



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

2020

МИНСК
БГУ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

EDITORIAL BOARD

- Editor-in-chief** ANTIPOVA E. A., doctor of science (geography), full professor; head of the department of economic and social geography of the faculty of geography and geoinformatics of the Belarusian State University, Minsk, Belarus.
E-mail: antipova@bsu.by
- Deputy editor-in-chief** KLEBANOVICH N. V., doctor of science (agricultural sciences), full professor; head of the department of soil science and land information systems of the faculty of geography and geoinformatics of the Belarusian State University, Minsk, Belarus.
E-mail: n_klebanovich@inbox.ru
- Executive secretary** HAHINA N. V., PhD (geography), docent; head of the department of geographical ecology of the faculty of geography and geoinformatics of the Belarusian State University, Minsk, Belarus.
E-mail: hahina@bsu.by
- Baltrūnas V.* Nature Research Centre, Vilnius, Lithuania.
Vitchenko A. N. Belarusian State University, Minsk, Belarus.
Donert K. European Centre of Excellence, EUROGEO, Salzburg, Germany.
Yelovicheva Ya. K. Belarusian State University, Minsk, Belarus.
Zui V. I. Belarusian State University, Minsk, Belarus.
Kalicki T. Institute of Geography of the Jan Kochanowski University in Kielce, Kielce, Poland.
Katrovskii A. P. Smolensk State University, Smolensk, Russia.
Kurlovich D. M. Belarusian State University, Minsk, Belarus.
Marks L. University of Warsaw, Warsaw, Poland.
Mezentsev K. V. Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine.
Nyusupova G. N. al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan.
Pirozhnik I. I. Akademia Pomorska, Slupsk, Poland.
Rodionova I. A. Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia.
Rudenko L. G. Institute of Geography of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine.
Sanko A. F. Belarusian State University, Minsk, Belarus.
Sarmiento Zh. K. B. University of Minho, Braga, Portugal.

УДК 551.509.313

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕЗОМАСШТАБНОГО ЧИСЛЕННОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОГОДЫ WRF-ARW В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ ПУТЕМ АССИМИЛЯЦИИ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ДАННЫХ О ВЕТРЕ И ОТРАЖАЕМОСТИ

П. О. ЗАЙКО¹⁾, А. Н. КРАСОВСКИЙ²⁾, С. К. БОРОДКО²⁾

¹⁾Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды, пр. Независимости, 110, 220114, г. Минск, Беларусь

²⁾Национальный научно-исследовательский центр мониторинга озоносферы БГУ, ул. Курчатова, 7, 220045, г. Минск, Беларусь

Анализируются прогнозы опасных явлений погоды, выполненные с помощью численной мезомасштабной модели WRF с адаптированной системой ассимиляции данных радиолокационной отражаемости и радиальной скорости с сети белорусских доплеровских метеорологических локаторов Белгидромета (2019). Описываются способы контроля качества радиоэха на основе характеристик двойной поляризации локаторов и метод трехмерной вариационной ассимиляции (3D-VAR), применяемый в целях уточнения исходного поля модели WRF. Приводятся результаты анализа ряда смоделированных случаев осадков и сильного ветра для различных типов циркуляции на территории Беларуси с ассимиляцией радиолокационных данных и без нее. Выполнена статистическая и объектно ориентированная оценка этих прогнозов. Результаты комплексного анализа спрогнозированных случаев с ассимиляцией радарной информации демонстрируют уменьшение ошибки прогноза приземного ветра на высоте 10 м от поверхности земли на 1,34 м/с на ранних часах прогноза (+6 ч), а также улучшение прогноза

Образец цитирования:

Зайко ПО, Красовский АН, Бородко СК. Совершенствование мезомасштабного численного прогнозирования погоды WRF-ARW в Республике Беларусь путем ассимиляции радиолокационных данных о ветре и отражаемости. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология.* 2020;2:3–13.
<https://doi.org/10.33581/2521-6740-2020-2-3-13>

For citation:

Zaiko PA, Krasouski AN, Barodka SK. Improvement of meso-scale numerical weather prediction WRF-ARW in the Republic of Belarus by assimilation of radar wind and reflectivity data. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology.* 2020;2:3–13. Russian.
<https://doi.org/10.33581/2521-6740-2020-2-3-13>

Авторы:

Полина Олеговна Зайко – инженер-программист отдела численного моделирования прогнозов.

Александр Николаевич Красовский – кандидат физико-математических наук; научный сотрудник.

Сергей Константинович Бородко – научный сотрудник.

Authors:

Palina A. Zaiko, software engineer at the numerical weather prediction department.

polly_lo@tut.by

Aliaksandr N. Krasouski, PhD (physics); researcher.

krasovsky@bsu.by

Siarhei K. Barodka, researcher.

barodka@bsu.by

местоположения, ориентации областей выпадения осадков и облачных структур, сокращение количества ложных тревог. Представлено предварительное заключение о возможности использования результатов прогнозов в системах наукастинга (сверхкраткосрочный прогноз).

Ключевые слова: краткосрочный прогноз погоды; WRF-ARW; ассимиляция данных; доплеровский метеорологический локатор; двойная поляризация; оценка; наукастинг.

IMPROVEMENT OF MESOSCALE NUMERICAL WEATHER PREDICTION WRF-ARW IN THE REPUBLIC OF BELARUS BY ASSIMILATION OF RADAR WIND AND REFLECTIVITY DATA

P. A. ZAIKO^a, A. N. KRASOUSKI^b, S. K. BARODKA^b

^aRepublican Center of Hydrometeorology, Control of Radioactive Contamination and Environmental Monitoring of the Republic of Belarus, 110 Niezaliežnasci Avenue, Minsk 220114, Belarus

^bNational Research Center for Ozonosphere Monitoring, Belarusian State University, 7 Kurčatava Street, Minsk 220045, Belarus

Corresponding author: P. A. Zaiko (polly_lo@tut.by)

The forecasts of severe weather events obtained with the WRF numerical mesoscale model with the adapted system for assimilation of reflectivity and radial velocity data from the network of Belarusian Doppler weather radars used in Belhydromet in 2019 are analysed. A description of the system for the echo quality control based on the radar dual-polarisation characteristics and the method for three-dimensional variational assimilation (3D-VAR) used to assimilate data in the WRF model are described. The results of case studies on the simulation of precipitation and strong wind for various circulation types in Belarus with and without radar data assimilation are given. The statistical and object-oriented verification of these forecasts is provided. The results of the comprehensive assessment reveal a decrease in the forecast error for 10-m wind speed for the early forecast hours (+6 h) by 1.34 m/s, as well as a more accurate forecast of the location, orientation of the cloud systems and precipitation zones, and a decrease in the number of false alarms in the version with assimilation. A preliminary conclusion on the possibility of using the forecast results in nowcasting systems is also made.

Keywords: short-range weather forecast; WRF-ARW; data assimilation; Doppler weather radar; dual-polarisation; verification; nowcasting.

Введение

Системы мезомасштабного численного прогноза погоды (ЧПП) позволяют моделировать с достаточно высокой точностью опасные явления конвективного масштаба (ливни, грозы, шквалистое усиление ветра и т. д.), наносящие значительный экономический ущерб сельскому, лесному хозяйству и транспорту Беларуси¹. Однако подобный прогноз требует детализации из-за малых временных (от нескольких минут) и пространственных (от сотен метров) масштабов конвективных явлений.

Для повышения точности прогнозов опасных явлений погоды в системах численного моделирования применяется ассимиляция данных с высоким временным и пространственным разрешением, способная зафиксировать конвективные явления на территории страны. К таким данным относятся наблюдения доплеровского метеорологического локатора (ДМРЛ).

Сеть радиолокационных метеорологических наблюдений Беларуси представлена станцией МРЛ-5 (Брест) и пятью доплеровскими метеорологическими локаторами двойной поляризации (Минск, Гомель, Витебск, Гродно, Брест), наблюдения на которых производятся с высокой дискретностью по времени (10 мин) и пространству (0,5–1,0 км) в радиусе 250 км на большей части Беларуси. Они дают уникальную информацию о распределении поля радиального ветра, отражаемости гидrometeorov, интенсивности осадков, микрофизической структуре облаков и зонах обледенения на территории страны. Эту информацию можно ассимилировать в моделях ЧПП [2].

Процесс ассимиляции метеорологических данных направлен на построение более точного начального состояния атмосферы за счет включения новых, ранее не используемых наблюдений с последующим учетом ошибок этих наблюдений и ошибок прогноза модели. В результате согласования всех метеоро-

¹Седьмое национальное сообщение Республики Беларусь в соответствии с обязательствами по Рамочной конвенции ООН об изменении климата [Электронный ресурс]. URL: https://unfccc.int/sites/default/files/resource/92104765_Belarus-NC7-1-AI_BLR_NC7.pdf (дата обращения: 15.03.2020).

рологических полей формируются новые начальные и граничные условия, которые используются для последующего прогноза [3].

Республика Беларусь не является членом крупных метеорологических консорциумов и центров (Météo-France (Франция), Met Office (Великобритания) и др.), способных моделировать опасные явления погоды с учетом усвоенных радиолокационных метеорологических наблюдений на ее территории. В связи с этим создание систем ассимиляции данных белорусских метеорологических локаторов и последующего регионального прогнозирования опасных явлений погоды для территории Беларуси представляет собой государственную задачу.

В Белгидромете для прогноза опасных явлений погоды был разработан компонент системы усвоения данных наземных (не входящих в международный обмен) аэрологических и радиолокационных наблюдений для адаптированной мезомасштабной численной модели WRF (Weather Research and Forecasting) на базе метода трехмерного вариационного усвоения 3D-VAR.

Цель статьи – представление результатов использования прогнозов количества осадков и ветра в мезомасштабной модели WRF на территории Беларуси, полученных с помощью адаптированной системы ассимиляции горизонтальной отражаемости и радиальной скорости с сети белорусских ДМЛР.

Для этой цели решен ряд задач: создана база данных прогнозов модели WRF для территории Беларуси; разработаны автоматизированные программные комплексы для обработки и контроля наблюдений ДМЛР Минска, Гомеля, Витебска (выполнены тестирование и выбор оптимального метода фильтрации данных, проведена настройка пороговых значений, запрограммированы обработка и конвертация радиолокационных полей на языке программирования *Python* для последующей ассимиляции), а также для ассимиляции радарных данных (расчет ковариационной матрицы ошибок прогноза модели на основе созданной базы прогнозов, необходимой для ассимиляции методом 3D-VAR, настройка конфигурации системы ассимиляции).

Дается краткий обзор применения полученных прогнозов для систем наукастинга на территории Беларуси.

Материалы и методы исследования

Развитие сети метеорологических локаторов на территории Беларуси началось в середине 1970-х гг. с установки метеорологического локатора в аэропорту Гомеля (МРЛ-2, 1975) (рис. 1). За это время радиолокационная метеорология прошла развитие от первых некогерентных локаторов до современных доплеровских метеорологических локаторов двойной поляризации, фиксирующих мезоциклоны, зоны турбулентности и сдвиг ветра [1].

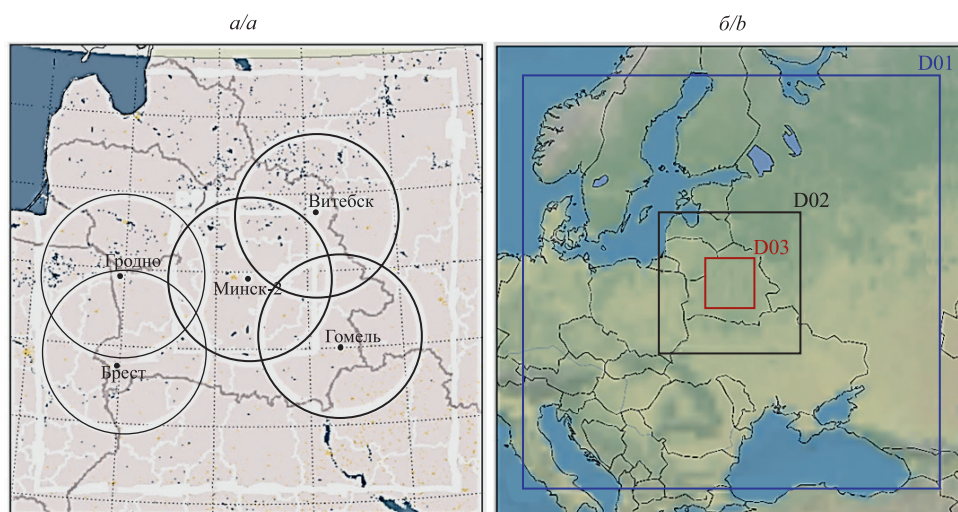


Рис. 1. Карта расположения ДМЛР (а) и области моделирования в эксперименте с шагом сетки 9 км (D01), 3 км (D02), 1 км (D03) (б)

Fig. 1. Map of Doppler weather radars location (a) and modeling domains in experiment with grid size 9 km (D01), 3 km (D02), 1 km (D03) (b)

Сейчас на территории страны расположены шесть метеорологических радиолокационных систем:

- ДМЛР Минска (ДМЛР двойной поляризации с длиной волны 5,3 см на базе ДМЛР «Метеор-500С» (*Gematronic*, Германия));
- ДМЛР Гомеля (ДМЛР двойной поляризации с длиной волны 5,5 см на базе ДМЛР «Метеор-635С»);

• ДМРЛ Витебска (ДМРЛ двойной поляризации с длиной волны 5,3 см и высокой эквивалентной мощностью излучения (900 кВт) на базе системы ДМРЛ-С (ОАО «НПО “Лианозовский электромеханический завод”», Россия));

- ДМРЛ Гродно;
- ДМРЛ Бреста;
- МРЛ-5 (Брест).

Наблюдения на всех доплеровских радиолокационных системах производятся в двух импульсных режимах (отражаемость (радиус 250 км), скорость (радиус 150 км)) на 34 уровнях каждые 10 мин. В 2020 г. введены в эксплуатацию ДМРЛ Бреста и ДМРЛ Гродно (см. рис. 1).

Наиболее перспективными направлениями применения наблюдений белорусских ДМРЛ являются ассимиляция в модели ЧПП, наукастинг, использование поляризационных характеристик для анализа и предупреждения об опасных явлениях погоды (микрошквалы, ливни, турбулентность и др.) для нужд авиации.

Система контроля качества и подготовки данных ДМРЛ для ассимиляции

В 2014 г. в Белгидромете была разработана адаптированная система мезомасштабного численно-го прогнозирования на основе модели WRF для территории Беларуси с улучшенным представлением геоданных (рельеф) и выбором оптимальных схем параметризации. Модель WRF является совместной разработкой Национального центра атмосферных исследований (National Center for Atmospheric Research, NCAR) и Национального управления океанических и атмосферных явлений (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA).

На первом этапе в соответствии с данной системой был подготовлен базовый компонент ассимиляции метеорологических наблюдений (наземные и аэрологические) для модели WRF [1–3]. На втором этапе велась разработка системы контроля и подготовки белорусских радиолокационных данных и адаптированного компонента системы ассимиляции наблюдений для модели на основе метода 3D-VAR.

Белорусские ДМРЛ являются многопараметрическими (поляризационными), что позволяет проводить более точный анализ помех от неметеорологических объектов и определять микрофизическую структуру метеобъекта (фазовое состояние, форма гидрометеоров), различать снег, ливень, град, а также дождь слабой, средней и сильной интенсивности.

В ходе наблюдений ДМРЛ формируется набор основных выходных параметров, используемых на этапе контроля и непосредственно для ассимиляции: радиолокационная отражаемость горизонтальной поляризации (DBZH); радиальная скорость (VRAD); ширина доплеровского спектра радиальных скоростей (WRAD); коэффициент кросс-корреляции (RHONV); дифференциальная отражаемость (ZDR); дифференциальная фаза (PHIDP); удельный фазовый сдвиг (KDP).

В качестве основных методов удаления помех в радиолокационных данных применялись фильтр Габелла [4] и метод идентификации помех на основе нечеткой логики для поляризационных характеристик (fuzzy echo classification) [5]. Более детально методы рассматриваются в [6]. Стоит отметить, что создание системы контроля позволило отфильтровать помехи и подготовить радиолокационные данные, необходимые при последующей ассимиляции в модель WRF. Авторами проведен ряд экспериментов по оценке эффективности фильтрации не метеорологического эха с ДМРЛ Минска, Гомеля, Витебска выбранными методами и подбору критериев фильтрации. Результаты показали, что применяемый фильтр на основе нечеткой логики покрывает стандартные критерии фильтрации, используемые при анализе эха ДМРЛ (коэффициент кросс-корреляции менее 0,7–0,8 (не метеорологический), дифференциальная отражаемость более 4–5 и др.).

Затем был разработан программный комплекс для автоматизированной конечной подготовки радиолокационных данных, включающий преобразование в координаты системы моделирования WRF, пересчет компонентов скорости ветра и горизонтальной отражаемости на реальные высоты и представление данных в формате, требуемом системой усвоения данных.

Ассимиляции радиолокационных данных в модель WRF-ARW

В основе адаптированной системы усвоения данных ДМРЛ в Белгидромете лежит трехмерный вариационный метод (3D-VAR), в котором несогласованность между прогнозом и наблюдениями представляется в виде функционала [3; 7]. Нахождение минимумов данного функционала от искомого вектора состояния системы X позволяет решить задачу

$$J(X) = \frac{1}{2}(X - X^f)^T B^{-1}(X - X^f) + \frac{1}{2}(X^{\text{OBS}} - H(X))^T R^{-1}(X^{\text{OBS}} - H(X)),$$

где X есть вектор, представляющий искомое поле – состояние атмосферы на сетке в момент анализа; X^f – поле прогноза по гидродинамической модели атмосферы; B – матрица ковариаций ошибок прогноза; X^{OBS} – вектор наблюдений; R – матрица ковариаций ошибок наблюдений; H – оператор наблюдений, связывающий наблюдения с истинным состоянием атмосферы. Для минимизации данного функционала применяется метод сопряженных градиентов, который включает оценку изменения контрольных переменных (температура, удельная влажность, давление на уровне земли, завихренность и дивергенция). Количество итераций составило от 15 до 20 для различных случаев.

Отражательная способность, наблюдаемая на локаторе, может быть ассимилирована в численную модель WRF несколькими способами. Первый способ предполагает ассимиляцию горизонтальной отражаемости напрямую через оператор отражательной способности. Второй способ позволяет ассимилировать данные через параметры содержания дождевой воды в облаках, оцениваемые по отражательной способности. Он также включает оценку содержания снега, крупы и других видов влаги в облаке. В настоящем исследовании использовался второй подход для учета влияния наблюдаемого влагозапаса даже при отсутствии дождевой воды на начальном часу расчета [4].

Ассимиляция данных о радиальном ветре производится путем пересчета радиальной скорости с локатора в компоненты скорости ветра модели: радиальный ветер v_r можно определить, используя компоненты ветра (u, v, w), вертикальную скорость движения гидрометеоров (связанную с дождевыми каплями) v_t и расстояние от радара до точки. Вертикальная скорость v_t рассчитывается из массового содержания дождевых капель q_r с коррекцией высоты [3]:

$$v_r = u \frac{x - x^0}{r} + v \frac{y - y^0}{r} + (w - v_t) \frac{z - z^0}{r},$$

$$v_t = 5,40 \left(\frac{p_s}{\bar{p}} \right)^{0,4} (q_r)^{0,125},$$

где u, v, w – компоненты скорости в декартовых координатах, м/с; x, y, z – местоположение радара; x^0, y^0, z^0 – положение наблюдения; r – расстояние между радаром и наблюдением; p_s – приземное давление; q_r – массовое содержание дождевой воды, г/кг; \bar{p} – давление на станции (радаре).

Вычислительный эксперимент

Для оценки возможности использования разработанной системы ассимиляции данных ДМРЛ, прогноза опасных явлений погоды (осадки, ветер) проводился ряд численных экспериментов (10 случаев), включающих различные синоптические ситуации на территории Беларуси в 2017–2020 гг. Случаи были разделены на три группы соответственно ведущим типам циркуляции, обуславливающим погоду на территории Беларуси: западные и ныряющие циклоны и их фронтальные разделы; южные циклоны; антициклоны (табл. 1) [8]. Для всех смоделированных случаев отмечались неблагоприятные (НЯ) и опасные (ОЯ) явления погоды.

Таблица 1

Описание промоделированных синоптических ситуаций

Table 1

Description of modeling synoptic conditions

Типы циркуляции	Количество случаев	Виды неблагоприятных явлений погоды	Виды опасных явлений погоды	Месяц
Западные и ныряющие циклоны	3	Жара (+34°), сильный дождь (15 мм за 12 ч), сильный ливень, сильный ветер (22 м/с), шквал	Очень сильный дождь (57 мм за 12 ч)	Февраль, март, июль
Южные циклоны	5	Грозы, град, сильный дождь, снег, гололедица, шквалы (15–24 м/с), жара (+35°)	Продолжительный очень сильный дождь (50–130 мм)	Январь (2 случая), август (3 случая)
Антициклоны	2	Туман, заморозки	Отсутствовали	Май, сентябрь

В целях моделирования синоптических условий использовалась система мезомасштабного прогнозирования для территории Беларуси на основе негидростатической модели WRF-ARW версии 4.0 [6; 9].

Прогноз рассчитывался с заблаговременностью +24 ч для трех областей размером 300 × 300 узлов с шагом сетки 9; 3 и 1 км на 40-Ета уровнях. Внешняя область (9 км) покрывала территорию Европы. В качестве начальных и боковых граничных условий использовались прогнозы модели GFS (Global Forecast System). Данные ДМРЛ Минска, ДМРЛ Гомеля и ДМРЛ Витебска (2019) ассимилировались методом 3D-VAR в срок, близкий к исходному сроку прогноза (00; 06; 12; 18 ч UTC), во временном окне ±1 ч. Для учета ошибок прогноза модели WRF была построена ковариационная матрица фоновых ошибок прогноза модели за 10 дней для каждого случая на основе метода NMC (National Meteorological Center) [6; 7].

Для контроля параллельно выполнялось моделирование выбранных случаев с ассимиляцией радиолокационных данных и без нее. Для области моделирования с наибольшим шагом сетки (9 км) учет конвективных процессов проводился через схему параметризации Каина – Фритша, для более крупных областей (3 и 1 км) – напрямую [6; 9].

Оценка использования прогнозов модели WRF с ассимиляцией радиолокационных данных для прогноза осадков и ветра

Для определения влияния ассимилированных радиолокационных данных на результаты прогноза в промоделированных случаях проводились статистическая и объектно ориентированная оценки прогнозов с ассимиляцией и без нее.

На этапе статистической оценки рассчитывались средние (ME) и абсолютные (MAE) ошибки, средне-квадратическая ошибка (RMSE) и коэффициент корреляции Пирсона *R* на каждые 3 ч для температуры, давления, скорости ветра и на 12 ч для осадков в соответствии с рекомендациями (табл. 2) [10]. В качестве контрольных использовались наблюдения 49 наземных метеорологических станций Беларуси и карты опасных явлений погоды по данным метеорологических радиолокационных систем.

Статистическая оценка результатов всех случаев моделирования говорит об определенном положительном влиянии ассимиляции радиолокационных наблюдений в начальные часы прогноза на успешность воспроизведения скорости приземного ветра (высота 10 м) и распределения поля осадков (см. табл. 2).

Таблица 2

Оценка прогноза скорости приземного ветра (м/с) на высоте 10 м по всем случаям (+3, +6 ч)

Table 2

Verification of the wind speed forecasts (m/s) at 10 m for all cases (+3, +6 h)

Заблаговременность, ч	ME		MAE		RMSE		R	
	без ассимиляции	с ассимиляцией	без ассимиляции	с ассимиляцией	без ассимиляции	с ассимиляцией	без ассимиляции	с ассимиляцией
+3	0,98	0,84	1,73	1,44	2,25	2,14	0,84	0,86
+6	1,74	1,41	1,97	1,89	4,18	3,26	0,67	0,71

Ошибка скорости ветра в летний период оказалась меньшей, чем в переходные и зимний периоды. В качестве примера летнего и зимнего периодов представлен ход скорости приземного ветра (высота 10 м) на станции Верхнедвинска (24.08.2017) и станции Мозыря (26.01.2019). На всем интервале прогноза до 24 ч в летний период ошибка прогноза скорости ветра с ассимиляцией радиолокационных данных была значительно ниже, чем в варианте без ассимиляции (рис. 2). Для зимнего случая в первых часах ошибка без ассимиляции оказалась меньше, но к ночным срокам обе ошибки сравнялись (рис. 3).

Результаты прогноза количества осадков оценивались двумя способами: с помощью расчета показателей по таблице сопряженности и объектно ориентированным методом MODE (Method for Object-Based Diagnostic Evaluation) [11].

В результате статистической оценки прогнозов метеорологических полей общая оправдываемость прогноза осадков (PC) увеличилась на 1 % для первых 12 ч прогноза для летних периодов. Показатель прогноза наличия явления (POD) с ассимиляцией данных ДМРЛ был выше на 1 %. Улучшился показатель прогноза отсутствия явления (PODN) на 3 %, и сократился показатель ложных тревог (FAR) на 1,5 %. Значение критерия Пирса – Обухова (HK) говорит о достаточно высокой способности модели к выявлению случаев с наличием и отсутствием осадков: для варианта без ассимиляции – 0,57, с ассимиляцией – 0,61 (табл. 3). Наибольшее положительное влияние ассимиляции радарных данных

на прогноз осадков также наблюдалось в летний период, что может быть связано с активными термодинамическими процессами в тропосфере [12]. Для прогнозов в зимний и переходный периоды процент ложных тревог оказался выше.

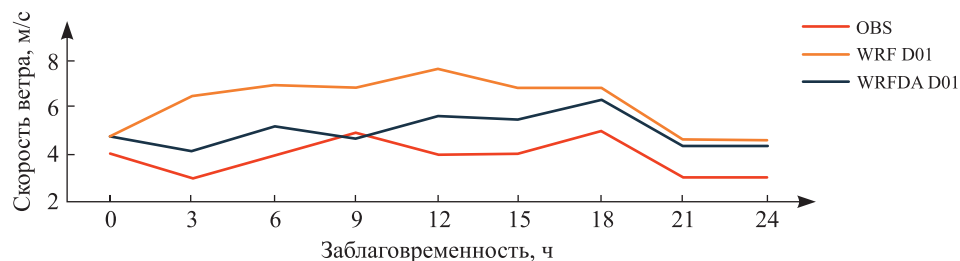


Рис. 2. Прогноз скорости приземного ветра на высоте 10 м, м/с: OBS – наблюдения на станции Верхнедвинска; WRF D01 – без ассимиляции; WRFDA D01 – с ассимиляцией. 24.08.2017 г.

Fig. 2. Wind speed forecast on the height 10 m, m/s: OBS – Verhnedvinsk station observations; WRF D01 – without assimilation; WRFDA D01 – with assimilation. 24.08.2017

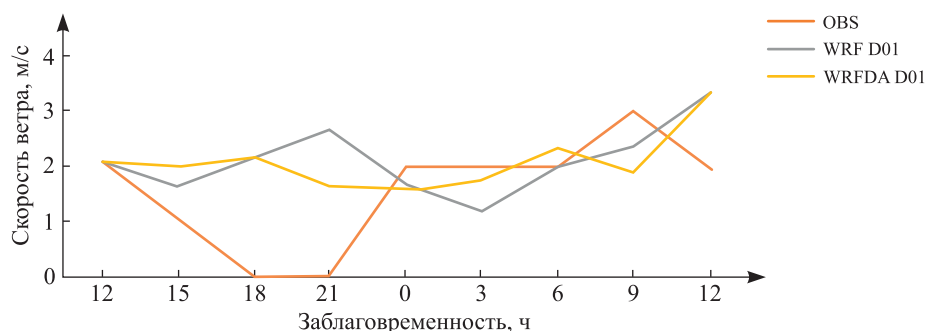


Рис. 3. Прогноз скорости приземного ветра на высоте 10 м, м/с: OBS – наблюдения на станции Мозыря; WRF D01 – без ассимиляции; WRFDA D01 – с ассимиляцией. 26.01.2019 г.

Fig. 3. Wind speed forecast on the height 10 m, m/s: OBS – Mozyr station observations; WRF D01 – without assimilation; WRFDA D01 – with assimilation. 26.01.2019

Таблица 3

Статистическая оценка прогноза явления осадков для лета (+3, +6 ч)

Table 3

Statistic verification of precipitation phenomena for summer (+3, +6 h)

Показатели ошибки, %	Без ассимиляции	С ассимиляцией
PC	78	79
POD	85	86
PODN	74	77
FAR	29	27
HK	0,57	0,61

Примером прогноза осадков с ассимиляцией и без нее данных радиолокаторов в летний период может стать случай 02.08.2017 г., когда наблюдалось прохождение активных фронтальных разделов циклона через территорию Беларуси, сопровождавшееся грозами различной интенсивности и шквалистым усилением ветра (рис. 4). Вариант с ассимиляцией (AS) более точно спрогнозировал выпадение осадков по северной части страны. Вариант без ассимиляции (NA) спрогнозировал центры выпадения осадков на значительном удалении – более 150 км от наблюдаемых. Это дает основание говорить о менее точном прогнозе местоположения для моделирования без ассимиляции. На рис. 5 представлен

график распределения прогноза количества выпавших осадков за 12 ч (с ассимиляцией (PRECIP AS) – 15 мм за 12 ч, без ассимиляции (PRECIP NA) – 0 мм за 12 ч).

Вариант без ассимиляции радиолокационных данных спрогнозировал области выпадения осадков на значительном удалении (более 150 км) от наблюдаемых на станции Верхнедвинска.

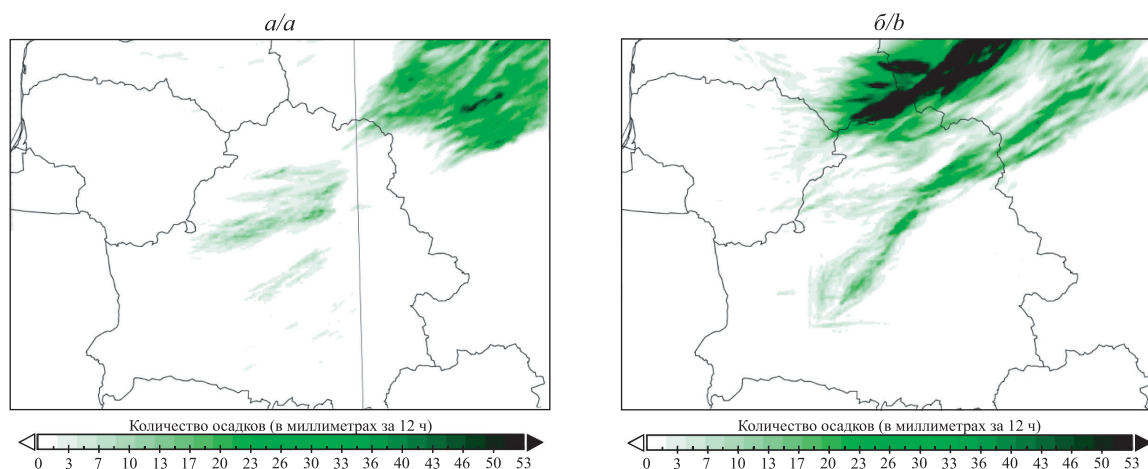


Рис. 4. Карта распределения осадков (в миллиметрах за 12 ч): а – с ассимиляцией данных (AS); б – без ассимиляции (NA). 02.08.2017 г.

Fig. 4. Map of precipitation distribution (in millimeters per 12 h): a – with data assimilation (AS); b – without assimilation (NA). 02.08.2017

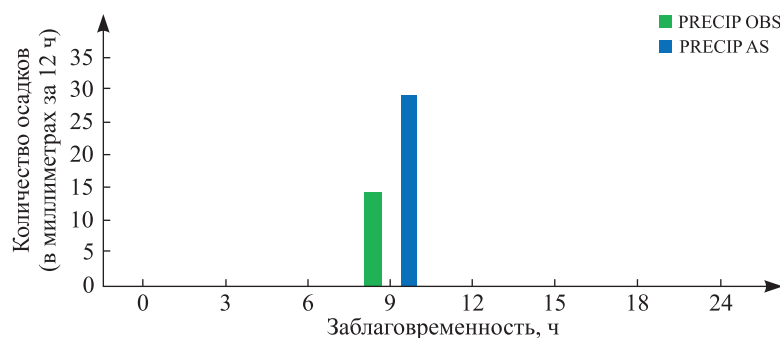


Рис. 5. Распределение количества осадков (PRECIP) с ассимиляцией (AS) и наблюдения на станции (OBS) Верхнедвинска. 02.08.2017 г.

Fig. 5. Precipitation distribution (PRECIP) with assimilation (AS) and observations at the station (OBS) Verkhnedvinsk. 02.08.2017

Наибольший интерес представляют результаты именно MODE-оценки, применяемой для анализа прогнозов высоколокализованных явлений (сильные осадки, сильный ветер, обледенения, турбулентность и др.) [11]. Именно метод MODE позволяет выполнить не только количественную оценку (оправдался – 100 %, не оправдался – 0 %), но и качественную (насколько близко было пространственное распределение поля осадков к реальному) [13]. Основным источником наблюдений проверки для выделенных объектов являются радиолокационные данные.

В 70 % случаев моделирования на территории Беларуси отмечались сильные осадки. Ассимиляция данных позволила спрогнозировать локализацию областей выпадения осадков значительно ближе к реальной и снизить количество ложных тревог, а также скорректировать пространственное распределение и ориентацию облачных систем, продуцирующих осадки. При этом оба варианта (с ассимиляцией и без нее) в 57 % промоделированных случаев дали превышение количества выпавших осадков над наблюдаемыми. Положительный эффект имел место только на первые 6–12 ч прогноза с ассимиляцией, это объясняется необходимостью учета новых данных для уточнения сформированной погодной ситуации в более поздние часы, особенно в летний период. Стоит отметить, что большинство используемых в мировой практике систем ассимиляции работают в циклическом режиме, с притоком новых метеорологических данных между основными сроками прогноза моделей (00; 06; 12; 18 ч UTC).

В случае сильных осадков (24.08.2017) ассимиляция данных позволила более точно спрогнозировать второй пик их выпадения. Прогноз скорости ветра и его порывов является одним из наиболее сложных по прогнозированию параметров. Анализ распределения ошибок прогноза скорости ветра на высоте 10 м показал абсолютное улучшение в варианте с ассимиляцией: наименьшая средняя ошибка прогноза с ассимиляцией составила на +15 ч прогноза 1,5 м/с, наибольшая достигала на +18 ч прогноза 3,6 м/с.

Оценка показателей отношения площадей наблюдаемых зон осадков к смоделированным для варианта с ассимиляцией радиолокационных данных – 2,5, без усвоения – 0,4, что говорит о более точном прогнозе площади выпадения сильных осадков и уменьшении показателя ложных тревог в случае с ассимиляцией для летнего периода (24.08.2017) (рис. 6). Прогноз местоположения оказался более точным в варианте с ассимиляцией данных: 4 объекта из 10 находились на расстоянии менее 50 км от реальных. Для сравнения: без ассимиляции в радиусе 50 км обнаружен только 1 объект (табл. 4).

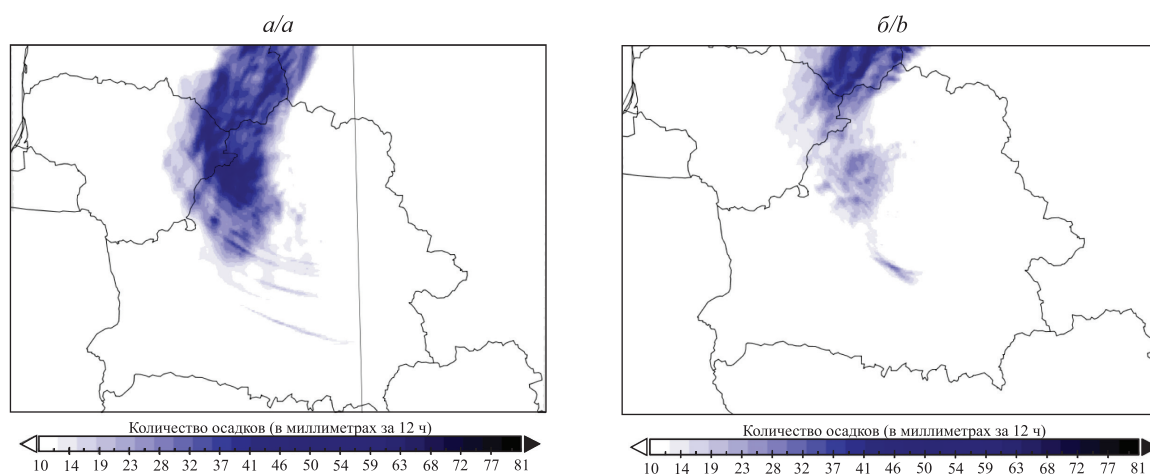


Рис. 6. Карты зон осадков для MODE-оценки: а – без ассимиляции; б – с ассимиляцией. 24.08.2017 г.

Fig. 6. Maps of precipitation areas for MODE verification: a – without assimilation; b – with assimilation. 24.08.2017

Таблица 4

Результаты MODE-оценки прогноза местоположения и количества осадков для территории Беларуси (область D02, +3 ч, 24.08.2017)

Table 4

The results of MODE verification of precipitation forecast for the territory of the Republic of Belarus (region D02), +3 h, 24.08.2017)

Критерии MODE-оценки	OBS	WRF	WRFDA
Количество объектов	8	9	10
Отношение площадей наблюдаемых зон осадков к смоделированным	–	0,4	2,5
Интенсивность, мм/ч	6	0,2	11
Удаленность менее чем на 100 км	–	2	4
Удаленность менее чем на 50 км	–	1	4

Комплексный анализ случаев моделирования погодных условий на территории Беларуси в различные сезоны года говорит о возможности использования результатов исследования для прогноза опасных явлений, связанных с конвекцией (осадки, ветер) в летний период.

Результаты работы системы мезомасштабного прогнозирования с ассимиляцией радиолокационных данных на базе модели WRF могут быть использованы в компоненте «прогностический радар» (наукастинг) системы «ГИС-метео». Современные системы наукастинга используют прогнозы численных моделей с ассимиляцией радиолокационных и спутниковых данных, что позволяет преодолеть «разо-

грев» гидродинамической модели (спинап) на первых часах прогнозирования, связанный с несогласованностью метеорологических начальных полей, и уменьшить ошибку прогноза локализации облачных структур и зон осадков [14].

При прогнозе положения зон осадков и опасных явлений погоды (ливни, грозы, град) в компоненте «прогностический радар» применяется траекторная модель, построенная на изобарической поверхности, соответствующей уровню максимальной отражательной способности ДМРЛ. Для прогноза перемещения грозовых ячеек используется параметр конвергенции потока влаги в приземном слое (MFC) [15]. Удельное влагосодержание рассчитывается по данным об относительной влажности на уровне станции, учет ветра производится в модели пограничного слоя.

Заключение

Представлены варианты использования результатов прогнозов численной мезомасштабной модели WRF-ARW с ассимиляцией радиолокационного ветра и отражаемости для прогноза опасных явлений погоды на территории Беларуси. Авторами был проведен ряд численных экспериментов (2017–2020) и сделаны статистическая и объектно ориентированная оценки (MODE) влияния ассимилированных данных на результаты прогноза.

Оценка результатов моделирования случаев опасных и неблагоприятных явлений погоды на территории Беларуси с помощью двух различных подходов показала положительное влияние на прогноз приземного ветра и осадков. Прогноз ветра (+6 ч) улучшился за счет уменьшения среднеквадратической ошибки на 0,92 м/с. Статистическая оценка прогноза осадков показала улучшение общей оправдываемости прогнозов на 1 % для варианта с ассимиляцией радиолокационных данных в летний период [16]. Кроме того, объектно ориентированный анализ продемонстрировал сокращение площадей зон выпадения сильных осадков и более корректное расположение данных зон по сравнению с вариантом без ассимиляции. При этом оба варианта показали завышение прогнозируемых площадей зон осадков (ложные тревоги) относительно наблюдаемых с помощью ДМРЛ. Разработанная система прошла предварительное тестирование в Белгидромете и рекомендуется к использованию для уточнения прогнозов ветра и осадков в летний период на территории Беларуси. Тестирование в системе наукастинга Белгидромета показало, что полученные прогнозы модели WRF с ассимиляцией данных могут успешно применяться в качестве исходных в компоненте «прогностический радар» комплекса «ГИС-метео».

