursts of water from subglacial lakes established for the glacier reduction phase. Most of the large valleys are of polygenetic origin.

**Keywords:** trough valleys; glacial basins; hill-hole pair; tunnel valleys; Yaselda generation; outlet glacier.

### Введение

Ясельдинские ложбины являются наиболее древней достоверно установленной системой ложбин ледникового и водно-эрозионного происхождения, прорезающих поверхность коренных пород. Они отличаются значительной глубиной вреза, крупными размерами и представляют собой как одиночные ложбины, так и сочетания (узлы) ложбин нередко с боковыми конечными моренами в обрамлении [1]. Обычно считается, что экзарационные ложбины служили основными путями движения льда в ледниковых потоках, лопастях и языках, а водно-эрозионные рытвины были главными подледниковыми дренажными коридорами для больших объемов талой воды. Таким образом, предполагается, что они

играли существенную роль для нормального существования ледникового покрова и гидравлической системы под ледниками [2]. Поскольку поведение ледников в значительной степени отражает механизм движения ледниковых потоков и подледниковый гидравлический режим, понимание того, как формируются и действуют ледниковые и субгляциальные водно-эрозионные ложбины, имеет решающее значение для реконструкции ясельдинского ледникового щита и интерпретации данных о связанных с ним формах рельефа.

Ложбины ясельдинского оледенения находятся в центре внимания ученых уже на протяжении полувека, однако согласия относительно их происхождения пока не достигнуто. Обсуждение возникновения ясельдинских ледниковых ложбин в основном сосредоточено на вопросах о том, какие процессы (ледниковая экзарация, выдавливание, водно-ледниковая эрозия либо их комбинация) обусловили зарождение ложбин и какие ледники (выводные или медленно движущиеся) участвовали в их формировании.

Каждая из выдвигаемых гипотез подтверждается вескими доказательствами. Это свидетельствует о том, что нет универсального способа образования ледниковых ложбин и многие из них имеют полигенетическое происхождение.

Цель настоящей работы – охарактеризовать распространение и морфологию ясельдинских ложбин, а также обсудить их происхождение с использованием вновь собранных геологических данных. При этом ставятся следующие задачи: провести картографирование ледниковых ложбин в поверхности ясельдинского ледникового горизонта; установить соотношение между расположением ледниковых ложбин, геологическим строением и рельефом поверхности коренного субстрата, а также радиально-секторальной структурой и динамикой ясельдинского ледника; выделить основные морфогенетические типы и отметить общие и региональные особенности ложбин; показать на конкретных примерах геологическое строение наиболее типичных ложбин и их выражение в ясельдинском рельефе; рассмотреть происхождение наиболее распространенных типов ложбин.

### Состояние проблемы происхождения ясельдинских ложбин в Беларуси

Ранние исследования происхождения ложбин были сосредоточены преимущественно в бассейне р. Днепр [3–6], при этом ложбины описывались как вытянутые глубокие депрессии в ложе четвертичных отложений с волнистым продольным профилем и V- или U-образным поперечным профилем. В Поднепровье было обнаружено, что ложбины ясельдинского ледникового комплекса заполнены отложениями разного типа: одни ложбины – грубыми моренными суглинками, супесями или лимногляциальными глинами и алевритами, другие ложбины – флювиогляциальными песками и песчано-гравийно-галечным материалом при отсутствии нормально-аллювиальных свит. Однако чаще всего в пределах ложбин развиты почти все названные отложения. Эти особенности легли в основу выдвинутой Г. И. Горецким теории о том, что ложбины были образованы ледниковой экзарацией и эрозией талых ледниковых вод, а также комбинацией данных процессов в ясельдинское оледенение. Среди наиболее древних ледниковых структур он выделил ложбины ледникового выпахивания, рытвины ледникового стока и размыва и ложбины смешанного типа. Исходная теория Горецкого о происхождении ледниковых ложбин указанного возраста была принята научным сообществом [7–12], однако впоследствии некоторые ее идеи получили развитие в ходе палеопотамологического и геолого-палеогеографического изучения погребенных ледниковых ложбин Белорусского Понеманья и продолжившегося комплексного геолого-палеогеографического исследования четвертичных отложений долины р. Днепр.

Г. И. Горецкий [1; 13] предположил, что значительная часть ложбин, по крайней мере, в Белорусском Понеманье и некоторые ложбины в Поднепровье образованы гляциотектоникой, о чем свидетельствуют палеогеоморфологические комплексы типа сешей, а также интенсивное проявление гляциодислокаций как в дочетвертичной, так и в ясельдинской толще. В ходе исследований на территории Белорусского Понеманья им были выявлены крупные котловинные ложбины экзарационной природы (например, Ушанско-Налибокская, Сопецкинская, Мостовская) и отходящие от них ложбины ледникового выпахивания и размыва северо-западного, северо-восточного и меридионального направлений трогового и рытвинного типов, с которыми связаны окаймляющие (боковые и поперечные) гряды, внутриложбинные и периферийно-ложбинные гляциокупола-горбыли, поля гляциокуполов, гляциодиапиры и гляциоинъекции, скибы, чешуи, подледные гляциоаллювиальные долины и отторженцы. Г. И. Горецкий показал, что такие комплексы ложбин в ясельдинское оледенение могли быть созданы соответствующими выводными ледниками, вынужденными продвигаться по крупным низинам и долинам против уклона поверхности доледникового ложа и кристаллического фундамента.

Проблема происхождения ледниковых ложбин, связанных с гляциодислокациями, решалась Э. А. Левковым [14] с позиций гляциотектоники. Основываясь на теории, разработанной Г. И. Горецким [1], он показал, что связь между ложбинами и гляциодислокациями объясняется общностью их происхождения

и возникает из-за того, что материал, слагающий нарушения, поступил из находящихся по соседству отрицательных форм. Влияние ледниковой экзарации, гляциотектоники и эрозии талых ледниковых вод на заложение ясельдинских ложбин позднее было подтверждено многими исследователями [15–23]. Большинство из них также считали ледниковую экзарацию и эрозию талых ледниковых вод важнейшими агентами в процессе формирования ложбин.

Буровые материалы, собранные за последние годы, позволили более тщательно закартографировать расположение ясельдинских ложбин в масштабе 1 : 200 000 на всей территории Беларуси [24]. В ходе детального изучения этих данных получены доказательства того, что формирование ложбин обусловлено многими факторами [25–27]. Помимо этого, сделан вывод, что неодинаковая природа ложбин в северной и центральной частях Беларуси объясняется влиянием геологического строения и литологии субстрата на характер ледниковой экзарации [28].

### Методика исследования

Основным методом выявления и изучения ложбин было картографирование рельефа поверхности ясельдинского ледникового горизонта и выходящих на нее отложений. Картографирование осуществлялось в масштабе 1 : 200 000 и основывалось на анализе всех имеющихся к настоящему времени глубоких буровых скважин (более пяти тысяч) Научно-производственного центра по геологии. К ясельдинскому ледниковому горизонту относились отложения, расположенные в скважинах между коренными породами и беловежским межледниковым горизонтом, а также отложения, установленные по литологическим признакам морены.

Составление карты поверхности ясельдинского ледникового горизонта осуществлялось путем нанесения на топографическую основу абсолютных отметок и литологического состава вскрытых отложений, гляциодислокаций. Более или менее достоверно картографируемые погребенные формы рельефа и отложения относились к ясельдинскому комплексу в местах залегания на них беловежских межледниковых слоев, датированных биостратиграфическими методами [29–37]. В случае отсутствия межледниковых пород ясельдинские образования выделялись под подошвой слоя лимногляциальных пород березинского ледникового горизонта, который является маркирующим горизонтом [38]. Одновременно с литологией и фациями картировались рельеф поверхности и мощности горизонта в области ясельдинского оледенения.

На новой карте путем сопряженного анализа фаций отложений, ледниковых структур, дислокаций и гипсометрии выделялись ледниковые ложбины, гляциодепрессии, конечные морены, моренные равнины и другие палеогеоморфологические образования. Морфографическое изучение карты дало представление о пространственном размещении ледниковых ложбин, позволило определить их ориентацию, размеры и глубину, установить связь выявленных ложбин друг с другом, а также с конечными моренами, гляциодислокациями, флювиогляциальными конусами выноса.

Определение генезиса ложбин проводилось исходя из их формы и особенностей заполнения [1]. В соответствии с новой морфогенетической классификацией [39] на специальной карте впервые выделены основные морфогенетические типы ложбин ясельдинского оледенения, включая ложбины полигенетического происхождения.

Изучение мелкопесчаной составляющей и гравийно-галечной фракции (крупнее 0,5 см) ясельдинской морены из скважин было направлено на выявление главных ассоциаций руководящих минералов и петрогенетических групп для выделения системы выводных ледников, определения путей их движения и районов экзарации, а также мест накопления и разгрузки талых вод под ледником.

### Результаты исследования

**Распространение ясельдинских ложбин.** Данные ложбины локализуются в области ясельдинского оледенения (в его бывшей краевой и зафронтальной зонах). Крупные формы экзарации и водно-ледникового размыва описаны на территории стран Прибалтики [40–43], Польши [44], России (в пределах Окско-Донской равнины) [45–52] и др.

В большом количестве ясельдинские ложбины представлены и в Беларуси. К наиболее важным из них относятся Видзовская, Браславская, Глубокская, Карпиничская, Селявская и Толочинская ложбины на севере страны [10; 24], Александрийская, Копыско-Шкловская, Пронцевская, Лахвинская, Ведричская, Светлогорская, Погостская, Брянчицкая и Коссовская ложбины в бассейне р. Днепр [3; 5], Каменецкая, Сигневичская, Наревская и Брестская ложбины в бассейне р. Вислы, ложбины на площади Белорусского Понеманья [15; 18; 22; 41] и ряд других ложбин, в заполнении которых участвуют отложения ясельдинского оледенения (рис. 1).

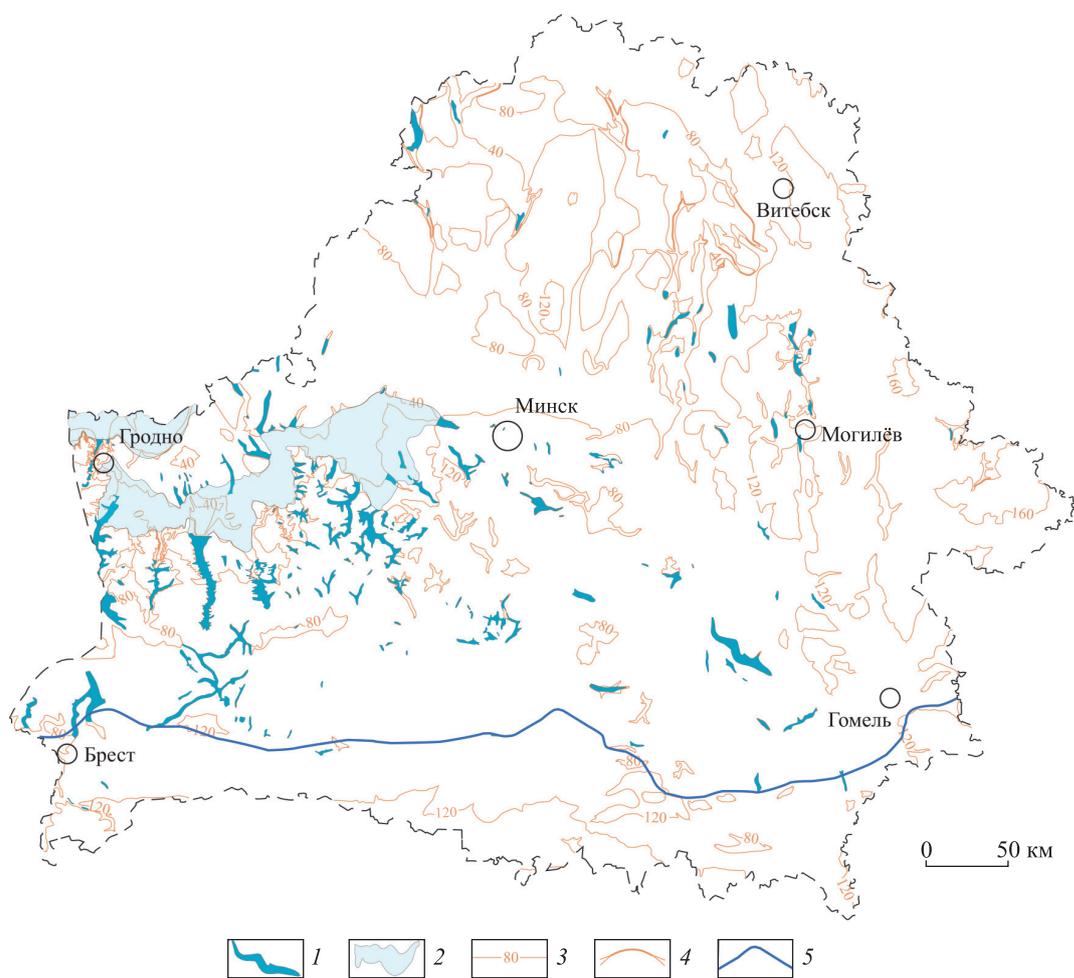


Рис. 1. Распространение ясельдинских ледниковых ложбин на территории Беларуси:  
1 – ледниковые ложбины; 2 – гляциодепрессии; 3 – изогипсы;  
4 – крутые склоны; 5 – граница ясельдинского оледенения

Fig. 1. Distribution of the Yaselda glacial valleys on the territory of Belarus:  
1 – glacial valleys; 2 – glacial basins; 3 – isohypses;  
4 – steep slopes; 5 – boundary of the Yaselda glaciation

Ледниковые ложбины выявлены в пределах низин и равнин доясельдинского рельефа, занимающих территорию западной и центральной частей Беларуси [27]. Здесь они тяготеют к крупным древнеаллювиальным и озерно-аллювиальным низинам (Ушанско-Налибокской, Верхненеманской, Брестской и др.), которые во время максимального продвижения и деградации ясельдинского оледенения становились гляциодепрессиями для краевых ледниковых лопастей.

Поля развития ясельдинских ледниковых ложбин отмечены в районах над выступами и склонами, которые образованы из прочных скальных пород и перекрыты податливыми отложениями [1; 14]. Одно из таких полей приурочено к присводовой территории западного и северного погребенных склонов Белорусской антеклизы выше отметок  $-0,3$  км. На этих склонах, обращенных навстречу движению ледника и перекрытых мезокайнозойскими мергельно-меловыми и песчано-глинистыми отложениями, наблюдается самая высокая плотность ложбин [28].

Примечательная особенность пространственного распределения многих ясельдинских ледниковых ложбин – их тесная связь с системами разломов и локальными соляными структурами, активными в плейстоцене и голоцене. Преимущественно ложбины тяготеют к разломам северо-восточного и субширотного направлений. Особенно часто отмечается такой характер соотношения, когда ледниковые ложбины располагаются поперек разлома; совпадают с разломом и ориентированы по направлению движения ледника; находятся на небольшом расстоянии от разлома и вытянуты субпараллельно ему; тяготеют к узлам пересечения двух и более разломов. Разломы являются одним из основных факторов локализации Браславской, Видзовской, Карпиничской, Селявской, Светлогорской, Наревской, Сигневичской, Мотольской и других крупных ложбин. Большинство выявленных в пределах Припятского прогиба ясельдинских ложбин располагаются над локальными соляными поднятиями, остальные находятся в границах отрицательных структур [26].

**Связь ложбин с радиально-секторальной структурой краевых комплексов.** В дополнение к сказанному следует отметить, что ложбины отчетливо тяготеют к поясам развития погребенного краевого ледникового рельефа [38]. Пояса краевых образований, выделяемые по максимальным абсолютным отметкам, вертикальной расчлененности поверхности и геологическому строению, можно отнести к максимальной стадии развития ледникового покрова и последующей (новогородской) фазе возвратно-трансгрессивных подвижек (рис. 2).

В положительных формах рельефа А. В. Матвеев [53] выделил шесть цепей, связанных с особенностями деградации ледникового покрова. В зонах краевых образований во многих местах отмечаются предельно большие мощности ясельдинских ледниковых отложений (рис. 3).

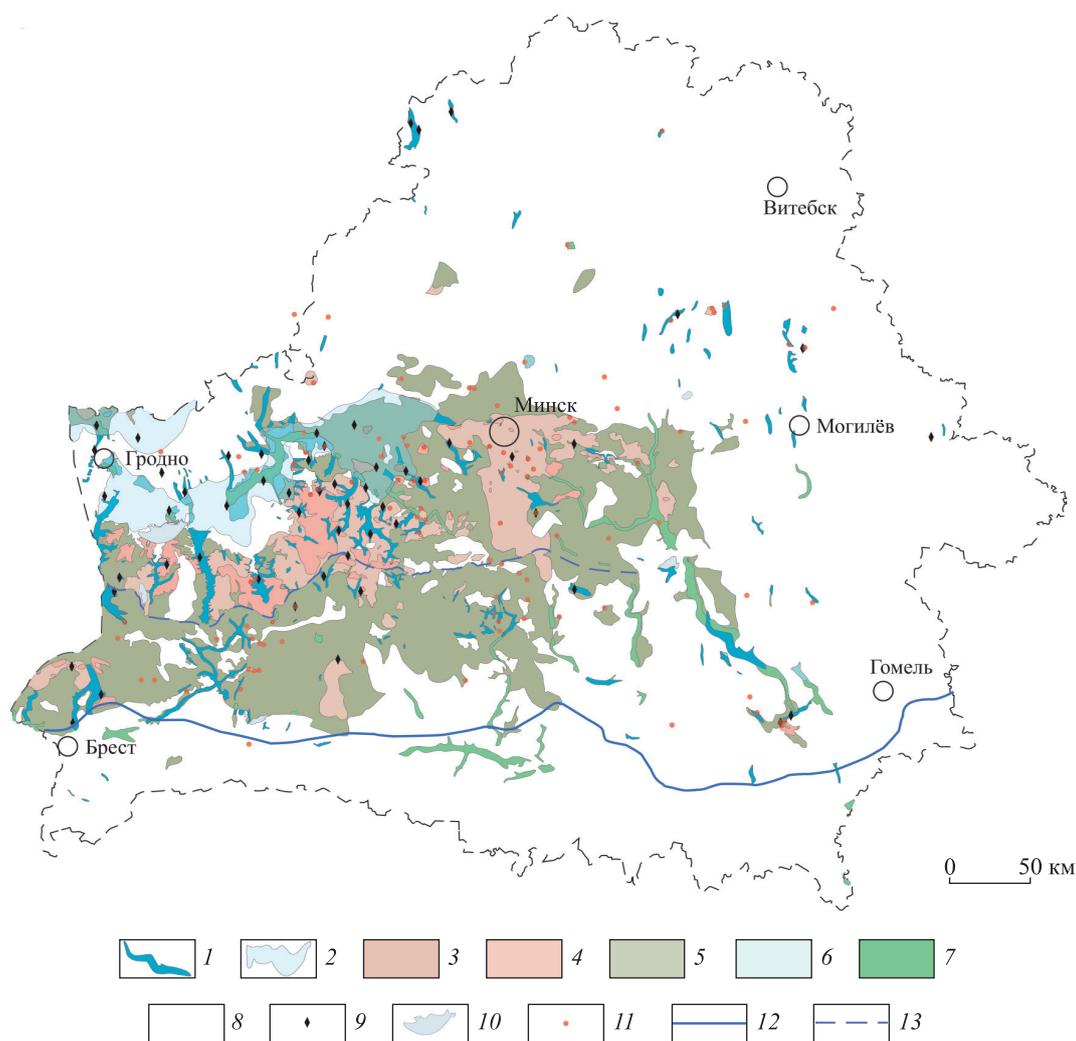


Рис. 2. Расположение ложбин в поверхности ясельдинского ледникового горизонта:

- 1 – ледниковые ложбины; 2 – гляциодепрессии;
- 3 – основная морена; 4 – напорные конечные морены;
- 5 – флювиогляциальные отложения; 6 – озерно-аллювиальные пески и алевриты;
- 7 – аллювий; 8 – участки отсутствия отложений; 9 – ледниковые отторженцы;
- 10 – более молодые гляциодислокации (гляциотектонические окна);
- 11 – скважины, вскрывшие беловежские межледниковые отложения;
- 12 – граница ясельдинского оледенения; 13 – граница новогородской фазы

- Fig. 2. Location of valleys in the surface of the Yaselda glacial horizon:
- 1 – glacial valleys; 2 – glacial basins; 3 – lodgement till; 4 – push end moraines;
  - 5 – fluvioglacial deposits; 6 – lacustrine and alluvial sands and silts; 7 – alluvium;
  - 8 – areas without deposits; 9 – glacial erratic masses;
  - 10 – younger glacial tectonics (glacial tectonic windows);
  - 11 – boreholes that exposed Belovezhian interglacial deposits;
  - 12 – boundary of the Yaselda glaciation; 13 – Novogrudok phase boundary

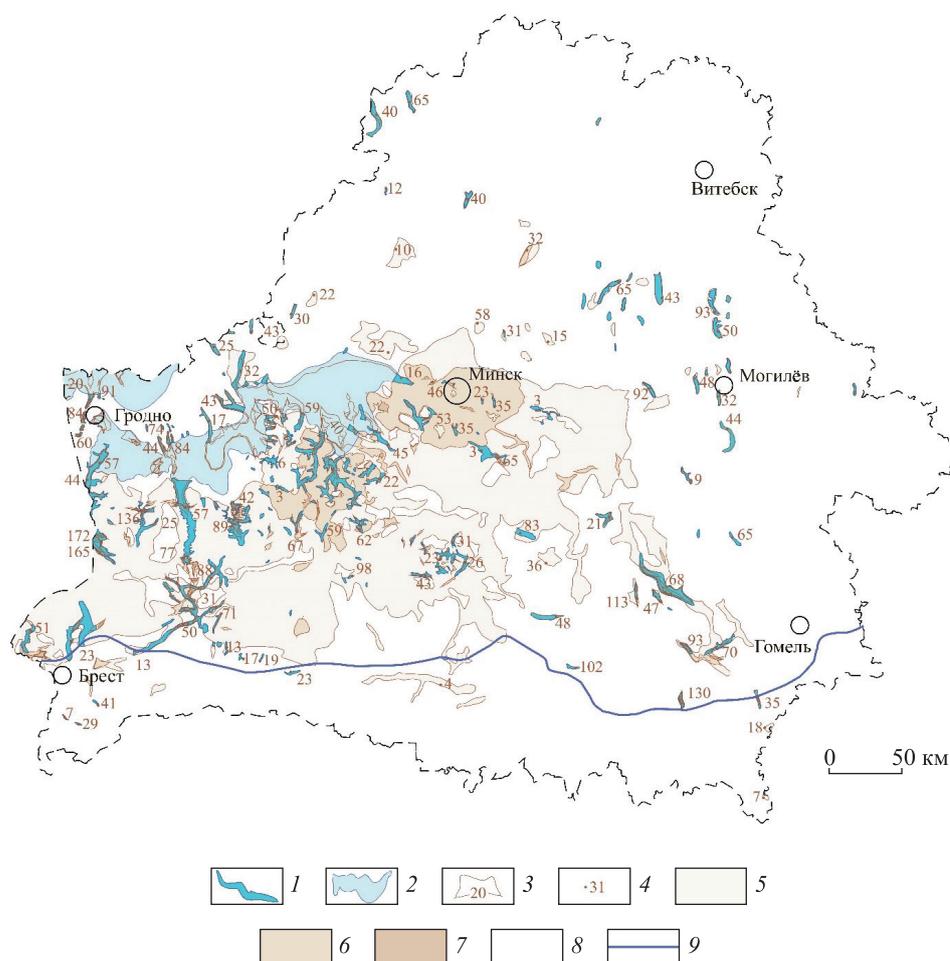


Рис. 3. Мощность ясельдинских отложений:

1 – ледниковые ложбины; 2 – гляциодепрессии; 3 – изопахиты;  
4 – значения мощности; 5 – участки с мощностью менее 20 м;  
6 – участки с мощностью 20–40 м; 7 – участки с мощностью более 40 м;  
8 – участки отсутствия отложений; 9 – граница ясельдинского оледенения

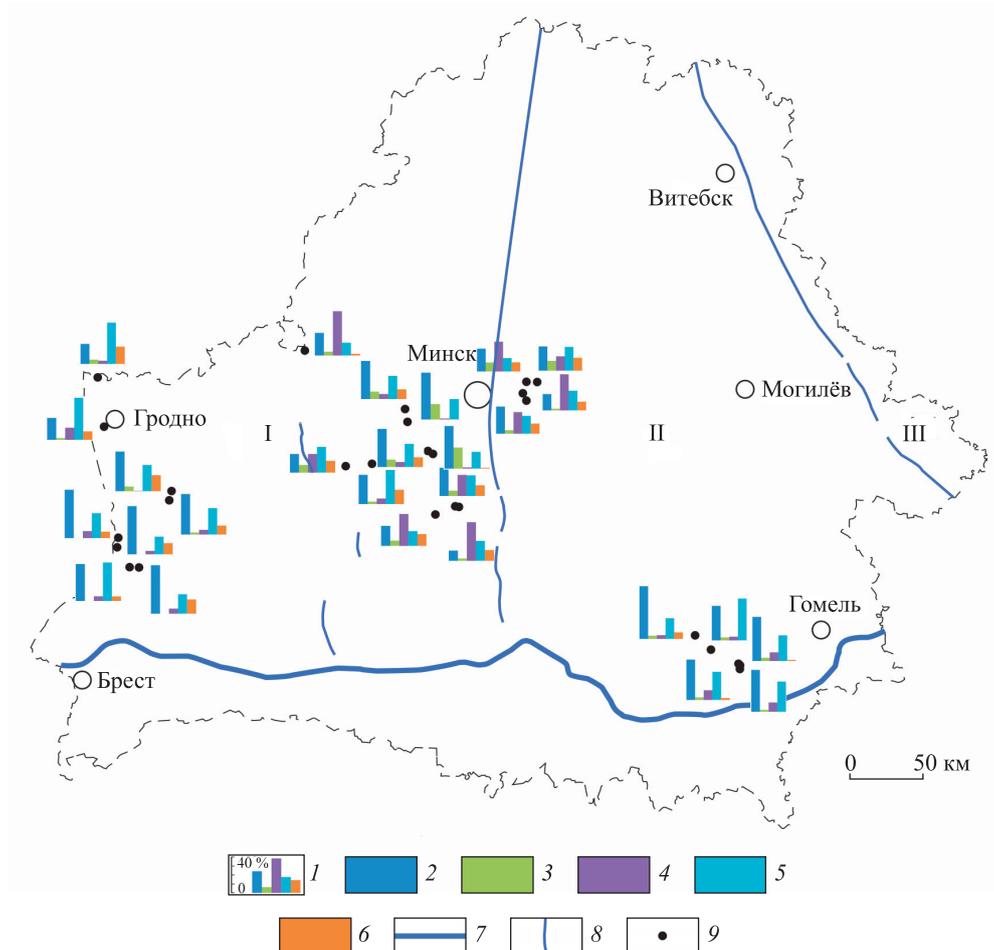
Fig. 3. Thickness of Yaselda deposits: 1 – glacial valleys; 2 – glacial basins;  
3 – isopachs; 4 – thickness values; 5 – areas with a thickness less than 20 m;  
6 – areas with a thickness 20–40 m; 7 – areas with a thickness more than 40 m;  
8 – areas without deposits; 9 – boundary of the Yaselda glaciation

Расположение ложбин связано с радиально-секторальной структурой краевых комплексов. Ранее считалось, что ясельдинские ложбины установлены в пределах трех ледниковых потоков – Неманского, Вилийского и Днепровского, выделенных А. В. Матвеевым в самых общих чертах [53]. Для уточнения соотношений между пространственным распределением ложбин и гляциодинамической структурой ледникового покрова проведен петрографический и минералогический анализ ясельдинской морены.

Установлено, что ясельдинская морена характеризуется существенными различиями в петрографическом составе обломков, обнаруженных в бассейне р. Неман и в пределах Приднепровья. Эти различия сводятся к постоянному присутствию в основной морене бассейна р. Неман терригенных пород девона (7,5 %) – алевролитов, аргиллитов и песчаников, принесенных с территории Литвы и северной Латвии. Кроме того, в ней представлены местные подстилающие мезозойские породы Понеманья (10,4 %) – белый писчий мел, серые мергели, нередко с обломками меловых раковин, кремней и фосфоритов (рис. 4).

Петрографический анализ обломков, выявленных в бассейне р. Неман, подтверждает представление о том, что ясельдинская морена отложена ледниковым потоком, наступавшим с севера. Присутствие в составе валунных проб руководящих валунов из бассейна р. Неман в южной Прибалтике (выборгит, гогландский кварцевый порфир, аландские кварцевые порфиры, рапакиви и граниты, балтийский красный кварцевый порфир) указывает на южную и юго-западную Финляндию как наиболее вероятный источник их поступления [56; 57].

В пределах Днепровского ледникового потока состав гравийно-галечного материала ясельдинской морены постепенно изменяется. Здесь возрастает содержание девонских доломитов (18,3 %) и палеозойских известняков (29,5 %), а количество мезозойских карбонатных пород уменьшается (до 6,7 %) (табл. 1).



**Рис. 4.** Петрографический состав гравия (фракция 0,5–1,0 см) и гальки (фракция 1,0–10,0 см) в ясельдинской морене Беларуси:  
 1 – диаграмма и шкала процентного содержания гравия и гальки различных петрогенетических групп;  
 2 – магматические и метаморфические породы; 3 – терригенные породы девона;  
 4 – девонские доломиты; 5 – палеозойские известняки; 6 – мезозойские карбонатные и прочие породы;  
 7 – граница ясельдинского оледенения; 8 – ледоразделы потоков и лопастей;  
 9 – пункты изучения петрографического состава морены.  
 Ледниковые потоки: I – Неманский; II – Днепровский; III – Остерский  
 (составлено на основе данных работ [54; 55])

**Fig. 4.** Petrographic composition of gravel (fraction 0.5–1.0 cm) and pebbles (fraction 1.0–10.0 cm) in the Yaselda moraine of Belarus:  
 1 – diagram and scale of the percentage content of gravel and pebbles of various petrogenetic groups;  
 2 – igneous and metamorphic rocks; 3 – Devonian terrigenous rocks; 4 – Devonian dolomites;  
 5 – Paleozoic limestones; 6 – Mesozoic carbonate and other rocks; 7 – boundary of the Yaselda glaciation;  
 8 – ice divides of streams and lobes; 9 – points for studying the petrographic composition of the moraine.  
 Glacial streams: I – Neman; II – Dnieper; III – Oster  
 (compiled on the basis of data from works [54; 55])

Таблица 1

**Петрографический состав крупнообломочного материала ясельдинской морены Беларуси, %**

Table 1

**Petrographic composition of coarse-grained material from the Yaselda moraine of Belarus, %**

Группа пород	Район исследования	
	Неманский ледниковый поток	Днепровский ледниковый поток
Магматические и метаморфические породы	39,4	40,4
Терригенные породы девона	7,5	5,3
Девонские доломиты	14,1	18,3
Палеозойские известняки	28,5	29,5
Мезозойские карбонатные и прочие породы	10,4	6,7

Ясельдинская морена в пределах Неманского ледникового потока характеризуется доминированием амфибол-ильменит-гранатовой минеральной ассоциации с примесью доломита, эпидота, пирита, глауконита (до 10 %) (рис. 5). Повышенный удельный вес в тяжелой фракции ильменита, эпидота, пирита, глауконита, вероятно, объясняется влиянием местных мезокайнозойских коренных пород (табл. 2).

В морене Днепровского ледникового потока доминирующей является амфибол-гранат-сидеритовая минералогическая ассоциация. Содержание руководящих минералов Фенноскандии (амфибол и гранат) здесь достигает своего максимума (28,0 и 16,3 % соответственно), а количество местных минералов мезозойских пород (ильменит, пирит, рутил, эпидот и глауконит) снижается до минимума. Кроме того, возрастает содержание сидерита (до 13,2 %) и фосфата (до 4,6 %), что, вероятно, связано с поступлением их с севера и северо-северо-запада из девонских пород северной Беларуси и Прибалтики [66; 67].

Таким образом, в силу приведенных литологических аргументов следует принять мнение о приуроченности ледниковых ложбин не к трем, а к двум ледниковым потокам – Неманскому и Днепровскому.

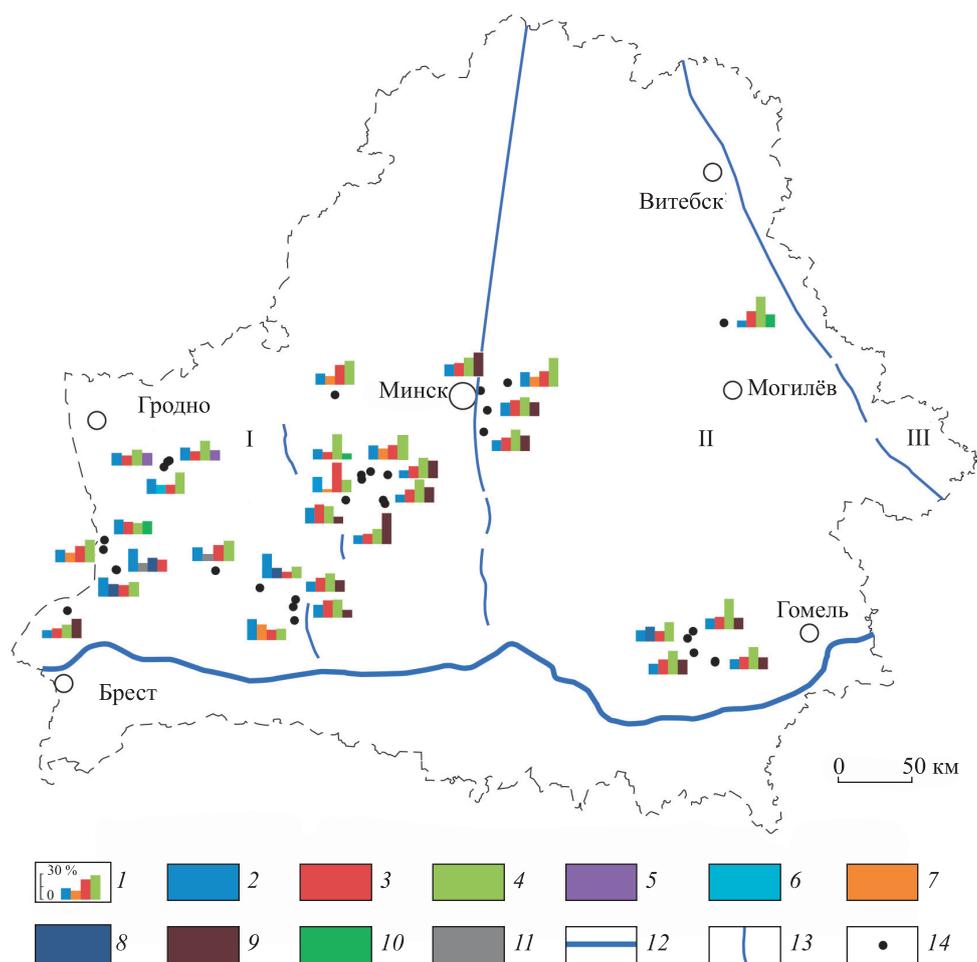


Рис. 5. Ассоциации руководящих минералов в ясельдинской морене Беларуси:  
 1 – диаграмма и шкала процентного содержания минералов во фракции 0,10–0,25 мм;  
 2 – ильменит; 3 – гранат; 4 – амфибол; 5 – доломит; 6 – циркон;  
 7 – эпидот; 8 – пирит; 9 – сидерит; 10 – фосфат; 11 – лейкоксен;  
 12 – граница ясельдинского оледенения; 13 – ледоразделы потоков и лопастей;  
 14 – пункты изучения минералогического состава морены.  
 Ледниковые потоки: I – Неманский; II – Днепровский; III – Остерский  
 (составлено на основе данных работ [58–65])

Fig. 5. Associations of indicator minerals in the Yaselda moraine of Belarus:  
 1 – diagram and scale of the percentage content of minerals in the fraction 0.10–0.25 mm;  
 2 – ilmenite; 3 – garnet; 4 – amphibole; 5 – dolomite; 6 – zircon;  
 7 – epidote; 8 – pyrite; 9 – siderite; 10 – phosphate; 11 – leucocoxene;  
 12 – boundary of the Yaselda glaciation; 13 – ice divides of streams and lobes;  
 14 – points for studying the mineralogical composition of the moraine.  
 Glacial streams: I – Neman; II – Dnieper; III – Oster  
 (compiled on the basis of data from works [58–65])

Таблица 2

Средний минералогический состав тяжелой фракции ясельдинской морены Беларуси, %

Table 2

Average mineralogical composition of the heavy fraction of the Yaselda moraine of Belarus, %

Минералы	Район исследования	
	Неманский ледниковый поток	Днепровский ледниковый поток
Ильменит	16,5	13,1
Лейкоксен	3,3	2,1
Пирит	5,3	4,5
Лимонит, гетит	1,0	1,1
Циркон	3,1	1,2
Турмалин	1,3	1,8
Рутил	0,8	0,2
Эпидот	8,1	6,4
Гранат	15,8	16,3
Амфибол	21,3	28,0
Биотит	1,3	0,8
Доломит	2,9	1,0
Сидерит	7,2	13,2
Апатит	1,2	0,6
Фосфат	2,9	4,6
Глауконит	1,4	0,4
Пироксены	2,3	1,3
Метаморфические минералы	2,6	3,0
Прочие минералы	1,8	0,3
<i>Общее содержание скандинавских минералов</i>	<i>43,8</i>	<i>50,6</i>
<i>Общее содержание минералов местных пород</i>	<i>36,7</i>	<i>28,5</i>

Примечание. В пределах Неманского ледникового потока коэффициент влияния скандинавских пород составил 1,1, а в пределах Днепровского ледникового потока – 1,7.