Библиографические ссылки

1. Gustafsson N, Janjic T, Schraff C, Leuenberger D, Weissmann M, Reich H, et al. Survey of data assimilation methods for convective-scale numerical weather prediction at operational centres. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. 2018;144:1218–1256. DOI: 10.1002/qj.3179.
2. Готюр ИА, Девяткин АМ, Жуков ВЮ, Кулешов ЮВ, Щукин ГГ. Информационные возможности доплеровских метеорологических радиолокаторов с двойной поляризацией. *Ученые записки РГГМУ*. 2013;32:66–82.
3. Зайко ПО. Система усвоения наземных и аэрологических наблюдений в мезомасштабную численную модель WRF-ARW в Белгидромете. *Природные ресурсы*. 2019;1:89.
4. Vulpiani G, Montopoli M, Passeri LD, Gioia AG, Giordano P, Marzano FS. On the use of dual-polarized C-band radar for operational rainfall retrieval in mountainous areas. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*. 2012;51(2):405–425. DOI: 10.1175/JAMC-D-10-05024.1.
5. Crisologo I, Vulpiani G, Abon CC, David CPC, Bronstert A, Heistermann M. Polarimetric rainfall retrieval from a C-band weather radar in a tropical environment (The Philippines). *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*. 2014;50(1):595–607. DOI: 10.1007/s13143-014-0049-y.
6. Зайко ПО. Ассимиляция метеорологических данных в мезомасштабную численную модель WRF-ARW в Республике Беларусь. *East European Scientific Journal*. 2020;55(2):4–12.
7. Ипатов ВМ, Шутяев ВП. *Алгоритмы и задачи ассимиляции данных для моделей динамики атмосферы и океана*. Долгопрудный: МФТИ; 2013. 30 с.
8. Логинов ВФ, Бровка ЮА, Микуцкий ВС. Изменение климата, экстремальных погодных и климатических явлений и их связь с типами циркуляции атмосферы Северного полушария по Б. Л. Дзерdzeевскому. *Природопользование*. 2013;24:5–10.
9. Skamarock WC, Klemp JB, Dudhia J, Gill DO, Barker DM, Duda MG, et al. *A description of the Advanced Research WRF Version 3 (No. NCAR/TN-475+STR)*. Boulder: National Center for Atmospheric Research; 2008. 125 p. DOI: 10.5065/D68S4MVH.
10. Деменцова ИА и др., составители. *Методическое пособие по верификации мезомасштабных прогнозов*. Минск: Белгидромет; 2014. 35 с.
11. Зарипов РБ, Павлюков ЮБ, Шумилин АА, Травов АВ. Использование радиолокационной информации при оценке прогноза погоды с высоким разрешением. *Гидрометеорологические исследования и прогнозы*. 2018;2:60–86.
12. Шлендер ТВ, Жучкевич ВВ, Красовский АН. Региональное влияние стратосферных процессов в формировании погоды и климата Республики Беларусь по данным мониторинга. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология*. 2018;2:25–38.

13. Павлюков ЮБ, Зарипов РБ, Лукьянов АН, Шестакова АА, Шумилин АА, Травов АВ. Оценка информативности радиолокационных данных при анализе состояния атмосферы в Московском регионе. *Метеорология и гидрология*. 2017;6:5–21.
14. Иванова АР, Шакина НП. Перспективы развития наукастинга для метеорологического обеспечения авиации в рамках реализации Глобального аэронавигационного плана (ГАНП). *Труды Гидрометцентра России*. 2016;360:113–134.
15. Юсупов ЮИ. Наукастинг в технологии ГИС-метео. *Метеоспектр*. 2015;1:43–49.
16. Borderies M, Caumont O, Delanoë J, Ducrocq V, Fourrie N, Marquet P. Impact of airborne cloud radar reflectivity data assimilation on kilometre-scale numerical weather prediction analyses and forecasts of heavy precipitation events. *Natural Hazards Earth System Sciences*. 2019;19(4):907–926. DOI: 10.5194/nhess-19-907-2019.

References

1. Gustafsson N, Janjic T, Schraff C, Leuenberger D, Weissmann M, Reich H, et al. Survey of data assimilation methods for convective-scale numerical weather prediction at operational centres. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. 2018;144:1218–1256. DOI: 10.1002/qj.3179.
2. Gotyur IA, Deviatkin AM, Zhukov VY, Kuleshov UV, Shchukin GG. The informational capabilities of doppler weather radar with dual polarization. *Uchenye zapiski RGGMU*. 2013;32:66–82. Russian.
3. Zaiko PO. [System of assimilation of ground and upper-air observations into the mesoscale numerical model WRF-ARW at Belhydromet]. *Prirodnye resursy*. 2019;1:89. Russian.
4. Vulpiani G, Montopoli M, Passeri LD, Gioia AG, Giordano P, Marzano FS. On the use of dual-polarized C-band radar for operational rainfall retrieval in mountainous areas. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*. 2012;51(2):405–425. DOI: 10.1175/JAMC-D-10-05024.1.
5. Crisologo I, Vulpiani G, Abon CC, David CPC, Bronstert A, Heistermann M. Polarimetric rainfall retrieval from a C-band weather radar in a tropical environment (The Philippines). *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*. 2014;50(1):595–607. DOI: 10.1007/s13143-014-0049-y.
6. Zaiko PO. Meteorological data assimilation in mesoscale numerical model WRF-ARW in the Republic of Belarus. *East European Scientific Journal*. 2020;55(2):4–12. Russian.
7. Ipatova VM, Shutyayev VP. *Algoritmy i zadachi assilyatsii dannykh dlya modelei dinamiki atmosfery i okeana* [Algorithms and data assimilation problems for models of atmospheric and oceanic dynamics]. Dolgoprudny: Moscow Institute of Physics and Technology; 2013. 30 p. Russian.
8. Loginov VE, Brovka JA, Mikutskiy VS. Change of climate, extreme weather and climatic phenomena and their link with types of atmospheric circulation of Northern hemisphere by B. L. Dzerdzeevskii. *Prirodopol'zovanie*. 2013;24:5–10. Russian.
9. Skamarock WC, Klemp JB, Dudhia J, Gill DO, Barker DM, Duda MG, et al. *A description of the Advanced Research WRF Version 3 (No. NCAR/TN-475+STR)*. Boulder: National Center for Atmospheric Research; 2008. 125 p. DOI: 10.5065/D68S4MVH.
10. Dementsova IA, et al., compilers. *Metodicheskoe posobie po verifikatsii mezomasshtabnykh prognozov* [Methodological guide for verification of mesoscale forecasts]. Minsk: Belgydromet; 2014. 35 p. Russian.
11. Zariyov RB, Pavlyukov YuB, Shumilin AA, Travov AV. Application of radar information for verification of the high-resolution numerical weather prediction. *Gidrometeorologicheskie issledovaniya i prognozy*. 2018;2:60–86. Russian.
12. Shlender TV, Zhuchkevich VV, Krasouski AN. Regional influence of stratospheric processes in the formation of weather and climate of the Republic of Belarus employing monitoring data. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology*. 2018;2:25–38. Russian.
13. Pavlyukov YB, Zariyov RB, Luk'yanov AN, Shestakova AA, Shumilin AA, Travov AV. The impact of radar data assimilation on atmosphere state analysis in the Moscow region. *Meteorologiya i gidrologiya*. 2017;6:5–21. Russian.
14. Ivanova AR, Shakina NP. Future development of nowcasting for aviation meteorological service in the framework of Global aeronavigation plan (GANP) implementation. *Trudy Gidromettsentra Rossii*. 2016;360:113–134. Russian.
15. Yusupov YuI. [Naukasting v tekhnologii GIS Meteo]. *Meteospekt*. 2015;1:43–49. Russian.
16. Borderies M, Caumont O, Delanoë J, Ducrocq V, Fourrie N, Marquet P. Impact of airborne cloud radar reflectivity data assimilation on kilometre-scale numerical weather prediction analyses and forecasts of heavy precipitation events. *Natural Hazards Earth System Sciences*. 2019;19(4):907–926. DOI: 10.5194/nhess-19-907-2019.

Статья поступила в редколлегию 04.08.2020.
Received by editorial board 04.08.2020.

УДК 551.5

АНАЛИЗ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ В УСЛОВИЯХ ОБЛЕДЕНЕНИЯ И ГОЛОЛЕДА

Ю. А. ГЛЕДКО¹⁾, Е. С. БЕРЕЖКОВА²⁾

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

²⁾Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды, пр. Независимости, 110, 220114, г. Минск, Беларусь

Исследована проблема обеспечения безопасности воздушных судов на территории Республики Беларусь и непосредственно на территории аэродрома Минск. Обледенение и гололед – одни из наиболее опасных метеорологических явлений для авиации. В целях предупреждения авиационных происшествий, связанных с ними, необходимо иметь четкое представление о закономерностях их возникновения и распределения, а также об их взаимосвязи между собой. Для исследования пространственно-временных закономерностей распределения гололеда выполнена обработка фактических метеорологических данных Белгидромета за 1989–2016 гг. по всем метеорологическим станциям Республики Беларусь. Построены и проанализированы графики хронологического хода среднемесячного количества дней с гололедом и среднегодового количества дней с гололедом по всем метеорологическим станциям на территории Республики Беларусь за вышеуказанный период. Изучена тенденция изменения среднегодового количества дней с гололедом за 1989–2016 гг. По данным авиационной метеорологической станции гражданской «Минск», проведен анализ обледенения за 2014–2018 гг. Рассмотрены сопутствующие метеорологические элементы, такие как форма облаков, направление и сила ветра, температура воздуха, а также синоптическая ситуация. Карта пространственно-временного распределения гололеда построена с помощью ArcGIS методом равных интервалов.

Ключевые слова: авиационная метеорология; обледенение воздушного судна; гололед; безопасность полетов; обледенение.

ANALYSIS OF THE METEOROLOGICAL SITUATION IN THE CONDITIONS OF ICING AND ICE

Y. A. HLEDKO^a, K. S. BERAZHKOVA^b

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

^bRepublican Center for Hydrometeorology of Radioactive Contamination and Environmental Monitoring,
110 Niezaliežnasci Avenue, Minsk 220114, Belarus

Corresponding author: K. S. Berazhkova (katarina0704@tut.by)

The article is devoted to the study of the problem of ensuring the safety of aircraft on the territory of the Republic of Belarus and, directly, on the territory of the Minsk airfield. Icing and ice are some of the most dangerous meteorological

Образец цитирования:

Гледко ЮА, Бережкова ЕС. Анализ метеорологической обстановки в условиях обледенения и гололеда. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология.* 2020;2:14–25.
<https://doi.org/10.33581/2521-6740-2020-2-14-25>

For citation:

Hledko YA, Berazhkova KS. Analysis of the meteorological situation in the conditions of icing and ice. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology.* 2020;2:14–25. Russian.
<https://doi.org/10.33581/2521-6740-2020-2-14-25>

Авторы:

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

Екатерина Сергеевна Бережкова – ведущий инженер-синоптик.

Authors:

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

hledko@bsu.by

Katsiaryna S. Berazhkova, leading engineer-forecaster.
katarina0704@tut.by

phenomena for aviation. In order to prevent accidents related to these phenomena, it is necessary to have a clear idea of the laws of their occurrence and distribution, as well as their relationship to each other. To study the spatial and temporal patterns of ice distribution, the actual meteorological data of Belhydromet for 1989–2016 were processed at all meteorological stations of the Republic of Belarus. Also, charts of the chronological progress of the average monthly number of days with ice and the average annual number of days with ice at all meteorological stations on the territory of the Republic of Belarus for the above period were constructed and analyzed. The tendency to change the average annual number of days with ice over the period from 1989 to 2016 is analysed. The icing analysis for 2014–2018 was also carried out according to the data of the Civil Aviation Meteorological Station «Minsk». The accompanying meteorological elements, such as the shape of the clouds, the direction and strength of the wind, air temperature, as well as the synoptic situation, are analysed. The map of the spatio-temporal distribution of ice is constructed using *ArcGIS* by the method of equal intervals.

Keywords: aviation meteorology; icing of aircraft; ice; flight safety; icing.

Введение

Возникновение обледенения¹ и гололеда на территории аэродрома создает опасность для совершения взлета-посадки воздушного судна. При наличии данных явлений оно крайне редко сможет совершить посадку и в 99 % случаев уходит на запасной аэродром. Однако обледенение и гололед оказывают негативное влияние не только на воздушные суда, но и наземные объекты, в частности на наземные инженерные сооружения аэродрома. При этом создается определенный ряд трудностей в обеспечении полетов гражданской авиации, безаварийной эксплуатации авиационной техники и других транспортных средств. Поддержание в эксплуатационном состоянии аэродромных и дорожных покрытий в данных условиях влечет за собой увеличение затрат, материальных и людских ресурсов. В целом данная ситуация может оказывать негативное воздействие на регулярность, эффективность и безопасность полетов воздушных судов. Степень ущерба снижается при своевременном доведении информации метеорологическим органом до потребителей. Проблеме наземного обледенения (гололедообразования) посвящен большой цикл работ отечественных и зарубежных авторов, особенно в 1970–80-х гг. Однако, несмотря на определенные научные и технические достижения в ее решении, имеются задачи, которые требуют совершенствования знаний о физических процессах обледенения наземных объектов, выявления и учета факторов, способствующих возникновению этого явления.

Цель исследования – проведение анализа метеорологической обстановки в условиях обледенения и гололедных явлений на территории Республики Беларусь.

К основным задачам относятся:

- анализ метеорологических условий и синоптической ситуации, обуславливающих возникновение обледенения;
- изучение взаимосвязи возникновения гололедных явлений и обледенения воздушных судов на территории авиационной метеорологической станции гражданской «Минск»;
- изучение закономерностей пространственно-временного распределения гололедных явлений на территории Беларуси.

Методика исследования

В Республике Беларусь вопросам пространственно-временного распределения гололедных явлений уделялось немало внимания [2; 3]. Следует отметить, что исследования носили агрометеорологическое направление, их результаты нашли широкое применение в сельском хозяйстве. Однако при этом не изучалась область авиационной метеорологии, что снижало уровень метеорологического обслуживания полетов гражданской авиации, обеспечивающего безопасность. А также не была проанализирована связь метеорологических условий возникновения гололеда на взлетно-посадочной полосе и обледенения воздушных судов на территории аэродрома Минск. В зарубежных странах проводились исследования обледенения воздушных судов [4; 5]. Полученные результаты применимы для подготовки к осенне-зимнему навигационному периоду диспетчерского и летного составов.

В данном исследовании авторы использовали такие методы, как исторический, аналитический, радиолокационный, статистический и математический (частотный и факторный анализы), а также методы изучения и обобщения отечественной и зарубежной практики, сравнения, классификации и метод равных интервалов в *ArcGIS*.

¹Руководство по противообледенительной защите воздушных судов на земле (Doc9640-AN/940) [Электронный ресурс]. 2-е изд. [Б. м.] : Международная организация гражданской авиации, 2000. 38 с. URL: <https://docplayer.ru/29563011-Rukovodstvo-pro-protivoobledenitelnoy-zashchite-vozdushnyh-sudov-na-zemle.html> (дата обращения: 21.02.2017).

Для анализа и составления пространственно-временной карты гололедных явлений применялись фактические метеорологические данные Белгидромета за 1989–2016 гг. по 49 метеорологическим станциям (рис. 1). Исследование синоптической ситуации, сопутствующей обледенению, а также взаимосвязи гололедных явлений и обледенения воздушных судов в приземном слое проводилось на основании фактических данных за 2014–2018 гг. (этот период использован в связи с отсутствием базы более ранних наблюдений на аэродроме Минск).

Полученные материалы были обработаны с помощью статистических и математических методов, позволивших получить достоверные пространственно-временные характеристики пространственно-временного распределения изучаемых опасных явлений и представить их в виде графиков, диаграмм, таблиц [6].

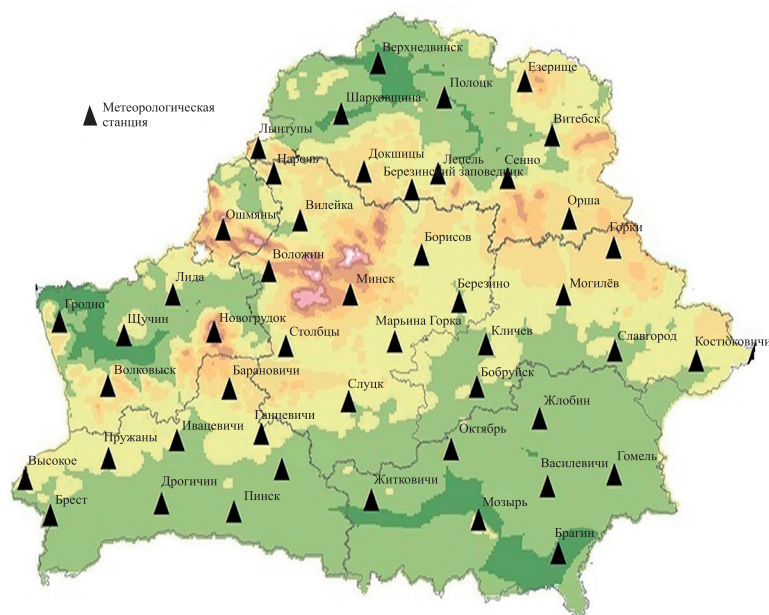


Рис. 1. Схема расположения метеорологических станций Белгидромета (составлена по данным информационно-справочного портала *Pogoda.by* за 2016 г.)

Fig. 1. Layout of meteorological stations of Belhydromet (compiled by the author based on Belhydromet data for 2016)

Подбор и обработка фактических метеорологических данных Белгидромета проводились в соответствии с метеорологическими сроками в электронном виде. Визуализация фактических метеорологических данных выполнена с помощью программного продукта *ArcGIS* методом равных интервалов.

Результаты исследования и их обсуждение

К опасным для авиации явлениям погоды, связанным с замерзающими осадками, относятся обледенение и гололед.

Обледенение – одно из наиболее неблагоприятных метеорологических явлений, от которого зависит безопасность и регулярность полетов воздушных судов. Обледенение представляет собой любое отложение или покрытие изо льда на поверхности воздушного судна, вызванное столкновением и замерзанием жидких гидрометеоров. Данные отложения льда могут создать угрозу безопасности полета и даже привести к опасному происшествию. В результате обледенения ухудшаются аэродинамические и летные характеристики самолетов:

- уменьшается подъемная сила;
- снижаются потолок и максимальная скорость полета;
- понижается вертикальная скорость набора высоты;
- возрастает потребная мощность для полета на заданной скорости;
- увеличивается расход топлива [7].

Причинами обледенения являются два основных процесса:

1) сублимация водяного пара на поверхности воздушных судов (образуется в тех случаях, когда температура поверхности воздушного судна ниже температуры воздуха). Данное отложение льда не является существенным;

2) замерзание переохлажденных капель, сталкивающихся с лобовыми частями воздушного судна при полете в облаках, осадках, тумане.

Для обоих случаев обязательным условием является отрицательная температура поверхности самолета.

Отложения льда могут вызвать нарушение работы карбюратора, приемника воздушного давления, воздухозаборников, стабилизатора и др. В результате обледенения крыла нарушается нормальное обтекание его воздушным потоком, происходит преждевременный срыв потока и снижение подъемной силы крыла, образуется на передней кромке стабилизатора лед, ухудшается устойчивость самолета и управляемость им в режиме предпосадочного планирования. Из-за обледенения наружных антенн нарушается радиосвязь. Лед на окнах кабины сильно ухудшает обзор, затрудняет заход на посадку и саму посадку. При обледенении воздухозаборников могут повреждаться элементы конструкции двигателей. Попадание льда в компрессор некоторых типов газотурбинных двигателей может привести к их самопроизвольному выключению.

В зависимости от типа самолета варьируется чувствительность к обледенению. Воздушные суда с поршневыми и турбовинтовыми двигателями в наибольшей степени подвержены обледенению, а современные реактивные самолеты – в наименьшей. Если обледенение наблюдается в полете, то чаще всего льдом покрываются лобовые части деталей воздушных судов, а во время стоянки на земле – верхние части крыльев, хвостовое оперение, фюзеляж и лопасти винтов вертолета [8].

На основе данных с авиационной метеорологической станции гражданской «Минск» на территории аэродрома в 2014–2018 гг. было зафиксировано 917 случаев обледенения воздушных судов, из которых только 48 произошли в приземном слое, т. е. 869 случаев – во время полета, а это 95 % всех случаев.

В зависимости от интенсивности обледенения воздушного судна выделяются следующие его типы:

- слабое – скорость отложения не более 0,5 мм/мин, скорость нарастания льда может создавать проблемы, если полет в таких условиях продолжается более 1 ч;
- умеренное – скорость отложения от 0,5 до 1,0 мм/мин, скорость нарастания льда такова, что даже кратковременное обледенение потенциально опасно и необходимо применение антиобледенительного оборудования;
- сильное – скорость отложения более 1,0 мм/мин, скорость нарастания льда такова, что применения антиобледенительного оборудования недостаточно, необходим немедленный выход самолета из зоны обледенения.

Количество случаев обледенения воздушных судов и их процентное соотношение за 2014–2018 гг. представлены на рис. 2 и 3.

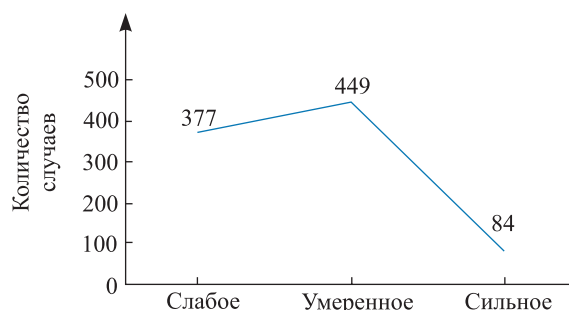


Рис. 2. Количество случаев обледенения воздушных судов (2014–2018)

Fig. 2. The number of aircraft icing events and specific gravity (2014–2018)

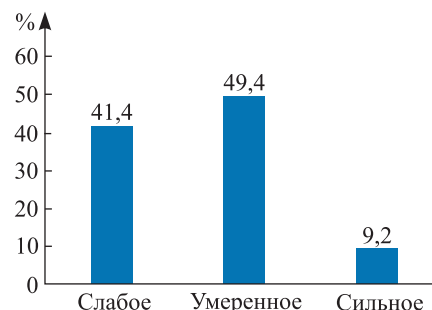


Рис. 3. Удельный вес случаев обледенения воздушных судов (2014–2018)

Fig. 3. The proportion of aircraft icing cases (2014–2018)

Анализируя рис. 2 и 3, можно отметить, что наибольшее количество случаев обледенения (49,4 %), зафиксированных на аэродроме Минск, приходится на обледенение с умеренной интенсивностью, немногим менее (41,4 %) – на обледенение со слабой интенсивностью, которое не считается опасным для движения воздушных судов. В этих случаях не выписываются предупреждения по аэродрому и не вносятся информация в полетную документацию. Наиболее опасно обледенение с сильной интенсивностью, оно составляет 9,2 %, однако данное явление случается намного реже.

Среднемесячное распределение случаев обледенения за 2014–2018 гг. и их удельный вес представлены на рис. 4 и 5 соответственно. Количественные показатели указаны в табл. 1.

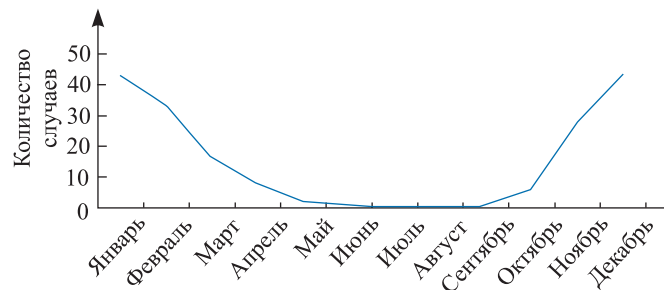


Рис. 4. Среднемесячное количество случаев обледенения за 2014–2018 гг.

Fig. 4. The average monthly number of icing events for the period from 2014 to 2018

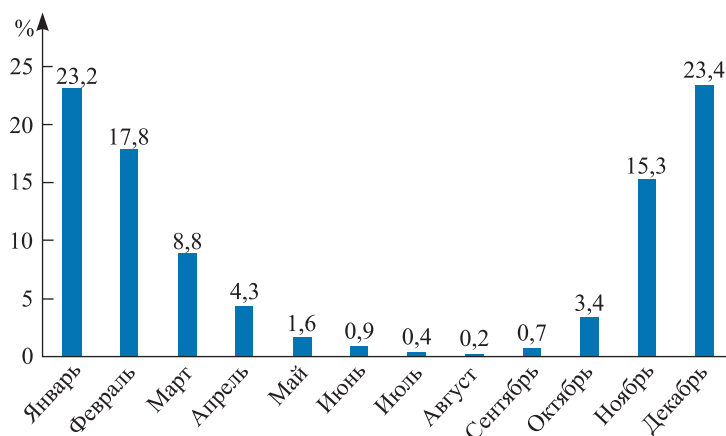


Рис. 5. Удельный вес среднемесячного количества случаев обледенения воздушных судов (2014–2018)

Fig. 5. Percentage of average monthly number of aircraft icing events (2014–2018)

В результате анализа рис. 4 и 5 можно сделать вывод о том, что общая тенденция среднемесячного количества случаев с обледенением воздушных судов за год не меняется. Количественные различия наблюдаются только в зимние месяцы: максимальное число случаев зафиксировано в январе и декабре – 213 и 215 соответственно. И наоборот – в теплые месяцы случаи обледенения редки, минимальный показатель зарегистрирован в августе. За 5 лет было отмечено всего 2 случая (0,2 %) обледенения.

Синоптические условия, являющиеся причиной обледенения, связаны в первую очередь с развитием фронтальной облачности. Во фронтальных облаках вероятность умеренного и сильного обледенения в несколько раз больше по сравнению с внутримассовыми облаками. Сильное обледенение отмечается в узкой полосе шириной 150–200 км вблизи линии фронта у земной поверхности. В зоне активных теплых фронтов сильное обледенение наблюдается в 300–350 км от линии фронта. Во внутримассовых облаках вертикального развития может встречаться как умеренное, так и сильное обледенение [9].

Анализ облачности, сопутствующей обледенению воздушных судов, представлен в табл. 1 и на рис. 6.

Таблица 1

Формы облаков при обледенении (2014–2018)

Table 1

The shapes of the clouds during icing (2014–2018)

Формы облаков		Последствия	Число случаев	%
СВ	Кучево-дождевые	Возможен сильный прозрачный лед	186	19,2
Ас	Высококучевые	Изморозь от легкой до умеренной	62	6,4
Sc	Слоисто-кучевые	Умеренный иней, когда уровень замерзания достаточно низкий	348	35,9

Окончание табл. 1
Ending table 1

Формы облаков		Последствия	Число случаев	%
Ns	Слоисто-дождевые	Умеренная смешанная глазурь на нижних уровнях	154	15,8
St	Слоистые	Нет угрозы обледенения или легкий иней	220	22,7
Итого			970	100

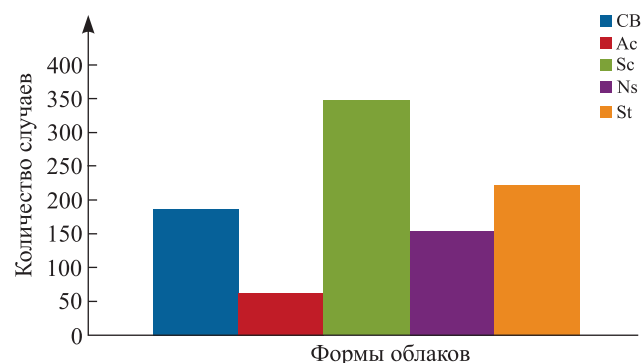


Рис. 6. Формы облаков, сопутствующие случаям обледенения (2014–2018)

Fig. 6. Cloud shapes associated with icing events (2014–2018)

В табл. 1 представлены различные формы облаков, которые являлись сопутствующими при случаях обледенения и были представлены как в качестве доминантных, так и в совокупности с другими. Из табл. 1 и рис. 6 видно, что наиболее часто сопровождающими обледенение облаками являются слоисто-кучевые. Реже других в этом случае отмечаются высококучевые облака.

Для более детального рассмотрения зависимости наличия и интенсивности обледенения от синоптической ситуации были рассмотрены все случаи возникновения явления (2014–2018), они представлены в табл. 2 и на рис. 7.

Как видно из табл. 2, оптимальные условия для образования сильного обледенения воздушных судов наблюдаются во фронтальных облаках (80 %). Во внутримассовых облаках преобладает слабое и умеренное обледенение (20 %).

Для более детального рассмотрения метеорологических условий необходимо проанализировать преобладающее направление ветра во время обледенения воздушных судов. С этой целью была построена роза ветров (рис. 8).

Таблица 2

Удельный вес разной интенсивности обледенения самолетов при различных синоптических ситуациях (2014–2018), %

Table 2

The specific gravity of different intensities of icing of airplanes in various synoptic situations (2014–2018), %

Синоптическая ситуация	Интенсивность обледенения				Удельный вес в общем объеме случаев обледенения, %
	Общее количество случаев обледенения в соответствии с синоптической ситуацией	Слабое	Умеренное	Сильное	
<i>Фронтальные облака</i>					
Теплый фронт	100	44	49	7	30
Теплый сектор	100	39	54	7	5
Холодный фронт	100	37	52	11	25
Фронт окклюзии	100	40	50	10	20
Итого					80

Окончание табл. 2
 Ending table 2

Синоптическая ситуация	Интенсивность обледенения			Удельный вес в общем объеме случаев обледенения, %	
	Общее количество случаев обледенения в соответствии с синоптической ситуацией	Слабое	Умеренное		Сильное
<i>Внутримассовые облака</i>					
Циклон	100	61	29	10	4
Антициклон	100	42	52	6	6
Седловина	100	43	43	14	7
Передняя часть ложбины	100	33	53	14	2
Тыловая часть ложбины	100	30	62	8	1
Итого					20

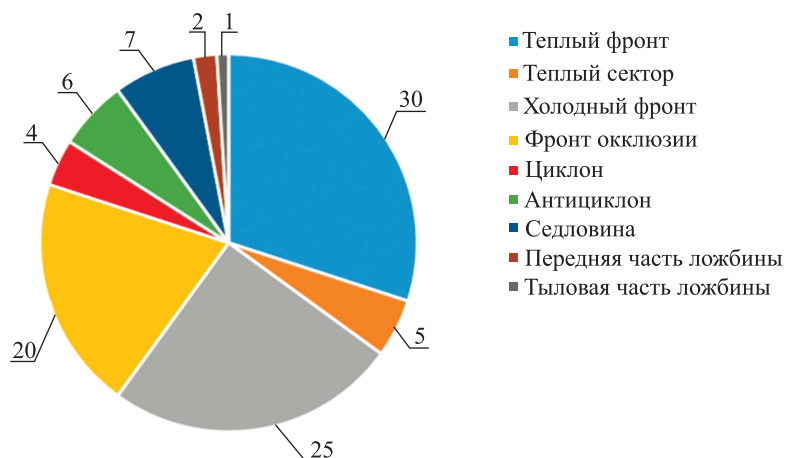


Рис. 7. Удельный вес количества случаев обледенения в зависимости от синоптической ситуации (2014–2018), %

Fig. 7. The proportion of the number of cases of icing, depending on the synoptic situation (2014–2018), %

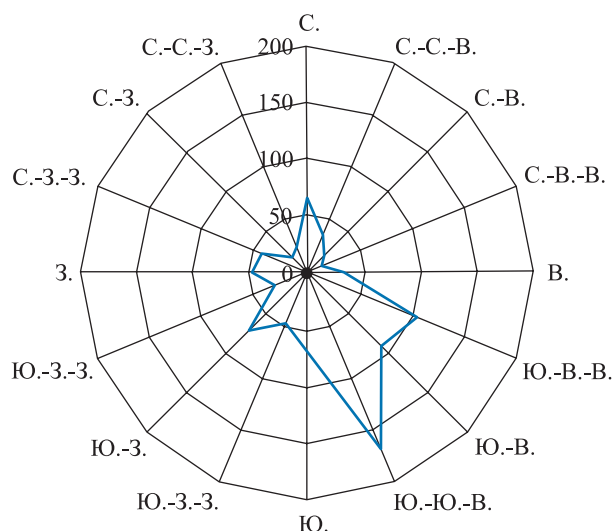


Рис. 8. Роза ветров, сопутствующая случаям обледенения воздушных судов (2014–2018)

Fig. 8. Wind rose associated with aircraft icing (2014–2018)

При анализе рис. 8 видно, что преобладающим направлением ветра в условиях образования обледенения является от юго-востока-востока (107 случаев) до юго-юго-востока (170 случаев), что как раз и есть одна из причин образования ледяной корки (теплый воздух).

Кроме того, обледенение воздушного судна обуславливает наличие отрицательной температуры поверхности воздушного судна и присутствие в воздухе сконденсированной влаги. Помимо этого, температура вместе с размером капель влияет на вид и плотность нарастающего льда.

Согласно экспериментальным данным обледенение воздушного судна чаще всего наблюдается, когда температура воздуха снижается до $-24...-25$ °С. На территории аэродрома Минск обледенение наиболее часто образовывалось при температурах от 0 до -12 °С (табл. 3). Такая температура соответствует жидкокапельным облакам.

Таблица 3

Повторяемость температуры воздуха во время обледенения

Table 3

Repeatability of air temperature during icing of aircraft

Температура воздуха, °С	Количество случаев	Повторяемость, %
>+12	8	0,87
От 0 до +12	235	25,63
От 0 до -12	663	72,30
<-12	11	1,20

Источник: [10].

Чем ниже температура воздуха, тем больше вероятность того, что переохлажденная капля замерзнет при ударе о поверхность самолета, а это приведет к образованию изморози. Обледенение может образовываться, когда температура воздуха фактически выше нуля и температура поверхности самолета ниже нуля. Данное условие может иметь место, если самолет недавно снизился от более низких температур.

Как упоминалось ранее, 20 % случаев обледенения воздушного судна наблюдаются на поверхности земли. Хотя они не так опасны в связи с нахождением воздушного судна в покое и возможностью устранения ледяной корки с помощью обработки специальными растворами, необходимо рассмотреть причины их возникновения. Метеорологические условия появления обледенения у земли схожи с теми, при которых образуется гололед, косвенно влияющий на его возникновение. В целях более детального рассмотрения взаимосвязи таких опасных явлений для авиации, как гололед и обледенение, представлен рис. 9. На нем отображена информация о количестве дней с обледенением и гололедом в январе, феврале, ноябре и декабре 2014–2016 гг.

При анализе рис. 9 видно, что кривые обледенения и гололеда практически идентичны, что говорит о взаимосвязи исследуемых опасных метеорологических явлений. Для построения графика, представленного на рис. 9, использовались количественные показатели случаев наступления опасных явлений.

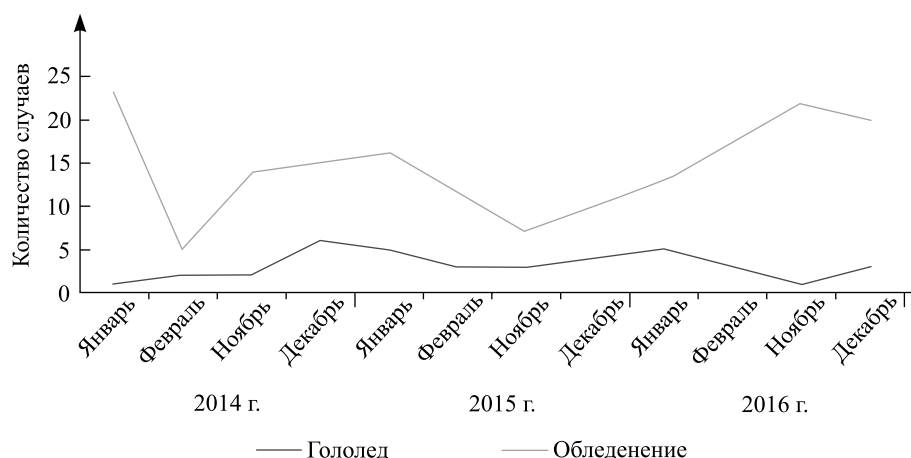


Рис. 9. Количественные показатели опасных явлений (2014–2016)

Fig. 9. Quantitative indicators of hazardous events (2014–2016)

Расчеты, проведенные на основании данных рис. 9, свидетельствуют о том, что на указанный период было отмечено 39 дней с гололедом и 27 дней с обледенением (от земли и выше), что соответствует 70 % наличия опасных явлений. Отсутствие случаев обледенения воздушных судов в остальные 30 % дней с гололедом не говорит об их невозможности, а может быть результатом заблаговременного проведения противообледенительной обработки воздушных судов. К сожалению, фактическое наличие случаев обледенения вне аэродрома зафиксировать практически невозможно, особенно в соответствии с метеорологическими сроками. Однако, опираясь на факт взаимосвязи обледенения и гололеда, можно частично пользоваться картой пространственно-временного распределения гололедных явлений на территории Беларуси.

Гололед – это образование корки льда на поверхности земли, ветках деревьев, проводах и опорах линий электропередач или на любых других поверхностях. Он образуется в результате замерзания атмосферных осадков (дождь, туман, изморозь, мокрый снег или снег с дождем), попадающих на холодную поверхность, которая еще не успела согреться за время кратковременного вторжения теплых воздушных масс. Чаще всего гололед имеет место при южных и юго-западных ветрах. В холодное время гололед образуется вблизи незамерзших водоемов. Иными словами, при формировании гололеда атмосферная влага имеет температуру чуть выше 0 °С, а ветви деревьев, провода, металлические конструкции (или поверхность земли) еще не согрелись и характеризуются отрицательными температурами (от –3 до –15 °С) [9].

Образование гололеда происходит исключительно при перепадах температур. Он опасен для движущихся транспортных средств и людей. Но кроме этого, гололед, обуславливающий ледяные наросты на проводах линий электропередач, создает дополнительные весовые и ветровые нагрузки и может привести к обрыву проводов [2; 3]. Пространственно-временное распределение гололедных явлений по территории республики представлено на рис. 10.

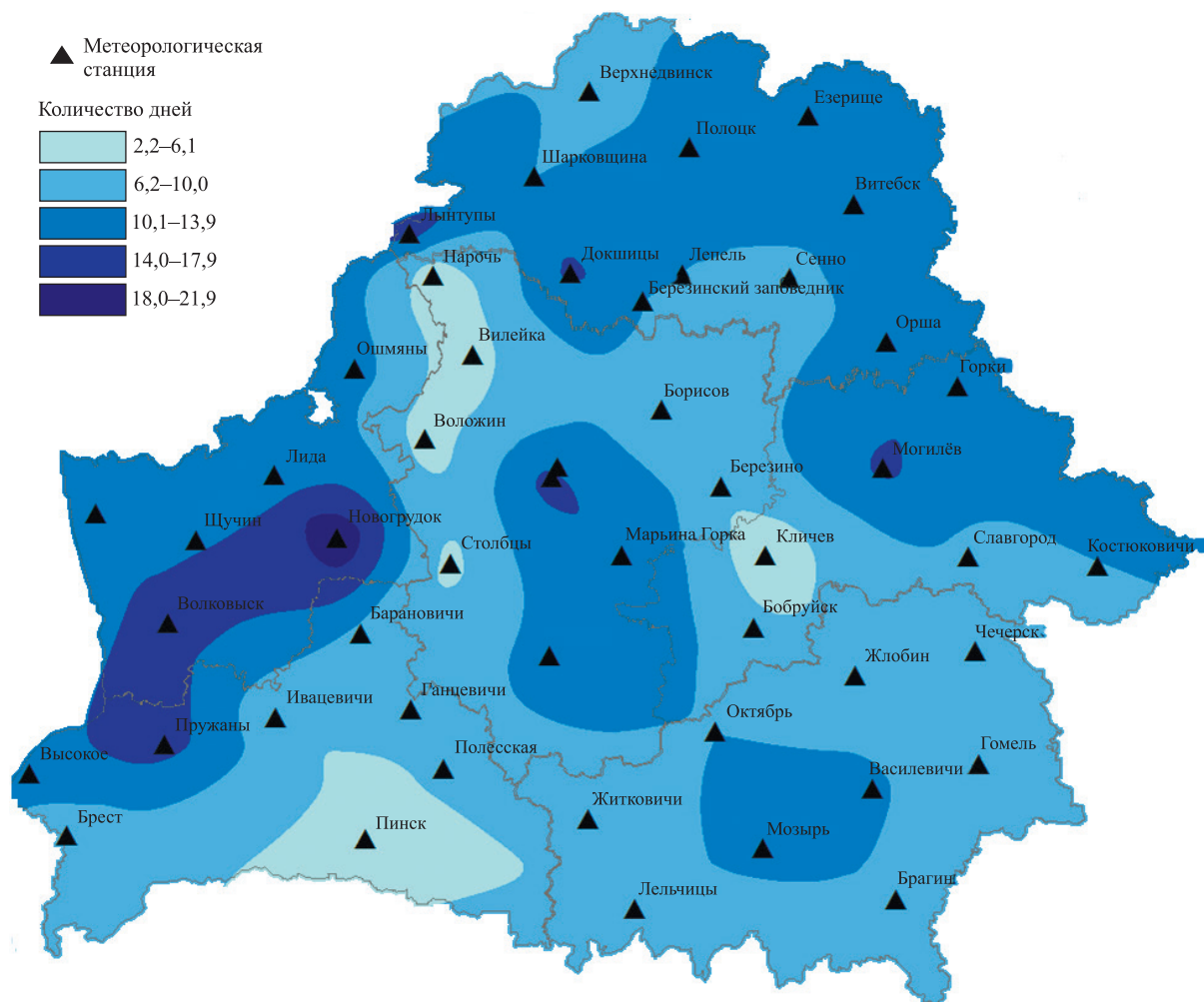


Рис. 10. Пространственное распределение среднегодового количества дней с гололедом по республике (1989–2016)

Fig. 10. Spatial distribution of the average annual number of days with ice in the republic (1989–2016)

Анализируя рис. 10, необходимо отметить, что наиболее частое возникновение гололеда наблюдается на востоке Гродненской области (метеорологическая станция «Новогрудок» – 22,4 дня в году), несколько меньшим показателем характеризуется Могилёвская область, юго-восточная часть Минской и северная часть Гомельской области. Наиболее редко гололед отмечается на метеорологической станции Кличева и длится 2,5 дня в году, примерно такие же показатели характерны для южной части Брестской области, а также северо-западной части Минской области.

На рис. 11 представлен хронологический ход среднемесячного количества дней с гололедом с 1989 по 2016 г.

Гололедные явления наблюдаются в холодное время года. На рис. 11 хорошо видно, что наиболее характерны они для декабря – 3,1 дня, а минимальное их число отмечается в мае и сентябре и составляет 0,001 и 0,004 соответственно благодаря редким понижениям температуры. Среднемесячный показатель – 0,8 дня.

На рис. 12 отражен хронологический ход среднегодового количества дней с гололедом на территории республики за 1989–2016 гг.

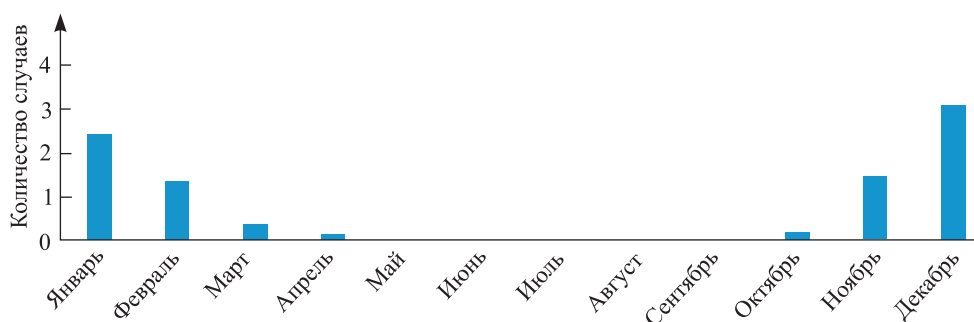


Рис. 11. Хронологический ход среднемесячного количества дней с гололедом по Беларуси (1989–2016)

Fig. 11. Chronological progress of the average monthly number of days with ice in the Republic of Belarus (1989–2016)

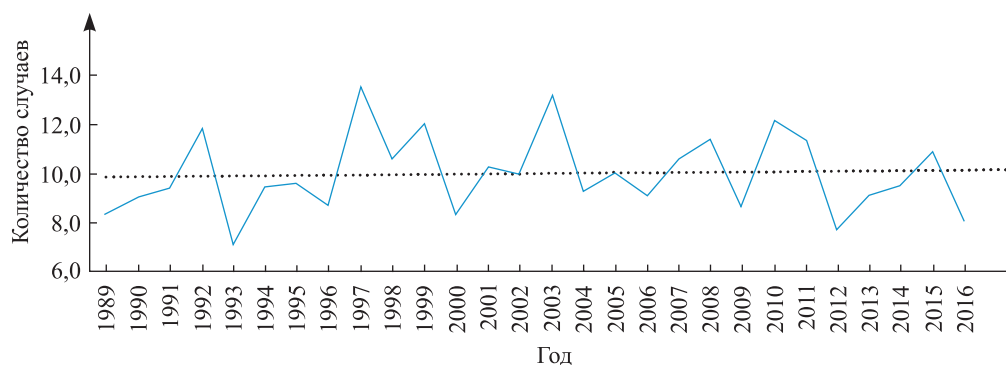


Рис. 12. Хронологический ход среднегодового количества дней с гололедом на территории республики (1989–2016)

Fig. 12. Chronological progress of the average annual number of days with ice on the territory of the republic (1989–2016)

Как следует из рис. 12, максимальное количество случаев с гололедом отмечалось в 1997 г. – 13,6 дня, немногим менее – 13,3 дня – зафиксировано в 2003 г. Минимальный же показатель характерен для 1993 г. – 7,1 дня, для 2012 г. – 7,7 дня. Среднегодовой показатель составил 10,0 дня. График показывает отсутствие тенденции или совсем незначительный рост.

Наибольшее количество дней с гололедом на территории республики отмечается с ноября по февраль, реже в апреле и сентябре. В теплый период года данное явление не наблюдается в связи с отсутствием отрицательных температур.

Гололед сильно ухудшает тормозную способность воздушного судна и сцепные качества взлетно-посадочной полосы, тем самым обуславливая выталкивание воздушного судна за пределы взлетно-посадочной полосы.

Заключение

При возникновении обледенения воздушных судов и гололедных явлений на аэродроме в условиях отсутствия заблаговременной прогностической метеорологической информации появляется опасность человеческих и экономических потерь. Во избежание подобной ситуации необходимо не только исследование самого процесса их возникновения и рассмотрение сопутствующей синоптической ситуации, но и детальное изучение особенностей аэродрома непосредственно. Анализируя полученную информацию в ходе исследования, можно сделать следующие выводы.

1. Обледенение воздушных судов, находящихся в непосредственной близости к земной поверхности, напрямую взаимосвязано с сопутствующими гололедными явлениями на территории аэродрома. На основании фактических метеорологических данных, использованных при исследовании, установлено, что 70 % дней со случаями обледенения сопровождались наличием гололеда на аэродроме. Однако стоит отметить, что в общий расчет не вносились данные о наличии обледенения воздушных судов на аэродроме, у которых была проведена обработка противообледенительными составами, т. е. предотвращались случаи обледенения воздушных судов. Анализ приведенной информации проведен по фактическим метеорологическим данным авиационной метеорологической станции гражданской «Минск» за 2014–2016 гг.

2. Пространственно-временное распределение гололедных явлений на территории Республики Беларусь свидетельствует о том, что максимальный показатель имел место на метеорологической станции Новогрудка и составил 22,4 дня в году, а минимальный зафиксирован на метеорологической станции Кличева – 2,5 дня. Также отмечается наличие незначительной положительной тенденции при анализе изменения среднегодового количества дней с гололедом за 1989–2016 гг. Годовое распределение остается классическим с ярко выраженным зимним максимумом и отсутствием гололедных явлений в летнее время. Распределение по площади имеет следующие особенности. Зона максимальных значений наблюдается по контуру территории республики с запада на северо-восток. Зоны минимальных значений расположены «пятнами» на северо-западе Минской области, на юге Брестской и юго-западе Могилёвской области.

Картографические материалы целесообразно использовать при составлении прогнозов опасных явлений на более ранней стадии их подготовки в целях обеспечения безопасности полетов.

Библиографические ссылки

1. Логинов ВФ, Волчек АА, Шпока ИН. Опасные метеорологические явления на территории Беларуси. *Природопользование*. 2006;12:33–40.
2. Мельник ВИ, Герменчук МГ, Комаровская ЕВ. Изменения основных климатических параметров и повторяемость опасных гидрометеорологических явлений в Республике Беларусь. В: Стрельченко СГ, редактор. *Парламентские органы межгосударственных объединений на пространстве СНГ. Парламентское собрание Союза Беларуси и России. Материалы постоянно действующего семинара при Парламентском собрании Союза Беларуси и России по вопросам строительства Союзного государства (заседание двадцать второе, 8–10 декабря 2010 года, г. Смоленск)*. Минск: Центр системного анализа и стратегических исследований НАН Беларуси; 2010. с. 135–146.
3. Шакина НП, Иванова АР. *Прогнозирование метеорологических условий для авиации*. Москва: Триада лтд.; 2016. 312 с.
4. Brasseur G, Cox R, Hauglustaine D, Isaksen I, Lelieveld J, Lister DH, et al. European scientific assessment of the atmospheric effects of aircraft emissions. *Atmospheric Environment*. 1998;32:2329–2418. DOI: 10.1016/S1352-2310(97)00486-X.
5. Politovich MK. Aircraft icing. In: Holton JR, editor. *Encyclopedia of atmospheric sciences*. [S. l.]: Elsevier; 2003. p. 68–75. DOI: 10.1016/B0-12-227090-8/00055-5.
6. Аргучинцева АВ. *Методы статистической обработки и анализа гидрометеорологических наблюдений*. Иркутск: Иркутский государственный университет; 2007. 106 с.
7. Демидов АИ, Шишелова ТИ. Проблема обледенения летательных аппаратов и применяемые методы борьбы с ней. *Международный журнал экспериментального образования*. 2014;8(часть 2):88–89.
8. Астапенко ПД, Баранов АМ, Шварев ИМ. *Авиационная метеорология*. Москва: Транспорт; 1985. 433 с.
9. Баранов АМ, Солонин СВ. *Авиационная метеорология*. Ленинград: Гидрометеоиздат; 1981. 384 с.
10. Гледко ЮА, Сенькив КА. Метеорологические условия образования обледенения воздушных судов (на примере территории Беларуси). В: Кабанова МВ, редактор. *Тринадцатое Сибирское совещание и школа молодых ученых по климато-экологическому мониторингу; 15–19 октября 2019 г.; Томск, Россия* [тезисы докладов]. Томск: Аграф-Пресс; 2019. с. 35–36.

References

1. Loginov VF, Volchek AA, Shpoka IN. [Dangerous meteorological phenomena in the territory of Belarus]. *Prirodopol'zovanie*. 2006;12:33–40. Russian.
2. Melnik VI, Germenchuk MG, Komarovskaya EV. [Changes in the main climatic parameters and the recurrence of dangerous hydrometeorological phenomena in the Republic of Belarus]. In: Strel'chenko SG, editor. *Parlamentskie organy mezhgosudarstvennykh ob'edinenii na prostranstve SNG. Parlamentskoe sobranie Soyuzu Belarusi i Rossii. Materialy postoyanno deistvuyushchego*

seminara pri Parlaментском sobranii Soyuzа Belarusi i Rossii po voprosam stroitel'stva Soyuznogo gosudarstva (zasedanie dvadtsat' vtoroe, 8–10 dekabryа 2010 godа, g. Smolensk) [Parliamentary bodies of interstate associations in the CIS space. Parliamentary Assembly of the Union of Belarus and Russia. Materials of the permanent seminar at the Parliamentary Assembly of the Union of Belarus and Russia on the construction of the Union State (session twenty-second, 2010 December 8–10, Smolensk)]. Minsk: Center for System Analysis and Strategic Studies of the National Academy of Sciences of Belarus; 2010. p. 135–146. Russian.

3. Shakina NP, Ivanova AR. *Prognozirovanie meteorologicheskikh uslovii dlya aviatsii* [Weather forecasting for aviation]. Moscow: Triada ltd.; 2016. 312 p. Russian.

4. Brasseur G, Cox R, Hauglustaine D, Isaksen I, Lelieveld J, Lister DH, et al. European scientific assessment of the atmospheric effects of aircraft emissions. *Atmospheric Environment*. 1998;32:2329–2418. DOI: 10.1016/S1352-2310(97)00486-X.

5. Politovich MK. Aircraft icing. In: Holton JR, editor. *Encyclopedia of atmospheric sciences*. [S. l.]: Elsevier; 2003. p. 68–75. DOI: 10.1016/B0-12-227090-8/00055-5.

6. Arguchintseva AV. *Metody statisticheskoi obrabotki i analiza gidrometeorologicheskikh nablyudenii* [Methods of statistical processing and analysis of hydrometeorological observations]. Irkutsk: Irkutsk State University; 2007. 106 p. Russian.

7. Demidov AI, Shishelova TI. [The problem of icing of aircraft and applied methods of dealing with it]. *International Journal of Experimental Education*. 2014;8(part 2):88–89. Russian.

8. Astapenko PD, Baranov AM, Shvarev IM. *Aviation meteorology*. Moscow: Transport; 1985. 433 p. Russian.

9. Baranov AM, Solonin SV. *Aviation meteorology*. Leningrad: Gidrometeoizdat; 1981. 384 p. Russian.

10. Gledko YuA, Senkiv KA. [Meteorological conditions for the formation of aircraft (for example, the territory of Belarus)]. In: Kabanova MV, editor. *Trinadtsatoe Sibirskoe soveshchanie i shkola molodykh uchenykh po klimato-ekologicheskomu monitoringu; 15–19 oktyabryа 2019 g.; Tomsk, Rossiya* [The thirteenth Siberian conference and the school of young scientists on climate ecological monitoring; 2019 October 15–19; Tomsk, Russia] [abstracts]. Tomsk: Agraf-Press; 2019. p. 35–36. Russian.

Статья поступила в редколлегию 19.05.2020.

Received by editorial board 19.05.2020.

УДК 556.5

СОВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ СТОКОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕК БОЛЬШОГО КАВКАЗА

И. С. АЛИЕВА¹⁾

¹⁾Бакинский государственный университет, ул. Захида Халилова, 23, AZ1148, г. Баку, Азербайджан

Представлены результаты анализа современных изменений годового стока, его основных составляющих – подземного и поверхностного стоков, а также минимального зимнего и летне-осеннего стоков рек Большого Кавказа в пределах Азербайджана. Приводится краткий обзор ранее выполненных исследований изменения стока по стране. Отмечается, что в этих работах применен метод географического сравнения и линейный трендовый анализ. Сделан вывод о том, что до сих пор не изучены трансформации поверхностного и подземного стоков рек Большого Кавказа, обусловленные изменением климата. Проанализированы данные по стоку 17 гидрологических пунктов наблюдения за 1934–2017 гг. Все эти гидрологические пункты наблюдения расположены в горной части речных бассейнов, т. е. стоквые характеристики определяют естественный или условно-естественный режим рек. Годовые значения подземного стока были установлены как среднее арифметическое среднемесячного минимального зимнего и летне-осеннего расходов воды. Годовые значения поверхностного стока рассчитаны как разница между годовым и подземным стоками. Использован метод географического сравнения. Расчеты и обобщения полученных результатов выполнены для различных периодов согласно рекомендациям Всемирной метеорологической организации. Выявлено, что за 1981–2010 и 2001–2017 гг. поверхностный сток рек изучаемого региона уменьшился по сравнению со стоком за базовый период (1961–1990). Это объясняется уменьшением количества атмосферных осадков в виде снега и снижением объема весеннего половодья. Однако имело место более существенное увеличение подземного стока рек, поэтому в целом по региону наблюдался рост годового стока. Динамика изменения минимального стока рек, особенно в зимний сезон, также положительная, так как в течение последних десятилетий снежный покров тает раньше обычного, в результате создаются благоприятные условия для формирования подземных вод, питающих реки в периоды минимального стока. Отмечается, что выявленный характер изменения различных показателей речного стока в изучаемом регионе связан с потеплением климата.

Ключевые слова: Большой Кавказ; годовой сток; подземный сток; поверхностный сток; метод сравнения; изменения климата; минимальный сток.

MODERN CHANGES OF THE RUNOFF CHARACTERISTICS OF THE RIVERS OF THE GREATER CAUCASUS

I. S. ALIYEVA^a

^aBaku State University, 23 Zahid Halilov Street, Baku AZ1148, Azerbaijan

The article is devoted to the analysis of modern changes in annual runoff, its main components – underground and surface runoff, as well as the minimum winter and summer-autumn runoff rivers of the Greater Caucasus within Azerbaijan. A brief review of previous studies on flow changes in the country is given. It is noted that in these works the method of geographical comparison and linear trend analysis were used. It is concluded that the changes in the surface and under-

Образец цитирования:

Алиева ИС. Современные изменения стоквых характеристик рек Большого Кавказа. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология.* 2020;2:26–33. <https://doi.org/10.33581/2521-6740-2020-2-26-33>

For citation:

Aliyeva IS. Modern changes of the runoff characteristics of the rivers of the Greater Caucasus. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology.* 2020;2:26–33. Russian. <https://doi.org/10.33581/2521-6740-2020-2-26-33>

Автор:

Ирада Сабир Алиева – кандидат географических наук; доцент кафедры гидрометеорологии географического факультета.

Author:

Irada S. Aliyeva, PhD (geography); associate professor at the department of hydrometeorology, faculty of geography. aliyeva-1958@list.ru

ground runoff of the rivers of the Greater Caucasus due to climate change have not yet been analysed. The data on the runoff of 17 hydrological observation points covering 1934–2017 were analysed. All these hydrological observation points are located in the mountainous part of the river basins, i. e. runoff indices characterise the natural or conditionally natural regime of rivers. The annual values of the underground flow were determined as the arithmetic average of the monthly average minimum winter and summer-autumn water discharges. The annual values of surface runoff are calculated as the difference between annual and underground runoff. The method of geographical comparison is used. Calculations and generalisations of the results obtained are performed for different periods, according to the recommendations of the World Meteorological Organisation. It was revealed that, for 1981–2010 and 2001–2017 surface runoff of the rivers of the studied region decreased compared to runoff for the base period (1961–1990), due to a decrease in the amount of snow precipitation and a decrease in the volume of spring flood. However, there was a more significant increase in the underground flow of rivers and, therefore, an increase in annual flow was observed throughout the region. The dynamics of changes in the minimum river flow, especially in the winter season, is also positive, since over the past decades the snow cover has been melting earlier than usual, and favorable conditions are being created for the formation of groundwater that feeds the rivers during periods of minimal runoff. It is noted that the revealed nature of changes in various indices of river flow in the studied region is associated with climate change.

Keywords: Greater Caucasus; annual runoff; underground runoff; surface runoff; comparison method; climate change; minimum flow.

Введение

Начавшееся с 1970-х гг. глобальное потепление является неоспоримым фактом и подтверждается многочисленными наблюдениями. Повысилась глобальная средняя температура воздуха и океанической воды, отмечается активное таяние снежного покрова и ледников, повышается уровень Мирового океана. В 1950–2005 гг. глобальная приземная температура воздуха повысилась на 0,74 °С, и за последние 50 лет потепление ускорилося [1]. В условиях Азербайджана оно началось примерно с 1978 г. и составило 0,7 °С [2].

Проекция климата, полученные с использованием ряда климатических моделей, показывают, что в XXI в. испарение, количество водяного пара в атмосфере, среднее количество атмосферных осадков увеличатся. Из-за того, что во всех компонентах гидрологического цикла наблюдаются 1–10-летние естественные колебания, трудно обнаружить в этих компонентах тренды с длинными периодами. Поскольку существующая сеть гидрологических пунктов наблюдения распределена неравномерно по земному шару, длины рядов наблюдений являются ограниченными и физико-географические условия различных регионов отличаются, в трендах многих гидрологических параметров имеют место неопределенности [3].

Климатические показатели изменяются и на территории Азербайджана¹. В 1991–2015 гг. (по сравнению с 1961–1990 гг.) средняя годовая температура воздуха по стране повысилась на 0,7 °С (на Большом Кавказе – на 0,4 °С), а также увеличение температуры наблюдается во всех высотных поясах страны. Наибольшее повышение температуры характерно для высот более 1000 м. В этой зоне за 2007–2015 гг. рост температуры составил 1,1 °С. В Азербайджане за 1991–2015 гг. годовая сумма осадков увеличилась на 11,0 мм. Для зоны выше 1000 м эта цифра составила всего 5,0 мм. За 1986–2013 гг. площади горных ледников Большого Кавказа уменьшились на 0,04–0,17 км² [2].

В работе [4] отмечается, что методы, используемые для оценки влияния изменений климата на речной сток, делятся на две группы. Первая группа объединяет эмпирические методы, основанные на обработке имеющихся данных гидрометеорологических наблюдений в речном бассейне [5–8].

Ко второй группе относятся методы, базирующиеся на совместном использовании моделей гидрологического цикла суши и глобальных климатических моделей [9–11]. Эта группа методов позволяет лучше учитывать разнообразие физических механизмов реакции гидрологической системы на климатические воздействия [4].

По сравнению с другими характеристиками речного стока изменения годового стока рек изучены лучше и выявлены определенные закономерности. В [14] отмечено, что в XX в. из-за повышения температуры воздуха на 1 °С глобальный речной сток увеличился на 4 %. Однако не все исследователи согласны с этим выводом и считают, что увеличение глобального речного стока связано с усилением влияния не только климатических факторов [13], а также с уменьшением испарения, вызванным ростом концентрации углекислого газа [14].

¹Первое Национальное сообщение Азербайджанской Республики по Рамочной конвенции ООН об изменении климата. Баку : [б. и.], 2000. 88 с.

По изменению сезонного стока наиболее достоверные результаты получены для рек территорий, где в зимние месяцы осадки выпадают в виде снега. Поскольку снега бывает мало и снежный покров начинает таять раньше обычного, наблюдается уменьшение объема весеннего половодья и увеличение зимнего стока [15]. Наиболее сильные изменения стока происходят в низкогорных районах со слабым снежным покровом. В будущем в этих районах максимальные расходы воды будут иметь место минимум на месяц раньше обычного. В районах со слабым снежным покровом и там, где вообще не бывает снега, изменения стока сильнее зависят от количества дождевых осадков, нежели от температуры. Согласно прогнозам на таких территориях во влажный сезон сток увеличится, а в засушливый уменьшится. Кроме того, засушливый период станет более продолжительным.

В Азербайджане исследования по изменению климата и его влиянию на речной сток начаты в конце XX в. В этот период было установлено, что годовой, весенний и летний стоки ряда рек (Кудиалчай, Ленкоранчай и Нахичеванчай), бассейны которых расположены в различных регионах страны, уменьшаются, а зимний и осенний стоки, наоборот, увеличиваются [16]. Сравнительный анализ стоковых характеристик за 1930–1961 и 1962–1995 гг. показал, что во всех регионах Азербайджана в зимние месяцы сток малых и средних рек увеличился на 20–40 % [17; 18]. Позже в [2] с помощью метода линейного тренда выполнен анализ наблюдений (1960–2015) основных стоковых характеристик рек (годовой, максимальный и минимальный). Выявлено, что для большинства рассмотренных рек годовой и максимальный стоки уменьшаются, а минимальный зимний сток увеличивается. Аналогичные исследования проведены и в [19]. В этой работе с использованием данных по 29 рекам дополнительно рассмотрен минимальный летне-осенний сток и для их обобщения применен несколько иной подход. Так, для каждого из пяти природных регионов Азербайджана (северо-восточный склон Большого Кавказа, южный склон Большого Кавказа, северо-восточный склон Малого Кавказа, юго-восточный склон Малого Кавказа и Нахичевань, Ленкорань) по данным модульных коэффициентов соответствующей стоковой характеристики были построены обобщенные линейные тренды и выполнена оценка их статистической значимости. Установлено, что годовой сток рек северо-восточного склона Большого Кавказа остается без изменений, а рек южного склона увеличивается. По всему Большому Кавказу максимальный сток рек уменьшается, минимальный зимний сток возрастает. Минимальный летний сток рек северо-восточного склона уменьшается, а рек южного склона увеличивается. Похожие результаты были получены при анализе обобщенных линейных трендов отношений экстремальных характеристик стока (минимальный и максимальный стоки) к годовому стоку [20].

Цель настоящей работы – оценка современной трансформации поверхностного и подземного стоков рек Большого Кавказа, обусловленных изменением климата, и выявление их региональных особенностей.

Материалы и методы исследования

Анализ современных изменений годового, поверхностного и подземного стоков рек Большого Кавказа выполнен методом географического сравнения. Использованы данные по стоку за 1934–2017 гг. 17 гидрологических постов, действующих на 15 реках, с естественным или условно-естественным режимом (см. рисунок). Все эти гидрологические пункты наблюдения расположены в горной части речных бассейнов, т. е. в зоне формирования речного стока. Привлеченные к анализу ряды наблюдений являются репрезентативными, поскольку минимальная их длина составляет 57 лет и они содержат несколько фаз различной водности. Годовые значения подземного стока были определены как среднее арифметическое среднемесячного минимального зимнего и летне-осеннего расходов воды [21].

Годовые значения поверхностного стока рассчитаны как разница между годовым и подземным стоками.

Для определения норм климатических показателей в условиях современных изменений климата Всемирная метеорологическая организация (ВМО) рекомендует использовать 30-летние периоды². При оценке изменений климата за базовый принят период с 1961 по 1990 г., который остается неизменным и может быть изменен только в случае, если имеется причина, обоснованная с научной точки зрения. Согласно вышеприведенным рекомендациям ВМО нормы климатических показателей каждые 10 лет должны быть рассчитаны заново. В настоящее время расчетными являются данные за 1981–2010 гг. Следующий период охватывает 1991–2020 гг. Такой подход позволяет сравнить и обобщить нормы климатических показателей в масштабе всего земного шара. Необходимо отметить, что в современной международной практике для оценки влияния изменений климата на речной сток также используются эти периоды.

²WMO-No. 49. Technical Regulations ; WMO-No. 100. Historical practices regarding climate normal ; WMO/TD-No. 341. Calculation of Monthly and Annual 30-Year Standard Normals ; WMO/TD-No. 1188. Handbook on CLIMAT and CLIMAT TEMP Reporting.



Схема постов наблюдений: I – северо-восточный склон Большого Кавказа;
II – Ширванская зона; III – бассейн р. Ганых (Алазани)

Scheme of observation points: I – north-eastern slope of the Greater Caucasus;
II – Shirvan zone; III – basin of the Ganikh River (Alazani)

В нашей работе все расчеты и обобщения их результатов выполнены с учетом рекомендаций ВМО для двух периодов: 1961–1990 и 1981–2010 гг. Стоковые характеристики дополнительно проанализированы за период до 1960 г. и за 2001–2017 гг.

Результаты и их обсуждение

Годовой сток. Как уже отмечалось, за базовый период приняты 1961–1990 гг., поэтому вначале осуществлено сравнение среднемноголетних значений годового стока с соответствующими величинами стока, рассчитанными за период до 1960 г. (табл. 1). На трех реках (Кудиалчай – пункт Крыз, Карачай – Рюк и Хармидорчай – Халтан) гидрологические наблюдения начались в 1960 г., следовательно, в табл. 1 сведения по этим рекам отсутствуют.

Таблица 1

Изменение годового стока рек Большого Кавказа за 1961–1990 гг.
по сравнению с периодом до 1960 г., %

Table 1

Changes in the annual runoff of the rivers of the Greater Caucasus for 1961–1990
compared with the period before 1960, %

Река – пункт	Средние многолетние расходы воды (до 1960 г.)	Средние многолетние расходы воды (1961–1990)	Изменение средних многолетних расходов воды	
			м ³ /с	%
Кусарчай – Кузун	4,53	4,63	0,10	2,14
Кудиалчай – Кюпчал	6,93	6,68	–0,25	3,61
Велвеличай – Тенгяалты	3,49	4,04	0,55	15,6
Джагаджукчай – Рустов	0,68	0,76	0,08	11,8
Гирдиманчай – Каранохур	4,28	6,30	2,02	47,2
Ахочай – Ханагах	1,46	1,52	0,06	4,10

Окончание табл. 1
Ending table 1

Река – пункт	Средние многолетние расходы воды (до 1960 г.)	Средние многолетние расходы воды (1961–1990)	Изменение средних многолетних расходов воды	
			м ³ /с	%
Геокчай – Геокчай	13,3	12,0	–1,30	13,3
Айричай – Башдашагиль	2,60	2,97	0,37	14,2
Айричай – Устье	11,6	14,8	3,2	27,6
Чухадурмаз – Устье	0,55	0,62	0,07	12,7
Кайнар – Устье	0,22	0,33	0,11	50,0
Дамарчик – Устье	1,38	1,40	0,02	1,45
Талачай – Закагала	3,51	3,84	0,33	9,40
Белоканчай – Белоканы	3,73	4,02	0,29	7,77

Как видно из табл. 1, среди рассмотренных 14 рек только для двух (Кудиалчай – Кюпчал и Геокчай – Геокчай) годовой сток за базовый период был меньше по сравнению с предыдущим периодом. Для остальных 12 рек базовый период характеризуется повышенной водностью. Для рек северо-восточного склона Большого Кавказа, Ширванской зоны и бассейна р. Ганых (Алазани) увеличение годового стока в среднем составляет 3,07; 4,10 и 18,6 % соответственно. При сопоставлении значений годового стока и других характеристик речного стока, вычисленных за различные периоды с соответствующими стоковыми показателями базового периода, этот факт следует учитывать.

В 1981–2010 гг. на трех пунктах наблюдения из семи, расположенных в речных бассейнах северо-восточного склона Большого Кавказа, годовой сток, по сравнению с базовым периодом, уменьшился. Однако, несмотря на это, в данном районе в целом суммарный годовой сток рек увеличился. Рост годового стока наблюдался и на всех реках бассейна р. Ганых (Алазани). Суммарный годовой сток рек уменьшился только в Ширванской зоне (табл. 2).

Таблица 2

**Изменение характеристик стока рек Большого Кавказа за 1981–2010 гг.
по сравнению с 1961–1990 гг., %**

Table 2

**Changes in runoff characteristics of the rivers of the Greater Caucasus for 1981–2010
compared with the 1961–1990, %**

Районы	Годовой сток	Поверхностный сток	Подземный сток	Минимальный зимний сток	Минимальный летне-осенний сток
Реки северо-восточного склона	+4,33	–5,96	+11,8	+26,7	+4,33
Реки Ширванской зоны	–5,91	–9,31	–2,31	+7,55	–7,99
Реки бассейна р. Ганых (Алазани)	+17,6	–7,09	+37,0	+35,0	+36,7

В 2001–2017 гг. во всех трех районах Большого Кавказа имело место увеличение годового стока рек (табл. 3).

Поверхностный сток. В 1981–2010 гг. во всех районах Большого Кавказа наблюдалось уменьшение поверхностного стока (см. табл. 2). За 2001–2017 гг. на реках Ширванской зоны эта составляющая годового стока увеличилась на 3,43 %, но в остальных двух районах уменьшение продолжалось (см. табл. 3).

Подземный сток. В 1981–2010 гг. в двух районах (северо-восточный склон Большого Кавказа и бассейн р. Ганых (Алазани)) величина подземного стока рек была выше по сравнению с базовым периодом. Только в Ширванской зоне эта характеристика стока стала меньше, что, по-видимому, связано с уменьшением подземного и минимального летне-осеннего стоков полноводной реки Геокчай. За 2001–2017 гг. во всех районах имело место существенное увеличение подземного стока (см. табл. 3).

Представляется, что в последние несколько десятилетий увеличение подземного стока рек связано с изменением климата. Ранее уже отмечалось, что годовые значения подземного стока были вычислены по минимальным зимним и летне-осенним расходам воды. Многочисленные исследования, выполненные в различных регионах земного шара, показывают, что в условиях изменения климата в бассейнах рек, где осадки выпадают в основном в виде снега, режим рек изменился, точнее, изменились временные границы фаз водного режима. Вследствие повышения температуры воздуха в зимний период большую часть осадков составляют дожди, и по сравнению с предыдущим периодом снег начинает таять на одну-две недели раньше [1].

Таблица 3

**Изменение характеристик стока рек Большого Кавказа за 2001–2017 гг.
по сравнению с 1961–1990 гг., %**

Table 3

**Changes in the runoff characteristics of the rivers of the Greater Caucasus for 2001–2017
compared with the 1961–1990, %**

Районы	Годовой сток	Поверхностный сток	Подземный сток	Минимальный зимний сток	Минимальный летне-осенний сток
Реки северо-восточного склона	+19,6	-1,17	+35,7	+68,0	+20,3
Реки Ширванской зоны	+10,6	+3,43	+16,4	+37,0	0,00
Реки бассейна р. Ганых (Алазани)	+16,7	-20,1	+38,5	+36,1	+35,6

Минимальный сток. В 1981–2010 гг. во всех районах минимальный зимний сток рек увеличился, а минимальный летне-осенний сток уменьшился только на реках Ширванской зоны (см. табл. 2). За 2001–2017 гг. во всех районах минимальный зимний сток рек значительно вырос. Минимальный летне-осенний сток рек Ширванской зоны не изменился, а в двух других районах увеличился (см. табл. 3).

Заключение

В результате выполненных исследований установлено, что поверхностный сток рек Большого Кавказа за 1981–2010 и 2001–2017 гг. уменьшился по сравнению со стоком базового периода (1961–1990). Однако одновременно с уменьшением поверхностного стока происходило увеличение подземного стока рек, и поэтому по региону наблюдалось повышение годового стока. Для минимального стока, особенно в зимний сезон, также характерно увеличение. Все это свидетельствует о том, что в связи с изменением климата возросла неравномерность внутригодового распределения речного стока. В целом рост естественной зарегулированности стока улучшает условия водопользования в маловодные сезоны, однако снижение объема весеннего половодья создает проблему с заполнением водохранилищ, и это должно быть учтено при разработке мер по адаптации к изменению климата.

На Большом Кавказе 2013–2019 гг. были маловодными, и поэтому после 2020 г. следует повторить эти расчеты с использованием данных за 1991–2020 гг.

Библиографические ссылки

1. Бейтс БК, Кундцевич ЗВ, Саохон У, Палютикоф Ж, редакторы. *Изменение климата и водные ресурсы*. Женева: Межправительственная группа экспертов по изменению климата; 2008. 228 с.
2. Махмудов РН. *Современные изменения климата и опасные гидрометеорологические явления*. Баку: НАА; 2018. 232 с. (на азерб. яз.).
3. Huntington TG. Evidence for intensification of the global water cycle: review and synthesis. *Journal of Hydrology*. 2006;319 (1–4):83–95. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2005.07.003.
4. Гельфан АН, Калугин АС, Крыленко ИН, Лавренов АА, Мотовилов ЮГ. Гидрологические последствия изменения климата в крупных речных бассейнах: опыт совместного использования региональной гидрологической и глобальных климатических моделей. *Вопросы географии*. 2018;145:49–63.
5. Георгиевский ВЮ, Георгиевский МВ, Голованов ОФ, Шальгин АЛ. Водные системы суши. В: Росгидромет. *Второй оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации*. Москва: Росгидромет; 2014. с. 350–360.

6. Dzhamalov R, Frolova N, Kireeva M, Rets E. Present-day surface and subsurface water resources of European Russia: conditions, use and forecast. In: Trevor D, editor. *Proceedings of FRIEND-Water 2014: Hydrology in Changing World: Environment and Human Dimensions*. [S. l.]: International Association of Hydrological Sciences; 2014. p. 45–50. (IAHS publication; volume 363).
7. Vano JA, Lettenmaier DP. A sensitivity-based approach to evaluating future changes in Colorado River discharge. *Climatic Change*. 2014;122(4):621–634. DOI: 10.1007/s10584-013-1023-x.
8. Peel MC, Blöschl G. Hydrological modeling in a changing world. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*. 2011;35(2):249–261. DOI: 10.1177/0309133311402550.
9. Chiew FHS, Teng J, Vaze J, Post DA, Perraud JM, Kirono DGC, et al. Estimating climate change impact on runoff across southeast Australia: method, results, and implications of the modeling method. *Water Resources Research*. 2009;45(10):W10414. DOI: 10.1029/2008WR007338.
10. Driessen TLA, Hurkmans RTWL, Terink W, Hazenberg P, Torfs PJJF, Uijlenhoet R. The hydrological response of the Ourthe catchment to climate change as modelled by the HBV model. *Hydrology and Earth System Sciences*. 2010;14(14):651–665. DOI: 10.5194/hess-14-651-2010.
11. Krysanova V, Kundzewicz ZW, Piniewski M. Assessment of climate change impacts on water resources. In: Singh V, editor. *Chow's Handbook of Applied Hydrology*. 2nd edition. New York: N. Y. McGraw-Hill Education; 2016. p. 1143–1189.
12. Labat D, Goddérès Y, Probst JL, Guyot JL. Evidence for global runoff increase related to climate warming. *Advances in Water Resources*. 2004;27(6):631–642. DOI: 10.1016/j.advwatres.2004.02.020.
13. Legates DR, Lins HF, McCabe GJ. Comments on «Evidence for global runoff increase related to climate warming» by Labat et al. *Advances in Water Resources*. 2005;28(12):1310–1315. DOI: 10.1016/j.advwatres.2005.04.006.
14. Gedney N, Cox PM, Betts RA, Boucher O, Huntingford C, Stott PA. Detection of a direct carbon dioxide effect in continental river runoff records. *Nature*. 2006;439(7078):835–838.
15. Болгов МВ, Филиппова ИА, Осипова НВ, Коробкина ЕА. Гидрологические факторы безопасности в условиях климатических и антропогенных воздействий на водные объекты. В: Гадилов ФА, Махмудов ЯМ, Абдуллаев ЧА, Абоу Элсеуд А, Ангелакис АН, Али Аскар Язди и др., редакторы. *Водные ресурсы, гидротехнические сооружения и окружающая среда. Материалы Международной научно-практической конференции; 15–16 марта 2017 г.; Баку, Азербайджан. Часть 2*. Баку: Мутарджим; 2017. с. 53–58.
16. Махмудов РН. Влияние региональных изменений климата на режим рек. В: *Национальный центр по изменению климата. Бюллетень № 1*. Баку: Национальный центр по изменению климата; 1998. с. 35–38 (на азерб. яз.).
17. Вердиев РГ. Изменения климата и их влияние на сток рек Азербайджанской Республики. В: *Национальный центр по изменению климата. Бюллетень № 1*. Баку: Национальный центр по изменению климата; 1998. с. 53–54 (на азерб. яз.).
18. Вердиев РГ. *Водные ресурсы рек Восточного Кавказа в условиях изменения климата*. Баку: [б. и.]; 2002. 224 с.
19. Иманов ФА, Гасанова НИ, Агаев ЗБ. Многолетние колебания стока рек Азербайджана. *Вопросы географии*. 2018; 145:277–284.
20. Иманов ФА, Курбанов ЧЗ, Гасанова НИ. Изменения соотношений стоковых характеристик рек Азербайджана. В: Макарьева ОМ, редактор. *Третьи Виноградовские чтения. Грани гидрологии; 28–30 марта 2018 г.; Санкт-Петербург, Россия* [Интернет]. Санкт-Петербург: Научно-технические технологии; 2018 [процитировано 15.01.2020]. с. 553–557. Доступно по: <http://publishing.intelgr.com/archive/hydrology-facets.pdf>.
21. Иманов ФА, Алиева ИС. Метод оценки ежегодных величин подземного стока в реки Большого Кавказа. *Водные проблемы: наука и технологии*. 2018;2:17–26 (на азерб. яз.).

References

1. Beits BK, Kundtsevich ZV, Saokhon U, Palyutikof Zh, editors. *Izmenenie klimata i vodnye resursy* [Climate change and water]. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change; 2008. 228 p. Russian.
2. Mahmudov RN. *Sovremennyye izmeneniya klimata i opasnye gidrometeorologicheskie yavleniya* [Modern climate change and dangerous hydrometeorological phenomena]. Baku: NAA; 2018. 232 p. Azerbaijani.
3. Huntington TG. Evidence for intensification of the global water cycle: review and synthesis. *Journal of Hydrology*. 2006;319(1–4):83–95. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2005.07.003.
4. Gelfan AN, Kalugin AS, Krylenko IN, Lavrenov AA, Motovilov YuG. Hydrological consequences of climate change in large basins: combined use of regional hydrological models and global climate models. *Voprosy geografii*. 2018;145:49–63. Russian.
5. Georgievsky VYu, Georgievsky MV, Golovanov OF, Shalygin AL. Land-based water systems. In: Roshydromet. *Second Roshydromet Assessment Report on Climate Change and its Consequences in the Russian Federation*. Moscow: Roshydromet; 2014. p. 350–360. Russian.
6. Dzhamalov R, Frolova N, Kireeva M, Rets E. Present-day surface and subsurface water resources of European Russia: conditions, use and forecast. In: Trevor D, editor. *Proceedings of FRIEND-Water 2014: Hydrology in Changing World: Environment and Human Dimensions*. [S. l.]: International Association of Hydrological Sciences; 2014. p. 45–50. (IAHS publication; volume 363).
7. Vano JA, Lettenmaier DP. A sensitivity-based approach to evaluating future changes in Colorado River discharge. *Climatic Change*. 2014;122(4):621–634. DOI: 10.1007/s10584-013-1023-x.
8. Peel MC, Blöschl G. Hydrological modeling in a changing world. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*. 2011;35(2):249–261. DOI: 10.1177/0309133311402550.
9. Chiew FHS, Teng J, Vaze J, Post DA, Perraud JM, Kirono DGC, et al. Estimating climate change impact on runoff across southeast Australia: method, results, and implications of the modeling method. *Water Resources Research*. 2009;45(10):W10414. DOI: 10.1029/2008WR007338.
10. Driessen TLA, Hurkmans RTWL, Terink W, Hazenberg P, Torfs PJJF, Uijlenhoet R. The hydrological response of the Ourthe catchment to climate change as modelled by the HBV model. *Hydrology and Earth System Sciences*. 2010;14(14):651–665. DOI: 10.5194/hess-14-651-2010.
11. Krysanova V, Kundzewicz ZW, Piniewski M. Assessment of climate change impacts on water resources. In: Singh V, editor. *Chow's Handbook of Applied Hydrology*. 2nd edition. New York: N. Y. McGraw-Hill Education; 2016. p. 1143–1189.