Ледниковые ложбины краевого комплекса максимальной фазы ясельдинского оледенения располагаются у южного края двух крупных гляциоморфологических секторов, соответствующих краевым зонам Припятской и Днепровской лопастей [19]. Первая лопасть принадлежит Неманскому ледниковому потоку, а вторая – Днепровскому ледниковому потоку. Ледораздел между ними проходит по межлопастным возвышениям в районе д. Ветчин и юго-восточнее Слуцка. В пределах лопастных бассейнов ложбины локализуются в основном в зафронтальной зоне на площади водно-ледниковых и моренных равнин в интервале абсолютных высот 80–120 м. Часть ложбин прослеживаются вдоль палеодолин рек Днепр, Друть, Березина, Случь, Оресса, Ведрич, Ясельда, Лесная и др.

Обычно ложбины располагаются обособленно. В области максимального растекания льда с запада на восток выделяются Высоковская, Каменецкая, Наревская, Сигневичская, Устронская, Солигорская, Чепельская, Брянчицкая, Слуцкая, Погостская ложбины в пределах Припятской лопасти и Стародорожская, Краснослободская, Бобруйская, Светлогорская, Ведричская, Хойникская, Кривичская, Белицкая ложбины в пределах Днепровской лопасти. Большинство указанных ложбин начинаются во внутренней зоне лопастных бассейнов и протягиваются вплоть до их дистальной части. На площади Припятской лопасти они обычно расположены субпараллельно и вытянуты с севера на юг перпендикулярно краю. В пределах Днепровской лопасти доминируют ложбины, вытянутые с северо-северо-запада на юго-юго-восток. Вблизи внешней границы этого гляциоморфологического сектора прослеживается слабозаметная дивергентность ложбин. В пределах обеих лопастей ложбины представлены в основном неширокими формами длиной до 35 км, глубиной до 140 м. В целом здесь они характеризуются меньшими размерами и плотностью расположения, а также более слабым выражением в рельефе, чем ложбины фазы деградации в центральной части страны.

В области максимальной фазы ясельдинского оледенения преобладают: 1) ложбины ледниковой экзарации, выдавливания и размыва; 2) ложбины ледниковой экзарации и выдавливания; 3) субгляциальные водно-эрозионные ложбины (рис. 6).

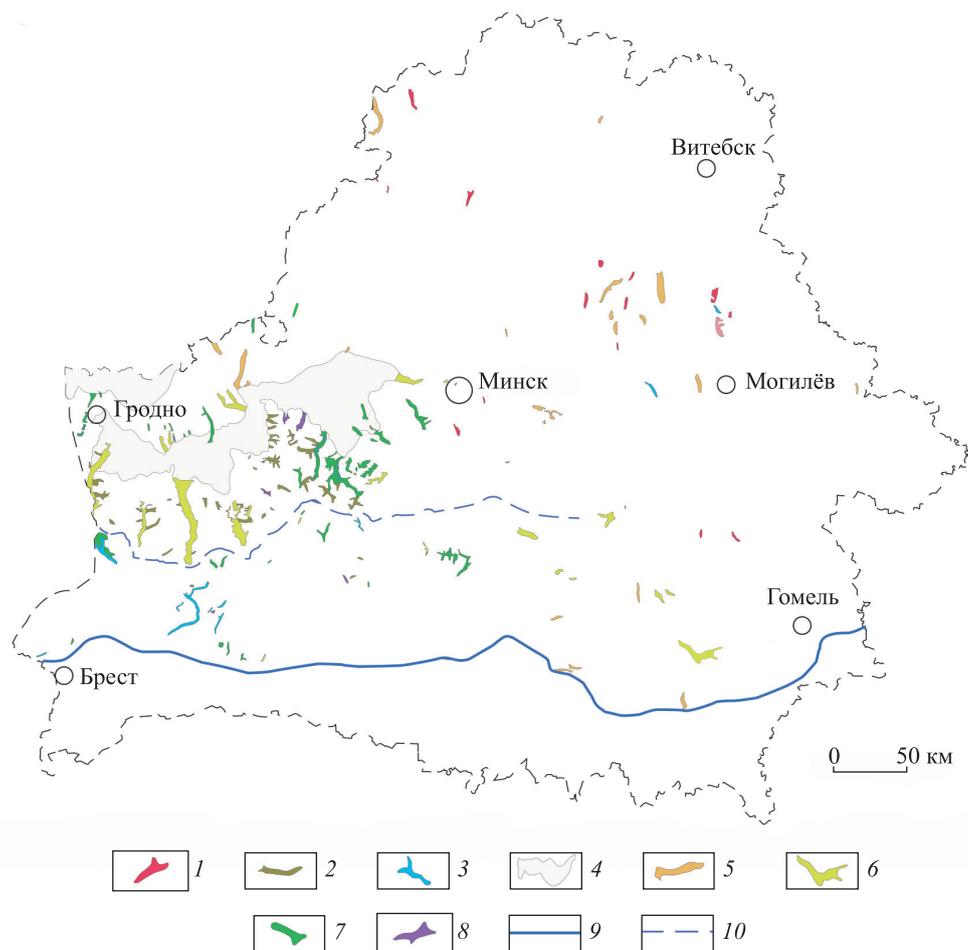
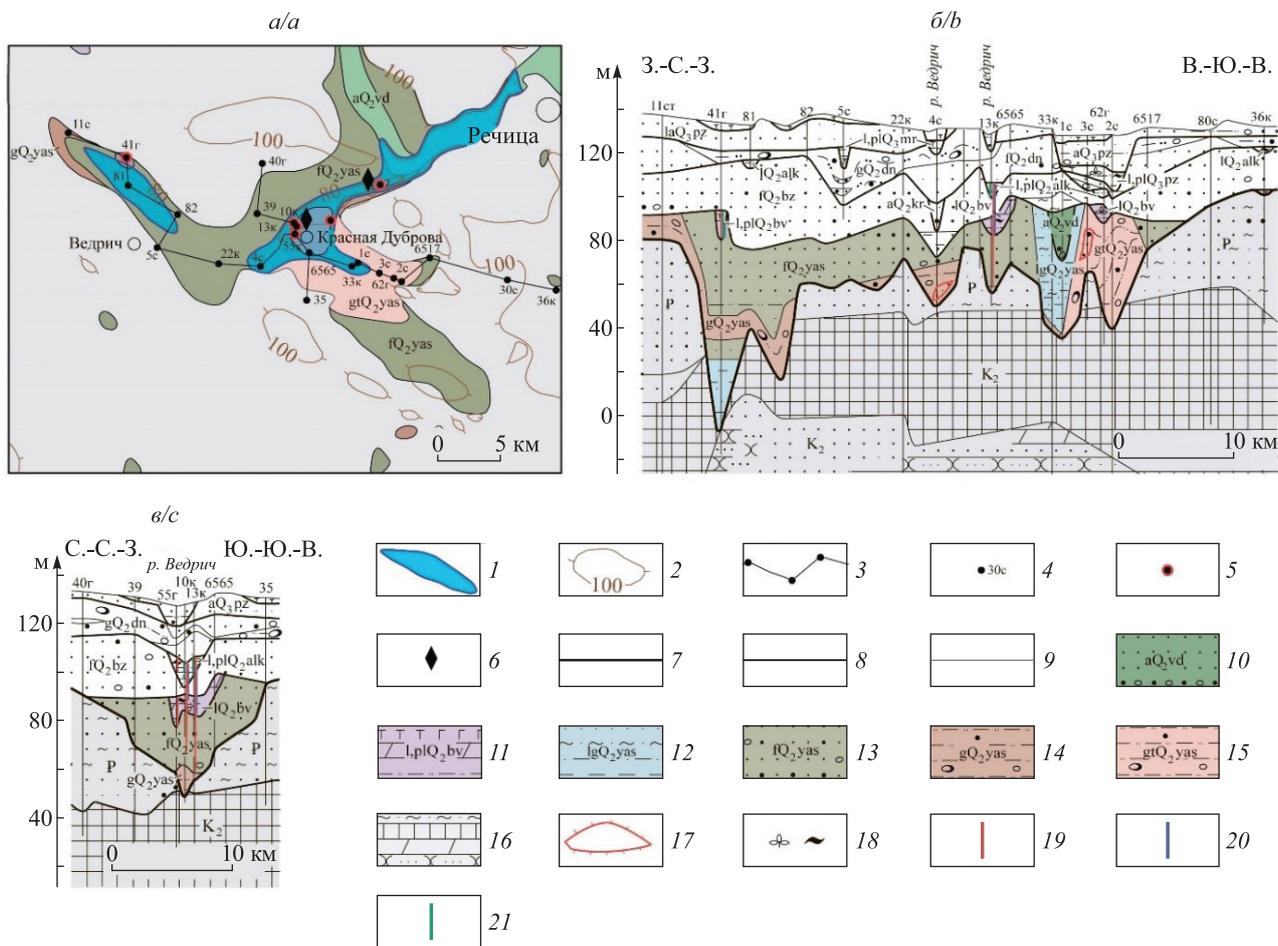


Рис. 6. Расположение основных морфогенетических типов ясельдинских ледниковых ложбин:  
 1 – ложбины ледниковой экзарации; 2 – ложбины ледникового выдавливания;  
 3 – субгляциальные водно-эрозионные ложбины; 4–8 – ложбины полигенетического происхождения  
 (4 – котловины экзарации, выдавливания и размыва,  
 5 – экзарационно-эрозионные ложбины, 6 – ложбины ледниковой экзарации,  
 выдавливания и размыва, 7 – ложбины ледниковой экзарации и выдавливания,  
 8 – ложбины ледникового выдавливания и размыва);  
 9 – граница ясельдинского оледенения; 10 – граница новгородской фазы

Fig. 6. Location of the main morphogenetic types of the Yaselda glacial valleys:  
 1 – ice-exaration valleys; 2 – glacial extrusion valleys; 3 – tunnel valleys;  
 4–8 – valleys of a polygenetic origin (4 – basins of exaration, extrusion and erosion,  
 5 – exaration-erosion valleys, 6 – valleys of glacial exaration, extrusion and erosion,  
 7 – valleys of glacial exaration and extrusion, 8 – glacial extrusion and erosion valleys);  
 9 – boundary of the Yaselda glaciation; 10 – Novogradok phase boundary

Ложбины первых двух типов обнаружены в поверхности ясельдинских отложений в южных и центральных районах гляциоморфологических секторов. Они представлены в краевых языковых комплексах, обособляющихся в концевой части лопастей. Здесь выделяются Кременская, Мотольская, Молодовская, Каролинская, Чепельская, Погостская, Ведричская, Стародорожская, Бобруйская ложбины и др. В одних случаях такие врезы тяготеют к осевой части языковых понижений и имеют спрямленную четковидную форму в плане, в других случаях они протягиваются вдоль дистального края языков в виде дуги, выпуклой к югу, повторяя очертания конечных морен. Ложбины ледниковой экзарации и выдавливания являются широкими (до 3,5 км), протяженными (до 30 км) и глубокими (60–70 м) корытообразными формами. Они имеют плоско-вогнутое днище, осложненное ваннами, группами моренных и камовых холмов и др., и ровные склоны (в пределах языковых бассейнов) или более высокие склоны, обрамленные напорными конечными моренами (в краевых зонах).

Типичный пример глубокой ложбины ледниковой экзарации, выдавливания и размыва, возникшей у выводного ледника, приводит Г. И. Горецкий [1] на Ведричской палеогеографической арене. В рельефе поверхности ясельдинских отложений здесь отчетливо выражен палеогеографический комплекс типа сеци, в составе которого выделяются Ведричская ложбина ледниковой экзарации, выдавливания и размыва, боковые и поперечная морены напора (рис. 7, а).



**Рис. 7.** Соотношение Ведричской ложбины с напорными конечными моренами (а – план поверхности ясельдинского ледникового горизонта; б – геологический разрез субширотного простирания по линии д. Луки Калинковичского района – д. Храбрый Речичского района; в – поперечный разрез по линии д. Козье – аг. Короватичи Речичского района):  
1 – ледниковая ложбина; 2 – изогипсы; 3 – линия геологического разреза;  
4 – номер скважины; 5 – скважины с палеонтологически изученными отложениями беловежского межледниковья; 6 – гляциодислокации;  
7 – граница между отложениями четвертичной и более древних систем;  
8 – граница между горизонтами; 9 – граница между генетически разными одновозрастными отложениями;  
10 – венедский аллювий; 11 – беловежские озерные и болотные отложения;  
12 – лимногляциальные глины, алевриты и пески; 13 – флювиогляциальные пески с гравием и галькой;  
14 – ясельдинская морена; 15 – конечно-моренные супеси;  
16 – дочетвертичные песчаники, пески, алевролиты и мергельно-меловые породы;  
17 – ледниковые отторженцы; 18 – остатки растений, гумусированность;  
19 – интервал межледниковых отложений, изученный палинологически;  
20 – интервал межледниковых отложений, изученный карпологически;  
21 – интервал межледниковых отложений, изученный путем диатомового анализа

**Fig. 7.** Correlation of the Vedrich valley with push end moraines (а – plan on the surface of the Yaselda glacial horizon; б – geological section of sublatitudinal extend along the line of the village of Luki, Kalinkovichi District – the village of Khrabry, Rechitsa District; в – cross section along the line of the village of Kozye – agrotown of Korovatchi, Rechitsa District):  
1 – glacial valley; 2 – isohypses; 3 – geological section line; 4 – borehole number;  
5 – boreholes with paleontologically studied deposits of the Belovezhian interglacial;  
6 – glacial tectonics; 7 – boundary between deposits of the Quaternary and older systems; 8 – boundary between horizons;  
9 – boundary between genetically different deposits of the same age; 10 – Venedian alluvium;  
11 – Belovezhian lacustrine and swamp deposits; 12 – limnoglacial clays, silts and sands;  
13 – fluvioglacial sands with gravel and pebbles; 14 – Yaselda moraine; 15 – end morainic sandy loam;  
16 – pre-Quaternary sandstones, sands, siltstones and marl-cretaceous rocks;  
17 – erratic masses; 18 – plant remains, humus content;  
19 – interval of interglacial deposits studied palynologically; 20 – interval of interglacial deposits studied carpologically;  
21 – interval of interglacial deposits studied by diatom analysis

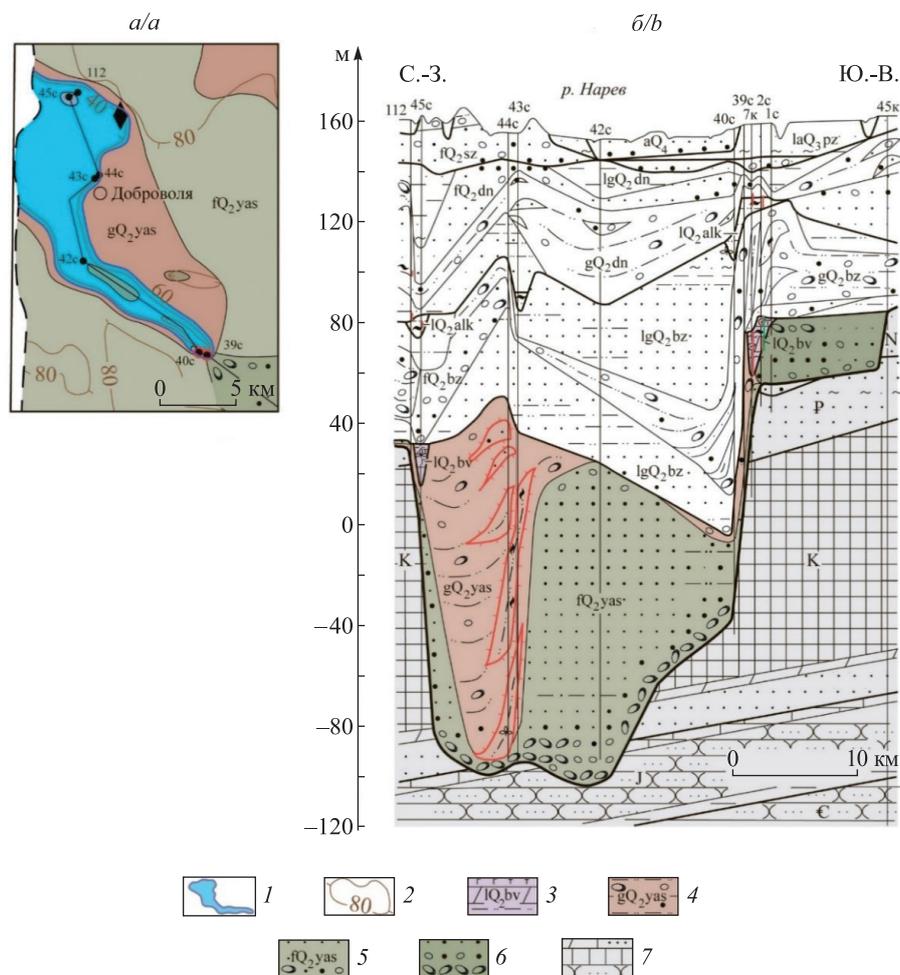
Ведричская ложбина – дугообразная форма шириной до 0,7 км, длиной до 5,7 км и глубиной до 36 м, выпуклой частью ориентированная на юго-восток по направлению движения ледникового языка. С юго-восточной стороны ее обрамляют поперечные, а с юго-западной и северо-восточной сторон – боковые напорные конечно-моренные грядки в виде дуги. Высота грядок над уровнем моря в основном составляет 95–101 м, над прилегающей ложбиной – до 10 м. Днище и склоны ложбины сложены ясельдинской основной мореной, а грядки вдоль склонов – чешуйчато-надвиговыми пачками моренных супесей с отторженцами палеогеновых и флювиогляциальных отложений. Горизонт основной морены перекрывают мелкозернистые и разнотернистые флювиогляциальные пески с гравием и галькой, почти повсеместно выстилающие днище и частично склоны ложбины (кроме самых верхних участков). В местах наибольшего заглубления и расширения днища ложбины расположены котловины с толщами диатомовых супесей, сапропелитов и торфа беловежского межледникового (см. рис. 7, б, в) [23].

Субгляциальные водно-эрозионные ложбины в основном выявлены в понижении ясельдинской поверхности у западной окраины Припятской лопасти. К этому типу отнесены Прибугская, Наревская, Коссовская, Сигневичская, Белоозерская ложбины. Первые две ложбины являются изолированными и имеют слегка извилистую форму. Остальные ложбины, сконцентрированные вокруг Березы и Белоозерска, образуют разветвленную сеть с центральной магистралью – системой Сигневичской и Коссовской ложбин – и боковыми второстепенными ответвлениями (см. рис. 6). В пространственном распределении подледных врезов прослеживается связь с ясельдинскими флювиогляциальными равнинами, районами бывших субгляциальных озер, а также активными разломами и полями развития глинистых и алевроглинистых неоген-брестских отложений.

Отмечено, что субгляциальные водно-эрозионные ложбины простираются в двух основных направлениях – на юго-восток и юго-запад, обычно против уклона ясельдинской поверхности в сторону движения ледника. Одни из них исчезают на расстоянии 12–20 км от внешнего края Припятской лопасти, а другие заканчиваются под более удаленными районами ледникового щита. Кроме того, ложбины данного типа значительно различаются по размеру: их длина составляет от 2 до 6 км, относительная глубина – от 9 до 64 м, ширина – от 0,4 до 1,5 км. Самой длинной, глубокой и непрерывной является система Сигневичской и Коссовской ложбин. Субгляциальные водно-эрозионные ложбины имеют крутые склоны и неровное днище с многочисленными замкнутыми и глубокими V-образными рытвинами, которые разделены перемычками. Эти ложбины заполнены хорошо промытыми грубообломочными фациями, мелкими песками и сверху перекрыты основной мореной. Устья ложбин обычно образуют флювиогляциальные конусы выноса.