12. Labat D, Godd ris Y, Probst JL, Guyot JL. Evidence for global runoff increase related to climate warming. *Advances in Water Resources*. 2004;27(6):631–642. DOI: 10.1016/j.advwatres.2004.02.020.
13. Legates DR, Lins HF, McCabe GJ. Comments on «Evidence for global runoff increase related to climate warming» by Labat et al. *Advances in Water Resources*. 2005;28(12):1310–1315. DOI: 10.1016/j.advwatres.2005.04.006.
14. Gedney N, Cox PM, Betts RA, Boucher O, Huntingford C, Stott PA. Detection of a direct carbon dioxide effect in continental river runoff records. *Nature*. 2006;439(7078):835–838.
15. Bolgov MV, Filippova IA, Osipova NB, Korobkina YA. Factors of hydrological safety under climate changes and anthropogenic impact on water bodies. In: Gadirov FA, Mahmudov YM, Abdullayev ChA, Abou Elseoud A, Angelakis AN, Ali Asghar Semsar, et al., editors. *Water resources, hydraulic facilities and the environment. Materials of the International scientific and practical conference; 2017 March 15–16; Baku, Azerbaijan. Part 2*. Baku: Mutarjim; 2017. p. 53–58. Russian.
16. Mahmudov RN. The impact of regional climate change on river regimes. In: *National Center for Climate Change. Bulletin No. 1*. Baku: National Center for Climate Change; 1998. p. 35–38. Azerbaijani.
17. Verdiyev RH. Climate changes and their impact on river flow in the Republic of Azerbaijan. In: *National Center for Climate Change. Bulletin No. 1*. Baku: National Center for Climate Change; 1998. p. 53–54. Azerbaijani.
18. Verdiyev RH. *Water resources of the rivers of the East Caucasus in the context of climate change*. Baku: [s. n.]; 2002. 224 p. Russian.
19. Imanov FA, Hasanova NI, Agayev ZB. Long-term fluctuations of river flow in Azerbaijan. *Voprosy geografii*. 2018;145: 277–284. Russian.
20. Imanov FA, Kurbanov ChZ, Hasanova NI. Change of proportion of runoff characteristics of rivers of Azerbaijan. In: Makarieva OM, editor. *Third grape readings. The verge of hydrology; 2018 March 28–30; Saint Petersburg, Russia* [Internet]. Saint Petersburg: Naukoemkie tekhnologii; 2018. p. 553–557 [cited 2020 January 15]. Available from: <http://publishing.intelgr.com/archive/hydrology-facets.pdf>. Russian.
21. Imanov FA, Aliyeva IS. Method for estimating annual underground flow in the rivers of the Greater Caucasus. *Water problems: science and technology*. 2018;2:17–26. Azerbaijani.

Статья поступила в редколлегию 06.05.2020.
Received by editorial board 06.05.2020.

УДК 911.52;91:504;91:001.89;910.21

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ И ПОДХОДЫ К ВЫЯВЛЕНИЮ И ОЦЕНКЕ ТИПИЧНЫХ И РЕДКИХ ЛАНДШАФТОВ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Г. И. МАРЦИНКЕВИЧ¹⁾, С. И. КУЗЬМИН¹⁾, Е. Е. ДАВЫДИК¹⁾, А. В. БОБКО¹⁾

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

Проведен анализ изученности проблемы выявления и оценки типичных и редких ландшафтов, который показал, что в этой сфере знаний накоплен достаточно большой материал по идентификации таких ландшафтов и критериям их оценки. Установлено, что недостаточное внимание уделяется вопросам классификации, а также картографированию ландшафтов, использованию математических методов их оценки. Предложена научная концепция исследования типичных и редких ландшафтов, которая содержит четыре уровня их изучения (страновой, региональный, субрегиональный, локальный). Определены соответствующие уровню масштабы работ, единицы классификации ландшафтов, критерии и индикаторы их выделения. Так, на страновом уровне критерием оценки типичных ландшафтов является степень репрезентативности, зависящая от биоклиматических факторов и крупных размеров ландшафтного контура, на региональном (провинциальном) – размер контура доминантных ландшафтов провинции и индекс ландшафтного разнообразия, на субрегиональном – степень антропогенной трансформации, на локальном – уровень аттрактивности. Основными критериями оценки редких ландшафтов на страновом уровне выступают небольшой размер контура и степень уникальности, на региональном – показатель встречаемости, на субрегиональном – естественности, на локальном – уязвимости. Сформирована геоинформационная база данных, разработана методика выявления типичных и редких ландшафтов и их типология. Проведена оценка и подготовлена карта ландшафтного разнообразия, которая показала, что типичные ландшафты характеризуются высоким и средним уровнем разнообразия, а редкие – средним и низким. Выполнена оценка встречаемости редких ландшафтов, позволившая выделить три группы – низкой, средней, высокой встречаемости, созданы их список и карта встречаемости. Определено, что особой охраны требуют уникальные ландшафты, которые вошли в состав группы с низкой встречаемостью. Установлена прямая взаимосвязь между уровнем ландшафтного разнообразия и встречаемостью. Предлагаемые критерии выделения и оценки типичных и редких ландшафтов могут использоваться при организации или преобразовании особо охраняемых природных территорий, оформлении их паспортов и охранных обязательств.

Ключевые слова: типичный ландшафт; редкий ландшафт; ландшафтное разнообразие; встречаемость ландшафта; критерии оценки ландшафтов.

Образец цитирования:

Марцинкевич ГИ, Кузьмин СИ, Давыдик ЕЕ, Бобко АВ. Методологические проблемы и подходы к выявлению и оценке типичных и редких ландшафтов Республики Беларусь. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология.* 2020;2:34–46.
<https://doi.org/10.33581/2521-6740-2020-2-34-46>

For citation:

Martsinkevich GI, Kuzmin SI, Davydik EE, Babko AV. Methodological problems and approaches to identifying and evaluating typical and rare landscapes of the Republic of Belarus. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology.* 2020;2:34–46. Russian.
<https://doi.org/10.33581/2521-6740-2020-2-34-46>

Авторы:

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

Савелий Игнатьевич Кузьмин – кандидат географических наук, доцент; заведующий научно-исследовательской лабораторией экологии ландшафтов факультета географии и геоинформатики.

Елена Евгеньевна Давыдик – старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории экологии ландшафтов факультета географии и геоинформатики.

Алексей Валентинович Бобко – старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории экологии ландшафтов факультета географии и геоинформатики.

Authors:

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

halinamar@mail.ru

Saveli I. Kuzmin, PhD (geography), docent; head of the research laboratory of landscape ecology, faculty of geography and geoinformatics.

kuzminsaweliy@bsu.by

Elena E. Davydik, senior researcher at the research laboratory of landscape ecology, faculty of geography and geoinformatics.

alenadavydzik@gmail.com

Aliaksei V. Babko, senior researcher at the research laboratory of landscape ecology, faculty of geography and geoinformatics.

alexeibobko@gmail.com

Благодарность. Публикация подготовлена в рамках проекта № 1.37 государственной программы научных исследований «Природопользование и экология» (подпрограмма «Природные ресурсы и экологическая безопасность») на 2016–2020 гг.

METHODOLOGICAL PROBLEMS AND APPROACHES TO IDENTIFYING AND EVALUATING TYPICAL AND RARE LANDSCAPES OF THE REPUBLIC OF BELARUS

G. I. MARTSINKEVICH^a, S. I. KUZMIN^a, E. E. DAVYDIK^a, A. V. BABKO^a

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

Corresponding author: E. E. Davydik (alenadavydzik@gmail.com)

The analysis of the studying of the problem of identifying and evaluating of typical and rare landscapes was carried out, which showed that quite a lot of knowledge has been accumulated in this area of the identification of such landscapes and the criteria for their assessment. It is established that insufficient attention is paid to the classification and mapping of landscapes, the use of mathematical methods for their assessment. A scientific concept is proposed for the study of typical and rare landscapes, which contains four levels of their study (country, regional, subregional, local), the scale of work corresponding to the level, landscape classification units, criteria and indicators for their allocation are determined. So, at the country level, the criterion for assessing typical landscapes is the degree of representativeness, depending on bioclimatic factors and the large size of the landscape contour, at the regional (provincial) – the contour size of the dominant landscapes of the province and the index of landscape diversity, at the subregional – the intensity of anthropogenic transformation, at the local – characteristic value of attractiveness. The main criteria for assessing rare landscapes at the country level are the small size of the contour and the criteria of uniqueness, at the regional (provincial) indicator of occurrence, at the subregional – naturalness, at local – vulnerability. A geographic information database has been created, a methodology has been developed for identifying typical and rare landscapes and their typology. An assessment of landscape diversity was made and the map showing that typical landscapes are characterised by a high and medium level of diversity, and rare landscapes are characterised by medium and low was created. An assessment of the occurrence of rare landscapes was carried out, which made it possible to distinguish three groups – low, medium, and high occurrence; their list and a map of occurrence were created. It has been determined that unique landscapes, which are part of a group with low occurrence, require special protection. A direct correlation has been established between the level of landscape diversity and occurrence. The proposed criteria for identifying and assessing typical and rare landscapes can be used in organising or transforming nature protected areas, in the design of their passports and conservation obligations.

Keywords: typical landscape; rare landscape; landscape diversity; landscape occurrence; criteria assessment of landscape; landscape mapping.

Acknowledgements. The publication was prepared in the framework of the project No. 1.37 of the state program of scientific research «Nature management and ecology» for 2016–2020 (subprogramme «Natural resources and environmental safety»).

Введение

В XXI в. многочисленные климатические катаклизмы – наводнения, ураганы, цунами, таяние ледников в Антарктиде и в Северном Ледовитом океане – убедительно свидетельствуют о потеплении климата, которое превратилось в глобальную проблему, требующую незамедлительного и всеобъемлющего решения и усилий всех стран мира. Существует ряд предложений решения этой проблемы, в их числе идея экологизации промышленного и аграрного производства, создание зеленых и умных городов, глобальная очистка океанических вод. Все это становится необходимым элементом сохранения и защиты жизни на Земле. Но основой экологизации являются инвентаризация, оценка, сохранение и увеличение биологического и ландшафтного разнообразия, расширение площадей охраняемых территорий, разработка новых подходов к их созданию и функционированию.

Одним из таких подходов является положение о том, что все охраняемые территории (заповедники, национальные парки, заказники) должны содержать в своих границах типичные и редкие ландшафты той территории, на которой они располагаются. Следовательно, прежде всего необходимо выяснить и четко определить, что такое типичность ландшафта и редкость ландшафта, особенно в тех случаях, когда эти термины включены в нормативные или законодательные документы. Именно такая проблема

возникла в нашей стране в связи с вступлением в силу нового Закона Республики Беларусь «Об особо охраняемых природных территориях»¹, в котором типичные и редкие ландшафты определены как объекты и общие критерии при организации, преобразовании или прекращении функционирования заповедника, национального парка и заказника. Подтверждена необходимость оформления их паспортов, охранных документов, а также составления карты типичных и редких ландшафтов с учетом площади объектов и оценки их значимости, включая регламенты охраны и использования.

Целью работы являются научное обоснование и разработка методических подходов и правил выявления, картографирования и оценки редких и типичных ландшафтов Беларуси, ориентированные на их устойчивое использование и охрану. Актуальность темы определяется ее значимостью для дальнейшей работы по формированию или преобразованию особо охраняемых природных территорий (ООПТ).

Задачи исследования заключались в следующем:

- обосновать и раскрыть понятийное содержание и толкование терминов «редкие ландшафты» и «типичные ландшафты»;
- определить научно обоснованный перечень критериев и индикаторов выявления и оценки типичных и редких природных ландшафтов;
- выполнить анализ ландшафтной структуры территории Беларуси в целях выявления типичных и редких ландшафтов, провести их классификацию и картографирование.

Материалы и методы исследования

В русскоязычном научном географическом сообществе за последние 100 лет в ландшафтоведении сформировалась методологическая основа, включающая системный, генетический, комплексный (ландшафтный) и экологический научные подходы, которые способствовали использованию не только традиционных методов исследования (картографические, картометрические, методы классификации, районирования, статистической обработки данных), но и таких современных методов, как дистанционные, геоинформационные, математические.

Важнейшим инструментом для выполнения расчетных операций и визуализации полученной информации стало использование геоинформационных систем (ГИС). Весь этот аппарат в той или иной мере привлекался к выполнению исследований по выявлению и оценке редких и типичных ландшафтов.

Основой расчетных работ и создания базы данных послужили Ландшафтная карта Республики Беларусь масштаба 1 : 500 000 [1] и карта ландшафтного районирования с выделением пяти провинций². Электронные варианты этих карт дали возможность произвести расчеты площадей 22 родов и 107 видов ландшафтов с использованием программного обеспечения *ArcGIS Desktop 10.7*, что позволило получить показатели площади и удельного веса родов и видов ландшафтов в разрезе страны и всех ландшафтных провинций. Эти данные легли в основу анализа, создания электронных оценочных карт и получения нового важного результата – перечня редких и типичных ландшафтов на страновом и региональном уровнях.

Одной из важнейших методических проблем при проведении исследований стал выбор критериев для выделения типичных и редких ландшафтов, их идентификация, определение, сущность и оценка содержания, возможность картографирования. Впервые важность подобных исследований определена в Панъевропейской стратегии сохранения биологического и ландшафтного разнообразия (1995), в которой среди основных направлений деятельности Европейского союза в области окружающей среды декларируется создание общеевропейской экологической сети, изучение и сохранение редких и типичных ландшафтов, инвентаризация ландшафтного разнообразия. Термин «ландшафтное разнообразие» (ЛР) получил широкое распространение и стал использоваться с конца 1990-х гг. сначала в ландшафтной экологии, а затем и в области фундаментального ландшафтоведения [3; 4]. Расширенное определение этого термина, методы и методики оценки ЛР приведены в [5–8].

Ознакомление с зарубежными литературными источниками показало, что, несмотря на отсутствие серьезных комплексных разработок по проблемам идентификации, картографирования, охраны и использования редких и типичных ландшафтов, в этих работах часто рассматриваются термины «редкие ландшафты», «типичные ландшафты», «ценные ландшафты» (предлагаются их определения, критерии и факторы выделения), что свидетельствует об актуальности изучения этой проблемы [9–11].

¹ Об особо охраняемых природных территориях : Закон Респ. Беларусь от 15 нояб. 2018 г. № 150-З : принят Палатой представителей 16 окт. 2018 г. : одобр. Советом Респ. Нац. собр. Респ. Беларусь 31 окт. 2018 г. // КонсультантПлюс / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. Минск, 2018.

² В работе использована новая схема ландшафтного районирования (авторы – И. И. Счастливая, Д. С. Воробьев), которая разработана на основе Ландшафтной карты Республики Беларусь, опубликованной в 2014 г. Согласие авторов на использование этой карты получено.

В США и Канаде еще с 1970-х гг. стали разрабатываться методы количественной оценки качества ландшафта для статистического учета [12; 13]. Если в начальный период ландшафты оценивались с помощью экспертных заключений, то уже в 1980–90-х гг. стали использоваться такие критерии, как уникальность, разнообразие, типичность и др. К настоящему времени в англоязычной научной литературе предложено более 20 критериев и показателей для оценки ландшафтов, среди которых наиболее востребованными оказались шесть: редкость (уникальность), репрезентативность (типичность), разнообразие, размер, естественность, хрупкость (уязвимость) [14]. При этом каждый из критериев характеризуется определенными качественными или количественными показателями.

Редкость, или уникальность. Она является относительным понятием и может быть оценена на основании критерия встречаемости или ограниченности территории их распространения [15]. Редкие ландшафты могут также подразделяться по степени важности на международные, национальные, региональные и местные [16]. В составе редких ландшафтов выделяются уникальные природные комплексы, которые встречаются единично либо занимают менее 1 % площади [17; 18].

Типичность (репрезентативность). Существует несколько подходов к определению типичности ландшафтов, но наибольшее распространение получил тот, согласно которому территории, выбранные в качестве типичных, могут включать редкие виды ландшафтов и выступать в качестве объекта представления всего комплекса природных компонентов в системе заповедников или в пределах страны или ее отдельных регионов [14]. В национальных парках США и Канады отбор типичных и редких ландшафтов проводится путем классификации их природных особенностей, которые затем оцениваются с точки зрения их типичности, нетипичности или редкости в каждом естественном регионе и значимости (первостепенная, малая или небольшая) для региона. Затем эти оценки суммируются для получения интегральной оценки объектов [19].

Сохранение ландшафтного и биологического разнообразия выступает одной из главных задач территориальной охраны природы в настоящее время. Считается, что разнообразие элементов в системе является необходимым условием ее надежности и устойчивости, при этом биота играет роль главного регулятора процессов в биосфере и ее разнообразие повышает устойчивость экосистем и ландшафтов [17; 20].

Естественность, или сохранность. Термин «естественность» подразумевает наличие признаков естественного состояния и подчеркивает отсутствие антропогенной трансформации [21–23]. Например, в [23] для оценки небольших участков предлагается классификация, которая предусматривает выделение трех категорий естественности ландшафтов: сельскохозяйственные, или искусственные, ландшафты (балл 1), частично измененные ландшафты (балл 2), почти естественные ландшафты (балл 3).

Размер. Этот показатель рассматривается с учетом таких факторов, как форма, местоположение и наличие буферных зон, а это необходимая предпосылка для ответа на вопрос, является ли область эффективной единицей сохранения. Зачастую большие площади получают более высокую оценку, чем маленькие, так как считается, что чем больше площадь, тем важнее ее сохранение в общественных интересах при прочих равных условиях [19].

Чувствительность к воздействию (хрупкость), или уязвимость. Этот критерий является слабым, поскольку сохранение неустойчивой системы невозможно. Высокая чувствительность к воздействию часто соотносится с редкостью, так как считается, что редкие виды имеют более высокую вероятность вымирания или повреждения вида, признака или системы [16; 19]. В качестве уязвимых можно рассматривать области потенциального (или фактического) распространения динамичных природных процессов на низких поймах рек, на развеваемых песках или обрывистых склонах. Для них уничтожение естественной растительности критично, поэтому они должны рассматриваться как потенциально охраняемые территории [24].

Существует еще один, не всегда востребованный, зачастую субъективно оцениваемый критерий – аттрактивность, или восприятие ценности ландшафта человеком. Аттрактивность – привлекательность объекта, экосистемы, пейзажа в естественном состоянии, вызывающем притяжение, эмоциональный всплеск чувств, симпатию [25; 26]. Считается, что высокие эстетические достоинства ландшафтов – наиболее важный критерий для проектирования и функционирования ООПТ, предназначенных для выполнения природоохранных и рекреационных функций. Оценка аттрактивности может быть проведена на основе учета контрастности, мозаичности, богатства сочетаний, многоплановости и других характеристик, однако эти факторы учитывают только отдельные черты аттрактивности.

Анализ приведенных выше литературных источников позволил сделать вывод о том, что для типичных ландшафтов наиболее часто упоминаемым критерием их оценки выступает типичность (репрезентативность), а для редких ландшафтов – их редкость, или уникальность. Ни в одной из работ не рассматривается вопрос масштабирования ландшафтов. Ввиду особой его важности при выделении охраняемых природных территорий и картографировании типичных и редких ландшафтов авторы предлагают свое видение решения этих проблем, а также свою трактовку понятий «репрезентативность ландшафта»

и «уникальность ландшафта», поскольку содержание этих терминов в литературных источниках представляется достаточно «размытым».

Репрезентативность ландшафта определяется значительной площадью, низким уровнем антропогенной трансформации и типичными природными особенностями оцениваемой территории (региона, провинции, национального парка), включая рельеф и биоклиматические показатели. Редкость ландшафта определяется минимальным размером, низкой встречаемостью и высокой степенью естественности природных экосистем.

Более сложными проблемами являются учет масштаба и его влияние на критерии выделения типичных и редких ландшафтов при их картографировании. Предложена концептуальная модель, предусматривающая четыре уровня исследований в зависимости от масштаба исследований – страновой, региональный (провинциальный), субрегиональный, локальный, в зависимости от которых критерии выделения типичных и редких ландшафтов будут изменяться (табл. 1). В настоящей работе рассматриваются главным образом результаты исследований, проведенных на страновом и региональном уровнях.

На страновом уровне типичные ландшафты определяются значительной площадью и зональными особенностями природной зоны широколиственно-хвойных лесов умеренного пояса, на региональном – индексами ландшафтного разнообразия, на субрегиональном – степенью трансформированности ландшафтов, на локальном – аттрактивностью видов ландшафтов.

Таблица 1

Структурно-логическая модель оценки типичных и редких ландшафтов

Table 1

Structural-logical model for assessing typical and rare landscapes

Уровень исследований	Масштаб	Ландшафтные комплексы	Критерии выделения типичных ландшафтов	Критерии выделения редких ландшафтов
Страновой	500 000 и мельче	Типы, подтипы и роды ландшафтов	Размер, репрезентативность	Размер, уникальность
Региональный (провинциальный)	1 : 100 000–1 : 500 000	Роды и виды ландшафтов	Размер, оценка ландшафтного разнообразия	Частота встречаемости
Субрегиональный	1 : 50 000–1 : 100 000	Виды ландшафтов и урочищ	Степень трансформированности	Степень естественности экосистем
Локальный	1 : 50 000 и крупнее	Виды урочищ и фаций	Аттрактивность	Уязвимость

В свою очередь, критерии выделения редких ландшафтов определяются минимальной площадью и уникальностью на страновом уровне, частотой встречаемости – на региональном, степенью естественности природных экосистем – на субрегиональном, уязвимостью – на локальном уровне [27].

Результаты исследования и их обсуждение

Репрезентативные ландшафты. В соответствии с концептуальной моделью исследования типичные ландшафты на страновом уровне первоначально выделены по удельному весу их площади (в процентах от площади страны). Как видно из табл. 2, типичные ландшафты представлены двумя господствующими на территории страны комплексами, суммарная площадь которых достигает 39,2 %. Это водно-ледниковые и вторично-моренные ландшафты, которые широко распространены в центральной части Беларуси, где преобладают крупные равнины (Центрально-Березинская, Оршанско-Могилёвская, Лидская и др.) с абсолютными высотами 150–180 м. Репрезентативность этих ландшафтов подтверждается тем, что их рельеф, четвертичные отложения, растительность отражают характерные особенности формирования и развития зоны ледниковой аккумуляции Русской равнины, в пределах которой расположена вся территория Беларуси. Климатические характеристики, почвенный покров и биота этих ландшафтов типичны для зоны широколиственно-хвойных лесов умеренного климатического пояса. Таким образом, типичные ландшафты на страновом уровне выделяются с учетом их крупных размеров и репрезентативности показателей (рис. 1).

Шесть родов ландшафтов (площадь от 5,1 до 10,0 %), занимающих 42,1 % территории республики, отнесены к категории потенциально типичных. На региональном уровне они зачастую являются

типичными для определенной провинции. Это связано с тем, что в каждой из пяти провинций Беларуси сформировалась структура ландшафтов, свойственная для этого региона, но зачастую совершенно не повторяющаяся в другом. Особенно контрастными регионами являются Поозерская и Полесская провинции, в которых структура типичных и редких ландшафтов сильно отличается от ландшафтов центральной части Беларуси. Расчетными данными подтверждается, что из шести родов ландшафтов группы потенциально типичных четыре (холмисто-моренно-эрозионные, моренно-зандровые, озерно-аллювиальные, озерно-ледниковые) выступают в качестве типичных родов ландшафтов в четырех разных провинциях. Потенциально типичные ландшафты выделены с учетом генезиса и возраста макрорельефа в пределах конкретной ландшафтной провинции и являются доминантными комплексами, занимая от 50 до 76 % площади каждой из них.

Таблица 2

**Типология ландшафтов на страновом уровне,
% от площади Республики Беларусь**

Table 2

**Typology of landscapes at the country level,
% of the area of the Republic of Belarus**

Типология ландшафтов	Роды ландшафтов	Площадь
Типичные	Водно-ледниковые	24,8
	Вторично-моренные	14,4
Потенциально типичные ландшафты	Холмисто-моренно-эрозионные	8,1
	Моренно-зандровые	9,4
	Озерно-аллювиальные	7,5
	Озерно-ледниковые	5,5
	Аллювиальные террасированные	5,8
	Озерно-болотные	5,8
Редкие ландшафты	Холмисто-моренно-озерные	2,9
	Камово-моренные	3,0
	Моренно-озерные	4,0
	Речные долины	3,8
	Пойменные	3,3
	Лёссовые	1,7

На региональном уровне исследований для выявления типичных и потенциально типичных ландшафтов производились дополнительные расчеты ЛР [3; 28]. Большинство из существующих вариантов методики оценки ЛР оперируют двумя показателями – площадью и количеством объектов оценки. Однако предлагаемые формулы значительно отличаются друг от друга и, что важно, дают разные результаты. При этом признано, что наиболее репрезентативными характеристиками ЛР являются две: видовое богатство природного комплекса и площадь его распространения. Зависимость числа видов от площади объекта рассматривается в естественных науках как эмпирический закон, утверждающий, что разнообразие любых свойств системы есть ее физическая энтропия – информация, а ЛР выступает как один из элементов этой информации.

Оценка разнообразия природных ландшафтов Беларуси в разрезе ландшафтных провинций проведена с использованием формул трех различных авторов (К. Шеннон, Э. Менхиник, Р. Маргалев), из которых максимальной достоверностью отличается представленная на рис. 2 карта с использованием индекса Шеннона, отражающая общие закономерности распространения типичных ландшафтов и их взаимосвязи с уровнем ландшафтного разнообразия. На карте контуры высокого и среднего разнообразия в центральной части страны почти полностью совпадают с границами типичных и потенциально типичных ландшафтов и, таким образом, подтверждают значимость показателя площадной размерности природных комплексов для их идентификации (см. рис. 2).

Анализ карты оценки ландшафтного разнообразия показал, что высоким уровнем ЛР отличаются Предполеская (49 % территории) и Белорусская возвышенная (39 %) провинции, в которых господствуют типичные и потенциально типичные ландшафты. Интересно отметить, что в Восточно-Белорусской провинции, в которой также преобладают типичные и потенциально типичные ландшафты, уровень разнообразия оценивается как средний, хотя площадь распространения таких ландшафтов составляет около 40 %. В Полесской провинции, где преобладают потенциально типичные ландшафты, 76,5 % территории характеризуется низким разнообразием, а территория Поозерской провинции, в которой доминируют редкие ландшафты, – средним уровнем ЛР (50,2 %).

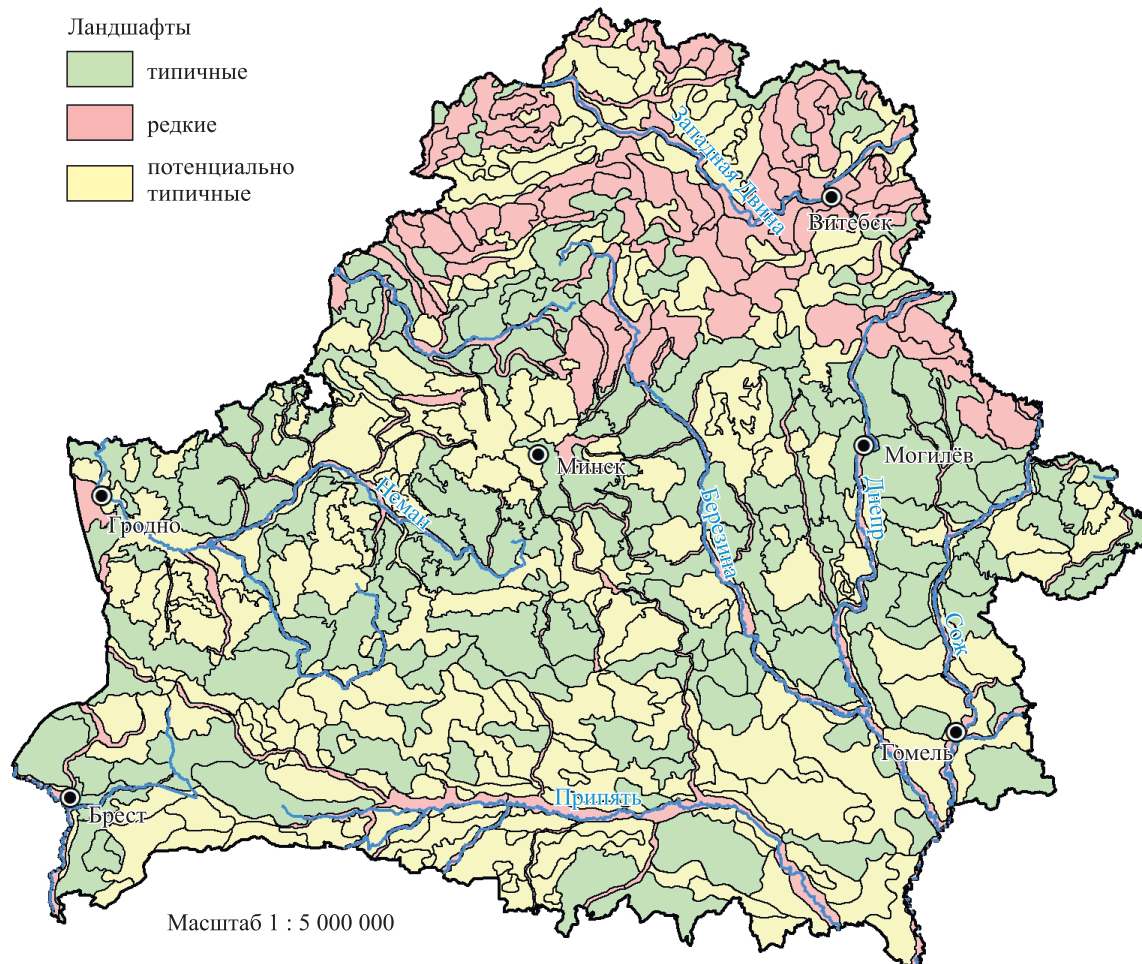


Рис. 1. Типичные, потенциально типичные и редкие роды ландшафтов Республики Беларусь

Fig. 1. Typical, potentially typical and rare genus of landscapes of the Republic of Belarus

Полученные данные позволяют сделать вывод о том, что показатель ЛР зависит не столько от типологии ландшафтов, сколько от характера рельефа, контурности и размера ландшафтных выделов, что объясняет приуроченность высокого уровня ЛР к типичным и потенциально типичным ландшафтам центральной части страны. В Полесской провинции низкий уровень ЛР объясняется крупными размерами выделов и их низкой фрагментацией, а средний уровень разнообразия в Поозерской провинции связан с мелкоконтурностью выделов.

Редкие ландшафты. В научной литературе термин «редкий ландшафт» трактуется по-разному. Зачастую, особенно в зарубежных источниках, редкие ландшафты отождествляются с ценными и уникальными объектами, хотя это не всегда корректно. Дилемма такова, что не все редкие ландшафты являются ценными или уникальными, но все ценные и уникальные относятся к редким ландшафтам. Наши исследования показали, что к редким природным ландшафтам принадлежат комплексы, имеющие небольшой удельный вес, обладающие низкой встречаемостью и высокой сохранностью естественных экосистем.

На страновом уровне редкие ландшафты, площадь каждого из которых не достигает 5 % от площади страны, выделяются и с учетом их уникальности. Они представлены шестью родами, распространены преимущественно в Поозерской провинции (см. табл. 2), занимают 18,7 % от площади страны и часто обладают природными особенностями, отсутствующими в других регионах Беларуси, – формами рельефа, наличием большого количества озер, лесных насаждений, сочетания которых создают особую привлекательность.

На региональном уровне редкие ландшафты представлены такими видами, удельный вес которых колеблется от 0,2 до 4,0 % площади страны. Еще одним критерием выделения редких ландшафтов на этом уровне является коэффициент встречаемости (K), который был рассчитан с использованием

контурности каждого ландшафтного выдела на 100 км². Анализ количества контуров всех видов ландшафтов позволил провести их группировку и ранжирование по степени встречаемости – низкой, средней и высокой. К ландшафтам с низким уровнем встречаемости (менее 1 раза на 100 км²) относятся 48 видов ландшафтов, со средним уровнем встречаемости (1–2 раза на 100 км²) – 26 видов, с высоким уровнем встречаемости (более 2 раз на 100 км²) – 34 вида. Таким образом, приведенная на рис. 3 типология редких видов ландшафтов учитывает два фактора: их удельный вес и степень встречаемости.

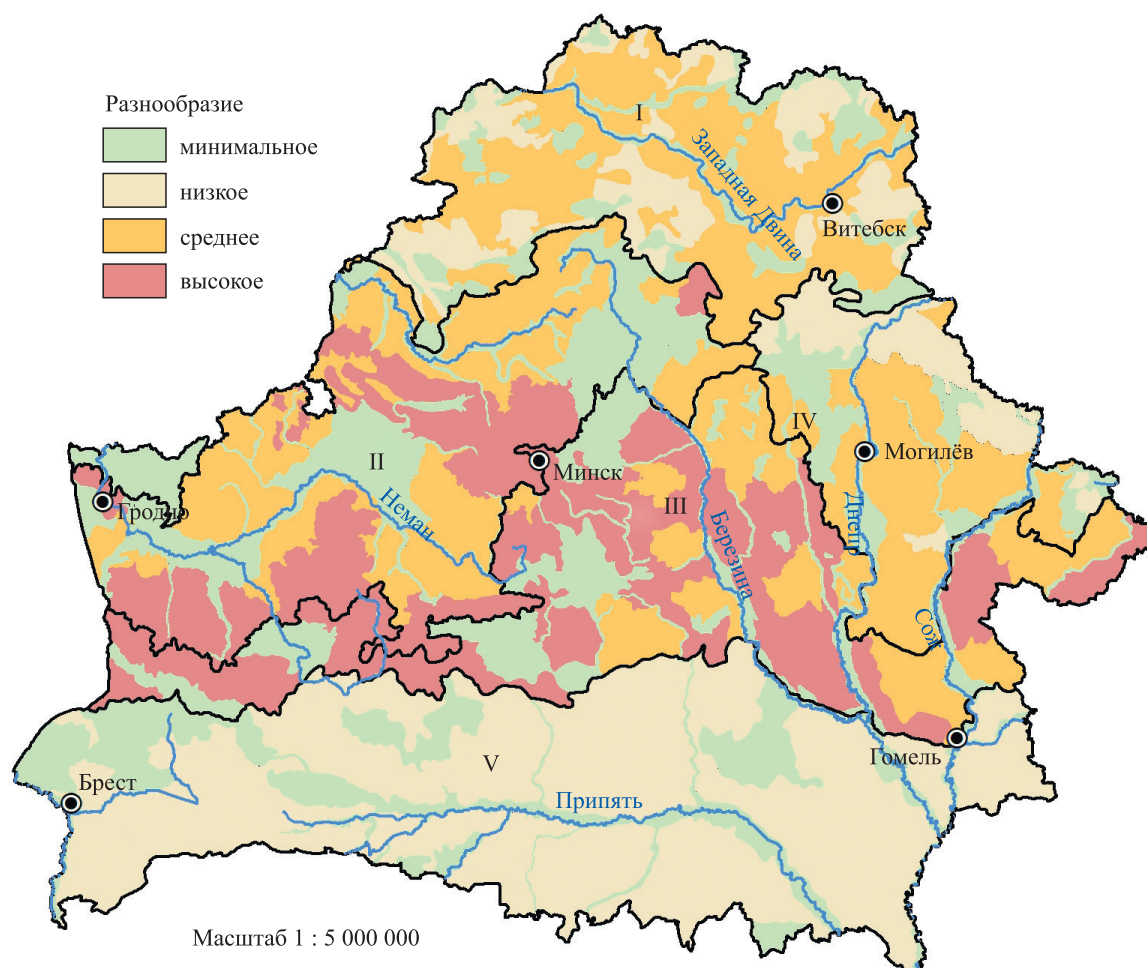


Рис. 2. Оценка ландшафтного разнообразия на уровне родов в разрезе провинций.

Ландшафтные провинции: I – Поозерская; II – Белорусская возвышенная;
III – Предполеская; IV – Восточно-Белорусская; V – Полеская

Fig. 2. Assessment of landscape diversity at the genus level by province.

Landscape provinces: I – Poozerskaya; II – Belarusian upland;
III – Predpolesskaya; IV – East Belarusian; V – Poleskaya

Еще одним важным критерием выделения редких видов выступает степень сохранности естественной растительности лесов и лугов, болот и водных объектов (не менее 80 %). Такую оценку можно выполнить только в работах с картами среднего и крупного масштаба, т. е. на субрегиональном и локальном уровнях исследования при непосредственном изучении структуры и состояния ландшафтов, что еще предстоит оценить позднее.

Важной характеристикой выделения редких ландшафтов на локальном уровне является их уязвимость, подразумевающая высокую вероятность разрушения или повреждения ландшафтов, экосистем или отдельных природных компонентов (например, вымирание редких видов животных), риск утраты биологического и ландшафтного разнообразия без принятия специальных мер охраны, территориальной организации, осуществления агромелиоративных и противоэрозионных мероприятий.

Список видов особо редких ландшафтов, выявленных на региональном уровне, их приуроченность к родам ландшафтов и провинциям представлены в табл. 3.

Перечень редких ландшафтов с низкой встречаемостью, % от площади страны

Table 3

The list of rare landscapes with low occurrence, % of the country's area

Провинция	Роды ландшафтов	Виды ландшафтов	Удельный вес
<i>Платообразные ландшафты</i>			
Поозерская	Холмисто-моренно-озерные	Платообразные с сероольховыми лесами, внепойменными лугами (4)	0,1–0,3
Белорусская возвышенная	Холмисто-моренно-эрозионные	Платообразные с сосновыми, широколиственно-сосново-еловыми лесами, внепойменными лугами (14)	
Восточно-Белорусская	Лёссовые	Платообразные с фрагментами еловых лесов (25)	
<i>Среднехолмистые ландшафты</i>			
Белорусская возвышенная	Холмисто-моренно-эрозионные	Среднехолмистые с широколиственно-сосново-еловыми, широколиственно-еловыми лесами, внепойменными лугами (8) Среднехолмисто-увалистые с сосновыми, широколиственно-сосново-еловыми лесами (9)	0,1–1,0
	Камово-моренные	Среднехолмисто-грядовые с еловыми, сосновыми, широколиственно-еловыми, березовыми лесами (19)	
Полесская	Холмисто-моренно-эрозионные	Среднехолмисто-грядовые с широколиственно-сосновыми лесами (81)	
<i>Волнистые ландшафты</i>			
Поозерская	Моренно-озерные	Волнистые с камами, озами, ложбинами, сосновыми, еловыми, пушистоберезовыми, сероольховыми лесами (28)	0,5–1,2
	Озерно-ледниковые	Волнистые с дюнами, сосновыми, еловыми, пушистоберезовыми, сероольховыми лесами, внепойменными лугами (65)	
	Водно-ледниковые	Волнистые с озерами, камами, сосновыми, еловыми, широколиственно-еловыми, черноольховыми лесами (53)	
<i>Холмисто-волнистые ландшафты</i>			
Поозерская	Моренно-озерные	Холмисто-волнистые с друмлинами, ложбинами, котловинами, еловыми, сосновыми, широколиственно-еловыми, сероольховыми лесами, внепойменными лугами (29)	0,3–0,8
		Холмисто-волнистые с моренными холмами, камами, ложбинами, сосновыми, еловыми, березовыми лесами, внепойменными лугами (30)	
	Водно-ледниковые	Холмисто-волнистые с озерами, моренными и камовыми холмами, сосновыми, еловыми, широколиственно-сосново-еловыми лесами (59)	

Провинция	Роды ландшафтов	Виды ландшафтов	Удельный вес
<i>Мелкохолмисто-волнистые ландшафты</i>			
Восточно-Белорусская	Лёссовые	Мелкохолмисто-волнистые с сосновыми и осиновыми лесами (23)	0,4
<i>Плоские ландшафты</i>			
Поозерская	Водно-ледниковые	Плоские с моренными холмами, эоловыми грядами, сосновыми, широколиственно-еловыми, черноольховыми лесами, внепойменными лугами, болотами (48)	0,6–2,7
Белорусская возвышенная	Озерно-ледниковые	Плоские с эоловыми грядами, сосновыми лесами, внепойменными лугами (62)	
Полесская	Водно-ледниковые	Плоские с моренными холмами, эоловыми грядами, сосновыми, широколиственно-сосновыми, дубовыми, черноольховыми лесами, внепойменными лугами, болотами (88)	
	Озерно-аллювиальные	Плоские, частично осушенные, с котловинами, дюнами, пушистоберезовыми и черноольховыми лесами, болотами (99)	
	Озерно-болотные	Плоские с минеральными останцами, сосновыми и пушистоберезовыми лесами, внепойменными лугами, болотами (102)	
<i>Холмисто-увалистые ландшафты</i>			
Восточно-Белорусская	Вторично-моренные	Холмисто-увалистые с широколиственно-сосновыми, сосновыми, еловыми лесами (37)	0,6–1,5
Предполесская	Моренно-зандровые	Холмисто-увалистые с сосновыми и широколиственно-еловыми лесами (45)	
	Водно-ледниковые	Холмисто-увалистые с сосновыми лесами, внепойменными лугами (60)	
<i>Нерасчлененные речные долины</i>			
Поозерская, Белорусская возвышенная, Восточно-Белорусская	Речные долины	Долины с плоской поймой, локальными террасами, сосновыми, широколиственно-черноольховыми лесами и пойменными лугами (79)	1,2–2,6
	Речные долины	Долины со слабовыраженной поймой, локальными террасами, сосновыми лесами и пойменными лугами (80)	
<i>Долины крупных рек</i>			
Предполесская	Пойменные	Гривистые с пойменными дубравами и лугами (78; 107)	0,2–1,4
Полесская			

Примечание. В скобках приводится номер ландшафта на Ландшафтной карте Республики Беларусь (2014) [2].

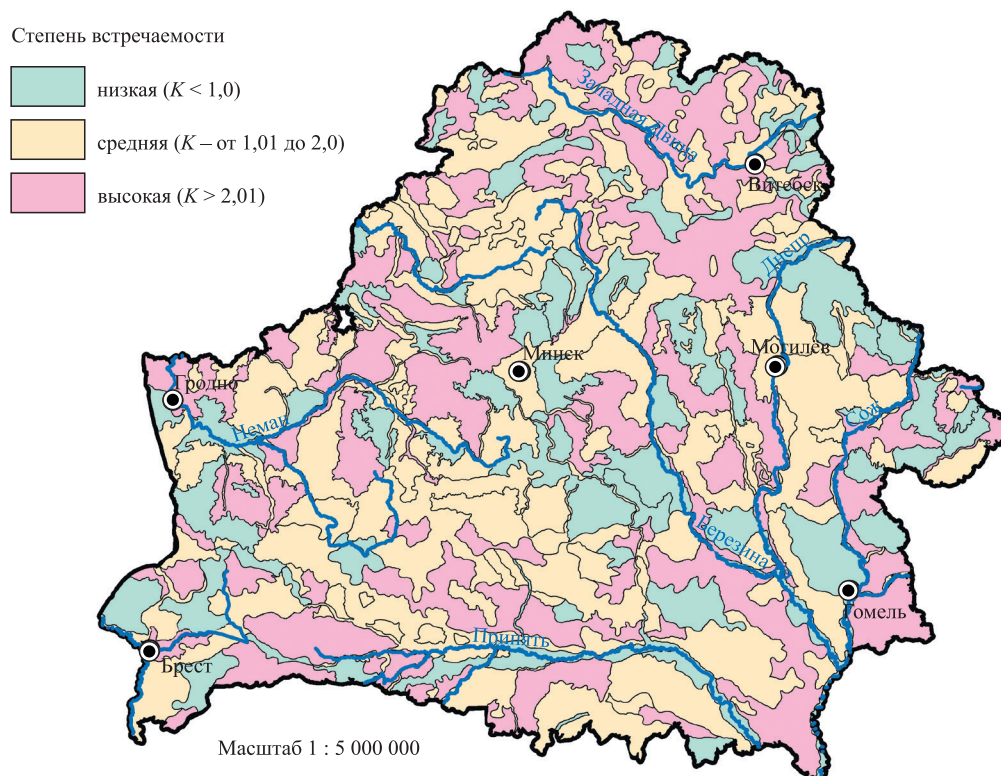


Рис. 3. Пространственная структура редких видов ландшафтов по показателю встречаемости

Fig. 3. The spatial structure of rare landscapes in terms of occurrence

Результаты исследований, приведенные карты и списки типичных и редких ландшафтов позволяют сделать вывод о целесообразности введения охранных режимов для редких и типичных ландшафтов, являющихся уникальным природным наследием страны, как на территории существующих ООПТ, так и при создании новых. Это будет способствовать поддержанию благоприятной среды обитания, ограничению вмешательства человека в природные экосистемы, успешной реализации природоохранной, социокультурной и туристско-рекреационной деятельности, устойчивому эколого ориентированному развитию страны.

Заключение

Представлены новые результаты исследований в области оценки и картографирования типичных и редких природных ландшафтов, что иллюстрируется впервые разработанной концептуальной моделью, предусматривающей четыре уровня изучения ландшафтов в соответствии с работами мелкого, среднего и крупного масштабов при организации или преобразовании ООПТ. Кроме того, предложена методика оценки и картографирования типичных и редких ландшафтов на страновом и региональном уровнях, приведены списки редких и типичных ландшафтов. Обоснованы критерии их выделения, конкретизировано содержание каждого из них (ландшафтное разнообразие, встречаемость, естественность, уязвимость, аттрактивность). Приведено развернутое определение терминов «типичность ландшафта» и «редкость ландшафта», создана карта распространения таких ландшафтов на территории Беларуси, а также карты оценки ландшафтного разнообразия и встречаемости редких ландшафтов. Все эти результаты являются новыми и представляются к публикации впервые. Они имеют практическую значимость и могут быть использованы:

- территориальными органами Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь при подготовке представлений о передаче выявленных типичных и редких природных ландшафтов под охрану землепользователю земельного участка;
- научными и другими организациями, осуществляющими выявление типичных и редких природных ландшафтов;
- научными и проектными организациями, разрабатывающими проекты и схемы лесо- и землеустройства, размещения производственных объектов и объектов транспортной и инженерной инфраструктуры, мелиорации земель, водоохраных зон, планировки зон отдыха и т. д.

Библиографические ссылки

1. Марцинкевич ГИ, Счастливая ИИ, Усова ИП, картографы. Ландшафтная карта [Республика Беларусь] [карта]. Минск: Белкартография; 2014. 1 лист: 1 : 500 000; 84 × 119; цветная.
2. Мясніковіч МУ і інш., рэдактары. Нацыянальны атлас Беларусі. Мінск: Камітэт па зямельных рэсурсах, геадэзіі і картаграфіі пры Савеце Міністраў Рэспублікі Беларусь; 2002. 299 с. [Карта], Ландшафтнае раянаванне; с. 143, 1 : 4 000 000.
3. Мэггеран Э. *Экологическое разнообразие и его измерение = Ecological diversity and its measurement*. Чернов ЮИ, редактор; Матвеева НВ, переводчик. Москва: Мир; 1992. 184 с. Совместно с издательством «Сroom Helm».
4. Jaeger JAG. Landscape division, splitting index and effective mesh size: new measures of landscape fragmentation. *Landscape Ecology*. 2000;15(2):115–130. DOI: 10.1023/A:1008129329289.
5. Гродзинський МД. Різноманіття ландшафтних різноманіть. В: Гродзинський МД, редактор. *Ландшафт як інтегруюча концепція XXI сторіччя*. Київ: Київський університет; 1999. с. 50–56.
6. Пузаченко ЮГ, Дьяконов КН, Алещенко ГМ. Разнообразие ландшафта и методы его измерения. В: Касимов НС, Романова ЭП, Тишков АА, редакторы. *География и мониторинг биоразнообразия*. Москва: МГУ; 2002. с. 76–178.
7. Пирожник ИИ, Марцинкевич ГИ, редакторы. *Структура географической среды и ландшафтное разнообразие Беларуси*. Минск: БГУ; 2006. 194 с.
8. Юргенсон НА, научный руководитель. Разработка плана управления республиканским заказником «Ольманские болота» [отчет о НИР]. Устин ВВ, ответственный исполнитель. Минск: Научно-практический центр НАН Беларуси по биоресурсам; 2014. 165 с.
9. Wascher DM, editor. *European landscape character areas – typologies, cartography and indicators for the assessment of sustainable landscapes. Final Project Report*. Wageningen: Landscape Europe; 2005. [150 p.]. Co-published by the ELCAI project partners.
10. Tudor Ch. An approach to landscape character assessment, 2014 [Internet]. [S. l.]: Natural England; 2014 [cited 2020 June 30]. Available from: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/691184/landscape-character-assessment.pdf.
11. Walz U. Landscape structure, landscape metrics and biodiversity. *Living Reviews in Landscape Research*. 2011;5:36–42.
12. Penning-Rowsell EC. A public preference evaluation of landscape quality. *Regional Studies*. 1982;16(2):97–112. DOI: 10.1080/09595238200185091.
13. van der Ploeg SWF, Vlijm L. Ecological evaluation, nature conservation and land use planning with particular reference to methods used in the Netherlands. *Biological Conservation*. 1978;14(3):197–221. DOI: 10.1016/0006-3207(78)90011-3.
14. Smith P, Theberge J. A review of criteria for evaluating natural areas. *Environmental Management*. 1986;10(6):715–734.
15. Rutledge D. *Landscape indices as measures of the effects of fragmentation: can pattern reflect process?* Wellington: Department of Conservation; 2003. 27 p. (O’Leary H, editor. Doc science internal series 98).
16. Gehlbach FR. Investigation, evaluation and priority ranking of natural areas. *Biological Conservation*. 1975;8(2):79–88. DOI: 10.1016/0006-3207(75)90033-6.
17. Ribe RG. A test of uniqueness and diversity visual assessment factors using judgement-independent measures. *Landscape Research*. 1986;11(2):13–15. DOI: 10.1080/01426398608706193.
18. Sargent FO, Brande JH. Classifying and evaluating unique natural areas for planning purposes. *Journal of Soil and Water Conservation*. 1976;31(3):113–116.
19. Ratcliffe D, editor. The selection of biological sites of national importance to nature conservation in Britain. Cambridge: Cambridge University Press; 1977. 401 p. (A nature conservation review; volume 1).
20. Solomon DL. A comparative approach to species diversity. In: Grassle JF, Patil GP, Smith WK, Tallie C, editors. *Ecological diversity in theory and practice*. Burtonsville, Maryland: International Cooperative Publishers; 1979. p. 29–38.
21. Margules C, Usher MB. Criteria used in assessing wildlife conservation potential: a review. *Biological Conservation*. 1981;21(2):79–109. DOI: 10.1016/0006-3207(81)90073-2.
22. Anderson JE. A conceptual framework for evaluating and quantifying naturalness. *Conservation Biology*. 1991;5(3):347–352. DOI: 10.1111/j.1523-1739.1991.tb00148.x.
23. Wright DF. A site evaluation scheme for use in the assessment of potential nature reserves. *Biological Conservation*. 1977;11(4):293–305. DOI: 10.1016/0006-3207(77)90042-8.
24. Foresta RA. Natural regions for national parks: the Canadian experience. *Applied Geography*. 1985;5(3):179–194. DOI: 10.1016/0143-6228(85)90021-9.
25. Leopold LB. Landscape esthetics: how to quantify the scenics of a River Valley. *Natural History*. 1969;October:36–45.
26. Поморов СБ. Атрактыўнасць – фундаментальная характарыстыка ландшафтаў пры праектаванні рэкрэацыйных аб’ектаў і сістэм. *Ползуновский альманах*. 1999;1:130–140.
27. Марцинкевич ГИ, Кузьмин СИ. Инновационные подходы и методы выделения и картографирования типичных и редких ландшафтов для целей их охраны. В: *Современное состояние и перспективы развития особо охраняемых природных территорий. Материалы конференции с международным участием, посвященной 20-летию образования Национального парка «Нарочанский»; 9–11 октября 2019 г.; Минск, Беларусь*. Минск: [s. p.]; 2019. с. 74–79.
28. Николаев ВА. *Классификация и мелкомасштабное картографирование ландшафтов*. Москва: Издательство Московского университета; 1978. 62 с.

References

1. Martsinkevich GI, Shchasnaya II, Usova IP, cartographers. The landscape map [Republic of Belarus] [map]. Minsk: Belkartografiya; 2014. 1 sheet: 1 : 500 000; 84 × 119; color.
2. Mjasnikovich MU, et al., editors. National Atlas of Belarus. Minsk: Committee for Land Resources, Geodesy and Cartography at the Council of Ministers of the Republic of Belarus; 2002. 299 p. [Map], Landscape zoning; p. 143, 1 : 4 000 000. Belarusian.

3. Magurran AE. *Ekologicheskoe raznoobrazie i ego izmerenie = Ecological diversity and its measurement*. Chernov YuI, editor; Matveeva NV, translator. Moscow: Mir; 1992. 184 p. Co-published by the «Croom Helm».
4. Jaeger JAG. Landscape division, splitting index and effective mesh size: new measures of landscape fragmentation. *Landscape Ecology*. 2000;15(2):115–130. DOI: 10.1023/A:1008129329289.
5. Grodzyns'kyj MD. Landscape diversity. In: *Landshaft jak integrujuča koncepcija XXI storichchja* [Landscape as an integrating concept of the 21st century]. Kyiv: University of Kyiv; 1999. p. 50–56. Ukrainian.
6. Puzachenko YuG, Dyakonov KN, Aleschenko GM. [The diversity of the landscape and methods for measuring it]. In: Kasimov NS, Romanova EP, Tishkov AA, editors. *Geography and monitoring of biodiversity*. Moscow: Moscow State University; 2002. p. 76–178. Russian.
7. Pyrozchnik II, Martsinkevich GI, editors. *The structure of the geographical environment and landscape diversity of Belarus*. Minsk: Belarusian State University; 2006. 194 p. Russian.
8. Jurgenson NA, scientific director. [Management Plan for the Republican Wildlife Refuge «Olmanskije Marshes»] [report on research]. Ustin VV, responsible executor. Minsk: Scientific Research and Production Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Bioresources; 2014. 165 p. Russian.
9. Wascher DM, editor. *European landscape character areas – typologies, cartography and indicators for the assessment of sustainable landscapes. Final Project Report*. Wageningen: Landscape Europe; 2005. [150 p.]. Co-published by the ELCAI project partners.
10. Tudor Ch. An approach to landscape character assessment, 2014 [Internet]. [S. l.]: Natural England; 2014 [cited 2020 June 30]. Available from: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/691184/landscape-character-assessment.pdf.
11. Walz U. Landscape structure, landscape metrics and biodiversity. *Living Reviews in Landscape Research*. 2011;5:36–42.
12. Penning-Rowsell EC. A public preference evaluation of landscape quality. *Regional Studies*. 1982;16(2):97–112. DOI: 10.1080/09595238200185091.
13. van der Ploeg SWF, Vlijm L. Ecological evaluation, nature conservation and land use planning with particular reference to methods used in the Netherlands. *Biological Conservation*. 1978;14(3):197–221. DOI: 10.1016/0006-3207(78)90011-3.
14. Smith P, Theberge J. A review of criteria for evaluating natural areas. *Environmental Management*. 1986;10(6):715–734.
15. Rutledge D. *Landscape indices as measures of the effects of fragmentation: can pattern reflect process?* Wellington: Department of Conservation; 2003. 27 p. (O'Leary H, editor. Doc science internal series 98).
16. Gehlbach FR. Investigation, evaluation and priority ranking of natural areas. *Biological Conservation*. 1975;8(2):79–88. DOI: 10.1016/0006-3207(75)90033-6.
17. Ribe RG. A test of uniqueness and diversity visual assessment factors using judgement-independent measures. *Landscape Research*. 1986;11(2):13–15. DOI: 10.1080/01426398608706193.
18. Sargent FO, Brande JH. Classifying and evaluating unique natural areas for planning purposes. *Journal of Soil and Water Conservation*. 1976;31(3):113–116.
19. Ratcliffe D, editor. The selection of biological sites of national importance to nature conservation in Britain. Cambridge: Cambridge University Press; 1977. 401 p. (A nature conservation review; volume 1).
20. Solomon DL. A comparative approach to species diversity. In: Grassle JF, Patil GP, Smith WK, Tallie C, editors. *Ecological diversity in theory and practice*. Burtonsville, Maryland: International Cooperative Publishers; 1979. p. 29–38.
21. Margules C, Usher MB. Criteria used in assessing wildlife conservation potential: a review. *Biological Conservation*. 1981;21(2):79–109. DOI: 10.1016/0006-3207(81)90073-2.
22. Anderson JE. A conceptual framework for evaluating and quantifying naturalness. *Conservation Biology*. 1991;5(3):347–352. DOI: 10.1111/j.1523-1739.1991.tb00148.x.
23. Wright DF. A site evaluation scheme for use in the assessment of potential nature reserves. *Biological Conservation*. 1977;11(4):293–305. DOI: 10.1016/0006-3207(77)90042-8.
24. Foresta RA. Natural regions for national parks: the Canadian experience. *Applied Geography*. 1985;5(3):179–194. DOI: 10.1016/0143-6228(85)90021-9.
25. Leopold LB. Landscape esthetics: how to quantify the scenics of a River Valley. *Natural History*. 1969;October:36–45.
26. Pomorov SB. [Attractivity is a fundamental characteristic of landscapes in the design of recreational objects and systems]. *Polzunovskii al'manakh*. 1999;1:130–140. Russian.
27. Martsinkevich GI, Kuzmin SI. Innovative approaches and methods for the allocation and mapping of typical and rare landscapes for the purpose of their protection. In: *Sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya osobo okhranyaemykh prirodnykh territorii. Materialy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashchennoi 20-letiyu obrazovaniya Natsional'nogo parka «Narochanskii»; 9–11 oktyabrya 2019 g.; Minsk, Belarus'* [Current status and development prospects of nature protected areas (NPA). Materials of conference with international participation dedicated to the 20th anniversary of the formation of the Narochansky National Park; 2019 October 9–11; Minsk, Belarus]. Minsk: [s. n.]; 2019. p. 74–79. Russian.
28. Nikolaev VA. *Klassifikatsiya i melkomasshtabnoe kartografirovanie landshaftov* [Classification and small-scale mapping of landscapes]. Moscow: Izdatel'stvo Moskovskogo universiteta; 1978. 62 p. Russian.

Статья поступила в редакцию 05.05.2020.
Received by editorial board 05.05.2020.

ЭКОНОМИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ РАЗВИТИЯ ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА И ДОСТУПНОСТЬ ПАССАЖИРСКИХ АВИАПЕРЕВОЗОК В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Е. А. АНТИПОВА¹⁾, Т. В. СЛИВИНСКАЯ¹⁾

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

Выявлены и проанализированы экономико-географические факторы развития авиационного транспорта, определено их влияние на уровень доступности пассажирских авиаперевозок в Республике Беларусь в 2005–2017 гг. Актуальность исследования факторов развития воздушного транспорта в Беларуси обусловлена географической спецификой страны и отсутствием в последние десятилетия отечественных работ подобной тематики. На основе корреляционного анализа предложена авторская группировка факторов развития воздушного транспорта с выделением главных, дополнительных и второстепенных, что выступило основанием для выявления дифференциации административных районов Беларуси по уровню доступности пассажирских авиаперевозок. Полученные результаты свидетельствуют о том, что в стране 60 % административных районов, или около 40 % населения, ограничены в возможности потребления услуг воздушного транспорта, что требует диверсификации количества перевозчиков и более интенсивного применения существующей авиатранспортной инфраструктуры. Исходя из этого, отдельное внимание уделено вопросам использования ресурсов местных аэропортов и потенциального развития отечественного регионального авиасообщения. Данные предложения позволят повысить доступность пассажирских авиаперевозок, что снизит до 10 % долю населения, которое ограничено в возможностях потребления услуг воздушного транспорта.

Ключевые слова: география транспорта; воздушный транспорт; факторный анализ; транспортная доступность; пассажирские авиаперевозки.

ECONOMIC AND GEOGRAPHIC FACTORS OF DEVELOPMENT OF AIR TRANSPORT AND ACCESSIBILITY OF PASSENGER AIR TRANSPORTATION IN THE REPUBLIC OF BELARUS

E. A. ANTIPOVA^a, T. V. SLIVINSKAYA^a

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

Corresponding author: T. V. Slivinskaya (sleevint@gmail.com)

The article is devoted to the identification and analysis of economic and geographical factors in the development of air transport and their impact on the level of accessibility of passenger air transportation in the Republic of Belarus for the period

Образец цитирования:

Антипова ЕА, Сливинская ТВ. Экономико-географические факторы развития воздушного транспорта и доступность пассажирских авиаперевозок в Республике Беларусь. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология.* 2020;2:47–59.
<https://doi.org/10.33581/2521-6740-2020-2-47-59>

For citation:

Antipova EA, Slivinskaya TV. Economic and geographic factors of development of air transport and accessibility of passenger air transportation in the Republic of Belarus. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology.* 2020;2:47–59. Russian.
<https://doi.org/10.33581/2521-6740-2020-2-47-59>

Авторы:

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

Татьяна Владимировна Сливинская – преподаватель кафедры экономической и социальной географии факультета географии и геоинформатики.

Authors:

Ekaterina A. Antipova, doctor of science (geography), full professor; head of the department of economic and social geography, faculty of geography and geoinformatics.
antipova@bsu.by

Tat'yana V. Slivinskaya, lecturer at the department of economic and social geography, faculty of geography and geoinformatics.
sleevint@gmail.com

from 2005 to 2017. The relevance of the study of the air transport development factors in Belarus is due to the geographical specificity of the country and the lack of domestic research on similar subjects in recent decades. On the basis of correlation analysis, the author's grouping of factors of the development of air transport has been proposed with the identification of the main, secondary and minor, which served as the basis for identifying the differentiation of administrative regions of Belarus by the level of accessibility of passenger air transportation. The results indicate that 40 % of the administrative regions or about 50 % of the population are characterised by limited abilities to consume air transport services, which requires diversification of the number of carriers and more intensive use of the existing air transport infrastructure. Based on this, special attention is paid to the use of the capabilities of regional airports and the potential development of domestic regional air traffic. These proposals will increase the availability of passenger air transportation, which will reduce up to 10 % the share of the population with disabilities in the consumption of air transport services.

Keywords: transport geography; air transport; factor analysis; transport accessibility; passenger air transportation.

Введение

Доступность услуг пассажирских авиаперевозок в условиях глобализации и роста мобильности населения имеет определяющее значение в повышении конкурентоспособности страны на мировом рынке авиатранспортных услуг. В связи с этим для Республики Беларусь очень важно усиление значимости национальной и региональной транспортной инфраструктуры для пассажирских авиаперевозок и выявление доступности услуг пассажирских авиаперевозок для населения. При этом по мере развития мирохозяйственных связей роль транспортных систем неуклонно возрастает [1] и подвергается влиянию множества факторов, которые чаще всего объединяются в природные, экономические, социальные, технологические, экологические и другие группы.

Значительный опыт изучения влияния различных факторов на развитие авиаперевозок, их объемов и направлений был накоплен в СССР [2]. К основным из них отнесены уровень развития и размещение хозяйства, направление и мощность основных внутрирайонных и межрайонных транспортно-экономических связей, размещение городов, административных центров, курортов и крупных объектов туризма [3, с. 126]. В конце XX в. была предпринята попытка количественно доказать влияние инвестиций в развитие транспортной инфраструктуры на рост экономики [2].

В настоящее время ряд российских ученых выделяют группы факторов, которые оказывают влияние на развитие транспорта: внутренние и внешние, географические, социальные, экономические, политические, экологические и др. [4].

Подход англо-американских исследователей к выявлению факторов, влияющих на развитие транспортной системы, отличается от принятого в советской, российской и отечественной школах. Так, например, в [1] выделяются три основных физико-географических ограничения для развития транспорта: рельеф местности, гидрографическая сеть и климатические особенности территории. Помимо этого, к основным факторам, формирующим пространственную структуру транспорта, авторы относят совокупные затраты, территориальную доступность и агломерационный эффект.

В контексте развития воздушного транспорта Беларуси представляется актуальным изучение более эффективного применения потенциала имеющейся в стране инфраструктуры, что должно повысить доступность услуг авиаперевозок для населения. Целью настоящего исследования стали выявление и анализ факторов развития авиационного транспорта в Беларуси и их влияние на доступность пассажирских авиаперевозок. При этом использование корреляционного анализа позволит их классифицировать по значимости влияния на уровень доступности пассажирских авиаперевозок отдельных регионов Беларуси.

Теоретической основой исследования послужили работы [5–8], в которых выявляются факторы трансформации авиатранспортной сети, в частности активность либерализационных процессов в отрасли, высокие темпы развития международного туризма, рост благосостояния населения и др. В [7] отмечено, что спрос на услуги пассажирских авиаперевозок можно выразить через такие показатели, как валовой внутренний продукт на душу населения, уровень урбанизации, географическое положение страны и уровень образования населения. Исследование влияния уровня развития авиационного транспорта и туризма представлено в [9–12].

Концептуально близкие исследования авиационного транспорта, посвященные определению транспортной доступности, проведены в [4; 13; 14]. В белорусской школе экономической географии изучались вопросы влияния воздушных лоукост-перевозчиков на развитие отрасли [15; 16].

Транспортная доступность авиаперевозок для населения является важной характеристикой, позволяющей оценить эффективность деятельности всего транспортного комплекса. При большом количестве существующих в географической науке определений этого понятия нами в данном исследовании используется трактовка [14], дополненная критерием экономической оценки доступности транспорт-

ных услуг, которая включает оценку показателей, характеризующих соотношение «стоимость транспортных услуг – доходы населения» [17].

Конкретные вопросы анализа доступности транспортных услуг применительно к размещению авиатранспортной инфраструктуры получили свое отражение в [18–24].

Материалы и методы исследования

Для изучения указанных выше вопросов использовались следующие методы: экспертной оценки (выявление гипотетических факторов), статистического (проведение корреляционного анализа, расчет индексов) и сравнительно-географического (выявление пространственно-временных различий в доступности) анализов, а также графоаналитический (выполнение графической интерпретации групп факторов), картографический (разработка картограмм по сценариям доступности). Реализация цели исследования потребовала выполнения нескольких этапов.

На первом этапе на основе экспертной оценки нами были определены факторы, гипотетически влияющие на развитие воздушного транспорта, и разработана система соответствующих каждому из них показателей анализа (табл. 1), которые в дальнейшем были положены в основу корреляционного анализа.

Таблица 1

Система показателей для анализа факторов развития воздушного транспорта

Table 1

The system of indicators for the analysis of factors of development of air transport

Факторы	Наименование показателей
Потенциальная численность потребителей услуг	Занятое население, чел. (Lf) Численность городского населения, чел. (Up)
Качество жизни населения	Денежные доходы населения, млн руб. (Pi)
Интенсивность международного туризма	Число въездных туристов, тыс. чел. (Nte) Число выездных туристов, тыс. чел. (Ntl)
Государственная монетарная политика	Индекс потребительских цен на услуги (Cps) Индекс потребительских цен на услуги воздушного транспорта (Cpat)
Инвестиционный климат	Иностранные инвестиции, млн долл. США (Fi) Иностранные инвестиции в транспорт, млн долл. США (Fit) Инвестиции в транспорт, млн долл. США (It)
Цена на энергоносители	Средняя экспортная цена на нефтепродукты, долл. США за 1 т (Ep) Цена на нефть марки Brent, долл. США за баррель (Op)
Инновационная среда	Внутренние затраты на НИОКР, млн долл. США (R & D) Объем выполненных научно-технических работ, млн долл. США (Vw)
Показатели эффективности работы воздушного транспорта	Экспорт транспортных услуг воздушного транспорта, млн долл. США (Ext) Выручка от перевозок пассажиров, грузов и почты, млрд руб. (Rt) Расходы по перевозкам пассажиров, грузов и почтовых отправлений, млрд руб. (Et)

Статистической основой исследования послужили ресурсы из официальных изданий Национального статистического комитета Республики Беларусь, а также Департамента по авиации Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь. Период исследования – 2005–2017 гг. Для соразмерности и сопоставимости всех показателей нами выполнена их агрегация (все стоимостные показатели переведены в условные единицы, а именно в доллары США по среднегодовому курсу Национального банка Республики Беларусь).

На следующем этапе для оценки степени влияния выбранных факторов на развитие воздушного транспорта между рассчитанными индексами был проведен корреляционный анализ (расчеты выполнены в программе *SPSS 17.0*). Для построения матрицы применялась корреляция Пирсона. В целях интерпретации ее результатов использовалась шкала оценок взаимосвязей Чеддока, где $0 < r \leq 0,2$ – очень слабая, $0,2 < r \leq 0,5$ – слабая, $0,5 < r \leq 0,7$ – средняя, $0,7 < r \leq 0,9$ – сильная и $0,9 < r \leq 1,0$ – очень сильная взаимосвязь.

Далее для оценки степени доступности услуг воздушного транспорта населению в Республике Беларусь нами был предложен и рассчитан индекс доступности пассажирских авиаперевозок (IA) в раз-

резе административных районов и г. Минска за 2013 и 2017 гг., а также осуществлена группировка районов Беларуси по доступности пассажирских авиаперевозок. Критериями были выбраны уровень и качество жизни населения, потенциальный спрос на услуги авиационного транспорта, географическое положение и развитие транспортной инфраструктуры, которые соотносятся с указанными выше работами и представлениями экономикогеографов о трении пространства [25; 26]. Данные критерии нашли отражение в таких показателях, как средняя заработная плата, плотность населения, расстояние до аэропорта и плотность автомобильных дорог.

Группировка районов Беларуси по доступности пассажирских авиаперевозок выполнена нами в трех сценариях, предложенных авторами на основании выбора аэропортов, предоставляющих услуги. Данный элемент статьи представляет научную новизну в географических исследованиях воздушного транспорта, заключающуюся в возможности установления степени пространственной дифференциации районов и доминирующего уровня доступности пассажирских авиаперевозок, а также в возможности разработки практических рекомендаций с учетом полученных результатов по совершенствованию авиатранспортной инфраструктуры.

Для сценария 1 был выбран Национальный аэропорт Минск (MSQ) как крупнейший и фактически единственный на данный момент центр предоставления услуг по авиаперевозкам в стране. Сценарий 2 включает в себя Национальный аэропорт Минск (MSQ), аэропорт Вильнюс (VNO), Каунасский международный аэропорт (KUN), Варшавский международный аэропорт имени Фредерика Шопена (WAW), аэропорт Люблин (LUZ), аэропорт Киев имени Игоря Ивановича Сикорского (IEV). Выбор данных аэропортов стран-соседей объясняется тем, что жители страны часто прибегают к их услугам с более конкурентными ценами, разнообразием компаний авиаперевозчиков и более диверсифицированными маршрутами перелетов по сравнению с Национальным аэропортом Минск. Главным критерием выбора названных зарубежных аэропортов является их географическая близость.

Альтернативным выступает сценарий, при котором будет использоваться инфраструктура региональных аэропортов Брест (BQT), Витебск (VTB), Гомель (GME), Гродно (GNA), Могилёв (MVQ) вместе с Национальным аэропортом Минск (MSQ) и Минск-1 (MHP) (до закрытия в 2015 г.). Результаты анализа этого сценария должны подтвердить гипотезу о необходимости перенаправления пассажиропотока в региональные аэропорты из аэропортов стран-соседей. В целом предполагается, что исследование докажет гипотезу о преобладании районов с низким уровнем доступности пассажирских авиаперевозок в Республике Беларусь.

Первоначально выбранные показатели были переведены в индексный вид методом максимума/минимума (IA_{jn} , где j – номер района; n – номер показателя), благодаря чему данные принимают количественный вид в диапазоне от 0 до 1. Расчет производился по следующей формуле:

$$IA_{jn} = \frac{A_{jn} - \min(A_{jn})}{\max(A_{jn}) - \min_n(A_{jn})},$$

здесь $\min(A_{jn})$ и $\max(A_{jn})$ – нижняя и верхняя границы для показателей A_n j -х районов за исследуемый период.

Приведение показателя среднего расстояния до аэропорта в индексный вид осуществлялось по следующей формуле:

$$IA_{jn} = 1 - \left(\frac{A_{jn} - \min(A_{jn})}{\max(A_{jn}) - \min_n(A_{jn})} \right).$$

Для расчетов данного индекса во всех трех сценариях в качестве верхней и нижней границ показателей были взяты постоянные минимальные и максимальные значения из сценария 1. Чтобы определить расстояние до аэропорта, авторы использовали возможности электронного ресурса *Google Maps*. Точками отсчета расстояния были центр соответствующего административного района и пункт локализации аэропорта.

Итоговый индекс доступности пассажирских авиаперевозок агрегировали методом среднего арифметического. На его основе нами выполнена группировка районов Беларуси по уровню доступности пассажирских авиаперевозок с использованием шкалы: очень низкий ($IA < 0,15$), низкий ($0,15 \leq IA < 0,30$), средний ($0,30 \leq IA < 0,45$), высокий ($IA \geq 0,45$) уровень доступности.

Для количественной интерпретации индекса по районам и характеристики неравномерности выборки были использованы показатели амплитуды, среднего арифметического и медианы совокупности, а также коэффициента вариации (V). Последний отражает отклонение показателей от середины, поэтому если $V < 0,33$, то отклонение считается слабым, а совокупность однородной; при $0,33 \leq V < 0,50$ отклонение является средним, а при $V \geq 0,50$ [27] – высоким, что в нашем случае рассматривается как

подтверждение наличия сильных региональных ограничений в потреблении услуг воздушного транспорта населением.

Результаты исследования и их обсуждение

Анализ факторов развития воздушного транспорта в Республике Беларусь обусловил проведение предварительной оценки трендов основных ключевых показателей его уровня развития в стране (табл. 2). Данная оценка выступила в дальнейшем обоснованием для объяснения роли и степени влияния тех или иных факторов на развитие воздушного транспорта.

Таблица 2

Основные показатели развития воздушного транспорта Беларуси

Table 2

The main indicators of the development of air transport in Belarus

Факторы	Год						
	2005	2007	2009	2011	2013	2015	2017
Объем перевезенных пассажиров воздушным транспортом, тыс. чел. (V_p)	464,4	612,4	781,3	1040,3	1615,1	2092,7	3006,1
Выручка от перевозок пассажиров, грузов и почты, млрд руб. (R_t)	72,52	102,6	121,43	194,35	263,25	269,56	321
Экспорт транспортных услуг воздушного транспорта, млн долл. США (Ext)	73,70	94,20	119,30	146,20	230,30	250,50	283,90
Расходы по перевозкам пассажиров, грузов и почтовых отправок, млрд руб. (Et)	67,83	102,74	123,4	195,59	243,48	275,50	269,82

Источник: [24].

Анализ показал, что объем авиапассажиров в Беларуси за исследуемый период увеличился практически в 6,5 раза, что объясняется ростом доходов населения, развитием международного туризма и возрастающим вовлечением страны в мировое хозяйство, а также ее геополитическим положением. Следует отметить положительную динамику показателя выручки от перевозок пассажиров, грузов и почтовых отправок. Увеличением характеризуется и показатель экспорта услуг воздушного транспорта. Расходы по перевозкам пассажиров, грузов и почтовых отправок возросли до 2015 г., после чего данный показатель снизился.

В результате корреляционного анализа факторов развития воздушного транспорта в Беларуси на основе матрицы с коэффициентами (табл. 3) нами были выделены три группы факторов по степени их влияния: главные, дополнительные и второстепенные (табл. 4). К главным были отнесены качество жизни населения и инвестиционный климат, нашедшие отражение в показателях денежных доходов населения (P_i) и иностранных инвестициях (F_i) соответственно.

Высокую прямую корреляцию денежные доходы населения имеют со всеми индексами работы воздушного транспорта (0,605; 0,512; 0,508; 0,529 соответственно), что объясняется большой зависимостью работы транспорта от покупательной способности и потребительского поведения населения.

Таблица 3

Корреляционная матрица факторов развития воздушного транспорта в Республике Беларусь

Table 3

The correlation matrix for the development of air transport in the Republic of Belarus

Индексы	Объем перевезенных пассажиров	Выручка от перевозок пассажиров, грузов и почты	Экспорт транспортных услуг воздушного транспорта	Расходы по перевозкам пассажиров, грузов и почтовых отправок
Занятое население	-0,109	0,212	-0,107	0,295
Число въездных туристов	-0,178	-0,353	-0,629*	-0,314

Окончание табл. 3
Ending table 3

Индексы	Объем перевезенных пассажиров	Выручка от перевозок пассажиров, грузов и почты	Экспорт транспортных услуг воздушного транспорта	Расходы по перевозкам пассажиров, грузов и почтовых отправлений
Число выездных туристов	0,450	0,003	0,125	-0,040
Численность городского населения	0,010	-0,182	0,215	-0,250
Денежные доходы населения	0,605*	0,512	0,508	0,529
Иностранные инвестиции	-0,250	0,752**	0,228	0,792**
Иностранные инвестиции в транспорт	-0,445	0,022	0,065	0,042
Инвестиции в транспорт	0,107	0,360	0,341	0,383
Индекс цен на потребительские услуги (Cps)	-0,285	0,078	0,207	0,092
Индекс цен на услуги воздушного транспорта (Cpat)	-0,509	0,051	0,056	0,083
Цена на нефть марки Brent (Op)	-0,410	-0,280	0,002	-0,289
Средняя экспортная цена на нефтепродукты (Ep)	0,378	0,243	0,164	0,257
Внутренние затраты на НИОКР (R & D)	0,247	0,037	0,117	0,076
Объем выполненных научно-технических работ (Vw)	0,589*	0,162	0,243	0,173

Примечание. Уровень значимости (p -уровень) по SPSS 17.0: * – $p \leq 0,05$; ** – $p \leq 0,01$. Значения коэффициента корреляции по модулю более 0,5 отображены серым цветом, более 0,75 – темно-серым цветом.

Таблица 4

Группировка факторов развития воздушного транспорта в Беларуси

Table 4

Grouping of development factors of air transport in Belarus

Группа факторов	Наименование показателя
Главные	Денежные доходы населения, млн руб.
	Иностранные инвестиции, млн долл. США
Дополнительные	Объем выполненных научно-технических работ, млн долл. США
	Индекс цен на услуги воздушного транспорта
	Число выездных туристов, тыс. чел.
	Число выездных туристов, тыс. чел.
Второстепенные	Занятое население, чел.
	Численность городского населения, чел.
	Иностранные инвестиции в транспорт, млн долл. США
	Инвестиции в транспорт, млн долл. США
	Индекс цен на потребительские услуги
	Цена на нефть марки Brent, долл. США за баррель
	Средняя экспортная цена на нефтепродукты, долл. США за 1 т
	Внутренние затраты на НИОКР, млн долл. США

Следует отметить, что корреляция с индексом объема перевезенных пассажиров значима на уровне 0,05, а это делает связь между данными показателями статистически весомой.

Значения коэффициента корреляции между индексами иностранных инвестиций (F_i), с одной стороны, выручкой и расходами от перевозок пассажиров, грузов и почты, с другой стороны, составили 0,752 и 0,792 соответственно. Корреляция значима на уровне 0,01, что также отражает ее весомость. Следовательно, можно утверждать, что на развитии воздушного транспорта в стране положительно отразится конкуренция и приход на внутренний рынок иностранных авиакомпаний.

К дополнительным факторам были отнесены инновационная среда, государственная монетарная политика и международный туризм. Значение коэффициента корреляции между индексами объема перевезенных пассажиров и объемом выполненных научно-технических работ составляет 0,589. Инновационная среда влияет на эффективность и безопасность работы воздушного транспорта путем разработки и внедрения современных аэронавигационных технологий, различного программного обеспечения, направленного как на повышение эффективности работы отрасли, так и на удобство в получении информации потребителем.

Коэффициент корреляции $-0,509$ отмечается между индексом объема перевезенных пассажиров и индексом цен на услуги воздушного транспорта. Это указывает на наличие обратной связи между данными показателями, т. е. чем выше значения цен на услуги воздушного транспорта, тем меньше объем перевезенных пассажиров данным видом транспорта, и наоборот.

Обратная корреляция экспорта транспортных услуг воздушного транспорта с показателем численности въезжающих туристов составляет $-0,629$. Это объясняется зависимостью воздушного транспорта от международных туристских потоков. Несмотря на низкое значение коэффициента корреляции между числом выездных туристов и объемом перевезенных пассажиров, данный показатель, по мнению авторов, также стоит включить в дополнительные факторы, поскольку в последнее время активный рост международного туризма благоприятно сказывался на развитии воздушного транспорта. Одним из примеров является увеличение пассажирооборота после введения 30-дневного безвизового режима для иностранных граждан, прибывших в Беларусь через Национальный аэропорт Минск.

Для графического отражения влияния факторов показатели по коэффициенту Пирсона были нормализованы путем их возведения в модуль (рис. 1).

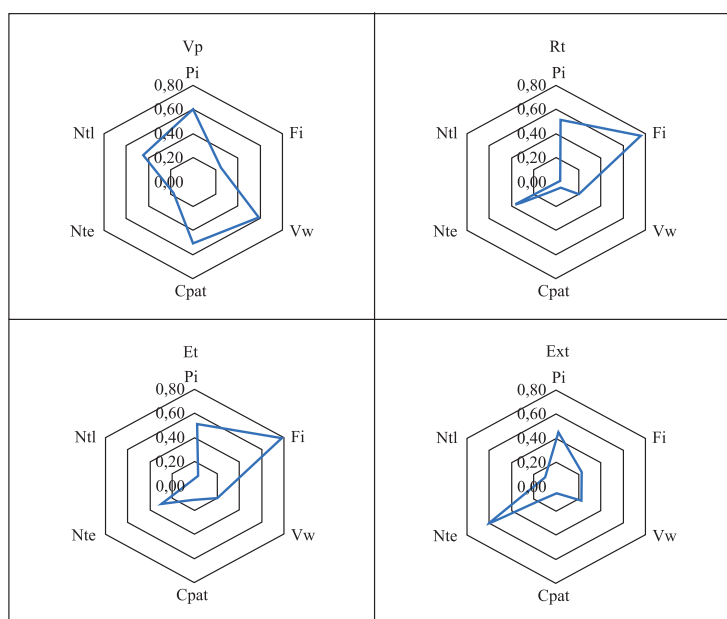


Рис. 1. Графическая интерпретация групп факторов (главных и дополнительных), влияющих на развитие воздушного транспорта Республики Беларусь

Fig. 1. Graphical interpretation of groups of factors (primary and secondary) affecting the development of air transport of the Republic of Belarus

В целом проведенный анализ показал доминирующее влияние доходов населения на развитие воздушного транспорта в Республике Беларусь. От этого напрямую зависит возможность населения использовать дорогостоящий воздушный транспорт для осуществления каких-либо перемещений.