В ясельдинском рельефе области максимального растекания льда наиболее типичной субгляциальной водно-эрозионной ложбиной является Наревская ложбина (рис. 8). Она расположена на моренной низменности к югу от г. Свислочь в долине р. Нарев (см. рис. 8, а), имеет меандрирующую, вытянутую с северо-запада на юго-восток форму в плане и V-образный поперечный профиль. Ширина Наревской ложбины составляет до 0,5 км, абсолютные отметки продольных краев достигают 60–80 м, а глубина вреза в поверхность прилегающей низменности колеблется в пределах 9–59 м. Ложбина прослеживается в плоско-вогнутом понижении дочетвертичных пород, полого наклоненном на северо-запад. Она прорезает терригенные и карбонатные породы палеогена – верхнего мела, опускаясь до песчаников юры. Установлено соотношение между расположением ложбины и активным платформенным разломом герцинской системы субширотного простирания [25]. У основания ложбины залегают галечно-валунные, отсортированные валунные и гравийные слои стремительных мощных потоков талых вод, сначала их перекрывают мелкозернистые и разнотернистые пески, отложившиеся при снижении скорости талых вод, а выше и локально – лимногляциальные отложения, состоящие из мелкозернистых алевроитов и глин (см. рис. 8, б). Поверх этих насыпных отложений мощностью до 125 м по днищу и склонам ложбины встречается ясельдинская основная морена, нередко с ледниковыми отторженцами. Отложения стремительных потоков талых вод образуют в устье ложбины мощные скопления валунов, гравийно-галечных слоев, гравелистых песков в виде крупного конуса выноса. На наревской морене в скважине № 153 (глубина 82,5–100,5 м) и на песках в скважине № 2 (глубина 76,2–90,0 м) залегают беловежские озерные отложения [36; 68].

Ложбины новогрудской фазы деградации ясельдинского оледенения связаны с поясом крупных межлопастных и фронтальных краевых ледниковых возвышенностей в районе Волковыска, Новогрудка, Минска и Червеня. Они входят в состав гляциоморфологических комплексов, сформировавшихся в краевой зоне Средненеманской и Налибокской лопастей Неманского ледникового потока и Среднеберезинской лопасти Днепровского ледникового потока во время новогрудской фазы деградации ясельдинского оледенения (см. рис. 2).



*Рис. 8.* Строение Наревской ложбины с флювиогляциальным конусом выноса в устье (а – план поверхности ясельдинского ледникового горизонта; б – продольный разрез по линии д. Незбодичи Свислочского района – д. Юзефин Пружанского района): 1 – ледниковая ложбина; 2 – изогипсы; 3 – беловежские озерные отложения; 4 – ясельдинская морена; 5 – флювиогляциальные пески с включением гравия, гальки и валунов; 6 – песчано-гравийно-галечно-валунные отложения; 7 – дочетвертичные отложения. Остальные обозначения см. на рис. 7

*Fig. 8.* Structure of the Narev valley with a fluvio-glacial fan at the mouth (a – plan of the surface of the Yaselda glacial horizon; b – longitudinal section along the line of the village of Nezbodichi, Svisloch District – the village of Yuzefin, Pruzhany District): 1 – glacial valley; 2 – isohypses; 3 – Belovezhian lacustrine deposits; 4 – Yaselda moraine; 5 – fluvio-glacial sands with gravel, pebbles and boulders; 6 – sandy-gravel-pebble-boulder deposits; 7 – pre-Quaternary deposits. Other symbols see on fig. 7

В пределах полосы краевых ледниковых образований представлены в основном крупные полигенетические ложбины котловинного типа и линейно вытянутые троговые ложбины ледниковой экзарации, выдавливания и размыва (см. рис. 6). Ложбины котловинного типа (Ушанско-Налибокская, Сопотчинская и Мостовская) расположены в пределах Средненеманской и Налибокской лопастей (рис. 9).

В ходе тематических исследований Г. И. Горецкого [1; 4; 13], Б. Н. Гурского [7; 8], Е. П. Мандер [10] на территории Белорусского Полесья и бассейна Среднего Днепра, а также тематических исследований М. А. Вальчика с соавторами [16], А. В. Грибко [69], М. Е. Комаровского [28] на территории центрально-белорусских возвышенностей и гряд был выявлен ряд общих особенностей строения ясельдинских ледниковых котловин этой зоны.

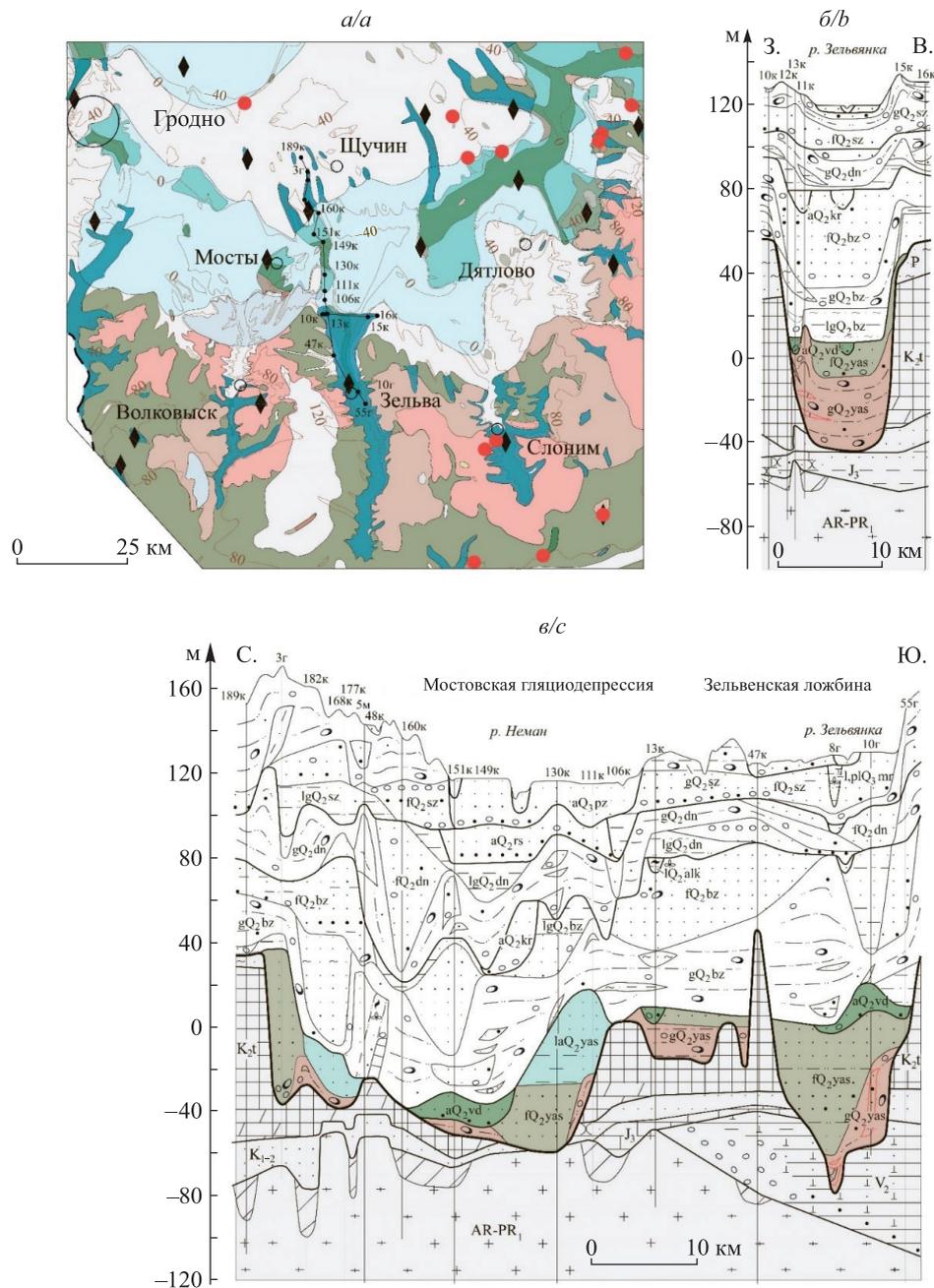


Рис. 9. Строение Мостовской гляциодепрессии и Зельвенской ложбины  
 (а – план поверхности ясельдинского ледникового горизонта;  
 б – поперечный разрез Зельвенской ложбины по линии д. Самойловичи – д. Милевичи Мостовского района;  
 в – геологический разрез в направлении с севера на юг по линии д. Евлаши Шчучинского района – д. Збляны Зельвенского района).  
 Условные обозначения см. на рис. 7

Fig. 9. Structure of the Mosty glacial basin and the Zelva valley  
 (a – plan of the surface of the Yaselda glacial horizon;  
 b – cross section of the Zelva valley along the line of the village of Samoylovichi – the village of Milevichi, Mosty District;  
 c – geological section in the direction from north to south along the line of the village of Yevlashi, Shchuchin District – the village of Zblyany, Zelva District).  
 Symbols see on fig. 7

Котловинные ледниковые ложбины приурочены к территории Средненеманской, Верхненеманской и Налибокской низин с абсолютными отметками кровли ясельдинских отложений 20–65 м. Они имеют овальную и дугообразно вытянутую форму в плане, длину до 55–144 км, ширину 6–46 км и площадь 1150–3000 км<sup>2</sup>. Глубина вреза в поверхность окружающих низин ясельдинской поверхности составля-

ет 6–60 м. Изолированные гляциодепрессии соприкасаются своими флангами и образуют субширотную крупнофестончатую систему, параллельную ледниковому краю и замкнутую с юга поясом конечно-моренных возвышенностей и гряд (см. рис. 2).

В целом для этих понижений характерны полого-вогнутая форма в разрезе, погружение поверхности к югу, пересеченный рельеф с многочисленными ложбинами и выступами. При этом ложбины образуют веерообразную структуру, расходясь от северной границы котловин в меридиональном, юго-западном и юго-восточном направлениях до границы лопастных бассейнов и далее в пояс развития конечных морен. Выступы располагаются в зонах между ложбинами и представляют собой вытянутые по направлению движения ледника останцы слабо затронутых эскарацией коренных пород. На южной периферии котловин представлены поперечные ложбины. С ними связаны окаймляющие конечные морены, крупные гляциокупола и мощные отторженцы [1]. Наиболее глубокие ложбины сосредоточены в центральной полосе и вдоль южной границы котловин. В котловинах ясельдинский ледник почти полностью уничтожил нижнечетвертичные, неогеновые и палеогеновые отложения, а в ледниковых ложбинах – еще и меловые породы (на полную или значительную мощность), вскрыв скальные породы протерозоя и кристаллического фундамента.

Основание котловин выстлано ясельдинской основной мореной зеленовато-желтого цвета с гляциодинамической текстурой (мощность 3,5–18,5 м). В результате размыва эта морена сохранилась фрагментарно. В основной морене выделяются монолитная и сланцеватая текстуры, содержатся многочисленные прослои и линзы четвертичных водно-ледниковых отложений, текстуры захвата палеоген-неогеновых песчано-алевритовых отложений, местами встречаются отторженцы коренных пород – меловые мергели и мел, неогеновые кварцевые пески (см. рис. 9, в). Над основной мореной выявлено широкое развитие флювиогляциальных отложений (мощность 20–70 м). Во внутренней зоне котловин они слагают зандровые равнины с абсолютными отметками поверхности до 60 м. В гипсометрически более низких центральных участках Мостовской и Сопоцкинской котловин зандровые аккумуляции перекрывают озерно-аллювиальные глины, алевриты и мелкие пески, образуя крупные озерно-аллювиальные низины на отметках 20–37 м. По тальвегу котловин с востока на запад прослеживаются уцелевшие участки долины венедского пра-Немана [1]. Они заполнены русловыми песками.

Приведенные геолого-геоморфологические факты подтверждают представление о том, что обособление этих крупных котловин связано с эскарацией и выдавливанием рыхлых коренных пород лопастями ясельдинского ледника и в меньшей степени с воздействием талых ледниковых вод.

Троговые ледниковые ложбины расположены на днище и южных склонах Ушанско-Налибокской, Сопоцкинской и Мостовской котловин. Они входят в состав языковых комплексов, сформировавшихся в краевой зоне Средненеманской, Верхненеманской и Налибокской ледниковых лопастей во время новогрудской фазы ясельдинского оледенения. К таким ложбинам отнесены крупные Гродненско-Лососненская, Свислочская, Россинская, Зельвенская, Щаровская, Молчадская, Сервечская, Ушанская, Ивенецко-Столбцовская, Перетутская, Ислочская ложбины и ряд более мелких ложбин субмеридиональной и меридиональной ориентации, расчленяющих северные склоны ясельдинских возвышенностей и гряд. Троговые ложбины протянулись от внутренней зоны краевых комплексов на юг, юго-запад и юго-восток поперек ясельдинских конечных морен до их дистальной части. По простиранию эти ложбины следуют за ложбинами котловин, сохраняя веерообразное расположение в пределах краевой зоны лопастей. Ложбины данного типа имеют уклон 0,8–1,6 м на 1 км в проксимальную сторону (к гляциодепрессиям) и поднимаются более чем на 22–90 м в дистальном направлении. В плане они спрямлены или слабо изогнуты, в поперечном сечении имеют трогообразную форму (см. рис. 9, б). Протяженность троговых ложбин составляет 14–57 км, ширина достигает 2–4 км, глубина вреза колеблется в пределах 20–155 м. Склоны таких ложбин полого-вогнутые, имеют наклон до 30° и неровную, состоящую из поперечных выступов и углублений поверхность. Днище ложбин на центральных пониженных участках выровненное, а у склонов часто волнистое.

На днище и склонах Гродненско-Лососненской, Свислочской, Россинской, Зельвенской, Щаровской, Молчадской, Сервечской, Ушанской и других субмеридиональных ложбин развиты системы поперечных ложбин и разделяющих их продолговатых холмов и валообразных грядок. Все положительные и отрицательные формы этих систем группируются в субпараллельные цепи, которые вытянуты вдоль фронта ледниковых языков поперек субмеридиональных ложбин. В плане они дугообразные. Поперечные ложбины имеют длину 1–12 км, ширину до 1–2 км и относительную глубину 8–90 м. При этом относительная глубина и ширина возрастают в направлении места пересечения с субмеридиональной ложбиной. Разделяющие поперечные ложбины холмы и грядки имеют ширину 0,2–1,0 км. У субмеридиональных ложбин, которые «взбираются» на конечно-моренные возвышенности и выклиниваются, дистальные окончания также часто обрамлены холмами и грядками.

В днище Лососненской и северных участках Сервечской и Ушанской ложбин выявлены субгляциальные водно-эрозионные рытвины. Они содержат вытянутые углубления, выстроенные в цепочку вдоль ложбин, имеют извилистую форму с коленообразными изгибами, V-образное днище, ширину 170–400 м и глубину до 10–25 м. Рытвины начинаются из подледных озерных котловин, расположенных в южной части гляциодепрессий, и заканчиваются зандровыми конусами выноса в устье.

Ясельдинские ложбины врезаются в поверхность палеоген-неогеновых песчано-глинистых и меловых мергельно-меловых пород, а местами в пределах осевой зоны и северных склонов Центрально-Белорусского массива прорезают весь осадочный чехол и углубляются в элювий и породы фундамента на 20–30 м (см. рис. 9, в). Эти крупные понижения значительными отрезками накладываются на локальные поднятия поверхности фундамента и активные разломы [1; 25; 28].

В пределах троговых ложбин ясельдинские отложения слагают днище и нижние участки склонов, где они представлены в основном моренными и водно-ледниковыми отложениями. Мощность этих образований (до 136 м) часто в 2–3 раза меньше глубины ложбин. В строении пониженных участков днища ложбин принимают участие темно-серые и зеленовато-серые моренные супеси и суглинки основной морены. Они имеют преимущественно массивную текстуру, включения мелких обломков мергельно-меловых пород, редкие песчаные и алевроито-глинистые линзы. Здесь морена в несколько раз толще (обычно 30–50 м), чем на склонах. На поверхности морены часто встречаются покровы зандрового разнозернистого песка (7–10 м) и линзы венедского аллювия.

Другое строение ясельдинская толща имеет в пределах систем поперечных ложбин и разделяющих их продолговатых холмов и валообразных грядок, осложняющих днище и склоны субмеридиональных ложбин. Холмы и грядки состоят из податливых мергельно-меловых и песчано-глинистых мезозойско-палеогеновых отложений и сверху перекрыты моренным суглинком мощностью до 5–8 м. В меловых и палеогеновых породах прослеживаются структуры, присущие гляциодислокациям нагнетания и скибовым нарушениям. При анализе их геологического строения на территории Белорусского Понеманья Г. И. Горецкий [1] отмечал следующие особенности: 1) купола, вырисовывающиеся в кровле мела и палеоген-неогеновых отложений, не содержат подобных структур в ядре в поверхности сеноманских песков и юрских известняков; 2) поднятия этих пород сопряжены с поперечными ложбинами, о чем свидетельствуют значительные вертикальные амплитуды (74–111 м на 1 км) между ними и совсем небольшие поднятия (лишь 10 м) по подошве мела, а также неизменный наклон скиб и чешуй в проксимальную сторону к ложбине; 3) направление поднятий по кровле мела не совпадает с направлением поднятий по кровле юрских известняков. В пределах поднятий и у склонов ложбин в морене содержатся многочисленные отторженцы, текстуры захвата и затаскивания податливых подстилающих коренных отложений.

По-видимому, гляциокомплексы, или гляциотектонопары (по Левкову [14]), состоящие из ложбины и прилегающей к ней дислокации, маркируют границы остановок фронта ледниковых языков. Судя по их количеству, образование троговых ложбин происходило в течение 8–15 осцилляций. На преобразование Лососненской, Сервечской и Ушанской ложбин существенное влияние также оказала эрозия напорных субгляциальных талых ледниковых вод.

В северных и восточных районах Беларуси выделено не так много ледниковых ложбин ясельдинского возраста, как в краевой зоне (к тому же это лишь их фрагменты, сохранившиеся от эрозионной деятельности более молодых оледенений). У части ложбин (Видзовская, Браславская, Глубокская, Селявская, Толочинская) здесь прослеживается связь с разломами, у некоторых других ложбин (Александрийская, Копыско-Шкловская) – с палеодолинами пра-Днепра и его притоков (см. рис. 2). Общим для большинства ложбин является их приуроченность к полосе развития девонских песков и песчаников и более или менее четко обособленное положение. Только Александрийская и Копыско-Шкловская ложбины соединяются в цепочку. Эти ложбины имеют линейную форму в плане, субмеридиональную ориентацию, протяженность до 20–26 км, троговый вид в поверхности ясельдинского горизонта, глубину вреза 20–144 м, ширину до 2 км, неровный тальвег с уклоном на север 2–3 м на 1 км (понижение 29–72 м относительно южного конца).