Расчеты и анализ индекса доступности пассажирских авиаперевозок показали, что согласно сценарию 1 доступности услуг пассажирских авиаперевозок с центром предоставления услуг в Националь-

ном аэропорту Минск на территории страны выделяются четыре группы районов – с высоким, средним, низким и очень низким показателями индекса доступности. Преобладающей является группа с низким уровнем доступности пассажирских авиаперевозок – более 60 % районов (табл. 5 и 6), что объясняется их менее выгодным географическим положением по отношению к Национальному аэропорту Минск.

Таблица 5

Структура административных районов Республики Беларусь по индексу доступности пассажирских авиаперевозок (2013–2017)

Table 5

Structure of administrative regions of the Republic of Belarus by the index of accessibility of passenger air transportation (2013–2017)

Номер сценария	Год	Доля группы по количеству районов, % (доля группы по численности населения, %)			
		Высокий (IA ≥ 0,45)	Средний (0,30 ≤ IA < 0,45)	Низкий (0,15 ≤ IA < 0,30)	Очень низкий (IA < 0,15)
Сценарий 1	2013	2 (22)	29 (32)	63 (44)	6 (2)
	2017	2 (22)	29 (25)	62 (50)	7 (3)
Сценарий 2	2013	2 (22)	37 (43)	60 (34)	1 (1)
	2017	2 (22)	35 (37)	62 (40)	1 (1)
Сценарий 3	2013	4 (34)	68 (57)	28 (9)	0 (0)
	2017	3 (27)	69 (61)	28 (12)	0 (0)

Таблица 6

Типологические показатели групп районов Республики Беларусь по сценариям доступности пассажирских авиаперевозок

Table 6

Typological indicators of groups of regions of the Republic of Belarus by scenario of accessibility of passenger air transportation

Сценарий	Год	Группы районов по индексу доступности	Типологические показатели для сценариев			
			Средняя заработная плата, руб.	Плотность населения, чел./км ²	Расстояние до аэропорта, км	Плотность автомобильных дорог, км/км ²
Сценарий 1	2013	Высокий	6394,8	740,7	79,4	0,26
		Средний	4772,6	41,7	126,3	0,37
		Низкий	4479,1	33,9	195,7	0,44
		Очень низкий	3900,1	20,7	300,0	0,53
	2017	Высокий	1130,5	740,7	79,4	0,26
		Средний	759,7	34,7	125,5	0,37
		Низкий	703,9	38,3	193,5	0,44
		Очень низкий	617,0	19,5	290,4	0,52
Сценарий 2	2013	Высокий	6394,8	740,7	79,4	0,26
		Средний	4781,8	46,6	120,2	0,38
		Низкий	4338,3	28,5	170,6	0,45
		Очень низкий	3620,5	14,5	272,9	0,49
	2017	Высокий	1130,5	740,7	79,4	0,26
		Средний	762,4	41,6	118,6	0,37
		Низкий	680,4	32,6	171,2	0,45
		Очень низкий	576,8	12,4	304,2	0,41

Сценарий	Год	Группы районов по индексу доступности	Типологические показатели для сценариев			
			Средняя заработная плата, руб.	Плотность населения, чел./км ²	Расстояние до аэропорта, км	Плотность автомобильных дорог, км/км ²
Сценарий 3	2013	Высокий	5963,1	336,9	44,0	0,34
		Средний	4611,8	36,7	80,7	0,39
		Низкий	3920,8	17,6	124,7	0,50
		Очень низкий	–	–	–	–
	2017	Высокий	1075,9	350,6	54,1	0,31
		Средний	730,0	38,9	79,5	0,39
		Низкий	623,3	21,7	125,3	0,50
		Очень низкий	–	–	–	–

Географически эта группа районов концентрически размещается вокруг предыдущих групп с более высокими показателями индекса доступности пассажирских авиаперевозок. В группу с высоким уровнем доступности пассажирских авиаперевозок вошли г. Минск и Солигорский район, что объясняется их географическим положением в центре страны и одним из самых высоких уровней заработной платы в стране. Средним уровнем доступности обладает практически каждый третий административный район Беларуси. Группа включает в себя практически все районы Минской области, что связано с их непосредственной географической близостью к Национальному аэропорту Минск. В эту группу также входят районы других областей, примыкающих к Минской области либо обладающих развитой транспортной инфраструктурой (рис. 2). Очень низкий уровень доступности пассажирских авиаперевозок характерен для Мстиславского и Хотимского районов Могилёвской области, Свислочского, Зельвенского районов Гродненской, Каменецкого, Жабинковского, Малоритского и Дрогичинского районов Брестской и Лоевского – Гомельской области. Это связано с их географической удаленностью от центра предоставления авиатранспортных услуг, а также низкими доходами населения.

В соответствии со сценарием 2, который, помимо Национального аэропорта Минск, включает в себя также аэропорт Вильнюс (VNO), Каунасский международный аэропорт (KUN), Варшавский международный аэропорт имени Фредерика Шопена (WAW), аэропорт Люблин (LUZ), аэропорт Киев имени Игоря Ивановича Сикорского (IEV), преобладающей также является группа с низким уровнем доступности пассажирских авиаперевозок (более 60 % районов) (см. рис. 2). Однако увеличивается доля районов со средним уровнем доступности (более 35 %), что можно объяснить их большей географической близостью к аэропортам стран-соседей, чем к Национальному аэропорту Минск. В эту группу вошли практически все районы Минской области, а также 9 районов Гомельской (граничащие с Украиной, а также Жлобинский, Речицкий, Светлогорский), 6 – Брестской (Барановичский, Брестский, Ганцевичский, Ивацевичский, Лунинецкий и Столинский), 5 – Могилёвской (Бельничский, Бобруйский, Кличевский, Могилёвский и Осиповичский) и 5 – Гродненской (Гродненский, Лидский, Островецкий, Ошмянский, Сморгонский) областей, а также Докшицкий и Полоцкий районы Витебской области.

Как и в предыдущем сценарии, в 2017 г. Барановичский и Могилёвский районы переместились в группу с низким уровнем доступности пассажирских авиаперевозок. В группу с высоким уровнем доступности вошли также, как и в предыдущем сценарии, г. Минск и Солигорский район. Очень низкий уровень доступности пассажирских авиаперевозок в 2013 г. при данном сценарии был характерен для Мстиславского и Хотимского районов Могилёвской области, а в 2017 г. – только для Хотимского района (см. рис. 2).

Сценарий 3, который представляется перспективным и включает в себя все региональные аэропорты страны как центры предоставления услуг авиатранспорта, характеризуется принципиальным отличием от предыдущих. В соответствии с этим сценарием преобладающей является группа районов со средним уровнем доступности (около 70 % районов). Географически данная группа тяготеет к востоку и юго-востоку страны, что объясняется расположением здесь большего количества региональных аэропортов. Практически каждый третий район вошел в группу с низким уровнем доступности. Отсутствуют районы с очень низким уровнем доступности пассажирских авиаперевозок. В группу с высоким уровнем доступности в 2013 г. вошли не только г. Минск и Солигорский район, но и промышленно развитые Брестский, Гомельский и Речицкий районы, что объясняется при данном сценарии существенным

изменением их транспортно-географического положения, а также относительно высокими доходами населения. В 2017 г. в результате указанных кризисных проявлений Гомельский район ухудшил свое экономическое положение и перешел в группу со средним уровнем доступности пассажирских авиаперевозок.

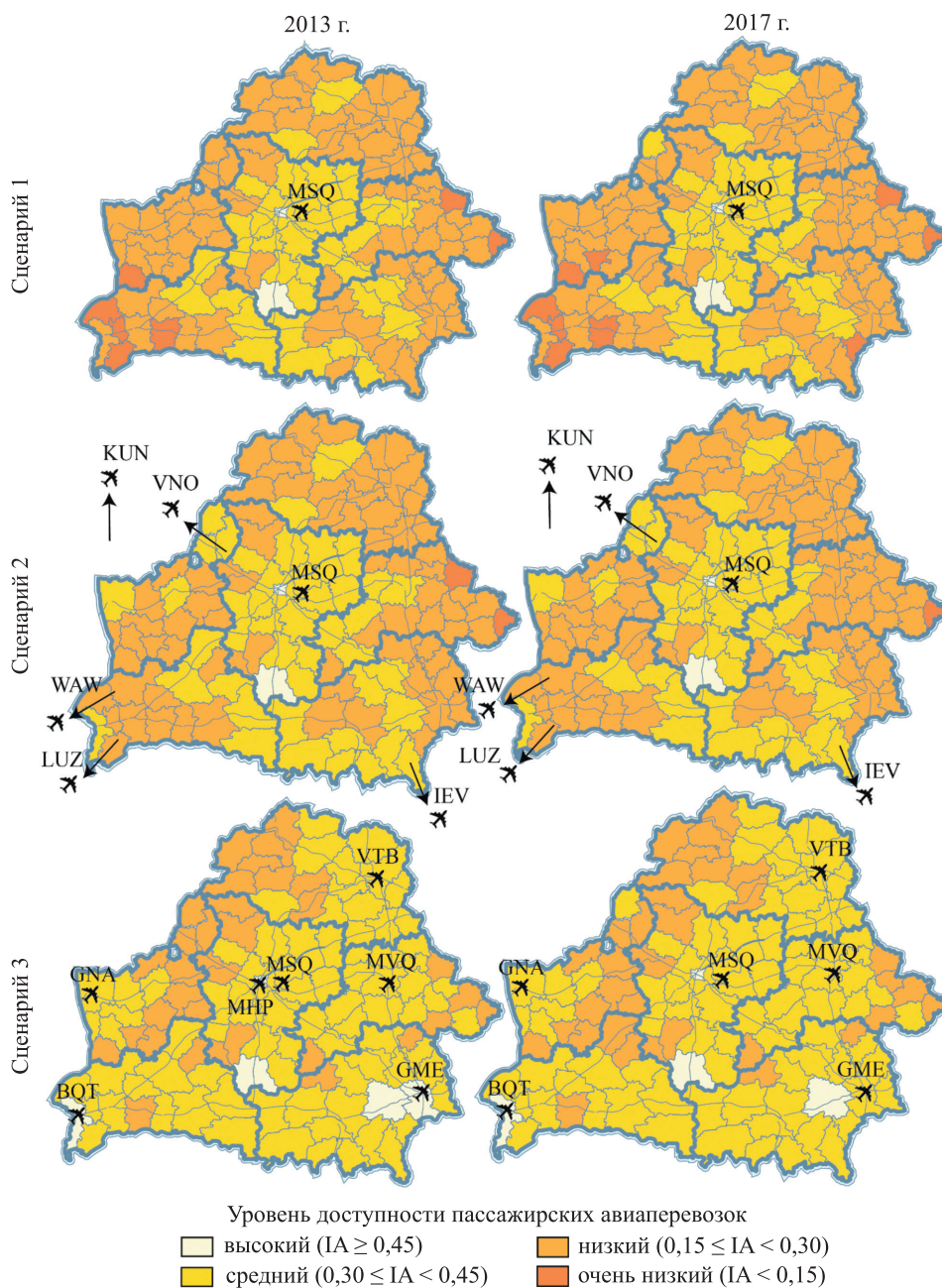


Рис. 2. Группировка районов Республики Беларусь по уровню доступности пассажирских авиаперевозок

Fig. 2. Grouping of regions of the Republic of Belarus by the level of accessibility of passenger air transportation

Количественная интерпретация результатов исследования позволяет сделать некоторые утверждения:

- во-первых, по мере продвижения по сценариям от первого к последнему снижается показатель амплитуды совокупности при одновременном увеличении средней арифметической и медианы, что позволяет говорить об общем улучшении доступности услуг воздушного транспорта для населения страны;
- во-вторых, во всех сценариях показатели средней арифметической и медианы являются близкими, что свидетельствует о равномерности распределения совокупности относительно среднего и отсутствии явной региональной дискриминации населения в предоставлении услуг воздушного транспорта;

• в-третьих, коэффициент вариации во всех сценариях находится на отметке ниже 0,33, что говорит о низком региональном неравенстве по уровню доступности пассажирских авиаперевозок, которое при этом будет наименьшим при реализации последнего перспективного сценария.

Сравнительный анализ трех сценариев позволил установить следующие пространственные закономерности:

1) высокий уровень доступности пассажирских авиаперевозок сохраняется в трех сценариях в Солигорском районе и г. Минске. Данная ситуация сложилась из-за высоких показателей средней заработной платы;

2) при сценариях 1 и 2 преобладающей в структуре является группа районов с низким уровнем доступности, при сценарии 3 – со средним, что делает его наиболее перспективным. Такая структура объясняется увеличением географической близости, отраженной показателем расстояния до аэропорта, от сценария 1 к сценарию 3;

3) в 2017 г. при сценарии 1 ограниченную доступность (значения индекса очень низкие либо низкие) имеют более 50 % населения страны и около 70 % районов, при сценарии 2 – более 40 % населения и более 60 % районов, при сценарии 3 – более 10 % населения страны и менее 30 % районов, что объясняется увеличением географической близости районов. Подобная структура рассматривается нами как достаточный аргумент для совершенствования авиатранспортной сети с использованием возможностей региональных аэропортов и потенциальным развитием отечественного регионального авиасообщения.

За 2013–2017 гг. региональная доступность пассажирских авиаперевозок в стране ухудшилась в основном по причине снижения уровня доходов населения. Главенствующее значение уровня и качества жизни населения для развития воздушного транспорта обуславливает высокие позиции в авиатранспортной доступности некоторых административных районов (Солигорский, Полоцкий, Мозырский, Жлобинский и др.), несмотря на их менее выгодное экономико-географическое положение.

Трение пространства (географическое положение и инфраструктура) объясняет более высокую доступность для населения авиатранспортных услуг районов внутренней периферии даже по сравнению со многими областными регионами. Наименьшая доступность пассажирских перевозок характерна для Могилёвской и Гродненской областей, что обуславливает необходимость развития регионального авиасообщения.

Заключение

Проведенный анализ факторов развития авиационного транспорта в Республике Беларусь позволяет констатировать определяющую роль в нем денежных доходов населения и иностранных инвестиций, что отражает потенциальный спрос на услуги, а также степень вовлеченности страны в мировые глобальные процессы. К дополнительным факторам отнесены развитие международного туризма, объем выполненных научно-технических работ и цены на услуги воздушного транспорта.

Проведенное исследование выявило с учетом сценариев 1 и 2, что в Республике Беларусь 60 % административных районов, или около 40 % населения, характеризуются ограниченными возможностями в потреблении услуг воздушного транспорта, что требует диверсификации количества перевозчиков и более интенсивного использования существующей авиатранспортной инфраструктуры.

Результаты исследования дают основание говорить о слабом учете влияния экономико-географических факторов на функционирование воздушного транспорта в стране. Так, наличие шести центров предоставления авиатранспортных услуг (сценарий 3) позволит увеличить их доступность населению и впоследствии их мобильность. Данный результат согласуется с реализацией в Республике Беларусь с 2018 г. концепции развития областных аэропортов. Первый этап ее реализации включает выполнение ими чартерных рейсов, второй – более активное развитие полетов авиации общего назначения и бизнес-авиации, третий – развитие регулярного воздушного сообщения силами как отечественных, так и иностранных авиационных перевозчиков. Эти мероприятия направлены на совершенствование авиатранспортной сети и позволят повысить доступность пассажирских авиаперевозок в Республике Беларусь.

Библиографические ссылки

1. Rodrigue J-P, Comtois C, Slack B. *The geography of transport systems*. 3rd edition. London: Routledge; 2013. 416 p.
2. *География СССР. Том 10. География транспорта*. Москва: [ВИНИТИ]; 1973. 170 с.
3. Бугроменко ВН. *Транспорт в территориальных системах*. Москва: Наука; 1987. 111 с.
4. Иванов МВ. Развитие транспортной инфраструктуры региона: факторы, направления, инструментарий оценки [автореферат диссертации]. Нижний Новгород: Волжский государственный университет водного транспорта; 2016. 24 с.
5. Bowen J. Network change, deregulation, and access in the global airline industry. *Economic Geography*. 2002;78(4):425–439.

6. Burghouwt G, Hakfoort JR, Ritsema van Eck J. The spatial configuration of airline networks in Europe. *Journal of Air Transport Management*. 2003;9(5):309–323.
7. Cook AJ, Kluge U, Paul A, Cristóbal S. Factors influencing European passenger demand for air transport. In: *Air Transport Research Society World Conference; 2017 July 5–8; Belgium*. [Antwerp]: Air Transport Research Society; 2017. p. 1–14.
8. Goetz AR, Sutton CJ. The geography of deregulation in the U.S. airline industry. *Annals of the Association of American Geographers*. 1997;87(2):238–263. DOI: 10.1111/0004-5608.872052.
9. Вуколов ВН. Проблемы использования авиационного транспорта в туристском бизнесе и возможности их решения. *Вестник университета Туран*. 2012;4:105–109.
10. Гусева МВ. Основные направления совершенствования обеспечения индустрии туризма авиационным транспортом в современных условиях. *Финансовая жизнь*. 2011;1:81–84.
11. Мансуров ЭН, Харитонов НВ. Европейские бюджетные авиаперевозчики: история, бизнес-модели и роль в туризме. *Географический вестник*. 2010;3:80–85.
12. Саранча МА. Оценка транспортной обеспеченности территории Удмуртской Республики с использованием ГИС для целей туристско-рекреационных исследований. *Вестник Удмуртского университета. Серия: Биология. Науки о Земле*. 2010;2:64–68.
13. Дубовик ВО. Оценка транспортной доступности городов Уругвая и Боливии. *Вестник Московского университета. Серия 5. География*. 2014;3:57–63.
14. Тархов СА. *Изменение связности пространства России (на примере авиационного сообщения)*. Москва: Ойкумена; 2015. 154 с.
15. Безрученко АП. Сценарии организации авиатранспортной сети в условиях трансформации европейского рынка авиаперевозок (на примере Республики Беларусь). *Региональные исследования*. 2011;4:95–106.
16. Струк МИ, Сливинская ТВ. Оценка интенсивности авиаперевозок в странах Европейского региона. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология*. 2017;2:82–91.
17. Горкин АП, редактор. *Социально-экономическая география: понятия и термины*. Смоленск: Ойкумена; 2013. 328 с.
18. Блауг М. Экономическая теория использования пространства и классическая теория размещения производства. В: Блауг М. *Экономическая мысль в ретроспективе*. Москва: Дело; 1994. с. 568–585.
19. Abler R. Distance, intercommunications, and geography. *Proceedings of the Association of American Geographers*. 1971;3:1–4.
20. Kish G. Soviet air transport. *Geographical Review*. 1958;48:309–320. DOI: 10.2307/212254.
21. Marchand V. Deformation of a transportation surface. *Annals of the Association of American Geographers*. 1973;63(4):507–521.
22. Snyder DE. Commercial passenger linkages and the metropolitan nodality of Montevideo. *Economic Geography*. 1962;38:95–112.
23. Ullman E. Transportation geography. In: James PE, Jones CF, editors. *American geography: inventory and prospect*. [S. l.]: Syracuse University Press; 1954. p. 310–332.
24. Warntz W. Global science and the tyranny of space. *Papers of the Regional Science Association*. 1968;20:7–19.
25. *Новый взгляд на экономическую географию. Доклад о мировом развитии*. Москва: Весь мир; 2009. 408 с.
26. Антипова ЕА, Шавель АН, Запрудский ИИ. Экономико-географические и социально-экономические различия регионов Республики Беларусь как основа совершенствования административно-территориального деления. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология*. 2019;1:3–21. DOI: 10.33581/2521-6740-2019-1-3-21.
27. Зубаревич НВ, Сафронов СГ. Региональное неравенство в крупных постсоветских странах. *Известия Российской академии наук. Серия географическая*. 2011;1:17–30.

References

1. Rodrigue J-P, Comtois C, Slack B. *The geography of transport systems*. 3rd edition. London: Routledge; 2013. 416 p.
2. *Geografiya SSSR. Tom 10. Geografiya transporta* [Geography of the USSR. Volume 10. Geography of transportation]. Moscow: [VINITI]; 1973. 170 p. Russian.
3. Bugromenko VN. *Transport v territorial'nykh sistemakh* [Transport in territorial systems]. Moscow: Nauka; 1987. 111 p. Russian.
4. Ivanov MV. *Razvitie transportnoi infrastruktury regiona: faktory, napravleniya, instrumentarii otsenki* [Development of the transport infrastructure of the region: factors, directions, assessment tools] [master's theses]. Nizhny Novgorod: Volzhskiy gosudarstvennyy universitet vodnogo transporta; 2016. 24 p. Russian.
5. Bowen J. Network change, deregulation, and access in the global airline industry. *Economic Geography*. 2002;78(4):425–439.
6. Burghouwt G, Hakfoort JR, Ritsema van Eck J. The spatial configuration of airline networks in Europe. *Journal of Air Transport Management*. 2003;9(5):309–323.
7. Cook AJ, Kluge U, Paul A, Cristóbal S. Factors influencing European passenger demand for air transport. In: *Air Transport Research Society World Conference; 2017 July 5–8; Belgium*. [Antwerp]: Air Transport Research Society; 2017. p. 1–14.
8. Goetz AR, Sutton CJ. The geography of deregulation in the U.S. airline industry. *Annals of the Association of American Geographers*. 1997;87(2):238–263. DOI: 10.1111/0004-5608.872052.
9. Vukolov VN. Problems of using air transport in the tourism business and possible solutions. *Vestnik universiteta Turan*. 2012;4:105–109. Russian.
10. Guseva MV. Main trends of the tourism industry to ensure air transport in modern conditions. *Finansovaya zhizn'*. 2011;1:81–84. Russian.
11. Mansurov EN, Kharitonova NV. European budget low-costers: history, business model and role in tourism. *Geograficheskii vestnik*. 2010;3:80–85. Russian.
12. Sarancha MA. Estimation of transport provided of territory of the Udmurt Republic with use of GIS for turist-recreational researches. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya: Biologiya. Nauki o Zemle*. 2010;2:64–68. Russian.
13. Dubovik VO. Evaluation of transport accessibility of Uruguayan and Bolivian towns. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya*. 2014;3:57–63. Russian.

14. Tarkhov SA. *Izmenenie svyaznosti prostranstva Rossii (na primere aviapassazhirskogo soobshcheniya)* [Spatial connectivity of Russia: air passengers flow's case]. Moscow: Oikumena; 2015. 154 p. Russian.
15. Bezruchonak AP. Scenarios of air transportation network organization under conditions of European airline market transformation (the case of the Republic of Belarus). *Regional'nye issledovaniya*. 2011;4:95–106. Russian.
16. Struk MI, Slivinskaya TV. Evaluation of the intensity of air transportation in the European region. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology*. 2017;2:82–91. Russian.
17. Gorkin AP, editor. *Sotsial'no-ekonomicheskaya geografiya: ponyatiya i terminy* [Socio-economic geography: concepts and terms]. Smolensk: Oikumena; 2013. 328 p. Russian.
18. Blaug M. [Economic theory of the use of space and the classical theory of the allocation of production]. In: Blaug M. *Ekonomicheskaya mysl' v retrospektive* [Economic thought in retrospect]. Moscow: Delo; 1994. p. 568–585. Russian.
19. Abler R. Distance, intercommunications, and geography. *Proceedings of the Association of American Geographers*. 1971;3:1–4.
20. Kish G. Soviet air transport. *Geographical Review*. 1958;48:309–320. DOI: 10.2307/212254.
21. Marchand B. Deformation of a transportation surface. *Annals of the Association of American Geographers*. 1973;63(4): 507–521.
22. Snyder DE. Commercial passenger linkages and the metropolitan nodality of Montevideo. *Economic Geography*. 1962;38: 95–112.
23. Ullman E. Transportation geography. In: James PE, Jones CF, editors. *American geography: inventory and prospect*. [S. l.]: Syracuse University Press; 1954. p. 310–332.
24. Warntz W. Global science and the tyranny of space. *Papers of the Regional Science Association*. 1968;20:7–19.
25. *World Development Report 2009: reshaping economic geography*. Washington: World Bank; 2009. 383 p.
Russian edition: *Novyj vzglyad na ekonomicheskuyu geografiyu. Doklad o mirovom razviti*. Moscow: Ves' mir; 2009. 408 p.
26. Antipova EA, Shavel AN, Zaprudskij II. Economic and geographical and socio-economic differences of regions of the Republic of Belarus as a basis for improvement of administrative-territorial division. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology*. 2019;1:3–21. Russian. DOI: 10.33581/2521-6740-2019-1-3-21.
27. Zubarevich NV, Safronov SG. Regional inequality in large post-Soviet countries. *Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Seriya geograficheskaya*. 2011;1:17–30. Russian.

Статья поступила в редколлегию 04.05.2020.
Received by editorial board 04.05.2020.

УДК [911.3:33]:338.465.4(476)

ЭКОНОМИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ ПРИДОРОЖНОГО СЕРВИСА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ НА ПРИМЕРЕ МАГИСТРАЛЬНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Д. П. КОРОТЫШ¹⁾, Н. С. ШЕЛЕГ²⁾

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

²⁾Белорусский государственный экономический университет,
пр. Партизанский, 26, 220070, г. Минск, Беларусь

Рассмотрена характеристика территориальных различий придорожного сервиса на магистральных автомобильных дорогах Республики Беларусь за 2015–2019 гг. В настоящее время проблемы создания, функционирования и повышения эффективности работы объектов придорожного обслуживания широко представлены в исследованиях ученых-экономистов, однако вопрос территориальной организации придорожного сервиса недостаточно изучен в географической науке. Цель работы – экономико-географический анализ пространственных различий и закономерностей развития услуг придорожного сервиса на магистральных автомобильных дорогах Беларуси и предложение приоритетных направлений их расширения с учетом экономико-географических факторов и выявленных закономерностей. Представлен сравнительный анализ придорожного сервиса магистральных автомобильных дорог и рассмотрены экономико-географические факторы, обуславливающие развитие его сети. Установлены закономерности территориальной дифференциации придорожного сервиса. Изучен вопрос комплексности сервиса, которая выражается в количестве видов придорожных услуг и развитии многофункциональных объектов, на которых может быть оказано пять и более видов услуг. Научная новизна исследования заключается в том, что впервые в Республике Беларусь была предложена экономико-географическая типология магистральных автомобильных дорог по типу структуры услуг придорожного сервиса и принадлежности к трансъевропейским транспортным коридорам. Ценность данного исследования состоит в определении приоритетных направлений развития придорожного сервиса магистральных автомобильных дорог с учетом выявленных особенностей структуры услуг.

Ключевые слова: экономическая география; экономико-географический анализ; придорожный сервис; структура услуг; магистральные автомобильные дороги; Республика Беларусь.

Образец цитирования:

Коротыш ДП, Шелег НС. Экономико-географический анализ структуры придорожного сервиса Республики Беларусь на примере магистральных автомобильных дорог. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология.* 2020;2:60–69.
<https://doi.org/10.33581/2521-6740-2020-2-60-69>

For citation:

Korotysh DP, Sheleg NS. Economic and geographic analysis of road service structure of the Republic of Belarus (on the example of highways). *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology.* 2020;2:60–69. Russian.
<https://doi.org/10.33581/2521-6740-2020-2-60-69>

Авторы:

Дмитрий Павлович Коротыш – аспирант кафедры экономической и социальной географии факультета географии и геоинформатики. Научный руководитель – Н. С. Шелег.
Николай Сидорович Шелег – доктор экономических наук, профессор; профессор кафедры экономики торговли и услуг факультета коммерции и туристической индустрии.

Authors:

Dmitry P. Korotysh, postgraduate student at the department of economic and social geography, faculty of geography and geoinformatics.
demitrio93@mail.ru
Nikolai S. Sheleg, doctor of science (economics), full professor; professor at the department of economics of trade and services, faculty of commerce and tourist industry.
sheleg-na@mail.ru

ECONOMIC AND GEOGRAPHIC ANALYSIS OF ROAD SERVICE STRUCTURE OF THE REPUBLIC OF BELARUS (ON THE EXAMPLE OF HIGHWAYS)

D. P. KOROTYSH^a, N. S. SHELEG^b

^a*Belarusian State University, 4 Niezaliežnasci Avenue, Minsk 220030, Belarus*

^b*Belarus State Economic University, 26 Partyzanski Avenue, Minsk 220070, Belarus*

Corresponding author: D. P. Korotysh (demitrio93@mail.ru)

The article is devoted to the economic and geographic characteristics of territorial differences in roadside services providing on the main roads of the Republic of Belarus of the 2015–2019. At present, the relevant issues related to the problems, organization, functioning and increasing the efficiency of roadside service facilities are widely represented in the studies of economists. However, the issue of the territorial organization of roadside service has not been practically studied in geographical science. The aim of the work is an economic and geographical analysis of spatial differences and patterns in the development of roadside services on the main roads of the Republic of Belarus and suggesting priority development areas, taking into account economic and geographical factors and identified regularities. The research provides a comparative analysis of the roadside service in the main roads and economic and geographical factors which determine the development of the roadside service network. Such factors include: traffic intensity, population of the administrative region, transport accessibility of service facilities for urban residents, level of socio-economic development of the region. The patterns of territorial differentiation of roadside services have been established, which are manifested in a high concentration of objects and services in areas with high traffic, attraction to large cities and the state border. The question of the service complexity, which is expressed in the number of roadside services types and the development of multifunctional facilities, which provide 5 or more types of services, is considered. The scientific novelty of the study lies in the fact that the research of geographical aspects of roadside services is performed for the first time in the country and international aspects of the problem, an economic and geographical typology of main roads was proposed based on the type of roadside service structure and belonging to trans-European transport corridors using the example of the Republic of Belarus. The following typology enables to determine the underdevelopment of certain types of roadside services, such as car service stations, car washes, and guarded parking lots. The value of this study lies in identifying priority directions for the development of highways roadside service based on identified road services particularities: expanding the range of roadside services on facilities territory, developing a network of secure parking lots, including for trucks, developing multifunctional service complexes, providing paid and free self-service system services.

Keywords: economic and geographical analysis; roadside service of the Republic of Belarus; highways; type of service structure; priority areas of development.

Введение

Придорожный сервис – комплексный объект сферы услуг, который включает в себя такие виды деятельности, как транспорт, розничная торговля, туризм, общественное питание, технические, бытовые услуги и др. Он является сложным объектом экономических, архитектурных, технических исследований в силу разнообразных видов сервисной деятельности и факторов, определяющих их размещение, функционирование и развитие. Экономико-географическая наука обладает широким методическим аппаратом для комплексного исследования придорожного сервиса (его территориальной организации, структуры услуг, потенциала и факторов развития).

Актуальность изучения придорожного сервиса определяется тем, что он выступает одним из стратегических направлений развития транзитного потенциала Республики Беларусь, приносит около 30 % доходов от транспортных услуг, способствует активизации автомобильного туризма в стране [1].

Придорожный сервис в Беларуси развивается в условиях дифференциации численности населения, уровня социально-экономического развития регионов, интенсивности движения автомобилей по магистральным дорогам, спроса на отдельные виды услуг, что требует применения территориального подхода в изучении данной проблемы.

Методика исследования

Методологической и теоретической базой исследования стали анализ факторов, определяющих развитие сети придорожного сервиса; оценка обеспеченности и уточнение нормативов размещения объектов и услуг; изучение востребованных видов услуг и перспективных участков для развития комплексного придорожного обслуживания; разработка рекомендаций по повышению эффективности работы придорожного сервиса.

Номенклатура услуг придорожного сервиса зависит от ряда обстоятельств: потребности в услуге, интенсивности движения, протяженности и состояния дороги, нормативов размещения объектов, удаленности от крупных городов, географического и культурно-исторического значения региона. Интенсивность передвижения по трассе, уровень сервиса на ней, номенклатура услуг, оказываемых комплексами дорожного сервиса, зависят от туристической освоенности региона, его культурно-исторической и географической ценности [2].

Модель оценки веса факторов в целях выбора площадки для строительства АЗС создана в практике международных исследований. По их результатам такие характеристики, как интенсивность движения и состав транспортного потока, наиболее значимы. Географическое положение занимает второе место и включает близость к городам и потребителям услуг. Фактор конкуренции представлен показателем количества АЗС на изучаемой территории [3].

В исследовании придорожного сервиса Литвы были выделены два типа придорожных зон отдыха – с обслуживанием и без сервиса. Ученые предлагают размещать такие объекты с учетом типичных расстояний расположения зон отдыха вдоль автомагистралей. Кластеры придорожного сервиса, предназначенные для обслуживания транзитных грузовых и пассажирских транспортных средств, могут быть расположены в узлах автомагистралей международного значения или на участках магистральных автомобильных дорог с высокой интенсивностью движения [4].

Стоит согласиться с авторами указанных исследований по части выделенных характеристик развития придорожного сервиса. Однако данный список следует дополнить факторами численности населения и уровня социально-экономического развития административного района, в пределах которого расположена автомобильная магистраль, подчеркнуть значимость географического положения объекта придорожного сервиса, определяющего номенклатуру услуг.

В [5] использован современный метод *space syntax* в ГИС, что позволило определить наиболее перспективные участки транзитных дорог Литвы и Латвии для размещения объектов придорожного сервиса. Нами установлено, что недостатком данного метода является выделение перспективных участков для развития придорожного сервиса без учета особенностей географического положения планируемых объектов, а для более детального исследования названный фактор необходим.

По данным исследования [6], на польском рынке грузовых перевозок каждый год отмечается стабильный рост, что приводит к увеличению спроса на придорожное обслуживание грузоперевозчиков. В результате сравнительного анализа существующих и прогнозных потоков большегрузных автомобилей выявлена необходимость модернизации сети автостоянок для нужд данного вида транспорта. Указанная работа представляет интерес, поскольку в Республике Беларусь наблюдается схожая ситуация с недостаточным количеством охраняемых стоянок [1].

В исследовании обеспеченности зонами отдыха и обслуживания испанской сети платных автомагистралей было рассчитано среднее расстояние между зонами обслуживания, которое составляет 23,74 км, а между остальными типами объектов – 19,18 км и регулируется нормативами в 40–60 км. Средние максимальные расстояния для зон обслуживания и для зон другого типа объектов составляют 34,31 и 28,27 км. Практически все зоны обслуживания включают автозаправочную станцию, объекты торговли и питания, которые установлены как базовый набор услуг придорожного сервиса. Тем не менее такие объекты, как душевые кабины, места для пикника, игровые площадки для детей и кемпинги, имеются в небольшом количестве [7]. Определение основных видов услуг стало методической базой изучения нами данной темы и позволило выделить подтипы структуры услуг придорожного сервиса.

В экономико-географических исследованиях придорожного сервиса используется методическая основа географии транспорта, в частности вопросы территориальной организации, транспортной доступности, территориального анализа транспортных систем.

Транспортная доступность в [8] определена как системный индикатор пространственных возможностей общества, реализуемый с помощью транспортной инфраструктуры, который оценивает конкурентоспособность различных местоположений. Она является важным фактором, обуславливающим структуру придорожных услуг и тип географического положения объектов.

В [9] выделен ряд аспектов территориальной организации, или проявлений: размещение объектов, территориальные различия, пространственные отношения между объектами, горизонтальные связи, комплексы и структуры, пространственные процессы и морфология объектов, территориальное управление, которые могут быть использованы при характеристике организации придорожного сервиса.

Территориальный анализ сетевых, узловых и полигональных элементов автотранспортной подсистемы приведен в [10]. Здесь представлены географические модели доступности для сети магистральных и региональных республиканских автомобильных дорог, рассчитана гравитационная модель притяжения транспортных узлов по величине транспортной продуктивности и численности населения, разработана схема совершенствования сети основных автодорог Республики Беларусь. Используемые методы статистического анализа, расчетов показателя транспортной доступности использованы и в на-

стоящей работе, а методические подходы к исследованию автотранспортной системы служили руководством в изучении придорожного сервиса на магистральных автомобильных дорогах Республики Беларусь за 2015–2019 гг.

От других работ данной тематики в области придорожного сервиса наше исследование отличается использованием показателя плотности услуг, выделением закономерностей и причин его изменения в региональном аспекте, анализом территориальных различий в обеспеченности придорожными услугами, предложением типологии магистральных автомобильных дорог по типу структур придорожного сервиса и приоритетных направлений его развития для каждого из выделенных типов дорог.

В ходе исследований дано определение понятия «придорожный сервис»: это деятельность предприятий и организаций по оказанию широкого комплекса услуг, направленных на удовлетворение потребностей участников дорожного движения, туристов и местных жителей.

Основными средствами изучения были определены сравнительный анализ, картографический и статистический методы. Выбор магистральных автомобильных дорог был обоснован более высоким уровнем развития сети придорожного сервиса, нежели на республиканских дорогах, где размещение объектов обслуживания носит дискретный характер.

Статистическая база исследования создана с использованием метода ключей и полевых маршрутов. Обследовано 50 объектов придорожного сервиса на магистралях М1, М10, М7, М6 в целях уточнения набора показателей, характеризующих развитие объектов, определения типа географического положения, морфологии объектов. Полученные данные были записаны в формуляры. После определения конечного набора показателей уточнялись данные по остальным объектам (261). В качестве источников данных использованы материалы Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь, районных и областных исполнительных комитетов, Национального статистического комитета Республики Беларусь, картографических ресурсов *OpenStreet.Map*, *Google.Maps*, *Яндекс.Карты*. Недостатком полученной статистической базы является разновременность данных, собранных по объектам придорожного сервиса.

С использованием метода сравнительного и статистического анализов показателей развития магистральных автомобильных дорог были определены региональные различия в обеспеченности придорожным сервисом. Для характеристики пространственной дифференциации в обеспеченности придорожным сервисом использовался показатель плотности придорожных услуг, который рассчитывался как отношение количества оказываемых услуг к единице длины автомагистрали в пределах административного района. Для каждого пункта сервиса определено количество видов услуг и выделены многофункциональные объекты сервиса, оказывающие пять и более услуг.

Структурно-функциональный анализ рынка придорожных услуг проведен по 311 объектам сервиса магистральных автомобильных дорог. К основным видам были отнесены услуги АЗС, общественного питания, розничной торговли, размещения, охраняемой стоянки, СТО, мойки. Для каждого из них рассчитана доля от общего количества услуг всех объектов данной магистрали. К категории прочих видов были отнесены услуги АГЗС, страхование, банковские, медицинские, бытовые и культурно-развлекательные услуги.

В соответствии со структурой придорожных услуг и принадлежностью автомобильной магистрали к трансъевропейскому коридору разработана экономико-географическая типология магистральных автомобильных дорог Республики Беларусь. К современным методам исследования стоит отнести интерпретацию и визуализацию результатов в геоинформационной программе *ArcGIS 9.3* с использованием картографического способа знаков движения.

На выделенных типах магистральных автомобильных дорог оценены перспективы развития и предложены мероприятия по повышению эффективности работы объектов придорожного сервиса [11].

Результаты исследования и их обсуждение

Территориальные различия в структуре придорожного сервиса на магистральных автомобильных дорогах Республики Беларусь проявляются в виде дифференциации таких показателей, как количество объектов и оказываемых ими услуг, плотность услуг и среднее их количество на один объект (табл. 1).

Различия обусловлены рядом таких экономико-географических факторов, как интенсивность движения автомобилей, уровень социально-экономического развития и численность населения региона, в пределах которого расположена автомагистраль, географическое положение и транспортная доступность придорожных объектов жителям городских населенных пунктов (табл. 2) [2; 3].

Магистральная автомобильная дорога М1 отличается наиболее развитым придорожным сервисом, поскольку является главным транспортным коридором страны и характеризуется высокими значениями среднесуточной интенсивности движения – 9,5 тыс. авто в сутки. Самым низким значением показателя плотности услуг обладает магистраль М10, поскольку на протяжении данной трассы наблюдаются низкие значения интенсивности движения, численности населения и уровня социально-экономического развития регионов.

Таблица 1

Сравнительная характеристика развития придорожного сервиса
 на автомагистралях Республики Беларусь (2015–2019)

Table 1

Comparative characteristics of the development of roadside services
 on highways of the Republic of Belarus (2015–2019)

Трасса	Длина трассы, км	Интенсивность движения, авто в сутки	Количество услуг	Количество объектов	Плотность услуг, ед./км	Среднее количество оказываемых услуг на объекте
M1	609	9458	327	116	0,54	2,82
M2	29	25 600	9	4	0,3	2,3
M3	237	7609	64	23	0,27	2,78
M4	168	7941	53	17	0,32	3,11
M5	287	8785	68	22	0,24	3,09
M6	289	6241	95	33	0,33	2,88
M7	94	2195	30	10	0,32	3
M8	456	3540	86	34	0,19	2,53
M10	526	4800	84	34	0,16	2,47
M11	191	3259	41	12	0,21	3,42
M12	50	1721	9	3	0,18	3

Примечание. Составлено на основе статистических данных Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь.

В региональном разрезе показатель плотности услуг придорожного сервиса снижается с удалением от Минска и возрастает в приграничных районах (рис. 1). Это объясняется уменьшением показателя интенсивности движения автомобилей по магистралям, численности населения административных районов, в пределах которых расположена магистраль.

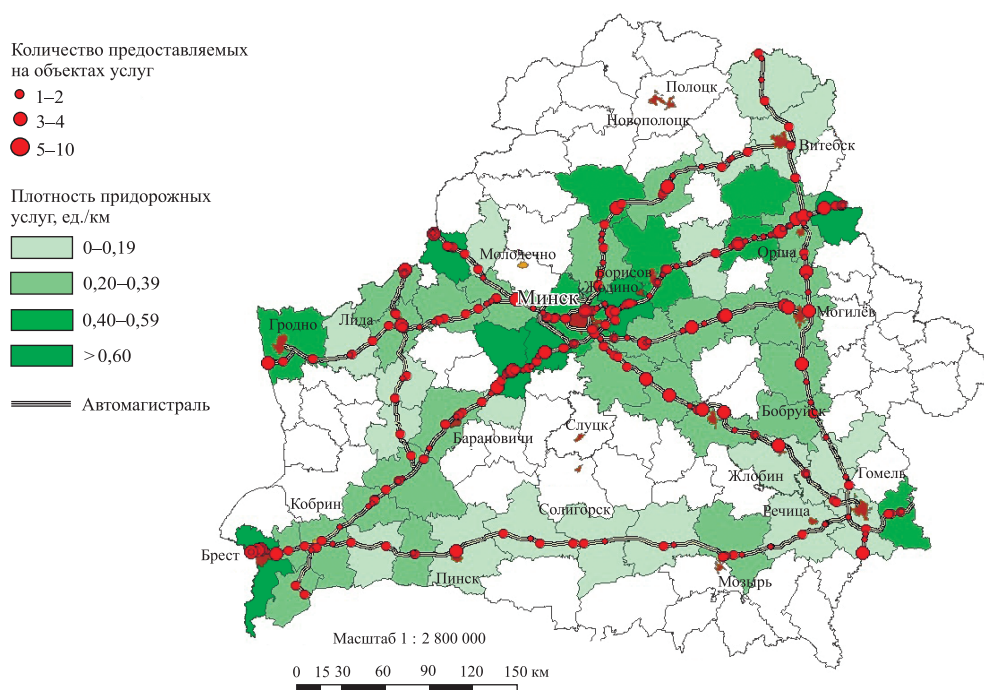


Рис. 1. Плотность услуг придорожного сервиса на магистральных автомобильных дорогах Республики Беларусь за 2015–2019 гг.

Fig. 1. The density of roadside services on the highways of the Republic of Belarus for 2015–2019

Рост плотности придорожных услуг в приграничной зоне связан с высоким спросом на них, поскольку процесс прохождения таможенных процедур может занимать несколько часов. Важным преимуществом приграничных объектов сервиса являются более низкие цены на товары и услуги в сравнении со странами-соседями (Польша, Литва, Россия) [2].

В общей структуре придорожного сервиса 11 магистральных автомобильных дорог преобладают услуги горячего питания, АЗС и розничной торговли (рис. 2).

Данные виды стоит отнести к базовым придорожным услугам, которые преимущественно интегрированы в один объект [7]. Такие виды сервиса, как охраняемая стоянка, пункт поста, СТО и мойка, суммарно занимают 15,3 % рынка придорожных услуг. К прочим видам сервиса относятся АГЗС, страхование, банковские, медицинские, бытовые, культурно-развлекательные услуги.

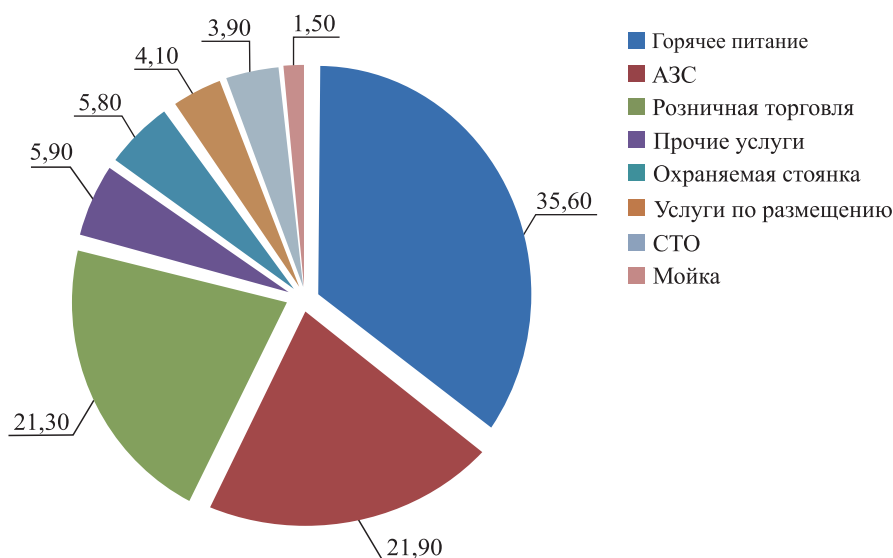


Рис. 2. Структура услуг придорожного сервиса в 2019 г., %

Fig. 2. Roadside services structure in 2019, %

На современном этапе развития придорожного сервиса комплексное обслуживание является необходимым условием эффективной организации работы в этой сфере. Следовательно, развитие многофункциональных придорожных объектов должно стать приоритетной задачей. К многофункциональным комплексам относятся объекты, которые оказывают пять и более видов услуг [2]. На магистральных дорогах нами выделено 39 таких объектов, доля которых составляет 12,5 % от общего количества пунктов придорожного обслуживания. Эти комплексы развиваются в различных географических условиях: вблизи городов, в приграничной зоне, на пересечении дорог или на межселенных территориях. Главным условием их эффективной работы является высокая среднесуточная интенсивность движения – свыше 6000 авто в сутки [6]. Считаем перспективным развитие многофункциональных комплексов на основе базовых объектов сервиса, таких как АЗС, поскольку большинство из них оказывают 3–4 вида услуг, имеют стоянку.

Нами было определено, что базовые услуги (АЗС, розничная торговля и горячее питание) наиболее развиты на магистралях М1 и М7 (см. табл. 2, рис. 3). На М1 это обусловлено тем, что данная платная дорога характеризуется высокими значениями показателя интенсивности движения автомобилей – свыше 8000 авто в сутки, наличием 4 полос движения и разрешенной скоростью движения до 120 км/ч. Магистральная дорога М7, в свою очередь, отличается низкими показателями интенсивности движения автомобилей (2000 авто в сутки), наличием 2 полос движения, незначительной протяженностью (94 км), небольшой численностью населения и невысоким уровнем социально-экономического развития регионов. Придорожный сервис на данной магистрали сконцентрирован у государственной границы, где спрос на услуги выше.

На основе полученных данных разработана типология магистральных автомобильных дорог по структуре придорожного сервиса. Тип магистрали выделен в соответствии с принадлежностью к транс-европейским транспортным коридорам. Критерием определения подтипа служит показатель доли базовых видов услуг, выраженный в процентах от общего количества придорожных услуг на магистрали (табл. 3).

Тип 1. Магистраль трансъевропейских транспортных коридоров. Автомобильные дороги данного типа относятся к транспортным коридорам № II, IX, IX-B и X. В пределах данного типа нами выделены три подтипа структур услуг.

Подтип 1.1. Расширенный. Сюда отнесены магистраль M1, M5, M8, придорожный сервис которых отличается комплексностью предлагаемых услуг. На рассматриваемых магистральных дорогах выделены 15 (13 %), 5 (22,7 %) и 4 (11,7 %) многофункциональных объекта придорожного обслуживания соответственно. Приоритетными направлениями развития придорожного сервиса данного подтипа магистралей определены формирование многофункциональных комплексов на базе существующих объектов, комплексное обслуживание транзитных транспортных потоков, развитие сети охраняемых стоянок для большегрузных автомобилей.

Подтип 1.2. Переходный. Этот подтип представлен магистральной автомобильной дорогой M10, которая характеризуется наличием всех рассматриваемых услуг при высокой доле базовых видов. Придорожный сервис на данной магистрали развивается в условиях невысокой интенсивности движения автомобилей – 1700–2500 авто в сутки на межселенных участках и 3000–6500 авто в сутки вблизи городов. Для повышения эффективности работы придорожного сервиса на данной магистрали необходимо развивать услуги размещения и охраняемой стоянки, что будет способствовать созданию безопасных условий движения.

Подтип 1.3. Суженный. Данный подтип характерен для участков магистралей M6 (11–58-й км) и M7, которые являются частью трансъевропейского коридора IX-B. В структуре сервиса базовые виды занимают значительное место, а объекты размещения и мойки автомобилей не представлены вовсе. Потенциал имеют станции технического обслуживания и культурно-развлекательные услуги. Однако планирование новых объектов на магистралях M6 и M7 должно проводиться с учетом экономико-географических факторов, в частности уменьшения показателя интенсивности движения автомобилей по магистралям от 22 000 авто в сутки в Минском районе до 2000 авто в сутки в приграничном Ошмянском районе.

Таблица 2

Структура придорожного сервиса на магистральных автомобильных дорогах Республики Беларусь в 2019 г., %

Table 2

The structure of roadside service on the highways of the Republic of Belarus in 2019, %

Магистраль	Виды придорожных услуг								Доля базовых видов услуг
	АЗС	Розничная торговля	Горячее питание	Мойка	СТО	Охраняемая стоянка	Услуги по размещению	Прочие	
M1	17,1	19,0	31,5	2,4	3,1	10,7	8,0	8,2	67,6
M2	22,2	22,2	33,3	11,1	11,1	0	0	0	77,8
M3	18,6	18,6	41,4	2,9	2,9	4,3	7,1	4,3	78,6
M4	18,2	23,6	27,3	1,8	5,5	10,9	3,6	9,1	69,1
M5	20,6	20,6	30,9	1,5	2,9	10,3	4,4	8,8	72,1
M6 (11–58-й км)	24,0	24,0	40,0	0	4,0	4,0	0	4,0	88,0
M6 (59–291-й км)	26,3	26,3	34,2	0	1,4	2,6	5,3	3,9	86,8
M7	26,7	26,7	36,7	0	0	3,3	0	6,7	90,0
M8	18,6	19,8	34,9	1,2	2,3	5,8	5,8	11,6	73,3
M10	19,3	22,9	39,8	1,2	4,8	3,6	3,6	4,8	81,9
M11	26,8	26,8	26,8	2,4	7,3	4,9	4,9	0	80,5
M12	22,2	22,2	33,3	0	0	11,1	11,1	0	77,8

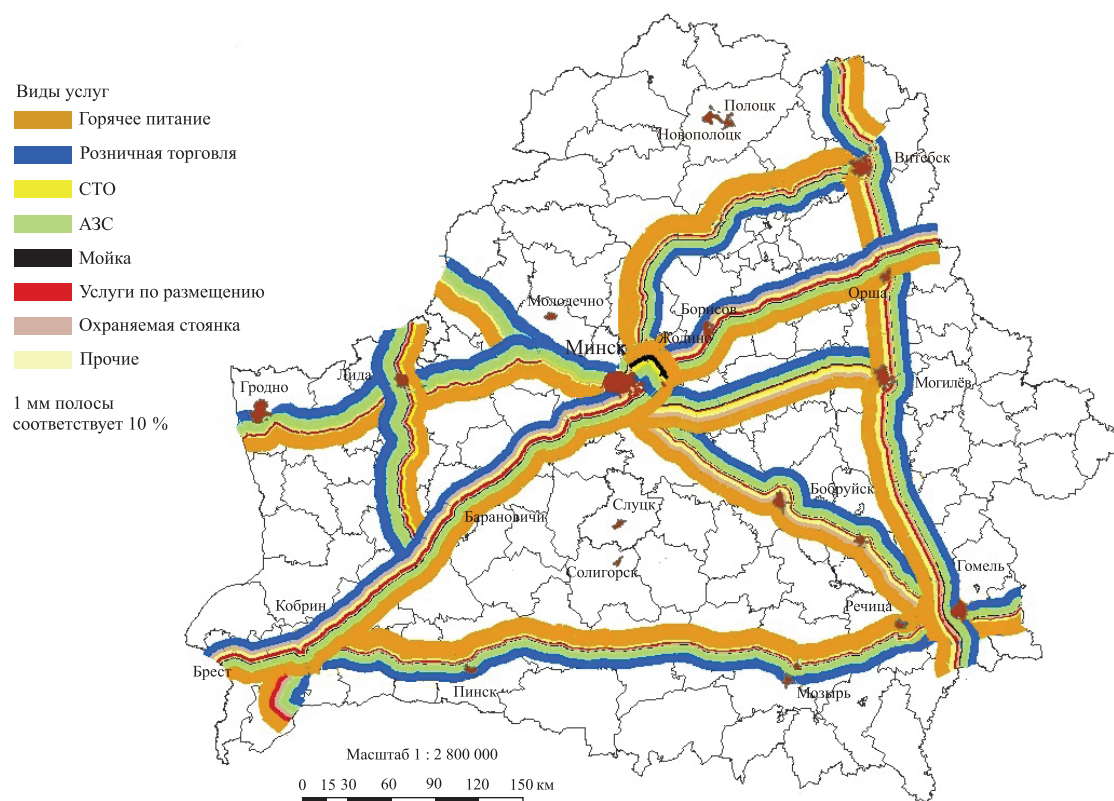


Рис. 3. Структура услуг придорожного сервиса на магистральных автомобильных дорогах в 2019 г.

Fig. 3. Roadside services structure on the highways in 2019

Таблица 3

Экономико-географическая типология магистральных автомобильных дорог Республики Беларусь по типу структуры придорожного сервиса

Table 3

Economico-geographical typology of the highway roads of the Republic of Belarus by the type of roadside services

Тип	Подтип	Автомобильные магистрали	Доля базовых видов услуг, %
Магистрали трансъевропейских транспортных коридоров	1.1. Расширенный	M1, M5, M8	65–75
	1.2. Переходный	M10	75–85
	1.3. Суженный	M6 (11–58-й км), M7	Свыше 85
Магистрали регионального значения	2.1. Расширенный	M4	65–75
	2.2. Переходный	M2, M3, M11, M12	75–85
	2.3. Суженный	M6 (59–291-й км)	Свыше 85

Тип 2. Магистрали регионального значения. Сюда входят три подтипа структур.

Подтип 2.1. Расширенный. Придорожный сервис на автомобильной магистральной дороге М4, которая связывает Минск с Могилёвом, предоставляет широкий спектр услуг. К многофункциональным комплексам обслуживания относятся 35,3 % объектов, что является самым высоким показателем для магистральных дорог. Дальнейшее развитие придорожного обслуживания будет направлено на удовлетворение высокого спроса, а это включает и новые виды услуг – прокат оборудования и снаряжения, торговлю фермерскими товарами, культурно-развлекательные услуги.

Подтип 2.2. Переходный. К нему отнесены магистрали М2, М3, М11, М12. Придорожный сервис на М2 развивается в условиях высокой интенсивности движения – до 32 000 авто в сутки, но в его струк-

туре, кроме базовых видов, представлены только СТО и мойка. Следовательно, многофункциональные комплексы придорожного сервиса с культурно-развлекательными услугами, объектами размещения, охраняемыми стоянками могут развиваться на данной трассе. На магистрали М3 в Докшицком, Логойском и Лепельском районах перспективна интеграция придорожных и туристических объектов в сервисные кластеры [13]. Магистрали М11 и М12 характеризуются низкой интенсивностью движения автомобилей – 3259 и 1721 авто в сутки соответственно, небольшой численностью населения и невысоким уровнем социально-экономического развития регионов, в которых они расположены. Расширение номенклатуры придорожного сервиса на данных магистралях наиболее перспективно в Вороновском и Малоритском районах, так как в приграничных зонах возникает спрос на услуги страхования, охраняемой стоянки, розничной торговли, технического и бытового обслуживания [14].

Подтип 2.3. Суженный. Участок магистрали М6 (59–291-й км) был отнесен к данному подтипу, поскольку доля базовых услуг составляет 86,8 %. Здесь проведена реконструкция, увеличено количество полос движения до четырех, а магистраль отнесена к категории платных. Следовательно, расширение сети придорожного сервиса становится приоритетным направлением развития инфраструктуры магистрали.

Заключение

Придорожный сервис на магистральных автомобильных дорогах характеризуется региональными диспропорциями: концентрацией объектов и диверсификацией услуг вблизи крупных городов, в приграничных районах и на высокоинтенсивных участках магистралей, что обусловлено экономико-географическими факторами.

Увеличение числа многофункциональных объектов сервиса является приоритетным направлением в развитии придорожной инфраструктуры страны, поскольку такие объекты предлагают комплексное обслуживание участников дорожного движения, местных жителей и туристов.

Экономико-географический анализ структуры придорожного сервиса позволил определить доминирующие виды услуг: АЗС, розничная торговля и горячее питание. Данные виды были отнесены к группе базовых. Услуги размещения, моек, охраняемых стоянок и СТО занимают небольшую долю в придорожном сервисе, а на отдельных магистралях не представлены вовсе. Группа прочих услуг, таких как банковские, медицинские, бытовые, культурно-развлекательные, а также АГЗС, страхование, является перспективой диверсификации структуры придорожного обслуживания.

На автомобильных дорогах с расширенным подтипом структуры услуг перспективным стоит считать увеличение количества многофункциональных комплексов обслуживания. На магистралях с переходным подтипом структур необходимо развивать такие виды услуг, как охраняемые стоянки, пункты размещения, станции технического обслуживания, мойки с учетом экономико-географических факторов развития и спроса на отдельные их виды.

Суженный подтип структуры сервиса характерен для магистралей, на которых отмечены преимущественно базовые виды услуг. Однако потенциал сервиса на данных дорогах высок, поскольку они имеют международное значение, что требует более активного развития сферы придорожных комплексов за счет строительства новых объектов и расширения номенклатуры услуг на существующих пунктах.

Выявленные экономико-географические особенности структуры придорожных услуг могут быть использованы в дальнейших исследованиях, направленных на разработку методических рекомендаций и практических мероприятий по развитию сети сервиса на магистральных автомобильных дорогах.

Библиографические ссылки

1. Ивуть РБ, Зубрицкий АФ, Зиневич АС. Развитие транзитного потенциала Республики Беларусь в условиях формирования ее транспортно-логистической системы. *Новости науки и технологий*. 2015;1:19–33.
2. Падабед НА, Шэлег НС. Сучасныя тэндэнцыі развіцця тэорыі і практыкі кіравання прыдарожнымі сэрвісамі ў Рэспубліцы Беларусь. *Весті Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя гуманітарных навук*. 2012;2:20–32.
3. Tuzmen S, Sipahi S. A multi-criteria factor evaluation model for gas station site selection. *Journal of Global Management*. 2011;1:23–33.
4. Bertulienė L, Juknevičiūtė-Žilinskienė L. Roadside infrastructure and rest areas concepts in Lithuania. In: *9th International Conference on Environmental Engineering; 2014 May 22–24; Vilnius, Lithuania*. Vilnius: Vilnius Gediminas Technical University Press Technika; 2014. p. 145–157. DOI: 10.3846/enviro.2014.145.
5. Zaleckis K, Kamičaitytė-Virbašienė J, Matijošaitienė I. Using space syntax method and GIS-based analysis for the spatial allocation of roadside rest areas. *Transport*. 2015;30(2):182–193. DOI: 10.3846/16484142.2015.1045026.
6. Marianna J, Semenov IN, Trojanowski P. The research directions of increase effectiveness of the functioning of the RSA with regard to specialized transport. *The Archives of Transport*. 2015;35(3):27–39. DOI: 10.5604/08669546.1185181.
7. Romo-Martín A, Pérez-Acebo H. Analysis of the location of service and rest areas and their facilities in Spanish paying motorways. *Transportation Research Procedia*. 2018;33:4–11. DOI: 10.1016/j.trpro.2018.10.069.

8. Бугроменко ВН. *Транспорт в территориальных системах*. Москва: Наука; 1987. 111 с.
9. Ткаченко АА. Подходы к созданию общей теории территориальной организации общества. *Вестник Московского университета. Серия 5. География*. 2008;1:21–25.
10. Безрученко АП. Региональные особенности развития автомобильного транспорта Беларуси. *Вестник БГУ. Серия 2. Химия. Биология. География*. 2013;3:95–100.
11. Шелег НС, Коротыш ДП. Экономико-географические подходы к исследованию придорожного сервиса Республики Беларусь. *Весті БДПУ. Серія 3. Фізика. Математика. Інформатика. Біялогія. Географія*. 2019;1:40–47.
12. Шелег НС, Коротыш ДП. Региональные особенности развития сети придорожного сервиса на магистральных автомобильных дорогах Республики Беларусь. *Земля Беларуси*. 2019;4:42–48.
13. Хохлова ВВ, Бобышев ЕН. Отечественный и зарубежный опыт развития сферы услуг на объектах дорожной инфраструктуры. *Теория и практика общественного развития*. 2012;7:224–227.

References

1. Ivut RB, Zubritsky AF, Zinevich AS. Transit capacity development in the Republic of Belarus in the context of its transport-logistical system formation. *Novosti nauki i tekhnologii*. 2015;1:19–33. Russian.
2. Podobed NA, Sheleg NS. Modern tendencies of theory and practice development on the field of roadside service management in the Republic of Belarus. *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Humanitarian Series*. 2012;2:20–32. Belarusian.
3. Tuzmen S, Sipahi S. A multi-criteria factor evaluation model for gas station site selection. *Journal of Global Management*. 2011;1:23–33.
4. Bertulienė L, Juknevičiūtė-Žilinskienė L. Roadside infrastructure and rest areas concepts in Lithuania. In: *9th International Conference on Environmental Engineering; 2014 May 22–24; Vilnius, Lithuania*. Vilnius: Vilnius Gediminas Technical University Press Technika; 2014. p. 145–157. DOI: 10.3846/enviro.2014.145.
5. Zaleckis K, Kamičaitytė-Virbašienė J, Matijošaitienė I. Using space syntax method and GIS-based analysis for the spatial allocation of roadside rest areas. *Transport*. 2015;30(2):182–193. DOI: 10.3846/16484142.2015.1045026.
6. Marianna J, Semenov IN, Trojanowski P. The research directions of increase effectiveness of the functioning of the RSA with regard to specialized transport. *The Archives of Transport*. 2015;35(3):27–39. DOI: 10.5604/08669546.1185181.
7. Romo-Martín A, Pérez-Acebo H. Analysis of the location of service and rest areas and their facilities in Spanish paying motorways. *Transportation Research Procedia*. 2018;33:4–11. DOI: 10.1016/j.trpro.2018.10.069.
8. Bugromenko VN. *Transport v territorial'nykh sistemakh* [Transport in territorial systems]. Moscow: Nauka; 1987. 111 p. Russian.
9. Tkachenko AA. Approaches to the elaboration of a general theory of the territorial organization of society. *Moscow University Bulletin. Series 5. Geography*. 2008;1:21–25. Russian.
10. Bezruchenok AP. Regional features of road transportation development in Belarus. *Vestnik BGU. Seriya 2. Khimiya. Biologiya. Geografiya*. 2013;3:95–100. Russian.
11. Sheleg NS, Korotysh DP. Economic and geographical approaches to research of roadside service in the Republic of Belarus. *BSPU Bulletin. Series 3. Physics. Mathematics. Informatics. Biology. Geography*. 2019;1:40–47. Russian.
12. Sheleg NS, Korotysh DP. Regional features of the development of the roadside service network on the highways of the Republic of Belarus. *Zemlya Belarusi*. 2019;4:42–48. Russian.
13. Khokhlova VV, Bobyshev EN. Domestic and foreign experience of service industry development at traffic infrastructure objects. *Theory and Practice of Social Development*. 2012;7:224–227. Russian.

Статья поступила в редколлегию 10.04.2020.
Received by editorial board 10.04.2020.

УДК [911.2:551.8](476.1)

ПАЛЕОКАРПОЛОГИЧЕСКИЕ И ПАЛЕОКЛИМАТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МУРАВИНСКИХ МЕЖЛЕДНИКОВЫХ ФЛОР БЕЛОРУССКОЙ ГРЯДЫ

Г. И. ЛИТВИНЮК¹⁾

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

Муравинский межледниковый горизонт является последним теплым отрезком времени, ближайшим к нашей современности, а также одним из маркирующих горизонтов в сложно построенной толще четвертичных отложений Беларуси. Изучение муравинских отложений и выяснение палеогеографических условий, существовавших в это время, могут дать возможность прогноза изменений климата на нашей планете в будущем. На основе палеокарпологических материалов, полученных автором при изучении опорных разрезов, расположенных на территории Белорусской гряды и отражающих оптимальные фазы муравинского межледниковья, проводится краткий анализ состава ископаемых флор, устанавливаются условия их формирования и выполняются палеоклиматические реконструкции. Полученные данные свидетельствуют о том, что средние июльские температуры в оптимуме муравинского межледниковья на территории Белорусской гряды составляли от +17,0 до +24,0 °С для восточных районов и от +17,0 до +21,2 °С на Гродненской возвышенности. Средняя температура января колебалась в пределах от +2,0...+7,0 до -3,0...-7,2 °С. Результаты исследования хорошо сопоставляются с данными других методов, в частности палинологического анализа, основанного на изучении ископаемой пыльцы и спор. В соответствии с современными климатическими показателями Беларуси температура в оптимуме муравинского межледниковья была как минимум на несколько градусов выше нынешней, а зимы значительно мягче.

Ключевые слова: палеогеография; палеоклимат; ископаемая флора; сожское оледенение; муравинское межледниковье.

Образец цитирования:

Литвинюк ГИ. Палеокарпологические и палеоклиматические исследования муравинских межледниковых флор Белорусской гряды. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология*. 2020;2:70–77. <https://doi.org/10.33581/2521-6740-2020-2-70-77>

For citation:

Litviniuk HI. Palaeocarpological and palaeoclimatic studies of the murtic interglacial flora of the Belarusian upland. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology*. 2020;2:70–77. Russian. <https://doi.org/10.33581/2521-6740-2020-2-70-77>

Автор:

Георгий Иванович Литвинюк – кандидат геолого-минералогических наук, доцент; доцент кафедры региональной геологии факультета географии и геоинформатики.

Author:

Heorhi I. Litviniuk, PhD (geology and mineralogy), docent; associate professor at the department of regional geology, faculty of geography and geoinformatics. litvinhi@bsu.by

PALAEOCARPOLOGICAL AND PALAEOCLIMATIC STUDIES OF THE MURTIC INTERGLACIAL FLORA OF THE BELARUSIAN UPLAND

H. I. LITVINIUK^a

^a*Belarusian State University, 4 Niezaliežnasci Avenue, Minsk 220030, Belarus*

The Muravian interglacial horizon is the last warm period of time span closest to our time, as well as one of the marking horizons in the complex composed layer of Quaternary deposits in Belarus. The study of the Muravian deposits, as well as an elucidation of the paleogeographic conditions that existed at that time, can make it possible to predict climate changes on our planet in the future. Based on the analysis of palaeocarpological materials obtained by the author in the study of reference sections located within the territory of the Belarusian upland and reflecting the optimal phases of the Muravian interglacial, a brief analysis of the composition of fossil floras is carried out, the conditions for their formation are established, and paleoclimatic reconstructions were performed on the basis of the obtained materials. The data obtained indicate that the average July temperatures at the optimum of the Muravian interglacial on the territory of the Belarusian upland were +17.0 till +24.0 °C for the eastern regions and +17.0 till +21.2 °C for the Grodno upland. The average January temperature ranged from +2.0...+7.0 to –3.0...–7.2 °C. The results obtained are in good agreement with the data of other methods, in particular, palynological analysis based on the study of fossil pollen and spores. In accordance with the modern climatic indicators of the territory of Belarus, the climate at the optimum of the Muravian interglacial was at least several degrees warmer than the current one, and the winters were much milder.

Keywords: paleogeography; paleoclimate; fossil flora; sozh glaciation; Muravian interglacial period.

Введение

Отложения последнего муравинского межледникового широко распространены на территории Беларуси, а также средней полосы Русской равнины. В естественных обнажениях в долинах рек и крупных оврагах вскрывается более 30 разрезов муравинского межледникового горизонта, а в результате бурения скважин их выявлено значительно больше, поэтому они лучше всего изучены в сложно построенной толще четвертичных отложений. Количество разрезов муравинского возраста наибольшее среди всех других межледниковий, так как это последний теплый временной отрезок в четвертичной истории Земли. Раньше считалось, что на возвышенностях и других положительных формах рельефа четвертичных водоемов не существовало, поскольку их отложения не вскрывались буровыми скважинами и не обнажались в карьерах. Интенсивные строительные работы, проводимые в последние годы, которые сопровождались бурением или выемкой большого количества грунта (станция метро «Уручье», Национальная библиотека Республики Беларусь и др.), вскрыли ряд озерных межледниковых толщ различного возраста, богатых растительными остатками. Некоторые из них имеют муравинский возраст, другие относятся к более древним отложениям. В связи с их хорошей изученностью по муравинскому межледниковью можно проводить достоверные палеоклиматические реконструкции. С этой целью были выбраны наиболее информативные и хорошо изученные разрезы, содержащие богатые семенные флоры и расположенные на водоразделах или вдали от долин крупных рек: на Оршанской возвышенности – «Белый ров», на Минской возвышенности – «Заславль» и «Уручье», на Новогрудской возвышенности – «Тимошковици-2», на Гродненской возвышенности – «Пышки».

Материалы и методика исследования

Разрез «Белый ров» на Оршанской возвышенности. Разрез межледниковых отложений «Белый ров» был обнаружен сотрудниками Института геологических наук НАН Беларуси М. Е. Комаровским и В. Ф. Винокуровым, изучавшими геологическое строение Оршанской возвышенности. Однако прошло уже более 20 лет, но до сих пор на нем не проводились более детальные геологические и палеонтологические исследования. В связи с этим автором в течение нескольких лет изучались выходы межледниковых отложений, обнажающихся в овраге, выходящем в долину р. Адров у д. Пузырево. При изучении данного разреза наибольшее внимание уделялось геологическому строению, условиям залегания межледниковой толщи и выявлению состава ископаемой семенной флоры. В результате были заложены две расчистки, из которых отобраны две серии образцов для палеокарпологического анализа, также визуально изучалось большое количество породы торфа, что позволило собрать много семян бразении, кроме того, было найдено несколько остатков плюски дуба.

Линза межледниковых отложений мощностью более 3 м залегает на зеленовато-серой морене предпоследнего оледенения, представленной суглинком зеленовато-серым плотным, пластичным, с большим количеством валунов кристаллических пород диаметром до 1 м. Из всей межледниковой толщи

примерно через равные промежутки было отобрано 11 образцов породы для палеокарпологического анализа. После их обработки выявлена богатая ископаемая флора, насчитывающая 78 видов древесных и травянистых растений. На сожской морене залегают супеси зеленовато-серые пластичные, криотурбированные, с примазками растительного детрита, с невыдержанной мощностью до 20 см. В данных отложениях выявлена флора тундрового типа, представленная немногочисленными остатками карликовой березы, осоками и холодостойкими рдестами. К сожалению, в данных отложениях не установлены остатки *Dryas octopetala*, столь типичного вида для флор подобного типа.

В залегающих выше супесях темно-серых гумусированных состав флоры резко меняется. Здесь присутствует огромное количество семян рдеста плавающего, а это уникально для плейстоценовых флор Беларуси, но самым главным для данной флоры является присутствие остатков *Picea obovata*, представленной шишками, семенами и хвоей, что не вызывает сомнений в ее определении. Количество и разнообразие древесных пород и травянистых растений здесь значительно возрастают, и это свидетельствует об улучшении климатических условий.

Наиболее богатая и разнообразная флора выявлена из торфов. Ее основу составляют такие широколиственные породы, как *Carpinus betulus*, *Quercus*, *Acer*, а также разнообразные теплолюбивые травянистые растения бразениевого комплекса: *Brasenia holsatica*, *Aldrovanda vesiculosa*, *Dulichium arundinaceum*, *Caldesia parnassifolia* и многие другие, представленные большим количеством остатков. Флоры подобного типа, как правило, отражают оптимум муравинского межледниковья и воспроизводят самые теплые климатические условия, схожие с современными.

Перекрывается межледниковая толща тонкими пылеватыми супесями большой мощности, по-видимому, эти отложения соответствуют конечным фазам муравинского межледниковья. В нижней ее части выявлены те же виды, что и в верхних слоях торфа, только в значительно меньшем количестве.

В результате проведенных исследований было установлено, что котловина древнего водоема сформировалась на начальных стадиях отступления предпоследнего ледника, когда на прилегающей территории существовали еще тундровые сообщества. Заполнение озерной котловины осадками происходило на протяжении всего муравинского межледниковья и, по-видимому, закончилось уже в раннепоозерское время. Для наиболее теплого отрезка времени – оптимума межледниковья – были проведены палеоклиматические реконструкции путем наложения климатограмм (ареалы современного распространения) выявленных видов. Результаты исследования показали, что температура июля составляла от +17,0 до +24,0 °С, января – от +7,0 до –7,2 °С (рис. 1).

Разрез «Заславль» на Минской возвышенности. Опорным разрезом муравинского межледниковья на Минской возвышенности является обнажение «Заславль», обнаруженное летом 1979 г. группой белорусских геологов совместно с Ю. А. Лаврушиным, изучавших строение конечно-моренных гряд Белорусской гряды. В песчано-гравийном карьере ими выявлены выходы органогенных межледниковых отложений (торф и гумусированная супесь), которые впоследствии были изучены другими исследователями и опробованы различными палеонтологическими методами [1–4]. Найденная семенная флора отражает часть климатического оптимума муравинского межледниковья, его заключительные фазы и фрагменты поозерского интерстадиала. Семенная флора оптимума межледниковья воспроизводит богатую лесную растительность прибрежной части водоема. Основу древесной растительности составляют широколиственные породы и кустарниковые формы, среди которых наиболее распространены *Carpinus betulus*, *Acer campestre*, *Tilia tomentosa*, *Corylus avellana*, также были обнаружены единичные семена и их обломки *Quercus robur* и *Picea abies*. Состав травянистой растительности тоже богат, и наибольший интерес представляет присутствие элементов бразениевого комплекса (*Stratiotes aloides*, *Aldrovanda vesiculosa*, *Ceratophyllum submersum* и многие другие), что свидетельствует о ее типично межледниковом облике. По разрезу «Заславль» была сделана попытка определить палеотемпературы для начала оптимума муравинского межледниковья (фаза *Corylus*) и для его конечных фаз (фаза *Carpinus*). Для фазы граба в связи с небольшим количеством выявленных теплолюбивых форм, по которым существуют ареалы, наблюдался слишком большой разброс палеотемператур. Более надежные показатели были получены для всего оптимума муравинского межледниковья разреза «Заславль», которые сопоставимы с данными по другим разрезам: температура июля составляла от +17,0 до +20,0 °С, января – от +2,0 до –7,0 °С (рис. 2).

Разрез «Уручье» на Минской возвышенности. Второе местонахождение муравинского палеоводоема на территории Минской возвышенности было обнаружено в 2006 г. при строительстве станции метро «Уручье». Благодаря находке в этих отложениях практически полного скелета лесного слона *Palaeoloxodon antiquus* они были детально изучены геологами, а их возраст определен палеонтологическими методами [5; 6]. Палеокарпологический анализ флороносных отложений был выполнен Т. В. Якубовской по большому количеству образцов значительного объема, отобранных в различных

точках обнажения. В результате выявлена богатая семенная флора, отражающая развитие растительности, начиная с климатического оптимума муравинского межледниковья и включая голоцен. Состав семенной флоры наиболее теплой части межледниковья, как и в разрезе «Заславль», поражает массовостью растительных остатков. Среди ископаемых форм наиболее многочисленны плоды и семена таких широколиственных пород, как *Carpinus betulus*, *Tilia tomentosa*. В несколько меньшем количестве встречаются плоды *Acer* (несколько видов), *Tilia*, *Alnus*, а также орехи *Corylus avellana*. Среди водной и прибрежной травянистой растительности доминантами в растительных сообществах являются *Najas marina*, *Caulinia flexilis*, вымерший вид *Potamogeton marginatus*, *Nuphar lutea* и много других термофильных элементов. Присутствие в данных отложениях значительного количества хвои, семян и остатков сосны, ели, лиственницы все же свидетельствует о несколько более прохладных климатических условиях, существовавших в конце оптимума муравинского межледниковья (фаза граба), чем в разрезе «Заславль». В разрезе «Уручье» было выявлено большое число термофильных видов, что позволило получить следующие значения палеотемператур: в июле – от +17,0 до +20,0 °С, в январе – от +2,5 до –4,5 °С (рис. 3).

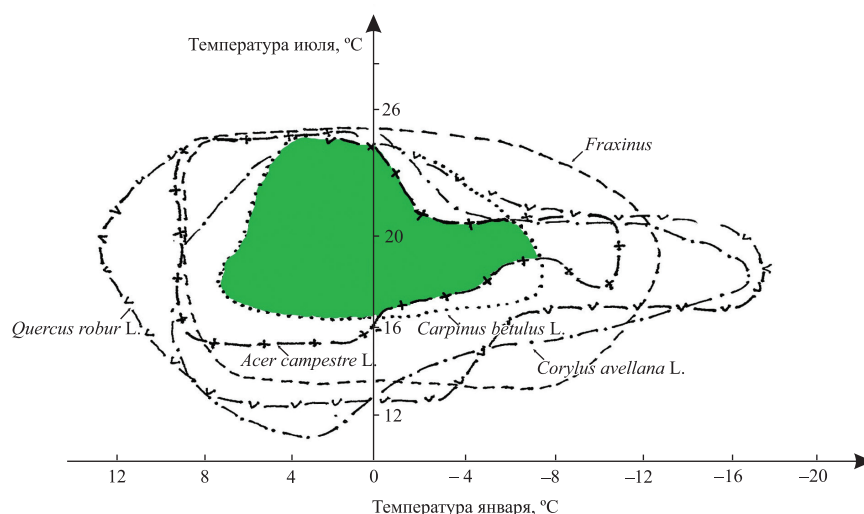


Рис. 1. Реконструкция палеотемпературных показателей для оптимума муравинского межледниковья разреза «Белый ров»

Fig. 1. Reconstruction of paleotemperature indicators for the optimum of the Muravian interglacial section of «Beliy rov»

Разрез «Тимошквичи-2» на Новогрудской возвышенности. Разрез межледниковых отложений у д. Тимошквичи на Новогрудской возвышенности, недалеко от г. п. Кореличи, был обнаружен в начале прошлого столетия А. Б. Миссуной. Первые сведения о семенной флоре приводятся в работах В. Н. Сукачева, который на очень фрагментарном материале сумел правильно определить возраст отложений. Впоследствии данные отложения многократно изучались как польскими, так и белорусскими палеоботаниками [7]. Группой белорусских ученых в 1980-х гг. выполнены особенно детальные исследования, в результате которых были изучены условия залегания межледниковой линзы, построен геологический профиль и выявлены два типа ископаемой флоры. Наиболее подробно была изучена флора из межледниковой толщи отложений, которая представлена супесями гумусированными, торфами лесными общей мощностью более 4 м. Из торфов и супесей получена наиболее богатая семенная флора, представленная большой группой древесных пород и кустарниковых растений (*Pinus sylvestris*, *Carpinus betulus*, *Betula alba*, *Alnus glutinosa*, *Acer platanoides*, *Tilia tomentosa*, *Tilia platyphyllos*, *Corylus avellana*, *Frangula alnus*, *Swida sanguinea*, *Fraxinus excelsior*), воспроизводящих оптимальные части муравинского межледниковья. Это свидетельствует о лесном типе флоры, основу которой составляли хвойно-широколиственные сообщества. Флора травянистых растений включает типичный набор межледниковых форм (*Salvinia natans*, *Najas marina*, *Nuphar lutea*, *Nymphaea alba*, *Ceratophyllum demersum*, *Stratiotes aloides*), также встречаются единичные семена *Aldrovanda vesiculosa* и *Brasenia holsatica*. Это, пожалуй, одна из самых богатых муравинских флор на территории Беларуси. Проведенные палеоклиматические реконструкции путем совмещения ареалов термофильных видов растений дали следующие значения температур: в июле – от +19,0 до +21,0 °С, в январе – от +1,5 до –3,0 °С (рис. 4).