Отличительными особенностями заполнения древнейших ложбин являются: 1) залегание у днища основной морены плитчатой и слоистой текстуры (мощность 5–31 м); 2) замещение ее фациями чешуйчатой и складчатой морены и фациями морены крупных и мелких отторженцев, содержащими блоки девонских песчаников, глин и мергелей, на неровных участках; 3) относительно редкие выходы морены на поверхность днища и лишь местами на поверхность склонов ложбин, где она слагает наклонные к центру площадки; 4) широкое развитие на днище и у подошвы склонов надморенных песчаных отложений озово-камовых и зандровых фаций (мощность до 32 м) [24]. На днище глубоких Александрийской и Копыско-Шкловской ложбин вместо надморенных флювиогляциальных отложений

выявлены ленточные алевроиты и пески подпрудных или слабопроточных озерно-ледниковых водоемов времени таяния ясельдинского ледника. В их кровле обнаружены русловые пески венедского аллювия пра-Днепра, местами беловежские озерные и болотные отложения (разрезы у деревень Америка, Пронцевка) [3; 5; 34].

### Обсуждение происхождения ложбин

Ясельдинский ледниковый покров привел к появлению отрицательных форм – котловин, рытвин, троговых ложбин, которые формируют одну из самых древних и внушительных генераций в поверхности коренных пород в Беларуси. Эрозионные формы возникли в результате действия разнообразных ледниковых процессов. В течение ясельдинского оледенения ледниковым покровом и его тальми водами были выработаны ложбины ледниковой экзарации, выдавливания, субгляциальные водно-эрозионные ложбины и ложбины полигенетического происхождения [1]. Судя по карте расположения ледниковых ложбин различных морфогенетических типов (см. рис. 6), около 28 % закартографированных в ясельдинской древнеледниковой области ложбин (от 10 км<sup>2</sup>) обусловлены ледниковым выдавливанием, примерно 11 % ложбин связаны с ледниковой экзарацией, 6 % – с эрозией талых ледниковых вод, а 55 % ложбин имеют полигенетическое происхождение.

Крупные экзарационные котловинные ложбины (Ушанско-Налибокская, Сопоткинская и Мостовская) представляют собой наиболее примечательные геоморфологические образования в ясельдинской системе ложбин. Они выражены в центральном и западном районах, слагаемых мягкими дочетвертичными отложениями. Считается, что котловинные ложбины являются результатом двух основных процессов – ледниковой экзарации (путем плакинга и экскавации) [70] и гляциотектонических надвигов вблизи края ледника. При этом выдавленный материал перемещается к краю льда в виде скибовых надвигов [14; 71]. Котловины экскавации обычно располагаются непосредственно позади взброшенных льдом напорных морен, тем самым отмечая основное положение края льда. Третьим процессом образования котловин может быть адвекция деформируемых отложений в горизонтальном направлении из-под нижней части ледниковых лопастей к их краю [72]. Наиболее глубокие котловины должны были возникать там, где ледниковые лопасти занимают одно и то же положение в течение длительного периода, а подледная деформация переносит и перераспределяет большое количество отложений в направлении вниз по леднику, как на конвейерной ленте. Однако вблизи бывших окраин ясельдинских лопастей чаще встречаются гляциотектонические нарушения и напорные морены, чем краевые утолщения морены.

Ледниковые ложбины котловинного типа формируются одновременно с образованием выводных ледников и связанных с ними поперечных и боковых морен. Г. И. Горецкий [1] утверждал, что продвижение ледников по ложбинам сопровождалось интенсивным проявлением экзарации и гляциодислокаций пород субстрата. Наиболее сильным разрушение пород в результате этих процессов было на территории Белорусской антеклизы, где неглубоко располагаются скальные породы фундамента, положительные структуры, наклоненные навстречу леднику доледниковые низины, речные палеодолины. В результате на площади Налибокской и Средненеманской низин краевые зоны лопастей ясельдинского ледника смогли вырыть крупные котловины, а у локальных выступов ложа сформировать окаймляющие конечно-моренные возвышенности.

Самым ярким проявлением ледниковой экзарации являются троговые ледниковые ложбины, прорезанные потоками льда в поверхности коренного субстрата. О ледниковой экзарационной природе можно судить по визуальному различию между троговыми ложбинами и речными долинами. Исследования Г. И. Горецкого [3; 41], а также зарубежных ученых [73] выявили и количественные отличия. Так, троговые ложбины, как правило, на 30 % глубже и имеют поперечные сечения на 80 % больше по площади, чем речные долины, что свидетельствует о большой эрозионной способности ясельдинского ледника.

Расположение, форма и размер троговых ложбин контролировались несколькими факторами, в том числе структурными и литологическими изменениями в коренных породах, ранее существовавшими речными долинами, термическим режимом и условиями напряжения на ложе ледника, которые приводили к увеличению эрозионной способности ледника. По природе троговые ложбины делятся на две разновидности:

- троговые ложбины эрозионно-экзарационного генезиса, возникшие за счет переуглубления ранее существовавших речных долин;
- троговые ложбины полностью ледникового происхождения, выпаханные вдоль зон структурного ослабления.

Троговые ложбины первой разновидности формировались там, где выводные ледники вклинивались в речные долины, ориентированные параллельно ледниковому потоку. Это ложбины вдоль долин пра-Днепра, пра-Березины, пра-Случи, а также троговые долины выводных языков, проникавших в нижние

окончания долин левых притоков пра-Немана. Свидетельствами переуглубления льдом доледниковых долин являются уцелевшие фрагменты в основном неизмененных неогенового и венедского аллювия и палеодолин, которые встречаются в бассейнах пра-Днепра и пра-Немана, или троговые ложбины, имеющие ветвящуюся и извилистую форму (например, в краевых комплексах Неманской и Налибокской лопастей). Считается, что ранее существовавшие речные долины, которые ориентированы параллельно бывшим ледниковым потокам, несут большие объемы льда и испытывают наиболее интенсивное преобразование (переуглубление) ледниковой экзарацией [70].

Троговые ложбины второй разновидности формировались на участках, где лед использовал зоны структурного ослабления в коренных породах. Такие зоны создавались частично неледниковыми процессами (тектоникой, выветриванием) вдоль активных разломов и локальных структур до наступления или во время наступления ледника. Активные структуры могли вызвать деформации коренных пород и их растрескивание на обломки, ослабить консолидированные породы в линейных зонах, подготовив путь для подледной избирательной эрозии. Ледниковая эрозия была сосредоточена вдоль приразломных ослабленных зон, субпараллельных течению льда, что привело к появлению крупных полностью ледниковых троговых ложбин на севере (Видзовская, Поставская, Браславская, Глубокская, Селявская) и на западе (Россинская) Беларуси.

Основными процессами образования переуглубленных троговых ложбин в районах развития скального ложа являются плакинг и абразия, а на участках мягкого ледникового субстрата – выпахивание с постепенным удалением оторванных глыб или заложение плоскостей разрывов в слоях ниже подошвы ледника и массовое удаление надвиговых блоков [74]. Троговая форма ложбин развивается в результате эрозии, пропорциональной базальной скорости льда или его мощности. Исследования [75] показали, что при заполнении ледником V-образной долины самая интенсивная эрозия проявляется на обоих склонах, а минимальная эрозия – в осевой линии ледника. Это приводит сначала к расширению долины и увеличению крутизны ее склонов, а затем и к углублению долины. В конце концов она превращается в ложбину и приобретает форму U-образного трога. Колебания условий в ложе ледника (например, термического режима, водного давления, устойчивости пород к выпахиванию и истиранию, расхода ледника в результате слияния или таяния льда и др.) могли привести к проявлению селективной эрозии и формированию впадин и поднятий на дне троговых ложбин.

Глубокие ложбины ледникового выдавливания – сеци и поперечные гляциотектонопары – явно связаны с бывшими краями ясельдинского оледенения. Важнейшим условием для формирования ложбин ледникового выдавливания является наличие слабых отложений под краем ледника, а также высоких ледниковых напряжений, необходимых для того, чтобы вызвать деформацию сдвига и выжать большие массы отложений из-под края ледника [14]. Созданию высокого напряжения могли способствовать градиент бокового давления из-за дифференциальной нагрузки и прямое давление ледника на склоны ложбин [74; 76].

Сеци возникали у выводных ледниковых языков на краях ледникового покрова [77]. Из-за своего веса ледниковый язык создает вертикальную нагрузку на ложе, которая уменьшается к краю языка по мере его утончения. Вектор этой нормальной нагрузки направлен в сторону от участков с максимальной толщиной льда к краю языка. Когда это поле напряжений превышает прочность самого слабого слоя в ложе, оно создает поверхность отрыва, ледниковые чешуи и выдавливает их сначала вверх, а затем вперед по лирическим надвигам в дистальном направлении [78–80].

Неоднократные задержки и продвижения ледниковых языков по трогообразным ложбинам в центре и на западе Беларуси привели к интенсивному проявлению гляциодислокаций в коренных и ледниковых отложениях. Особенно благоприятные условия для гляциодислокаций возникали вдоль границы активного и пассивного льда из-за торможения активного льда пассивным льдом на склонах и днище троговых ложбин, заложенных в достаточно мощных меловых и палеогеновых породах. Это должно было способствовать возникновению многочисленных ложбин выдавливания, боковых гляциокуполов и складчато-чешуйчатых гляциовалов в обрамлении этих ложбин.

Происхождение субгляциальных водно-эрозионных ложбин определялось эрозией талых ледниковых вод, наблюдавшейся в период деградации ясельдинского оледенения. Предполагаемым механизмом их образования были быстрые выбросы больших объемов талой воды. Быстрые спуски субгляциальных талых вод в значительной степени обуславливаются невозможностью разгрузиться по водоносным горизонтам через мерзлый ледниковый край и клин вечной мерзлоты, в результате чего талые воды попадают в ловушку и накапливаются в зоне талого ложа в многочисленных небольших подледных озерах, занимающих самые глубокие впадины на дне гляциодепрессий и экзарационных ложбин [81]. По мере того как талая вода прорывается к внешнему краю ледника, возникают отдельные мелкие каналы стока, которые эродуют субстрат, удлиняются в направлении к внешнему краю ледника. Когда

начинается отступление края ледника от максимальной границы и каналы достигают выхода из-под льда, осуществляются выбросы с большим расходом вод субгляциальных подпрудных озер высокого давления, которые и образуют ложбины.

Следует отметить, что большинство ложбин, особенно крупных, и все гляциодепрессии созданы не одним процессом, а комбинацией двух-трех и более процессов (ледниковая экзарация, выдавливание или водно-ледниковая эрозия), т. е. имеют полигенетическое происхождение, как отражено на карте основных морфогенетических типов ясельдинских ледниковых ложбин (см. рис. 6).

### Выводы

Геологическое картографирование, включавшее анализ вновь собранных данных бурения, выявило широкое развитие в поверхности ясельдинского ледникового горизонта Беларуси ледниковых ложбин. Они отличаются преимущественно субмеридиональным и меридиональным простираем, максимальными глубиной и шириной, располагаются как обособленно, так и в связке, образуя древнейшую отчетливо выраженную генерацию ложбин в четвертичной толще и ее подошве. Основываясь главным образом на палеоботанических датировках беловежских озерных и озерно-болотных отложений, вскрытых многими скважинами в днище ложбин, можно заключить, что данные ложбины действительно относятся к ясельдинскому ледниковому горизонту.

Эти ложбины распространены в области ясельдинского оледенения (в его бывшей краевой и зафронтальной зонах). Они тяготеют к крупным древнеаллювиальным и озерно-аллювиальным низинам доясельдинского рельефа в западной и центральной частях Беларуси, которые во время максимального продвижения и деградации ясельдинского оледенения становились гляциодепрессиями для краевых ледниковых лопастей. Поля развития ясельдинских ледниковых ложбин отмечены в районах, где преобладают деформируемые отложения, которые залегают над выступами более прочных пород с наклоном навстречу леднику (Белорусская антеклиза, локальные структуры Припятского прогиба). Многие ложбины имеют тесную связь с системами активных разломов.

Распределение ледниковых ложбин отчетливо подчиняется радиально-секторальной структуре и динамике ясельдинского ледника, что предопределило общие и региональные особенности упорядоченности и морфологии ложбин. К общим особенностям относятся приуроченность к крупным лопастным секторам Неманского и Днепровского ледниковых потоков, встречаемость в разновозрастных краевых комплексах максимальной и новогрудской фаз, преобладание полигенетических ложбин.

Среди региональных особенностей ясельдинских ледниковых ложбин можно отметить следующие. В пределах краевого комплекса максимальной фазы они развиты на площади Припятской и Днепровской лопастей (в основном в зафронтальной зоне и вдоль палеодолин). Эти ложбины характеризуются изолированным положением, субмеридиональной и меридиональной ориентацией, меньшими размерами и плотностью расположения, слабой выраженностью в ясельдинском рельефе. В их структуре преобладают ложбины ледниковой экзарации и выдавливания, нередко со следами водно-ледникового размыва (сещи в краевых языковых комплексах, обособляющихся в концевой части лопастей). В пределах Припятской лопасти часто встречаются субгляциальные водно-эрозионные ложбины с флювиогляциальными конусами выноса в устьях.

В отличие от переуглублений максимальной фазы ложбины новогрудской фазы деградации относятся к закрытой краевой зоне ясельдинского оледенения и локализируются в гляциоморфологических комплексах Средненеманской, Налибокской и Среднеберезинской лопастей, а также в языках по их периферии. Ложбинам гляциоморфологических секторов Средненеманской и Налибокской лопастей свойственна связь с поясом крупных межлопастных и фронтальных краевых ледниковых возвышенностей, субширотная крупнофестончатая упорядоченность на площади лопастей и веерообразное, часто дугообразное (вдоль дистальных окончаний языков) расположение в языках, крупные размеры и максимальные глубины вреза, четкое обособление в рельефе. Здесь представлены в основном полигенетические ложбины котловинного типа (гляциодепрессии) и троговые ложбины ледниковой экзарации, выдавливания и размыва. Весьма многочисленны поперечные ложбины выдавливания с прилегающими к ним дислокациями (гляциотектонопары), демонстрирующие связь с прерывистым характером деградации ледника. В большом количестве они зарегистрированы на днище и склонах троговых ложбин и в поясе краевых ледниковых возвышенностей. В днищах крупных троговых ложбин также обнаружены субгляциальные водно-эрозионные рытвины.

В северных и восточных районах Беларуси ледниковые ложбины ясельдинского возраста хотя и малочисленны и обособлены друг от друга, но в большинстве своем представлены глубокими экзарационными троговыми формами субмеридиональной ориентации. Они тяготеют к полосе развития девонских песков и песчаников, где выбирают зоны вдоль разломов, реже палеодолины.

Ясельдинские ложбины возникли в результате ледниковой эрозии, гляциотектоники, субгляциальной водно-ледниковой эрозии и комбинации этих процессов. Проявление тех или иных процессов в ложе ледника определялось динамическим состоянием, типом, скоростью движения льда, местоположением относительно ледникового края и ледниковых потоков, которые изменялись в ходе роста и регрессии ледникового покрова. Помимо этого, на характер гляциальных и водно-ледниковых процессов большое влияние оказывали структурно-литологические, тектонические, геоморфологические неоднородности ледникового субстрата.

Ложбины котловинного типа возникают одновременно с выдвиганием выводных ледников и являются результатом ледниковой экзарации (путем плакинга и экскавации) и гляциотектонических надвигов пород субстрата. Наиболее интенсивным разрушение пород ледникового ложа этими процессами было на территории присводового участка Белорусской антеклизы и огибающих ее с севера низин. В результате экзарационного снижения поверхности и расширения доледниковых низин возникли гляциодепрессии, оформление которых как крупных глубоких котловинных ложбин стало возможным на регрессивном этапе, когда их заняли ледниковые лопасти. Подвижки лопастей привели к выдавливанию большого количества материала ложа из-под ледника, перемещению и нагромождению его в окаймлении котловин в виде скибовых надвигов, отторженцев, напорных конечных морен.

Троговые ложбины возникли в результате вклинивания выводных ледников в палеодолины или избирательной линейной эрозии в осевых частях выводных языков вдоль зон структурного ослабления, субпараллельных течению льда. Наиболее существенные черты морфологии (U-форма, появление впадин и поднятий на днище) троговые ложбины приобрели в период выдвигания выводных ледников. В районах развития скального ложа они сформированы плакингом и абразией, а на участках мягкого ледникового субстрата – выпахиванием, удалением оторванных глыб или надвиговых блоков. Многочисленные ложбины выдавливания, гляциокупола и складчато-чешуйчатые валы в склонах и днище троговых ложбин, которые расположены в центре и на западе Беларуси, могли возникнуть за счет интенсивного выдавливания мезокайнозойских отложений из-под ледниковых языков в краевые зоны на этапе деградации ледника. Путем срыва чешуй материала под небольшими выводными ледниковыми языками и отжатия его в краевую зону также образовались сечи у максимальной границы ледника и поперечные гляциотектонопары вдоль края Средненеманской и Налибокской лопастей.

Субгляциальные водно-эрозионные ложбины могли появиться в результате канализированной эрозии, переноса и аккумуляции отложений во время быстрых выбросов талых ледниковых вод из подледниковых озер. Субгляциальная водно-ледниковая эрозия наблюдалась в фазу сокращения ледникового покрова и проявилась в создании систем ложбин различной морфологии и ориентации под разными лопастями ледника.

Следует отметить, что большинство ложбин, особенно крупных, и все гляциодепрессии созданы не одним процессом, а комбинацией двух-трех и более процессов (ледниковая экзарация, выдавливание или водно-ледниковая эрозия), т. е. имеют полигенетическое происхождение.

### Библиографические ссылки

1. Горецкий ГИ. *Особенности палеопотамологии ледниковых областей (на примере Белорусского Полесья)*. Минск: Наука и техника; 1980. 288 с.
2. 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.
3. Горецкий ГИ. О происхождении и возрасте глубоких долинообразных понижений в рельефе постели антропогенных отложений ледниковых областей. В: Горецкий ГИ, Кригер НИ, редакторы. *Нижний плейстоцен ледниковых районов Русской равнины*. Москва: Наука; 1967. с. 17–34.
4. Горецкий ГИ. *Аллювиальная летопись великого пра-Днепра*. Москва: Наука; 1970. 491 с.
5. Горецкий ГИ. Ложбины ледникового выпахивания и размыва в их связи с краевыми ледниковыми образованиями. В: Даниланс ИЯ, редактор. *Ледниковый морфогенез*. Рига: Зинатне; 1972. с. 19–39.
6. Горецкий ГИ. Об изучении генетических связей краевых ледниковых образований, ложбин ледникового выпахивания и размыва, гляциодислокаций и отторженцев. В: Асеев АА, Горецкий ГИ, Кригер НИ, Погуляев ДИ, Салов ИН, Шик СМ, редакторы. *Краевые образования материковых оледенений*. Москва: Наука; 1972. с. 64–69.
7. Гурский БН. Стратиграфические комплексы и основные черты палеогеографии нижнего и среднего антропогена. В: Левков ЭА, редактор. *Проблемы палеогеографии антропогена Белоруссии*. Минск: Наука и техника; 1973. с. 7–44.
8. Гурский БН. *Нижний и средний антропоген Белоруссии*. Минск: Наука и техника; 1974. 144 с.
9. Левков ЭА, Матвеев АВ, Махнач НА, Пасюкевич ВИ, Гурский БН, Илькевич ГИ и др. *Геология антропогена Белоруссии*. Гурский ГВ, редактор. Минск: Наука и техника; 1973. 152 с.
10. Мандер ЕП. *Антропогенные отложения и развитие рельефа Белоруссии = Anthropogene deposits and relief development of Byelorussia*. Минск: Наука и техника; 1973. 128 с.
11. Мандэр КП. Асаблівасці рэльефу ложа антрапагенавых адкладаў Беларускага Панямоння. У: Гарэцкі ГІ, Мандэр КП, Рунец ЯП, Зусь МЯ, Драмашка СР, Астапава СД і інш. *Даследаванні антрапагену Беларусі = Study of the Anthropogene of Byelorussia*. Кузняцоў УА, рэдактар. Мінск: Навука і тэхніка; 1978. с. 23–27.

12. Хурсевич ГК. Диатомеи из лихвинских отложений разреза скв. 7 у с. Гвозница Брестской области и их стратиграфическое и палеогеографическое значение. В: Кузнецов ВА, Хотько ЖП, редакторы. *Вопросы геологии, геохимии и геофизики земной коры Белоруссии. Материалы I научной конференции молодых ученых*. Минск: Наука и техника; 1975. с. 124–128.
13. Горецкий ГИ. *Палеогеоморфологические методы корреляции раннеплейстоценовых образований*. Минск: Наука и техника; 1982. 29 с.
14. Левков ЭА. *Гляциотектоника*. Минск: Наука и техника; 1980. 280 с.
15. Вальчик МА. Линейные формы в рельефе ложа антропогена Минской возвышенности как отражение движения древних ледников. В: Горецкий ГИ, Величкевич ФЮ, Зинова РА, редакторы. *Палеогеография кайнозоя Белоруссии*. Минск: Наука и техника; 1989. с. 19–25.
16. Вальчик МА, Зусь МЕ, Феденя ВМ, Карабанов АК. *Краевые образования Белорусской гряды*. Минск: Наука и техника; 1990. 162 с.
17. Зинова РА. Стратиграфия нижнеплейстоценовых отложений Припятско-Днепровской палеогеографической области Белоруссии. В: Алексеев МН, Никифорова КВ, редакторы. *Четвертичный период. Стратиграфия*. Москва: Наука; 1989. с. 43–48.
18. Карабанов АК. *Гродненская возвышенность: строение, рельеф, этапы формирования*. Минск: Наука и техника; 1987. 108 с.
19. Крутоус ЭА. *Палеогеография антропогена Белорусского Полесья*. Минск: Наука и техника; 1990. 143 с.
20. Матвеев АВ, Моисеенко ВФ, Илькевич ГИ, Левицкая РИ, Крутоус ЭА. *Рельеф Белорусского Полесья*. Минск: Наука и техника; 1982. 131 с.
21. Нечипоренко ЛА. *Условия залегания и тектоническая предопределенность антропогенного покрова Белоруссии*. Минск: Наука и техника; 1989. 114 с.
22. Феденя ВМ. О соотношении речных долин с ледниковыми ложбинами в пределах краевых ледниковых образований. В: Матвеев АВ, редактор. *Геология и гидрогеология кайнозоя Белоруссии*. Минск: Наука и техника; 1985. с. 105–113.
23. Якубовская ТВ. Строение и возраст Ведричских сещей. В: Зинова РА, редактор. *Плейстоцен Речицкого Приднепровья Белоруссии*. Минск: Наука и техника; 1986. с. 143–158.
24. Комаровский МЕ. *Палеоложбины Белорусского Поозерья*. Минск: БГУ; 2009. 183 с.
25. Комаровский МЕ, Хилькевич ЕВ. Соотношение между ледниковыми ложбинами и активными разломами на территории Беларуси. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология*. 2018;2:106–117.
26. Комаровский МЕ. Влияние соляных структур на заложение ледниковых ложбин в пределах Припятского прогиба (Беларусь). *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология*. 2020;1:60–74. DOI: 10.33581/2521-6740-2020-1-60-74.
27. Комаровский МЕ. Значение рельефа в возникновении ледниковых ложбин в Беларуси. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология*. 2021;1:93–106. DOI: 10.33581/2521-6740-2021-1-93-106.
28. Комаровский МЕ, Семенюк АС. Значение геологического строения и литологии коренных пород для распределения и происхождения ледниковых ложбин на территории Беларуси. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология*. 2020;2:78–90. DOI: 10.33581/2521-6740-2020-2-78-90.
29. Богомолова ЛИ, Рылова ТБ, Якубовская ТВ. Беловежские межледниковые отложения в стратотипическом разрезе у д. Борки. В: Вальчик МА, Санько АФ, редакторы. *Проблемы плейстоцена*. Минск: Наука и техника; 1985. с. 135–143.
30. Величкевич ФЮ. О новой находке флоры шкловского типа в Белоруссии. *Доклады Академии наук БССР*. 1985;29(4): 363–366.
31. Величкевич ФЮ, Рылова ТБ, Санько АФ, Феденя ВМ. *Березовский страторайон плейстоцена Беларуси*. Минск: Наука и техника; 1993. 148 с.
32. Вознячук ЛН, Пузанов ЛТ. К вопросу о геологическом возрасте отложений беловежского межледниковья. *Доклады Академии наук БССР*. 1967;11(8):713–716.
33. Махнач НА. Некоторые особенности нижнего плейстоцена Белоруссии. *Доклады Академии наук БССР*. 1957;1(1): 25–27.
34. Махнач НА. Стратиграфическое значение растительности раннего и начала среднего антропогена Белоруссии. В: Лукашев КИ, Цапенко ММ, Вознячук ЛН, редакторы. *Материалы по антропогену Белоруссии*. Минск: Издательство Академии наук БССР; 1961. с. 116–158.
35. Махнач НА, Хурсевич ГК, Логинова ЛП, Богомолова ЛН. Новые палеоботанические исследования древнеозерных плейстоценовых отложений разреза «Красная Дуброва». В: Ажгиревич ЛФ, Величкевич ФЮ, Зинова РА, редакторы. *Неогеновые отложения Белоруссии (стратиграфия, литология, геохимия)*. Минск: Наука и техника; 1982. с. 31–52.
36. Рылова ТБ, Якубовская ТВ. Беловежские межледниковые озера юга Белоруссии в свете палинологических и палеокарпологических данных. В: Раукас АВ, Саарсе ЛА, редакторы. *История озер в СССР. Том 2*. Таллин: АН ЭССР; 1983. с. 171–172.
37. Якубовская ТВ, Савченко ИЕ, Бадяй ВВ, Кожин ВД, Феденя СА. Отложения и флора беловежского межледниковья на востоке Беларуси. *Доклады Национальной академии наук Беларуси*. 2005;49(6):91–97.
38. Комаровский МЕ. *Минская и Ошмянская возвышенности*. Минск: Институт геологических наук Академии наук Беларуси; 1996. 128 с.
39. Комаровский МЕ, Комаровская ОА. Морфогенетическая классификация ледниковых ложбин Белорусского Поозерья. *Доклады Национальной академии наук Беларуси*. 2006;50(5):117–122.
40. Гайгалас АИ, Мелешите АИ. Погребенные палеоврезы на территории Балтийского региона и формирование плейстоценовых морен. В: Алексеев МН, редактор. *Возраст и генезис переуглублений на шельфах и история речных долин*. Москва: Наука; 1984. с. 187–192.
41. Горецкий ГИ. Типы антропогенных переуглублений (на примере некоторых районов Неманского бассейна). В: Левков ЭА, редактор. *Проблемы палеогеографии антропогена Белоруссии*. Минск: Наука и техника; 1973. с. 95–127.
42. Даниланс ИЯ. *Четвертичные отложения Латвии*. Рига: Зинатне; 1973. 312 с.
43. Грягалис АА, редактор. *Погребенные палеоврезы поверхности дочетвертичных пород южной Прибалтики*. Вильнюс: Мокслас; 1976. 140 с.

44. Lindner L, Marks L. Pleistocene stratigraphy of Poland and its correlation with stratotype sections in the Volhynian Upland (Ukraine). *Geochronometria*. 2008;31:31–37. DOI: 10.2478/v10003-008-0014-9.
45. Величко АА, Писарева ВВ, Фаустова МА. Оледенения и межледниковья Восточно-Европейской равнины в раннем и среднем плейстоцене. *Стратиграфия. Геологическая корреляция*. 2005;13(2):84–102.
46. Глушков БВ. *Донской ледниковый язык*. Воронеж: Издательство Воронежского университета; 2001. 166 с.
47. Грищенко МН. *Плейстоцен и голоцен бассейна Верхнего Дона*. Москва: Наука; 1976. 227 с.
48. Либерман ЮН, Шулейкина ЕА. Нижнеплейстоценовые погребенные озера Польнолапинской группы. В: Раукас АВ, Саарсе ЛА, редакторы. *История озер в СССР. Том 2*. Таллин: АН ЭССР; 1983. с. 108–110.
49. Маудина МИ. Явления ледникового выпахивания и сопряженные с ними озено-камовые образования на северо-западе Тамбовской области. В: *Материалы по геологии и полезным ископаемым центральных районов европейской части СССР. Выпуск 6. Труды юбилейной научно-технической конференции, посвященной 50-летию Территориального геологического управления центральных районов (стратиграфия, литология, тектоника)*. Москва: Приокское книжное издательство; 1970. с. 207–210.
50. Писарева ВВ, Судакова НГ, Анциферова ГА. Рославльский межледниковый водоем в районе д. Бибирево Ивановской области. В: Хомутова ВИ, Давыдова НН, Раукас АВ, Румянцев ВА, редакторы. *История плейстоценовых озер Восточно-Европейской равнины*. Санкт-Петербург: Наука; 1998. с. 309–322.
51. Шик СМ, Бирюков ИП, Писарева ВВ, Анциферова ГА. Палеозера Рославльского стратотипического района. В: Хомутова ВИ, Давыдова НН, Раукас АВ, Румянцев ВА, редакторы. *История плейстоценовых озер Восточно-Европейской равнины*. Санкт-Петербург: Наука; 1998. с. 299–309.
52. Velichko AA, Faustova MA, Gribchenko YuN, Pisareva VV, Sudakova NG. Glaciations of the East European Plain – distribution and chronology. *Developments in Quaternary Sciences*. 2004;2(part 1):337–354. DOI: 10.1016/S1571-0866(04)80083-6.
53. Матвеев АВ. *История формирования рельефа Белоруссии*. Минск: Наука і техника; 1990. 143 с.
54. Астапова СД. Корреляция и расчленение моренных отложений краевых ледниковых образований Белорусской гряды по данным минералого-геохимических исследований. В: Горецкий ГИ, Астапова СД, Вальчик МА, Величквич ФЮ, Вознячук ЛН, Дромашко СГ и др. *Комплексное изучение ледниковой формации и краевых ледниковых образований Белоруссии с целью их глобальной корреляции*. Минск: Институт геохимии и геофизики Академии наук БССР; 1980. с. 109–154.
55. Гайгалас АИ. Особенности крупнообломочного материала разновозрастных морен плейстоцена юго-восточной Литвы и возможные истолкования их для стратиграфии. В: Гарункштис АА, редактор. *Стратиграфия четвертичных отложений и палеогеография антропогена юго-восточной Литвы. Выпуск 2*. Вильнюс: Минтис; 1965. с. 104–156.
56. Гайгалас АИ, Раукас АВ. Распространение руководящих валунов в плейстоценовых моренах Прибалтики. В: Громов ВИ, редактор. *Бюллетень Комиссии по изучению четвертичного периода. Номер 30*. Москва: Наука; 1965. с. 128–135.
57. Гайгалас АИ. *Гляциоседиментационные циклы плейстоцена Литвы*. Вильнюс: Мокслас; 1979. 98 с.
58. Астапова СД. Особенности состава локальной морены, залегающей на породах Белорусского массива. В: Кузнецов ВА, редактор. *Геология и геохимия антропогена Белоруссии*. Минск: Наука и техника; 1974. с. 131–147.
59. Астапова СД, Зинова РА. Строение, условия залегания и состав моренных отложений южной части Белорусского Приднепровья. В: Дромашко СГ, редактор. *Геологические исследования кайнозоя Белоруссии*. Минск: Наука и техника; 1981. с. 139–144.
60. Астапова СД. Минералогия и геохимия морен Ведричской палеогеографической арены. В: Зинова РА, редактор. *Плейстоцен Речицкого Приднепровья Белоруссии*. Минск: Наука и техника; 1986. с. 17–29.
61. Астапова СД. Вещественный состав морен Наревской ледниковой ложбины и его значение для палеогеографии. В: Горецкий ГИ, Величквич ФЮ, Зинова РА, редакторы. *Палеогеография кайнозоя Белоруссии*. Минск: Наука и техника; 1989. с. 5–13.
62. Астапова СД. Эволюция вещественного состава морен Беларуси. В: Величквич ФЮ, Хурсевич ГК, Санько АФ, Рылова ТБ, Астапова СД, Зинова РА и др. *Эволюция природного процесса в плейстоцене Беларуси*. Минск: Институт геологических наук НАН Беларуси; 2000. с. 64–91.
63. Козлов ВМ. *Отчет о комплексной геолого-гидрогеологической и инженерно-геологической съемке масштаба 1 : 50 000 для целей мелиорации в бассейне среднего течения р. Березины*. Минск: Неманско-Днепровская гидрогеологическая партия; 1980. 360 с.
64. Олийниченко ВС, Козлов ВМ, Козлова ЖН, Зельская АИ. *Отчет о комплексной геолого-гидрогеологической съемке масштаба 1 : 50 000 с инженерно-геологическими исследованиями по водосборам верховьев рек Нарев, Россь, Зельвянка и Гривда. Том 3. Табличные приложения*. Бобруйск: Полесская гидрогеологическая партия; 1970. 287 с.
65. Овчаренко ЛВ, Зельская ЛН. *Отчет о специализированной комплексной геолого-гидрогеологической съемке масштаба 1 : 50 000 с инженерно-геологическими исследованиями по водосборам Огинского канала и верхнего течения рек Щары и Вислицы*. Бобруйск: Полесская гидрогеологическая партия; 1969. 577 с.
66. Копцеў АІ. Некаторыя рэзультаты супастаўлення мінералагічнага саставу дачацвярцічных і чацвярцічных адкладанняў Беларусі. *Весті Акадэміі навук БССР. Серыя фізіка-тэхнічных навук*. 1960;4:75–84.
67. Гайгалас АИ, Балтрунас ВА. Статистический корреляционный анализ состава морен для целей стратиграфического расчленения и сопоставления разрезов. В: Силаков ВН, редактор. *Комплексное изучение опорных разрезов нижнего и среднего плейстоцена европейской части СССР*. Москва: Наука; 1981. с. 132–136.
68. Феденя ВМ, Рылова ТБ. Новые данные о стратиграфическом положении беловежских межледниковых отложений в разрезе «Борки». *Доклады Академии наук БССР*. 1987;31(2):168–171.
69. Грибко АВ. *Морфология и генезис линейных переуглублений ложа антропогенных отложений в областях покровных оледенений (на примере Белорусской гряды)* [диссертация]. Москва: [б. и.]; 1989. 204 с.
70. Benn DI, Evans DJA. *Glaciers and glaciation*. 2<sup>nd</sup> edition. London: Hodder Education; 2010. 801 p.
71. Aber JS, Ber A. *Glaciotectonism*. Amsterdam: Elsevier; 2007. 246 p. (Developments in Quaternary science; volume 6).
72. Boulton GS. Theory of glacial erosion, transport and deposition as a consequence of subglacial sediment deformation. *Journal of Glaciology*. 1996;42(140):43–62. DOI: 10.3189/s0022143000030525.
73. Amerson BE, Montgomery DR, Meyer G. Relative size of fluvial and glaciated valleys in central Idaho. *Geomorphology*. 2008;93(3–4):537–547. DOI: 10.1016/j.geomorph.2007.04.001.

74. Evans DJA. Glaciotectonic structures and landforms. In: Elias SA, Mock CJ, editors. *Encyclopedia of Quaternary science*. 2<sup>nd</sup> edition. [S. l.]: Elsevier; 2013. p. 839–845.
75. Harbor JM. Development of glacial-valley cross sections under conditions of spatially variable resistance to erosion. *Geomorphology*. 1995;14(2):99–107. DOI: 10.1016/0169-555X(95)00051-1.
76. van der Wateren FM. *Structural geology and sedimentology of push moraines. Processes of soft sediment deformation in a glacial environment and the distribution of glaciotectionic styles*. [S. l.]: [s. n.]; 1995. 168 p. (Mededelingen Rijks Geologische Dienst; number 54).
77. Горещкий ГИ. Сеци – палеогеографические арены глубоких ледниковых ложбин, выполненные полностью или частично древними моренами. В: Алексеев МН, редактор. *Возраст и генезис переуглублений на шельфах и история речных долин*. Москва: Наука; 1984. с. 172–175.
78. Горещкий ГИ, Астапова СД, Шемпель РВ, Дромашко СГ, Шиманович СЛ, Кузнецов ВА и др. *Вещественный состав и микроэлементы группы железа антропогенных отложений Белорусского Понеманья*. Дромашко СГ, редактор. Минск: Наука и техника; 1978. 294 с.
79. Aver JS, Croot DG, Fenton MM. *Glaciotectonic landforms and structures*. Dordrecht: Kluwer; 1989. 200 p.
80. Bennet MR. The morphology, structural evolution and significance of push moraines. *Earth-Science Reviews*. 2001;53(3–4): 197–236. DOI: 10.1016/S0012-8252(00)00039-8.
81. Комаровский МЕ, Хилькевич ЕВ. Влияние термических условий в ложе последнего ледникового покрова на распределение ледниковых ложбин Белорусского Поозерья. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология*. 2022;1:101–115. DOI: 10.33581/2521-6740-2022-1-101-115.

## References

1. Goretsky GI. *Osobennosti paleopotamologii lednikovyykh oblastei (na primere Belorusskogo Poneman'ya)* [Paleopotamological peculiarities of the glaciated areas (after the example of Belarusian part of the Neman Basin)]. Minsk: Nauka i tekhnika; 1980. 288 p. Russian.
2. 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.
3. Goretsky GI. [On the origin and age of deep valley-like depressions in the relief of the bed of Quaternary deposits of glacial regions]. In: Goretsky GI, Kriger NI, editors. *Nizhnii pleistotsen lednikovyykh raionov Russkoi ravniny* [Lower Pleistocene of glacial regions of the Russian Plain]. Moscow: Nauka; 1967. p. 17–34. Russian.
4. Goretsky GI. *Allyuvial'naya letopis' velikogo pra-Dniepra* [Alluvial annals of the great pra-Dnieper]. Moscow: Nauka; 1970. 491 p. Russian.
5. Goretsky GI. [Exaration and tunnel valleys in their connection with ice-marginal features]. In: Danilans IYa, editor. *Lednikovyy morfogenez* [Glacial morphogenesis]. Riga: Zinatne; 1972. p. 19–39. Russian.
6. Goretsky GI. [On the study of genetic relationships between ice-marginal features, glacial valleys, glacioidislocations and erratic masses]. In: Aseev AA, Goretsky GI, Kriger NI, Pogulyaev DI, Salov IN, Shik SM, editors. *Kraevye obrazovaniya materikovyykh oledeneni* [Ice-contact features of continental glaciations]. Moscow: Nauka; 1972. p. 64–69. Russian.
7. Gursky BN. [Stratigraphic complexes and main features of the paleogeography of the Lower and Middle Pleistocene]. In: Levkov EA, editor. *Problemy paleogeografii antropogena Belorussii* [Problems of paleogeography of the Pleistocene of Belarus]. Minsk: Nauka i tekhnika; 1972. p. 7–44. Russian.
8. Gursky BN. *Nizhnii i srednii antropogen Belorussii* [Lower and Middle Anthropogene of Belarus]. Minsk: Nauka i tekhnika; 1974. 144 p. Russian.
9. Levkov EA, Matveev AV, Makhnach NA, Pasyukevich VI, Gursky BN, Il'kevich GI, et al. *Geologiya antropogena Belorussii* [Geology of the Anthropogene of Belarus]. Gursky GV, editor. Minsk: Nauka i tekhnika; 1973. 152 p. Russian.
10. Mander EP. *Anthropogene deposits and relief development of Byelorussia*. Minsk: Nauka i tekhnika; 1973. 128 p. Russian.
11. Mandjer KP. [Peculiarities of relief of the Anthropogene deposits bed of Belarusian part of the Niemen Basin]. In: Garjecki GI, Mandjer KP, Runec JaP, Zus' MJa, Dramashka SR, Astapava SD, et al. *Study of the Anthropogene of Byelorussia*. Kuznjacow UA, editor. Minsk: Nauka i tekhnika; 1978. p. 23–27. Belarusian.
12. Khursevich GK. [Diatoms from the Likhvinian deposits of the borehole 7 at village of Gvoznitsa of the Brest Region and their stratigraphic and paleogeographical significance]. In: Kuznetsov VA, Khot'ko ZhP, editors. *Voprosy geologii, geokhimii i geofiziki zemnoi kory Belorussii* [Questions of geology, geochemistry and geophysics of the Earth's crust in Belarus]. Minsk: Nauka i tekhnika; 1975. p. 124–128. Russian.
13. Goretsky GI. *Paleogeomorfologicheskie metody korrelyatsii rannepleistotsenovykh obrazovani* [Paleogeomorphological methods of correlation of Early Pleistocene deposits]. Minsk: Nauka i tekhnika; 1982. 29 p. Russian.
14. Levkov EA. *Glyatsiotektonika* [Glaciotectonics]. Minsk: Nauka i tekhnika; 1980. 280 p. Russian.
15. Val'chik MA. [Linear forms in the Quaternary bed relief of the Minsk Highland as a reflection of the ancient glaciers movement]. In: Goretsky GI, Velichkevich FYu, Zinova RA, editors. *Paleogeografiya kainozoya Belorussii* [Paleogeography of the Cenozoic of Belarus]. Minsk: Nauka i tekhnika; 1989. p. 19–25. Russian.
16. Val'chik MA, Zus' ME, Fedenya VM, Karabanov AK. *Kraevye obrazovaniya Belorusskoi gryady* [Ice-marginal features of the Belarusian Ridge]. Minsk: Nauka i tekhnika; 1990. 162 p. Russian.
17. Zinova RA. [Stratigraphy of the Lower Pleistocene deposits of the Pripyat-Dnieper paleogeographic region of Belarus]. In: Alekseev MN, Nikiforova KV, editors. *Chetvertichnyi period. Stratigrafiya* [Quaternary period. Stratigraphy]. Moscow: Nauka; 1989. p. 43–48. Russian.
18. Karabanov AK. *Grodnenskaya vozvyshennost': stroenie, rel'ef, etapy formirovaniya* [The Grodno Highland: structure, relief and formation stages]. Minsk: Nauka i tekhnika; 1987. 108 p. Russian.
19. Krutous EA. *Paleogeografiya antropogena Belorusskogo Poles'ya* [Paleogeography of the Anthropogene of the Belarusian Polesye]. Minsk: Nauka i tekhnika; 1990. 143 p. Russian.

20. Matveev AV, Moiseenko VF, Il'kevich GI, Levitskaya RI, Krutous EA. *Rel'ef Belorusskogo Poles'ya* [Relief of Belarusian Polesye]. Minsk: Nauka i tekhnika; 1982. 131 p. Russian.
21. Nepochiporenko LA. *Usloviya zaleganiya i tektonicheskaya predopredelenennost' antropogenovogo pokrova Belorussii* [Conditions of occurrence and tectonic predetermination of the Anthropogene cover of Belarus]. Minsk: Nauka i tekhnika; 1989. 114 p. Russian.
22. Fedenya VM. [On the relationship between river valleys and glacial incisions within ice marginal features]. In: Matveev AV, editor. *Geologiya i gidrogeologiya kainozoya Belorussii* [Geology and hydrogeology of the Cenozoic of Belarus]. Minsk: Nauka i tekhnika; 1985. p. 105–113. Russian.
23. Yakubovskaya TV. [The structure and age of the Vedrich hill-hole pair]. In: Zinova RA, editor. *Pleistotsen Rechitskogo Pridneprov'ya Belorussii* [Pleistocene of the Rechitsa region of the Dnieper Basin of Belarus]. Minsk: Nauka i tekhnika; 1986. p. 143–158. Russian.
24. Komarovskiy ME. *Paleolozhbiny Belorusskogo Poozer'ya* [Palaeo-valleys in the Belarusian Poozerye area]. Minsk: Belarusian State University; 2009. 183 p. Russian.
25. 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.
26. Komarovskiy ME. Influence of salt structures on the location of glacial valleys within the Pripyat Trough (Belarus). *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology*. 2020;1:60–74. Russian. DOI: 10.33581/2521-6740-2020-1-60-74.
27. Komarovskiy ME. The importance of topography in the occurrence of glacial valleys in Belarus. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology*. 2021;1:93–106. Russian. DOI: 10.33581/2521-6740-2021-1-93-106.
28. Komarovskiy ME, Semianiuk AS. Significance of bedrock structure and lithology for the glacial valleys distribution and genesis in Belarus. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology*. 2020;2:78–90. Russian. DOI: 10.33581/2521-6740-2020-2-78-90.
29. Bogomolova LI, Rylova TB, Yakubovskaya TV. [Belovezhian interglacial deposits in the stratotype section near the village of Borki]. In: Val'chik MA, Sanko AF, editors. *Problemy pleistotsena* [Problems of Pleistocene]. Minsk: Nauka i tekhnika; 1985. p. 135–143. Russian.
30. Velichkevich FYu. [On a new discovery of the Shklov type flora in Belarus]. *Doklady Akademii nauk BSSR*. 1985;29(4):363–366. Russian.
31. Velichkevich FYu, Rylova TB, Sanko AF, Fedenya VM. [Berezovsky key region of the Pleistocene of Belarus]. Minsk: Navuka i tjechnika; 1993. 148 p. Russian.
32. Voznyachuk LN, Puzanov LT. [On the question of the geological age of the Belovezhian interglacial deposits]. *Doklady Akademii nauk BSSR*. 1967;11(8):713–716. Russian.
33. Makhnach NA. [Some features of the Lower Pleistocene of Belarus]. *Doklady Akademii nauk BSSR*. 1957;1(1):25–27. Russian.
34. Makhnach NA. [Stratigraphic significance of vegetation of the Early and Early Middle Anthropogene in Belarus]. In: Lukashev KI, Tsapenko MM, Voznyachuk LN, editors. *Materialy po antropogenu Belorussii* [Materials on the Anthropogene of Belarus]. Minsk: Izdatel'stvo Akademii nauk BSSR; 1961. p. 116–158. Russian.
35. Makhnach NA, Khursevich GK, Loginova LP, Bogomolova LN. [New paleobotanical studies of ancient lacustrine Pleistocene deposits of the Krasnaya Dubrova section]. In: Azhgirevich LF, Velichkevich FYu, Zinova RA, editors. *Neogenovye otlozheniya Belorussii (stratigrafiya, litologiya, geokhimiya)* [Neogene deposits of Belarus (stratigraphy, lithology, geochemistry)]. Minsk: Nauka i tekhnika; 1982. p. 31–52. Russian.
36. Rylova TB, Yakubovskaya TV. [Belovezhian interglacial lakes in the south of Belarus in the light of palynological and paleocarpological data]. In: Raukas AV, Saarse LA, editors. *Istoriya ozer v SSSR. Tom 2* [History of lakes in the USSR. Volume 2]. Tallinn: Academy of Sciences of the Estonian Soviet Socialist Republic; 1983. p. 171–172. Russian.
37. Yakubovskaya TV, Savchenko IE, Badyai VV, Kozhin VD, Fedenya SA. [Deposits and flora of the Belovezhian interglacial in the east of Belarus]. *Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus*. 2005;49(6):91–97. Russian.
38. Komarovskiy ME. *Minskaya i Oshmyanskaya vozvyshennosti* [Minsk and Oshmyany uplands]. Minsk: Institute of Geological Sciences of the Academy of Sciences of Belarus; 1996. 128 p. Russian.
39. Komarovskiy ME, Komarovskaya OA. [Morphogenetic classification of glacial incisions of the Belarusian Poozerye area]. *Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus*. 2006;50(5):117–122. Russian.
40. Gaigalas AI, Meleshite AI. [Buried paleoincisions in the territory of the Baltic Region and the formation of Pleistocene moraines]. In: Alekseev MN, editor. *Vozrast i genesis pereuglublenii na shel'fakh i istoriya rechnykh dolin* [Age and genesis of overdeepenings on the shelves and the history of river valleys]. Moscow: Nauka; 1984. p. 187–192. Russian.
41. Goretsky GI. [Types of Anthropogene overdeepening (on the example of some areas of the Neman Basin)]. In: Levkov EA, editor. *Problemy paleogeografii antropogena Belorussii* [Problems of paleogeography of the Anthropogene of Belarus]. Minsk: Navuka i tjechnika; 1973. p. 95–127. Russian.
42. Danilans IYa. *Chetvertichnye otlozheniya Latvii* [Quaternary deposits of Latvia]. Riga: Zinatne; 1973. 312 p. Russian.
43. Gryagyalis AA, editor. *Pogrebennye paleovrezy poverkhnosti dochetvertichnykh porod yuzhnoi Pribaltiki* [Buried paleoincisions of the pre-Quaternary rocks surface of the Southern Baltic]. Vilnius: Mokslas; 1976. 140 p. Russian.
44. Lindner L, Marks L. Pleistocene stratigraphy of Poland and its correlation with stratotype sections in the Volhynian Upland (Ukraine). *Geochronometria*. 2008;31:31–37. DOI: 10.2478/v10003-008-0014-9.
45. Velichko AA, Pisareva VV, Faustova MA. Glaciations and interglacials of East European Plain in the Early and Middle Pleistocene. *Stratigraphy and Geological Correlation*. 2005;13(2):84–102. Russian.
46. Glushkov BV. *Donskoi lednikoviy yazyk* [Don glacial tongue]. Voronezh: Izdatel'stvo Voronezhskogo universiteta; 2001. 166 p. Russian.
47. Grishchenko MN. *Pleistotsen i golotsen basseina Verkhnego Dona* [Pleistocene and holocene of the Upper Don Basin]. Moscow: Nauka; 1976. 227 p. Russian.
48. Lieberman YuN, Shuleikina EA. [Lower Pleistocene buried lakes of the Polnolapinskaya group]. In: Raukas AV, Saarse LA, editors. *Istoriya ozer v SSSR. Tom 2* [History of lakes in the USSR. Volume 2]. Tallinn: Academy of Sciences of the Estonian Soviet Socialist Republic; 1983. p. 108–110. Russian.
49. Maudina MI. [Phenomena of glacial exaration and associated esker-kame forms in the north-west of the Tambov Region]. In: *Materialy po geologii i poleznym iskopaemym tsentral'nykh raionov evropeiskoi chasti SSSR. Vypusk 6. Trudy yubileinoi nauch-*

*no-tekhnicheskoi konferentsii, posvyashchennoi 50-letiyu Territorial'nogo geologicheskogo upravleniya tsentral'nykh raionov (stratigrafiya, litologiya, tektonika)* [Materials on geology and mineral resources of the central regions of the European part of the USSR. Issue 6. Proceedings of the anniversary scientific and technical conference dedicated to the 50<sup>th</sup> anniversary of the Territorial Geological Administration of the Central Regions (stratigraphy, lithology, tectonics)]. Moscow: Priokskoe knizhnoe izdatel'stvo; 1970. p. 207–210. Russian.

50. Pisareva VV, Sudakova NG, Antsiferova GA. [Roslavl interglacial lake near the village of Bibirevo, Ivanovo Region]. In: Khomutova VI, Davydova NN, Raukas AV, Rumyantsev VA, editors. *Istoriya pleistotsenovykh ozer Vostochno-Evropeiskoi ravniny* [History of the Pleistocene lakes of the East European Plain]. Saint Petersburg: Nauka; 1998. p. 309–322. Russian.

51. Shik SM, Biryukov IP, Pisareva VV, Antsiferova GA. [Paleolakes of the Roslavl stratotype region]. In: Khomutova VI, Davydova NN, Raukas AV, Rumyantsev VA, editors. *Istoriya pleistotsenovykh ozer Vostochno-Evropeiskoi ravniny* [History of the Pleistocene lakes of the East European Plain]. Saint Petersburg: Nauka; 1998. p. 299–309. Russian.

52. Velichko AA, Faustova MA, Gribchenko YuN, Pisareva VV, Sudakova NG. Glaciations of the East European Plain – distribution and chronology. *Developments in Quaternary Sciences*. 2004;2(part 1):337–354. DOI: 10.1016/S1571-0866(04)80083-6.

53. Matveev AV. *Istoriya formirovaniya rel'efa Belorussii* [History of Belarusian relief formation]. Minsk: Navuka i tjechnika; 1990. 143 p. Russian.

54. Astapova SD. [Correlation and subdivision of moraine deposits of the ice-marginal features of the Belarusian Ridge according to the data of mineralogical and geochemical studies]. In: Goretsky GI, Astapova SD, Valchik MA, Velichkevich FYu, Voznyachuk LN, Dromashko SG, et al. *Kompleksnoe izuchenie lednikovoi formatsii i kraevykh lednikovyykh obrazovanii Belorussii s tsel'yu ikh global'noi korrelyatsii* [Comprehensive study of the glacial formation and marginal glacial formations of Belarus with the aim of their global correlation]. Minsk: Institute of Geochemistry and Geophysics of the Academy of Sciences of the BSSR; 1980. p. 109–154. Russian.

55. Gaigalas AI. [Peculiarities of coarse elastic material of Pleistocene moraines of different ages in southeastern Lithuania and the possibility of interpreting them for stratigraphy]. In: Garunkshtis AA, editor. *Stratigrafiya chetvertichnykh otlozhenii i paleogeografiya antropogena yugo-vostochnoi Litvy. Vypusk 2* [Stratigraphy of Quaternary deposits and paleogeography of the Anthropogene of southeastern Lithuania. Issue 2]. Vilnius: Mintis; 1965. p. 104–156. Russian.

56. Gaigalas AI, Raukas AV. [Distribution of indicator erratics in the Pleistocene moraines of the Baltic]. In: Gromov VI, editor. *Byulleten' Komissii po izucheniyu chetvertichnogo perioda. Nomer 30* [Bulletin of the Commission for the Study of the Quaternary Period. Number 30]. Moscow: Nauka; 1965. p. 128–135. Russian.

57. Gaigalas AI. *Glyatsiosedimentatsionnye tsikly pleistotsena Litvy* [Glaciodedimentation cycles of the Pleistocene of Lithuania]. Vilnius: Mokslas; 1979. 98 p. Russian.

58. Astapova SD. [Peculiarities of the composition of the local moraine overlying the rocks of the Belarusian Massif]. In: Kuznetsov VA, editor. *Geologiya i geokhimiya antropogena Belorussii* [Geology and geochemistry of the Anthropogene of Belarus]. Minsk: Nauka i tjechnika; 1974. p. 131–147. Russian.

59. Astapova SD, Zinova RA. [Structure, occurrence conditions and composition of morainic deposits in the southern part of the Belarusian Dnieper region]. In: Dromashko SG, editor. *Geologicheskie issledovaniya kainozoya Belorussii* [Geological studies of the Cenozoic of Belarus]. Minsk: Nauka i tjechnika; 1981. p. 139–144. Russian.

60. Astapova SD. [Mineralogy and geochemistry of moraines of the Vedrichskaya paleogeographical arena]. In: Zinova RA, editor. *Pleistosen Rechitskogo Pridneprov'ya Belorussii* [Pleistocene of the Rechitsa region of the Dnieper Basin of Belarus]. Minsk: Nauka i tjechnika; 1986. p. 17–29. Russian.

61. Astapova SD. [The fabric composition of the moraines of the Narev glacial valley and its significance for paleogeography]. In: Goretsky GI, Velichkevich FYu, Zinova RA, editors. *Paleogeografiya kainozoya Belorussii* [Paleogeography of the Cenozoic of Belarus]. Minsk: Nauka i tjechnika; 1989. p. 5–13. Russian.

62. Astapova SD. [Evolution of the material composition of moraines in Belarus]. In: Velichkevich FYu, Khursevich GK, Sanko AF, Rylova TB, Astapova SD, Zinova RA, et al. *Evolutsiya prirodno protsessa v pleistotsene Belarusi* [Evolution of the natural process in the Pleistocene of Belarus]. Minsk: Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Belarus; 2000. p. 64–91. Russian.

63. Kozlov VM. *Otchet o kompleksnoi geologo-gidrogeologicheskoi i inzhenerno-geologicheskoi s'emke masshtaba 1 : 50 000 dlya tselei melioratsii v basseine srednego techeniya r. Bereziny* [Report on the integrated geological-hydrogeological and engineering-geological survey at a scale of 1 : 50 000 for the purposes of melioration in the basin of the middle reaches of the Berezina River]. Minsk: Nemansko-Dneprovskaya gidrogeologicheskaya partiya; 1980. 360 p. Russian.

64. Oliinichenko VS, Kozlov VM, Kozlova ZhN, Zelskaya AI. *Otchet o kompleksnoi geologo-gidrogeologicheskoi s'emke masshtaba 1 : 50 000 s inzhenerno-geologicheskimi issledovaniyami po vodosboram verkhov'ev rek Narev, Ross', Zel'vyanka i Grivda. Tom 3. Tablichnye prilozheniya* [Report on the integrated geological and hydrogeological survey at a scale 1 : 50 000 with engineering and geological studies on the catchment areas of the headwaters of the Narev, Ross, Zelvyanka and Grivda rivers. Volume 3. Tabular applications]. Bobruisk: Poleskaya gidrogeologicheskaya partiya; 1970. 287 p. Russian.

65. Ovcharenko LV, Zelskaya LN. *Otchet o spetsializirovannoi kompleksnoi geologo-gidrogeologicheskoi s'emke masshtaba 1 : 50 000 s inzhenerno-geologicheskimi issledovaniyami po vodosboram Oginskogo kanala i verkhnego techeniya rek Shchary i Vislitsy* [Report on a specialised complex geological and hydrogeological survey at a scale 1 : 50 000 with engineering and geological studies for the watersheds of the Oginsky Canal and the upper reaches of the Shcharya and Vislitsa rivers]. Bobruisk: Poleskaya gidrogeologicheskaya partiya; 1969. 577 p. Russian.

66. Kopcew AI. [Some results of comparison of the mineralogical composition of pre-Quaternary and Quaternary deposits in Belarus]. *Vesci Akademii navuk BSSR. Seryja fizika-tjechnichnykh navuk*. 1960;4:75–84. Belarusian.

67. Gaigalas AI, Baltrunas VA. [Statistical correlation analysis of the composition of moraines for the purposes of stratigraphic subdivision and comparison of sections]. In: Silakov VN, editor. *Kompleksnoe izuchenie opornykh razrezov nizhnego i srednego pleistotsena evropeiskoi chasti SSSR* [Comprehensive study of reference sections of the Lower and Middle Pleistocene of the European part of the USSR]. Moscow: Nauka; 1981. p. 132–136. Russian.

68. Fedenya VM, Rylova TB. [New data on the stratigraphic position of the Belovezhian interglacial deposits in the Borki section]. *Doklady Akademii nauk BSSR*. 1987;31(2):168–171. Russian.

69. Gribko AV. *Morfologiya i genezis lineinykh pereuglublenii lozha antropogenovykh otlozhenii v oblastiakh pokrovnykh oledenenii (na primere Belorusskoi gryady)* [Morphology and genesis of the linear gullies in bedrock within the areas of former ice sheets (after the example of the Belarusian Ridge)] [dissertation]. Moscow: [s. n.]; 1989. 204 p. Russian.

70. Benn DI, Evans DJA. *Glaciers and glaciation*. 2<sup>nd</sup> edition. London: Hodder Education; 2010. 801 p.
71. Aber JS, Ber A. *Glaciotectonism*. Amsterdam: Elsevier; 2007. 246 p. (Developments in Quaternary science; volume 6).
72. Boulton GS. Theory of glacial erosion, transport and deposition as a consequence of subglacial sediment deformation. *Journal of Glaciology*. 1996;42(140):43–62. DOI: 10.3189/s0022143000030525.
73. Amerson BE, Montgomery DR, Meyer G. Relative size of fluvial and glaciated valleys in central Idaho. *Geomorphology*. 2008;93(3–4):537–547. DOI: 10.1016/j.geomorph.2007.04.001.
74. Evans DJA. Glaciotectonic structures and landforms. In: Elias SA, Mock CJ, editors. *Encyclopedia of Quaternary science*. 2<sup>nd</sup> edition. [S. l.]: Elsevier; 2013. p. 839–845.
75. Harbor JM. Development of glacial-valley cross sections under conditions of spatially variable resistance to erosion. *Geomorphology*. 1995;14(2):99–107. DOI: 10.1016/0169-555X(95)00051-1.
76. van der Wateren FM. *Structural geology and sedimentology of push moraines. Processes of soft sediment deformation in a glacial environment and the distribution of glaciotectonic styles*. [S. l.]: [s. n.]; 1995. 168 p. (Mededelingen Rijks Geologische Dienst; number 54).
77. Goretsky GI. [Seshchi – paleogeographic arenas of deep glacial valleys, filled in whole or in part by ancient moraines]. In: Alekseev MN, editor. *Vozrast i genezis pereuglublenii na shel'fakh i istoriya rechnykh dolin* [Age and genesis of overdeepening on the shelves and the history of river valleys]. Moscow: Nauka; 1984. p. 172–175. Russian.
78. Goretsky GI, Astapova SD, Shempel RV, Dromashko SG, Shimanovich SL, Kuznetsov VA, et al. *Veshchestvennyi sostav i mikroelementy gruppy zheleza antropogenovykh otlozhenii Belorusskogo Poneman'ya* [The material composition and trace elements of the iron group of Anthropogene deposits of the Belarusian Ponemanye]. Dromashko SG, editor. Minsk: Nauka i tekhnika; 1978. 294 p. Russian.
79. Aber JS, Croot DG, Fenton MM. *Glaciotectonic landforms and structures*. Dordrecht: Kluwer; 1989. 200 p.
80. Bennet MR. The morphology, structural evolution and significance of push moraines. *Earth-Science Reviews*. 2001;53(3–4): 197–236. DOI: 10.1016/S0012-8252(00)00039-8.
81. 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. DOI: 10.33581/2521-6740-2022-1-101-115.

Получена 11.05.2022 / исправлена 07.07.2022 / принята 26.09.2022.  
Received 11.05.2022 / revised 07.07.2022 / accepted 26.09.2022.

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

*УДК 551.583(075.8)*

*Логинова Е. В.* **Изменение климата и климатические риски** [Электронный ресурс] : электрон. учеб.-метод. комплекс для спец. 1-31 80 21 «Гидрометеорология», профилизация «Синоптическая метеорология» / Е. В. Логинова ; БГУ. Электрон. текстовые дан. Минск : БГУ, 2022. 348 с. : ил., табл. Библиогр.: с. 346–348. Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/279796>. Загл. с экрана. Деп. в БГУ 17.05.2022, № 005017052022.

Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) предназначен для магистрантов специальности 1-31 80 21 «Гидрометеорология» (профилизация «Синоптическая метеорология») дневной формы обучения. Содержание ЭУМК предполагает изучение следующих вопросов: изменения климата под влиянием естественных и антропогенных факторов, климатических рисков, адаптации к климатическим рискам.

*УДК 551.1/.4(476)(075.8)*

**Геодинамические исследования Припятского прогиба** [Электронный ресурс] : электрон. учеб.-метод. комплекс для спец. 1-51 80 04 «Общая и региональная геология» / БГУ ; сост. Д. Л. Творонович-Севрук. Электрон. текстовые дан. Минск : БГУ, 2022. 38 с. : ил., табл. Библиогр.: с. 37–38, библиогр. в тексте. Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/12345679/280700>. Загл. с экрана. Деп. в БГУ 06.06.2022, № 005906062022.

Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) предназначен для магистрантов, обучающихся по специальности 1-51 80 04 «Общая и региональная геология». Содержание ЭУМК предполагает повышение эффективности управления образовательным процессом и самостоятельной работой магистрантов по освоению учебной дисциплины «Геодинамические исследования Припятского прогиба» с помощью внедрения в образовательный процесс инновационных образовательных технологий, обеспечение качественной подготовки высококвалифицированных специалистов-геологов.

*УДК 552(075.8)*

**Петрография** [Электронный ресурс] : электрон. учеб.-метод. комплекс для спец. 1-51 01 01 «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых» / БГУ ; сост. Д. Л. Творонович-Севрук. Электрон. текстовые дан. Минск : БГУ, 2022. 35 с. : ил., табл. Библиогр.: с. 35. Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/280701>. Загл. с экрана. Деп. в БГУ 06.06.2022, № 006006062022.

Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) предназначен для студентов, обучающихся по специальности 1-51 01 01 «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых». Содержание ЭУМК предполагает повышение эффективности управления образовательным процессом и самостоятельной работой студентов по освоению учебной дисциплины «Петрография» с помощью внедрения в образовательный процесс инновационных образовательных технологий, обеспечение качественной подготовки высококвалифицированных специалистов-геологов.

*УДК 556.536(075.8)+627.13:552.5(075.8)*

*Новик А. А.* **Гидравлика и инженерная гидрология** [Электронный ресурс] : электрон. учеб.-метод. комплекс для спец. 1-31 02 02 «Гидрометеорология» / А. А. Новик ; БГУ. Электрон. текстовые дан. Минск : БГУ, 2022. 40 с. : ил., табл. Библиогр.: с. 36–37. Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/283388>. Загл. с экрана. Деп. в БГУ 01.07.2022, № 007701072022.

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 гидравлики и инженерной гидрологии. Представлены теоретический раздел, практический раздел с примерным перечнем практических заданий и примерными вариантами заданий практических работ, раздел контроля знаний с вопросами к экзамену и организацией самостоятельной работы и вспомогательный раздел с перечнем рекомендуемой литературы и учебно-методической картой учебной дисциплины.

*УДК 332.14:004(075.8)+528:004(075.8)*

**Геоинформационные системы в территориальном управлении и планировании** [Электронный ресурс] : электрон. учеб.-метод. комплекс для спец. 1-56 80 01 «Землеустройство, кадастры, геодезия и геоматика», профилизация «Геомастика» / БГУ ; сост. А. Н. Червань. Электрон. текстовые дан. Минск : БГУ, 2022. 263 с. : ил., табл. Библиогр.: с. 261–263. Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/283726>. Загл. с экрана. Деп. в БГУ 06.07.2022, № 008306072022.

Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) по учебной дисциплине «Геоинформационные системы в территориальном управлении и планировании» предназначен для студентов 2-й ступени высшего образования, обучающихся по специальности 1-56 80 01 «Землеустройство, кадастры, геодезия и геоматика». Содержание ЭУМК предполагает повышение эффективности управления образовательным процессом и самостоятельной работой студентов по освоению учебной дисциплины с помощью внедрения в образовательный процесс инновационных образовательных технологий, обеспечение качественной подготовки высококвалифицированных специалистов.

*УДК 550.4(075.8)*

**Карпиченко А. А. Геохимия** [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)», направления спец. 1-56 02 02-01 «Геоинформационные системы (земельно-кадастровые)», 1-56 02 02-02 «Геоинформационные системы (специальные)» / А. А. Карпиченко ; БГУ. Электрон. текстовые дан. Минск : БГУ, 2022. 36 с. : табл. Библиогр.: с. 33–34. Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/285959>. Загл. с экрана. Деп. в БГУ 06.09.2022, № 008506092022.

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

*УДК 574.9(075.8)*

**Писарчук Н. М. Биогеография** [Электронный ресурс] : электрон. учеб.-метод. комплекс с креативным компонентом 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. 31 с. Библиогр.: с. 30–31. Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/286101>. Загл. с экрана. Деп. в БГУ 06.09.2022, № 008606092022.

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

УДК 551.579(075.8)

Давыденко О. В. **Введение в гидрометеорологию** [Электронный ресурс] : электрон. учеб.-метод. комплекс с креативным компонентом 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)» / О. В. Давыденко ; БГУ. Электрон. текстовые дан. Минск : БГУ, 2022. 163 с. : табл. Библиогр.: с. 159–161. Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/286112>. Загл. с экрана. Деп. в БГУ 07.09.2022, № 008707092022.

Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) предназначен для студентов специальности 1-31 02 02 «Гидрометеорология» факультета географии и геоинформатики Белорусского государственного университета. В ЭУМК рассматриваются основные объекты исследования гидрометеорологии, правила организации и проведения гидрометеорологических наблюдений, международное сотрудничество в области гидрометеорологии. Представлены тематика, содержание и методические рекомендации для выполнения лабораторных и практических работ, перечень вопросов для подготовки к практическим занятиям, открытые эвристические задания для управляемой самостоятельной работы студентов, примерный перечень вопросов и тематика практических заданий для экзамена по учебной дисциплине «Введение в гидрометеорологию».

УДК 528.87(075.8)

Шалькевич Ф. Е. **Тематическое дешифрирование** [Электронный ресурс] : электрон. учеб.-метод. комплекс для спец. 1-31 02 03 «Космоаэрокартография» / Ф. Е. Шалькевич, Ю. С. Давидович ; БГУ. Электрон. текстовые дан. Минск : БГУ, 2022. 132 с. : ил., табл. Библиогр.: с. 128–132. Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/286132>. Загл. с экрана. Деп. в БГУ 08.09.2022, № 008808092022.

Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) «Тематическое дешифрирование» предназначен для студентов специальности 1-31 02 03 «Космоаэрокартография». В ЭУМК изложены основные понятия и этапы развития тематического дешифрирования аэрокосмических снимков, рассмотрены основные факторы, влияющие на формирование аэрокосмического изображения природных и антропогенных объектов, теоретические основы тематического дешифрирования материалов дистанционных съемок, технологии и методика работ с материалами дистанционных съемок при составлении и обновлении тематических карт. Представлены тематика лабораторных работ, перечень заданий в тестовой форме, вопросы для итогового контроля знаний.

УДК 528.7(075.8)+528.9(075.8)

Топаз А. А. **Космическое картографирование** [Электронный ресурс] : электрон. учеб.-метод. комплекс для спец. 1-56 80 01 «Землеустройство, кадастры, геодезия и геоматика», профилизация «Геомастика» / А. А. Топаз ; БГУ. Электрон. текстовые дан. Минск : БГУ, 2022. 109 с. : ил., табл. Библиогр.: с. 108–109. Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/287719>. Загл. с экрана. Деп. в БГУ 17.10.2022, № 009217102022.

Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) «Космическое картографирование» предназначен для студентов магистратуры на 2-й ступени высшего образования. В ЭУМК изложены общие вопросы космического картографирования, связанные с обзором систем дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и современного фонда космических снимков, рассмотрены программное обеспечение для обработки данных ДЗЗ и методы космического картографирования, приведены основные направления тематического космического картографирования. Представлены тематика лабораторных занятий, темы рефератов, перечень заданий в тестовой форме и вопросы для итогового контроля знаний.

УДК 33:911.3(476)(075.8)

Шавель А. Н. **Экономическая география Беларуси** [Электронный ресурс] : электрон. учеб.-метод. комплекс для спец.: 1-31 02 02 «Гидрометеорология», 1-31 02 03 «Космоаэрокартография» / А. Н. Шавель ; БГУ. Электрон. текстовые дан. Минск : БГУ, 2022. 250 с. : ил. Библиогр.: с. 240–244. Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/288765>. Загл. с экрана. Деп. в БГУ 10.11.2022, № 010010112022.

Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) предназначен для студентов специальностей 1-31 02 02 «Гидрометеорология», 1-31 02 03 «Космоаэрокартография» факультета географии и геоинформатики БГУ. В ЭУМК представлены материалы по дисциплине «Экономическая география Беларуси». ЭУМК состоит из четырех разделов. В первом разделе приведен конспект лекций по 21 теме в рамках дисциплины, во втором разделе рассмотрены тематика и содержание практических и семинарских занятий, в третьем разделе находится перечень вопросов к экзамену и заданий УСР, в четвертом разделе – рекомендуемая литература, учебно-методическая карта дисциплины, перечень используемых средств диагностики результатов УСР, требования к обучающемуся при их выполнении и методика формирования итоговой оценки по дисциплине.

*УДК 574.5(075.8)*

*Логинова Е. В. Гидробиология [Электронный ресурс] : электрон. учеб.-метод. комплекс для спец. 1-31 02 02 «Гидрометеорология» / Е. В. Логинова ; БГУ. Электрон. текстовые дан. Минск : БГУ, 2022. 344 с. : ил., табл. Библиогр.: с. 343–344. Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/288770>. Загл. с экрана. Деп. в БГУ 10.11.2022, № 010110112022.*

Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) предназначен для студентов специальности 1-31 02 02 «Гидрометеорология» дневной формы обучения. Содержание ЭУМК предполагает изучение следующих вопросов: предмета и состава гидробиологии, истории науки, основных физических и химических свойств воды, гидробиологических процессов и их физических свойств, питания, размножения и дыхания гидробионтов, населения морей и континентальных водоемов, экологических основ жизнедеятельности гидробионтов.

## СОДЕРЖАНИЕ

### ГЕОГРАФИЯ

<i>Еловичева Я. К.</i> Палинология Беларуси: метод и научное направление в исследовании отложенной гляциоплейстоцена и голоцена.....	3
<i>Китаев Л. М., Данилович И. С., Акентьева Е. М., Буяков И. В., Тюсов Г. А.</i> Региональная изменчивость средних и экстремальных характеристик современного метеорологического режима восточной части водосбора Балтийского моря .....	16
<i>Антипова Е. А., Ли Чэнь.</i> Пространственно-временные особенности и факторы распределения населения в возрасте от 0 до 14 лет в Китае .....	30
<i>Безрученко А. П., Дубовец М. А.</i> Экономико-географический анализ изменения экономической специализации городов Беларуси.....	43
<i>Казяк Е. В., Давидович Ю. С., Шестаков Н. А.</i> Результаты использования методов геоинформационного и статистического анализа для изучения спектрально-отражательных характеристик сельскохозяйственных культур Беларуси .....	55
<i>Переведенцев Ю. П., Лопух П. С., Гледко Ю. А., Бережкова Е. С., Ван Хао, Шлендер Т. В.</i> Особенности климатических изменений на европейской территории Союзного государства России и Беларуси в начале XXI в. ....	69
<i>Шевцова Н. С., Вишняк А. К.</i> Торговля фармацевтическими препаратами в Республике Беларусь: динамика и география.....	88
<i>Гледко Ю. А., Медведько М. В.</i> Оценка интенсивности воздействия опасных гидрометеорологических явлений на социально-экономическую систему Беларуси.....	99

### ГЕОЛОГИЯ

<i>Комаровский М. Е.</i> Морфология и генезис ясельдинских ледниковых ложбин в Беларуси .....	117
Аннотации депонированных в БГУ работ .....	144

## CONTENTS

### GEOGRAPHY

<i>Yelovicheva Ya. K.</i> Palynology of Belarus: a method and scientific direction in the study of Glacio-pleistocene and Holocene deposits .....	3
<i>Kitaev L. M., Danilovich I. S., Akent'eva E. M., Buyakov I. V., Tyusov G. A.</i> Regional variability of the mean and extreme characteristics of the present meteorological regime of the eastern part of the Baltic Sea catchment .....	16
<i>Antipova E. A., Li Chen.</i> Spatial and temporal features and factors of the distribution of the population aged from 0 to 14 years in China.....	30
<i>Bezruchonak A. P., Dubavets M. A.</i> Economic and geographical analysis of changes in the economic specialisation of the cities of Belarus.....	43
<i>Kaziak A. V., Davidovich Y. S., Shastakou M. A.</i> Results of using geoinformation and statistical analysis methods to study spectral reflectance characteristics of agricultural crops of Belarus .....	55
<i>Perevedentsev Yu. P., Lopuch P. S., Hledko Y. A., Berezhkova K. S., Van Khao, Schlender T. V.</i> Features of climate change in the European territory of the Union State of Russia and Belarus at the beginning of the 21 <sup>st</sup> century .....	69
<i>Shevtsova N. S., Vishnyak A. K.</i> Pharmaceutical sales in the Republic of Belarus: dynamics and geography .....	88
<i>Hledko Y. A., Medvedko M. V.</i> Assessment of the intensity of the impact of hazardous hydrometeorological phenomena on the socio-economic system of Belarus.....	99

### GEOLOGY

<i>Komarovskiy M. E.</i> Morphology and genesis of the Yaselda glacial valleys in Belarus .....	117
Indicative abstracts of the papers deposited in BSU.....	144

*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), China National Knowledge Infrastructure.*

**Журнал Белорусского  
государственного университета.  
География. Геология.  
№ 2. 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).

Редакторы *О. А. Семенец, М. А. Журо, М. И. Дикун*  
Технический редактор *Д. Ф. Когут*  
Корректор *Л. А. Меркуль*

Подписано в печать 30.11.2022.  
Тираж 100 экз. Заказ 11109.

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. 2. 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).

Editors *O. A. Semenets, M. A. Zhuro, M. I. Dikun*  
Technical editor *D. F. Kogut*  
Proofreader *L. A. Merkul'*

Signed print 30.11.2022.  
Edition 100 copies. Order number 11109.

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 Kastyčnickaja Str.,  
Minsk 220030, Republic of Belarus.

© BSU, 2022