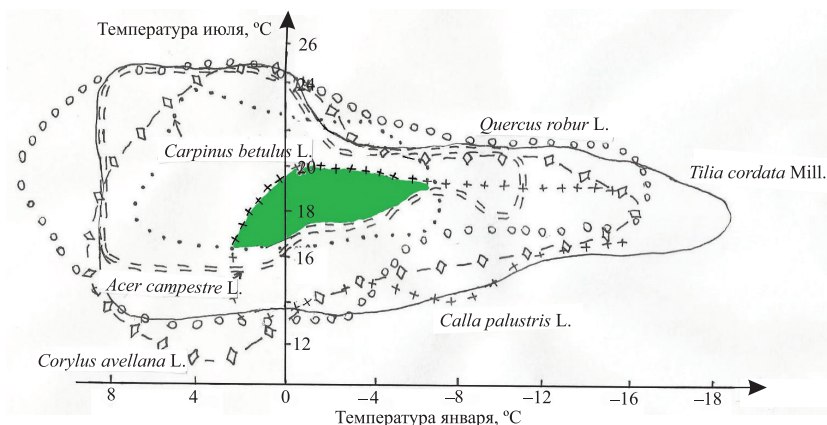


Рис. 2. Реконструкция палеотемпературных показателей для оптимума муравинского межледникового разреза «Заславль»

Fig. 2. Reconstruction of paleotemperature indicators for the optimum of the Muravian interglacial section «Zaslavl»

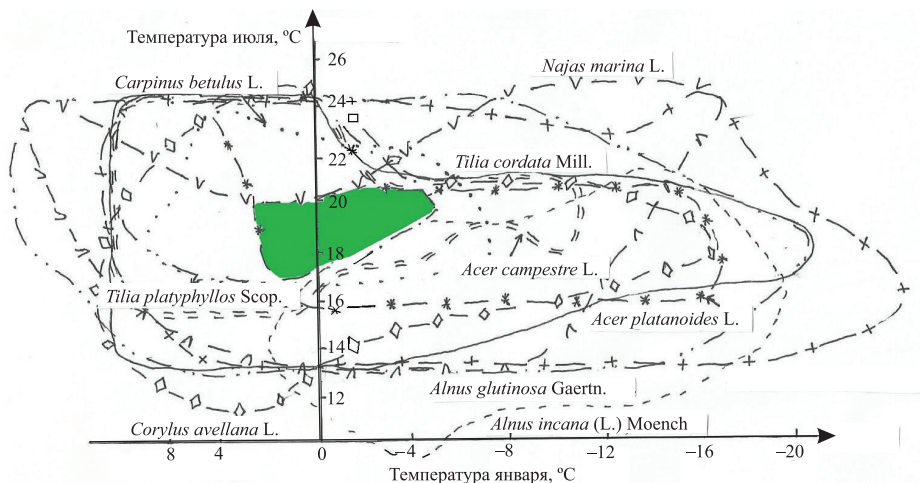


Рис. 3. Реконструкция палеотемпературных показателей для оптимума муравинского межледникового разреза «Уручье»

Fig. 3. Reconstruction of paleotemperature indicators for the optimum of the Muravian interglacial section «Uruchye»

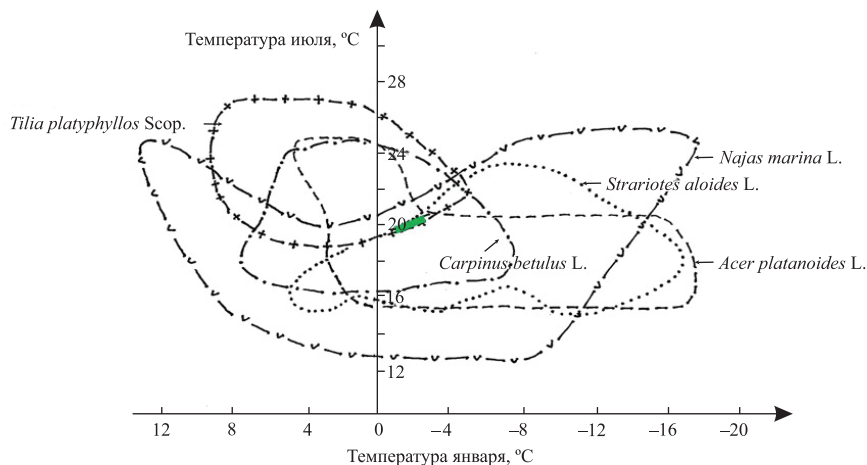


Рис. 4. Реконструкция палеотемпературных показателей для оптимума муравинского межледникового разреза «Тимошкови́чи-2»

Fig. 4. Reconstruction of paleotemperature indicators for the optimum of the Muravian interglacial section «Timoshkovichi-2»

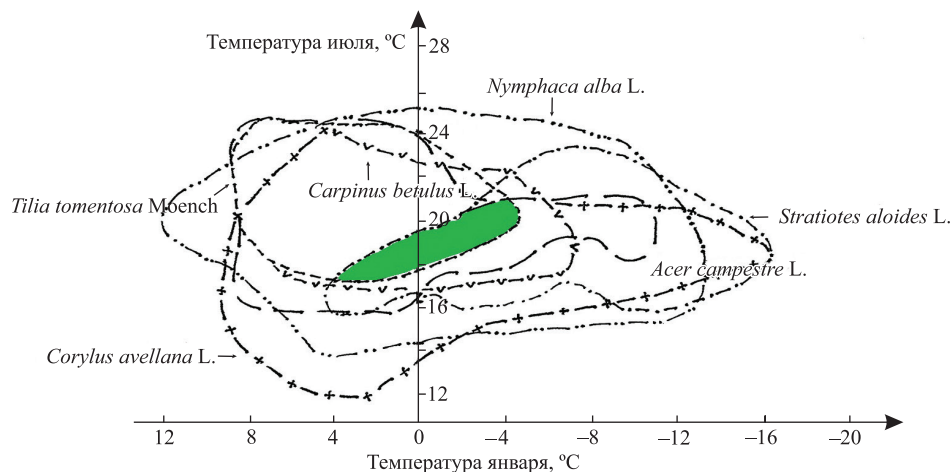


Рис. 5. Реконструкция палеотемпературных показателей для оптимума муравинского межледникового разреза «Пышки»

Fig. 5. Reconstruction of paleotemperature indicators for the optimum of the Muravian interglacial section of «Pyshka»

Разрез «Пышки» на Гродненской возвышенности. В правом борту оврага возле д. Пышки, расположенного на левом берегу р. Неман, обнажаются межледниковые отложения муравинского возраста, известные в литературе с начала XX в. и изучавшиеся многочисленными исследователями. Линза межледниковых отложений вскрывается на уровне 13–16 м над урезом воды в реке и сложена торфами черно-бурыми листоватыми и гиттиями темно-серыми тонкослойными общей мощностью более 3 м. Первые палеокарпологические исследования были выполнены П. И. Дорофеевым в 1957 г., который выявил небольшую (36 форм) семенную флору. Впоследствии разрез неоднократно изучался [6; 7] и автором, а также демонстрировался на международных совещаниях. В результате проведенных детальных исследований выявленная семенная флора насчитывает около 100 видов древесных, кустарниковых и травянистых растений. Межледниковый облик флоры составляет группа широколиственных пород и кустарников (*Tilia tomentosa*, *Acer cf. platanoides*, *Carpinus betulus*, *Corylus avellana*), а также травянистых растений бразениевого комплекса (*Brasenia holsatica*, *Aldrovanda vesiculosa*, *Dulichium arundinaceum*, *Stratiotes aloides*, *Caldesia parnassifolia*), которые происходят из верхней части разреза (торф) и соответствуют оптимуму межледникового. Нижние и средние горизонты межледниковой толщи воспроизводят флору более умеренного типа, формирование которой происходило в первой половине межледникового. Среди древесных пород присутствуют остатки *Betula alba*, *Alnus incana*, *Pinus sylvestris*, а из травянистых растений – виды более умеренных условий обитания. Самой информативной оказалась оптимальная часть межледникового, и в результате совмещения ареалов выявленных термофильных видов растений были получены следующие значения палеотемператур: от +17,0 до +21,2 °C в июле и от +4,0 до –4,8 °C в январе (рис. 5).

Заключение

В результате проведенных исследований и анализа состава семенных комплексов разрезов «Белый ров», «Заславль», «Уручье», «Тимошковици-2», «Пышки» можно констатировать, что в муравинском межледниковье на территории Белорусской гряды произрастали широколиственные леса, доминирующее положение в которых принадлежало таким широколиственным породам, как *Carpinus betulus* (во всех разрезах большое количество остатков), *Tilia tomentosa* (разрез «Уручье»), *Corylus avellana* (очень много орехов в разрезе «Заславль»), в меньшем количестве в растительных сообществах встречались несколько видов *Acer* (разрез «Уручье»), а также *Quercus*, *Betula alba*, *Alnus glutinosa* и другие древесные формы. Из водной растительности доминирующее положение занимали *Najas marina* (разрезы «Уручье», «Тимошковици-2»), *Caulinia flexilis* (разрез «Уручье»), *Salvinia natans* (разрезы «Заславль», «Медвежино»), представленные большим количеством семян, что свидетельствует о благоприятных условиях их существования. Значительно реже в палеоводоемах Белорусской гряды встречаются семена типично термофильных видов бразениевого комплекса, таких как *Aldrovanda vesiculosa* (разрез «Заславль»), *Stratiotes aloides* (разрез «Заславль»), *Caldesia parnassifolia* (разрез «Уручье»). Наиболее характерный элемент межледниковых флор плейстоцена Восточной Европы – *Brasenia holsatica* – практически отсутствует на Минской возвышенности, хотя широко был распространен на остальной

территории Беларуси: сотни экземпляров *Brasenia holsatica* найдены в разрезе «Белый ров», несколько семян обнаружено в разрезах «Тимошковичи-2» и «Пышки». И это, по-видимому, связано не с карбонатной средой водоемов, как считают некоторые исследователи, а с климатическими особенностями возвышенных территорий, хотя возможно влияние и других факторов. Так, в аллювиально-старичных отложениях муравинского возраста крупнейших рек Беларуси (Днепр, Западная Двина, Неман) присутствует огромное количество семян *Brasenia holsatica* – самого термофильного элемента межледниковых флор плейстоцена, что свидетельствует о его широком распространении в муравинское время на территории нашей республики. Выявленные палеотемпературные показатели для оптимума муравинского межледниковья хорошо сопоставляются с данными, полученными палинологами для оптимума муравинского межледниковья на территории Беларуси. Согласно палинологическим материалам самая теплая фаза муравинского межледниковья характеризуется следующими значениями температур: от +17 до +23 °С в июле и от +3 до –4...–5 °С в январе [8; 9]. По палеокарпологическим данным, средние значения температур для Белорусской гряды колебались в пределах от +17 до +20...+21 °С в июле и от +2,0 до –4,5 °С в январе. В настоящее время средняя температура января составляет –2 °С на юго-западе республики и –5,5 °С на северо-востоке. Средняя температура июля колеблется от +17,5 до +18,5 °С. Полученные данные показывают очень схожие значения и свидетельствуют о том, что зимы были мягкими и практически безморозными при незначительных колебаниях температур (всего в несколько градусов). Так, в 1960 г. средняя температура января составляла от +1,0 до –3,0 °С, а в летние месяцы температуры были выше современных на несколько градусов [10].

Библиографические ссылки

1. Вальчик МА, Еловичева ЯК. К палеогеографии Минской возвышенности в неоплейстоцене. В: Матвеев АВ. *Геология и гидрогеология кайнозоя Белоруссии*. Минск: Наука и техника; 1985. с. 120–128.
2. Еловичева ЯК, Санько АФ, Дрозд ЕН. Геология, палеонтология и геохронология памятника природы – разреза «Заславль». В: Санько АФ, редактор. *Четвертичная геология, геоморфология, геоэкология Беларуси и сопредельных территорий. Материалы Международного научного семинара, посвященного 80-летию со дня рождения Л. Н. Вознячука; 25–26 сентября 2009 г.; Минск, Беларусь*. Минск: Право и экономика; 2009. с. 133–140.
3. Литвинюк ГИ, Желток ЕЕ, Лабынцева КС. Палеокарпологические и палеоклиматические исследования муравинских межледниковых флор Минской возвышенности. *Весті БДПУ. Серыя 3. Фізіка. Матэматыка. Інфарматыка. Біялогія. Геаграфія*. 2018;3:56–61.
4. Karabanov AK, Yelovicheva YaK. Geological objects of excursions «Zaslavi» quarry. In: *Quaternary deposits and neotectonics in the area of Pleistocene glaciations*. Minsk: [s. n.]; 1997. p. 15–18.
5. Карабанов АК, Мотузко АН, Писаненко АД. Первая находка остатков ископаемого слона рода *Palaeoloxodon matsumoto* на территории Беларуси. *Доклады Национальной академии наук Беларуси*. 2007;51(4):109–114.
6. Якубовская ТВ. Геологическая и палеокарпологическая характеристика местонахождения ископаемой фауны в Минске. *Літасфера*. 2007;2:50–58.
7. Величевич ФЮ. *Плейстоценовые флоры ледниковых областей Восточно-Европейской равнины*. Минск: Наука и техника; 1982. 239 с.
8. Рылова ТБ, Савченко ИЕ. Растительность и климат межледниковых интервалов плейстоцена Беларуси по данным палинологических исследований. *Літасфера*. 2006;1:12–26.
9. Рылова ТБ, Савченко ИЕ, Винтер Х, Граношевский В. Растительность и климат территории Беларуси и Польши в позднеприпятское (поздняя одра), муравинское (эем) и раннепоозерское (ранний вистулиан) время. *Літасфера*. 2013;2:3–23.
10. Мясніковіч МУ і інш., рэдактары. *Нацыянальны атлас Беларусі*. Мінск: Камітэт па зямельных рэсурсах, геадэзіі і картаграфіі пры Савеце Міністраў Рэспублікі Беларусь; 2002. 299 с.

References

1. Valchik MA, Yelovicheva YaK. [On the paleogeography of the Minsk Upland in the Neopleistocene]. In: Matveev AV. *Geologiya i gidrogeologiya kainozoya Belorussii* [Geology and hydrogeology of the Cenozoic of Belarus]. Minsk: Nauka i tekhnika; 1985. p. 120–128. Russian.
2. Elovicheva YK, Sanko AF, Drozd EN. [Geology, paleontology and geochronology of a natural monument – Zaslavl]. In: San'ko AF, editor. *Chetvertichnaya geologiya, geomorfologiya, geoekologiya Belarusi i sopredel'nykh territorii. Materialy Mezhdunarodnogo nauchnogo seminar, posvyashchennogo 80-letiyu so dnya rozhdeniya L. N. Voznyachuka; 25–26 sentyabrya 2009 g.; Minsk, Belarus'* [Quaternary geology, geomorphology, geocology of Belarus and adjacent territories. Materials of the International scientific seminar dedicated to the 80th anniversary of the birth of L. N. Voznyachuk; 2009 September 25–26; Minsk, Belarus]. Minsk: Pravo i ekonomika; 2009. p. 133–140. Russian.
3. Litviniuk HI, Zhautok EE, Labyntsava KS. Paleocarpological and paleoclimatic research of Murav interglacial floras of Minsk elevation. *BSPU Bulletin. Series 3. Physics. Mathematics. Informatics. Biology. Geography*. 2018;3:56–61. Russian.
4. Karabanov AK, Yelovicheva YaK. Geological objects of excursions «Zaslavi» quarry. In: *Quaternary deposits and neotectonics in the area of Pleistocene glaciations*. Minsk: [s. n.]; 1997. p. 15–18.
5. Karabanov AK, Motuzko AN, Pisanenko AD. The first find of the remains of a fossil elephant of the genus *Palaeoloxodon matsumoto* in Belarus. *Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus*. 2007;51(4):109–114. Russian.

6. Yakubovskaya TV. Geological and paleocarpological description of the Uruchie fauna site in Minsk. *Litasfera*. 2007;2:50–58. Russian.
7. Velichkevich FYu. *Pleistotsenovyie flory lednikovyykh oblastei Vostochno-Evropеiskoi ravniny* [The Pleistocene floras of glacial areas of the East European Plain]. Minsk: Nauka i tekhnika; 1982. 239 p. Russian.
8. Rylova TB, Savchenko IE. Vegetation and climate of interglacial intervals of the Pleistocene of Belarus from data of palynological investigations. *Litasfera*. 2006;1:12–26. Russian.
9. Rylova TB, Savchenko IYe, Vinter Kh, Granoshevsky V. Vegetation and climate of the territory of Belarus and Poland during Late Pripyat (Late Oder), Murava (Eemian) and Early-Poozerye (early Vistulian) time. *Litasfera*. 2013;2:3–23. Russian.
10. Mjasnikovich MU, et al., editors. *National Atlas of Belarus*. Minsk: Committee for Land Resources, Geodesy and Cartography at the Council of Ministers of the Republic of Belarus; 2002. 299 p. Belarusian.

*Статья поступила в редколлегию 22.05.2020.
Received by editorial board 22.05.2020.*

УДК 551.435.42(476)

ЗНАЧЕНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ И ЛИТОЛОГИИ КОРЕННЫХ ПОРОД ДЛЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И ПРОИСХОЖДЕНИЯ ЛЕДНИКОВЫХ ЛОЖБИН НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

М. Е. КОМАРОВСКИЙ¹⁾, А. С. СЕМЕНЮК¹⁾

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

Географическое распределение и происхождение ледниковых ложбин в поверхности дочетвертичных отложений на территории Республики Беларусь тесно связаны со структурой, деформационными свойствами и литологией коренного субстрата. Исследованием установлено, что самая высокая плотность ложбин присутствует в районах, где преобладают деформируемые мезокайнозойские мергельно-меловые, песчано-глинистые отложения и слаболитифицированные девонские пески и песчаники, которые залегают над выступами более прочных пород с наклоном навстречу леднику (Белорусская антеклиза и северный район Беларуси). Меньшее количество ложбин наблюдается в районах развития выдержанных по мощности нижнепалеозойских и девонских пород и на территориях залегания пород мелового – брестского возраста со значительно более глубоким расположением фундамента. Наличие субстрата, относительно устойчивого к воздействию ледниковой нагрузки в северной Беларуси, и субстрата, деформируемого на территории Белорусской антеклизы, обусловило проявление разных процессов ледниковой эрозии и формирование различных типов ложбин.

Ключевые слова: ледниковые ложбины; структура и литология коренных пород; прочный субстрат; деформируемое ледниковое ложе; ледниковая эрозия.

SIGNIFICANCE OF BEDROCK STRUCTURE AND LITHOLOGY FOR THE GLACIAL VALLEYS DISTRIBUTION AND GENESIS IN BELARUS

M. E. KOMAROVSKIY^a, A. S. SEMIANIUK^a

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

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

Geographic distribution and genesis of glacial valleys within Belarus are closely connected to the structure, deformation properties and lithology of the bedrocks. The study reveals, that the highest valley density is over the protrusions of the Precambrian and Devonian rocks in the Belarusian antecline and northern Belarus, that have a gently inclination against glacier and are overlaid by thin strata of deformable Mesozoic and Cenozoic chalk, marls or uncemented sands and sandstones. In the areas, where the hard Lower Paleozoic and Devonian rocks constitute the bedrock surface in north

Образец цитирования:

Комаровский М.Е., Семенюк А.С. 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.
<https://doi.org/10.33581/2521-6740-2020-2-78-90>

For citation:

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.
<https://doi.org/10.33581/2521-6740-2020-2-78-90>

Авторы:

Михаил Евгеньевич Комаровский – кандидат геолого-минералогических наук, доцент; доцент кафедры региональной геологии факультета географии и геоинформатики.
Александр Сергеевич Семенюк – старший преподаватель кафедры почвоведения и геоинформационных систем.

Authors:

Michail E. Komarovskiy, PhD (geology and mineralogy), doцент; associate professor at the department of regional geology, faculty of geography and geoinformatics.
mkomarovskiy@mail.ru
Aliaksandr S. Semianiuk, senior lecturer at the department of soil and geographic information systems.
geo-semenuk@yandex.ru

and east Belarus, glacial valleys are observed in a smaller number. In addition, we find a small number of valleys in areas of southern Belarus, where the Mesozoic and Cenozoic rocks form the bedrock surface, but basement is present of greater depth and dips generally toward to the south. Resistant of the Precambrian and Devonian rocks in northern Belarus to glacial stress and deformable rocks within the Belarusian anticline predetermined different processes of glacier erosion and favored to development the different types of glacial valleys.

Keywords: glacial valleys; bedrock structure and lithology; rigid bedrock; deformable glacier bed; glacial erosion.

Введение

В работах исследователей структура коренных пород рассматривается как один из основных факторов, влияющих на процессы ледниковой и водно-ледниковой эрозии, деформации и на возникновение в результате этих процессов ложбин и других ледниковых форм [1; 2]. При оценке влияния структуры и литологии отложений субстрата существуют разные мнения относительно того, какие свойства коренных отложений являются наиболее важными и обуславливают эрозионную и гляциотектоническую деятельность ледника. Одни исследователи необходимым условием протекания ледниковой эрозии и возникновения ложбин считают присутствие слаболитифицированных (неконсолидированных) пород, их физико-механические свойства [3–5]. Другие рассматривают тектонические структуры (выступы, мульды, моноклинали) как основную причину образования ледниковых ложбин [2; 6–8; 9]. Часть геологов полагают, что появлению ложбин способствовали слоистость, сланцеватость, трещиноватость, прослои рыхлых отложений, зоны фациального замещения песка глинами и другие зоны структурного ослабления в субстрате, более подверженные ледниковой эрозии и гляциотектонической переработке [10–13].

Перечисленные данные предыдущих исследований о влиянии структуры и литологии коренных отложений на ледниковую эрозию и ледниковые формы древнеледниковых областей важно иметь в виду, когда обсуждаются причины возникновения ложбин на территории Беларуси.

Цель работы – акцентировать внимание на различной плотности и изменениях в пространственном распределении основных типов ледниковых ложбин и установить соотношение со структурой и литологическими характеристиками дочетвертичных отложений в Беларуси.

Методика исследования

Использовалось сопоставление ледниковых ложбин и их плотности с площадями различного геологического строения. Представление о пространственном размещении ледниковых ложбин дает детальная карта рельефа поверхности дочетвертичных и брестских предледниковых отложений в Беларуси масштаба 1 : 200 000, построенная с учетом имеющихся буровых данных [14]. Картирование типов ледниковых ложбин основывалось на комплексе критериев [9; 15]. С их помощью построена специальная карта ледниковых ложбин различного типа.

Плотность ложбин измерялась по карте рельефа поверхности дочетвертичных и брестских предледниковых отложений масштаба 1 : 200 000. За показатель плотности выбрано отношение площади, занимаемой ложбинами, к 25 км² территории (в процентах). Стало возможным представить более четкую картину распространения районов с низкой, средней и высокой плотностью ложбин. Сопоставление карт распространения и плотности ложбин с характером геологического строения коренного субстрата позволило выявить взаимосвязь ложбин с районами определенного геологического строения, региональными и локальными структурами (рис. 1).

Результаты исследования

Ледниковые ложбины распределены по территории Республики Беларусь неравномерно. Высокая плотность ложбин представлена в центральной, западной и северной частях страны. В юго-западной, южной и восточной частях республики плотность ложбин снижается до 3,6 %. Чтобы установить взаимоотношение ледниковых ложбин и коренного субстрата, территория Беларуси была разделена на три района (см. рис. 1), которые различаются по характеру геологического строения верхнего двухсотметрового разреза платформенного чехла. Величина верхнего интервала выбрана с учетом фундаментального значения его структуры, литологии в контролировании ледниковой эрозии [1; 16].

Район I приходится на центральную и западную части Беларуси. Особенностью этого района является неглубокое залегание кристаллического фундамента. Его поверхность приподнята выше абсолютных отметок –500 м и образует Белорусскую антеклизу. Центральному участку антеклизы или Центрально-Белорусскому массиву, имеющему субширотное простирание, соответствует свод. Абсолютные от-

метки фундамента достигают здесь от –100 до –25 м, а на Бобовнянском выступе – максимальных значений (95 м). На крыльях антеклизы поверхность фундамента радиально погружается с уклоном 10 м на 1,5–3,0 км, а местами и с большим. Поверхность фундамента выделяется здесь значительной расчлененностью и широким развитием локальных выступов, валов, поднятий, которые имеют амплитуду до 30–50 м, максимальную – до 150 м (Зельвянско-Ивьевский вал, Слонимский купол, Гродненское, Берестовецкое, Мостовское, Вороновское, Кревское поднятия) [17]. Особенно неровная поверхность фундамента отмечается в пределах нескольких разломов: Гродненского, Щучинского, Волковысского, Дятловского, Кореличского, Налибокского. Здесь представлены крутые склоны или уступы, локальные блоковые выступы и депрессии амплитудой от 10 до 62 м, вытянутые обычно согласно простиранию разломов.

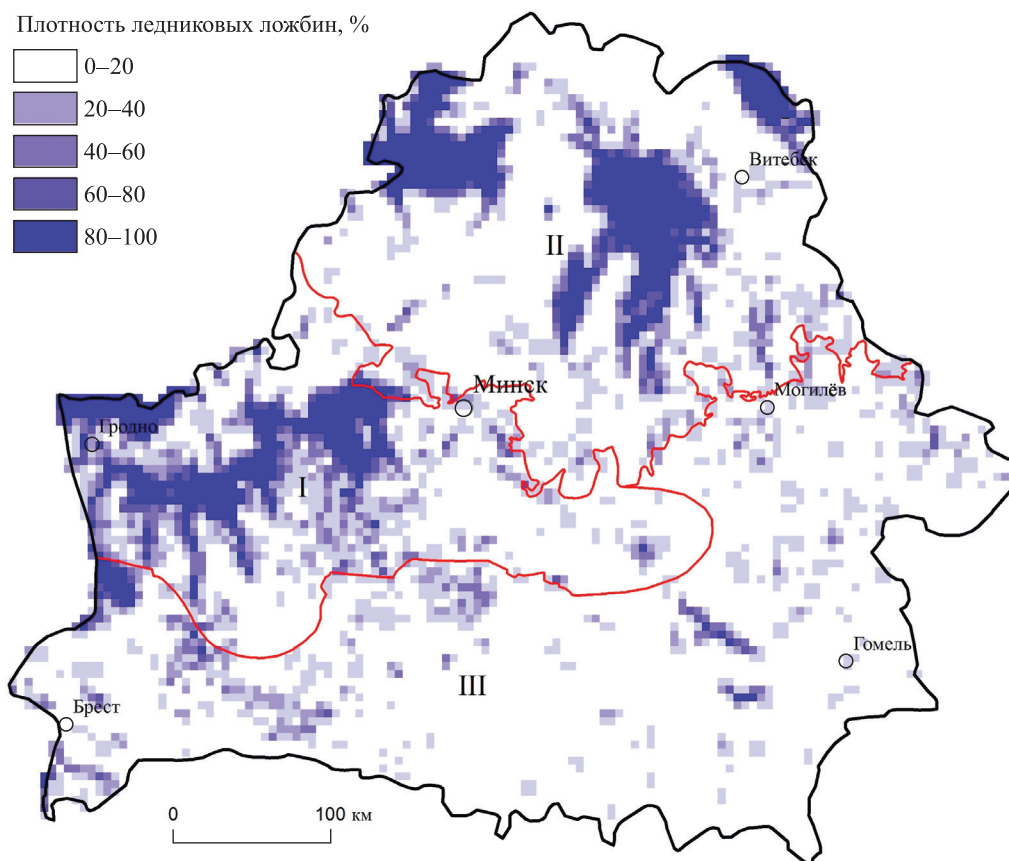


Рис. 1. Соотношение между плотностью ледниковых ложбин и районами с различным характером геологического строения в верхней двухсотметровой толще коренного субстрата:
 I – район распространения мергельно-меловых и песчано-глинистых отложений мела – среднего плейстоцена на неглубоко залегающем кристаллическом фундаменте (Белорусская антеклиз);
 II – нижнепалеозойские и девонские терригенные и карбонатные отложения (северный склон Белорусской антеклизы и северная часть Оршанской впадины); III – преимущественно мергельно-меловые, песчано-алевритовые и глинисто-песчаные отложения нижнего мела – среднего плейстоцена (Припятский прогиб, южная часть Оршанской впадины и Брестская впадина)
 (обозначение указанных районов присутствует на рис. 3)

Fig. 1. Correlation between density of valleys and areas with different geological structure within the uppermost 200 m of the bedrock substratum. Areas: I – chalk, marlstones and sandy-clayey sediments of the Cretaceous – Middle Pleistocene age that override the shallow lying crystalline basement (Belarusian anteclise); II – terrigenous and carbonate Lower Paleozoic and Devonian deposits (the northern slope of the Belarusian anteclise and the northern part of the Orsha depression); III – mainly chalk, marlstones, sandy-silty and sandy-clayey sediments of the Lower Cretaceous – Middle Pleistocene age (Pripyat trough, Orsha and Brest depressions) (the designation of these areas is shown on fig. 3)

В пределах верхних 200 м в осадочном разрезе Центрально-Белорусского массива выделяются разные по составу и возрасту породы: нижняя толща верхнепротерозойско-триасовых пород и верхняя толща меловых – неогеновых отложений. Нижняя толща образований распространена в основном на склонах массива. Она имеет антиклиналевидные условия залегания. Верхнепротерозойские песчаники появляются в основании меловых отложений и местами в подошве четвертичных отложений в централь-

ной части структуры, на ее склонах расположены более молодые образования – нижнепалеозойские и девонские известняки, доломиты, аргиллиты на севере и северо-востоке, пермские известняки на северо-западе и юрские известняки на западе. Эти отложения имеют мощность до 50–130 м и резко утончаются над локальными положительными структурами фундамента. В наиболее приподнятых структурах Центрально-Белорусского массива и западного склона антеклизы (Бобовнянский выступ, Слонимский купол, Зельвянско-Ивьевский вал и Мостовский купол) они отсутствуют и в основании меловых и четвертичных отложений выходят кристаллические породы фундамента. Как показано в [17], поверхность домеловых пород в районе имеет максимальные отметки на востоке (70–80 м) и в целом моноклиально наклонена на запад до отметки –220 м с градиентом 1 м/км. На этой разновозрастной, сильно денудированной выровненной поверхности обособляются локальные морфоструктурные поднятия высотой до 50 м, сложенные породами фундамента (район свода и западного склона) и домеловыми породами, понижения с корами выветривания мощностью до 40 м на выходах фундамента.

Верхняя толща меловых – неогеновых пород перекрывает положительные структуры более древних осадочных образований и фундамента почти на всей территории Центрально-Белорусского массива и слагает ложе четвертичных отложений. Ее мощность постепенно увеличивается от северо-восточной границы района на запад и юг, где достигает 200 м и более. В пределах Белорусской антеклизы наблюдается изменение условий залегания и распространения слоев разного возраста и литологии. Падение слоев меловых отложений отклоняется к северо-западу. На поверхности коренного субстрата полоса распространения кварцево-глауконитовых песков с прослоями алевритов и песчанистого мергеля (вдоль границы нижне- и верхнемеловых отложений) в таком же направлении сменяет поле развития опесчаненного и глинистого мела с прослоями мергелей верхнего мела. Второе поле развито на большей части района. Меловые породы перекрыты разнозернистыми и мелкозернистыми глауконито-кварцевыми песками палеогена, которые в центральной части региона являются маломощными и распространены островами. К югу отложения палеогена выступают в виде дырявого покрова, достигают максимальной мощности 40 м. Для неогеновых пород также характерны островное распространение, небольшие мощности с максимальными площадями развития и мощности до 50 м на юге и юго-западе антеклизы. В основании четвертичных отложений встречаются миоценовые и плиоценовые отложения. Среди них преобладают кварцевые пески и глины с прослоями бурого угля озерного и озерно-болотного происхождения и аллювиальные пески, алевриты и углистые глины, которые можно обнаружить по всему району в древнеозерных котловинах и палеодолине р. Неман.

В результате отмеченных выше условий залегания толщи меловых и палеоген-неогеновых аккумуляций Центрально-Белорусский массив на большей части является погребенной структурой и на поверхности дочетвертичных отложений не выделяется. При этом на присводовых участках склонов, локальных структурах домеловой поверхности эта толща утончается. В наиболее приподнятой части Бобовнянского выступа она разрывается и на поверхности дочетвертичных отложений обнажается кристаллический фундамент. Поверхность дочетвертичных пород характеризуется понижением на северо-запад с градиентом 1,1 м / 1 км, тектонические структуры (Бобовнянский выступ и др.) в ней не выделяются либо имеют незначительные (до 10 м) амплитуды.

На территории неглубокого залегания кристаллического фундамента Белорусской антеклизы, перекрытого сравнительно маломощными мергельно-меловыми и песчано-глинистыми породами, установлено преобладающее количество ледниковых ложбин и их наибольшая плотность – 23, 3 % [2; 7; 15; 18; 19] (рис. 2).

Ледниковые ложбины появляются на поверхности отложений мезокайнозоя на участках, где погребенные склоны Центрально-Белорусского массива достигают отметок –0,3 км и выше. Особенно широко и плотно они представлены на присводовых участках западного и северного склонов массива из скальных пород фундамента и верхнего протерозоя. Склоны обращены навстречу движению ледника и перекрыты рыхлыми породами меловой, палеогеновой и неогеновой систем. На этой территории, как следует из [15], сосредоточены ложбины ледникового выпавивания, выдавливания, водно-ледникового размыва и полигенетического характера.

Основу ложбинного рельефа образуют полигенетические разновидности ложбин (рис. 3). Среди них преобладают гляциодепрессии и линейные троговые ложбины ледниковой экзарации, выдавливания и размыва. Расположение гляциодепрессий контролируется размещением Центрально-Белорусского кристаллического массива и площадями его склонов с абсолютными отметками от –120 до 0 м и наклоном навстречу движению ледника. Такое расположение наблюдается у Мостовской и Налибокской гляциодепрессий. Они огибают Центрально-Белорусский массив с севера, следуя к западу вдоль осевой полосы этой структуры. У этих котловин отмечается погружение поверхности к югу против уклона фундамента и минимальные отметки в зоне слияния их дна с верхней частью склонов скального выступа. В таких зонах, как отмечено в [15], меловые породы уничтожены ледником на полную или большую часть мощности мела (рис. 4).

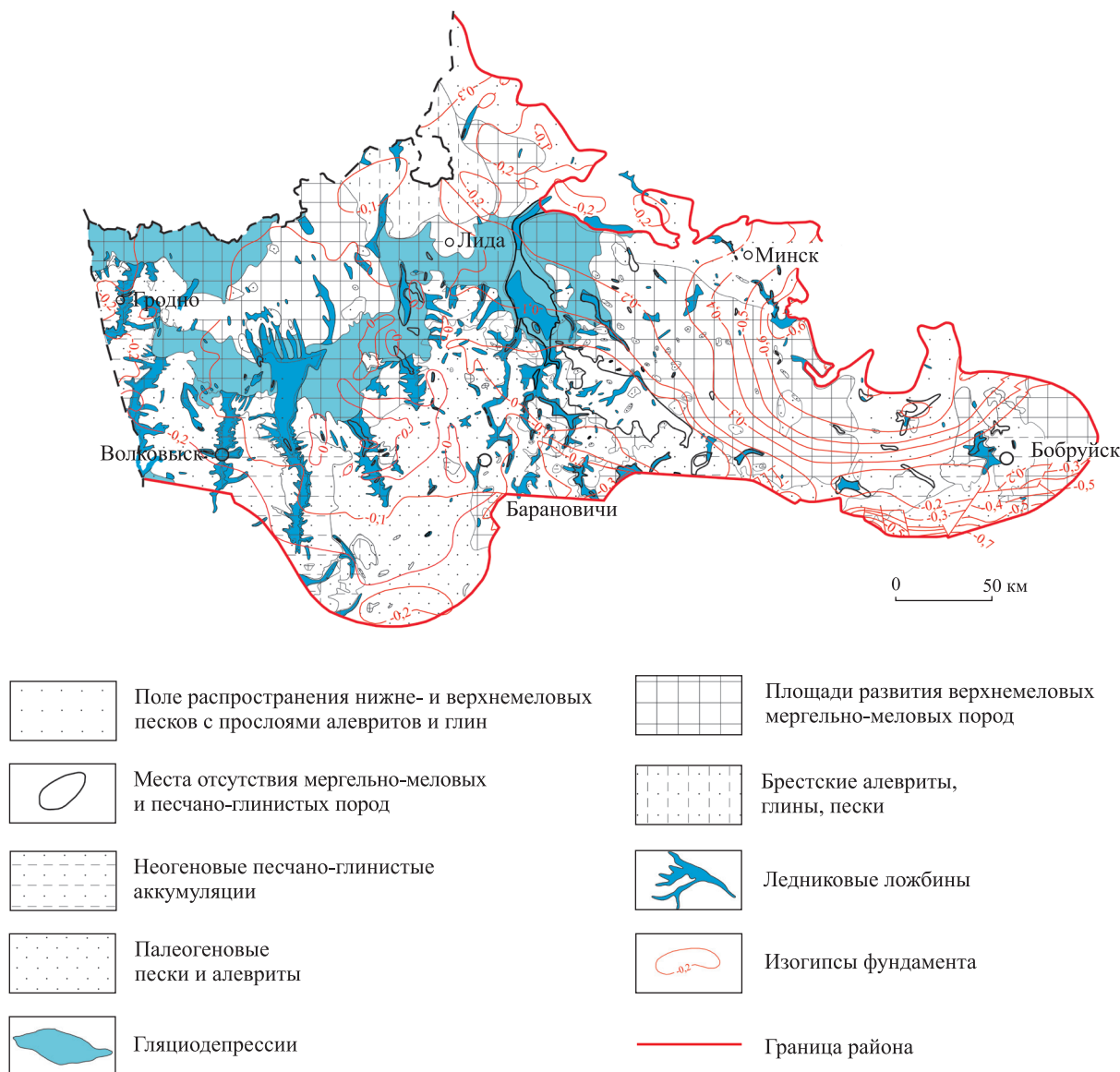


Рис. 2. Взаимосвязь ледниковых ложбин с полем развития мергельно-меловых отложений верхнего мела и песчано-глинистых образований кайнозоя и с неглубоким залеганием фундамента в пределах Белорусской антеклизы

Fig. 2. Relationship between glacial valleys and area with Upper Cretaceous chalk, marlstones and Cenozoic sands and clays that superpose a basement protrusion within the Belarusian antecline

Высокое положение кристаллических пород на Центрально-Белорусском кристаллическом массиве обусловило широкое развитие гляциодислокаций в подстилающих породах в основании и по периферии гляциодепрессий [2; 15]. Проявление гляциотектоники здесь выражается в многочисленных гляциодиапирах и гляциокуполах, явлениях отторжения и внедрения меловых, палеогеновых и неогеновых пород в четвертичную толщу в форме ледниковых отторженцев и складчато-чешуйчатых систем. Самые мощные гляциодислокации (Песковская, Дятловская и др.) и напорные конечные морены размещаются у дистальных бортов гляциодепрессий (см. рис. 4). Сходные взаимоотношения с характером геологического строения района удается обнаружить в расположении и морфологии полигенетических троговых ложбин, пересекающих гляциодепрессии либо отходящих от их дистального края по ходу движения ледниковых языков. Эти ложбины вытянуты против повышения скальных пород, «взбираются» на массив и выклиниваются (Россинская, Зельвянская, Щаровская, Молчадская, Сервечская, Ушанская и др.). Их дно наклонено согласно с падением поверхности фундамента. В пределах осевой зоны и северных склонов Центрально-Белорусского кристаллического массива до отметок от –30 до –64 м ложбины прорезают весь осадочный чехол и углубляются в элювий и породы фундамента на 20–30 м.

Днища Щаровской, Молчадской, Сервечской и Ушанской ложбин значительными отрезками совпадают с локальными поднятиями поверхности фундамента и также, прорезая осадочные породы, достигают кристаллических пород.

Глубина вреза, ширина и другие морфологические особенности ложбин также определяются глубиной залегания прочных кристаллических и осадочных пород массива и литологией податливых пород мезокайнозоя. Относительный врез ложбин в дочетвертичные осадочные породы и их ширина возрастают в соответствии со снижением поверхности кристаллического массива и возрастанием мощности перекрывающей толщи осадочных отложений. Максимальные по глубине ложбины зарегистрированы над западным склоном массива, перекрытым более мощными меловыми и песчано-глинистыми отложениями [15]. Как отмечено в [2], при переходе на кристаллический массив ложбины заметно суживаются и нередко выклиниваются по восстанию (см. рис. 2) и в более податливых отложениях района они более широкие.

Характерной особенностью линейных полигенетических ложбин описываемого района является сочетание с формами ледникового выдавливания по их тальвегу и бортам [2; 15; 20; 21]. Формы выдавливания представлены многочисленными ложбинами, меловыми гляциокуполами, скибовыми нарушениями и отторженцами, ориентированными вдоль ледникового фронта и поперек субмеридиональных ложбин. В местах пересечения субмеридиональных ложбин субширотными гляциотектоническими сооружениями у них нередко наблюдается ребристый рисунок, создаваемый ложбинами выдавливания, которые выступают в противоположные стороны от субмеридиональной ложбины. Примерами такого соотношения могут служить Гродненско-Лососненская, Свислочская, Россинская, Зельвянская, Щаровская ложбины. Часто дислокации насажены и на дистальные окончания субмеридиональных ложбин.

Район II приходится на северную часть Беларуси. В пределах верхней двухсотметровой толщи дочетвертичных образований здесь преобладают более древние, в основном палеозойские, отложения. Особенности распространения и залегания осадочных отложений определяются расположением тектонических структур платформенного чехла: Вилейского погребенного выступа Белорусской антеклизы, Прибалтийской моноклинали и Оршанской впадины [21].

Поднятие слоев вендских песчаников, алевролитов и аргиллитов, близкое их залегание к поверхности дочетвертичных отложений отмечаются вдоль юго-западной границы района (Воложинский грабен). Отсюда поверхность докембрийских отложений погружается с отметок 40–52 м как к северу, согласно падению поверхности Вилейского погребенного выступа, так и к востоку в направлении Оршанской впадины до –130 м и ниже. На западном склоне у границы с Литвой (Прибалтийская моноклираль) в ложе четвертичных отложений локально выступают нижнепалеозойские породы: кембрийские аргиллиты и песчаники, ордовикские и силурийские органогенные известняки и мергели. Здесь эти образования последовательно сменяют друг друга и погружаются в сторону Балтийской синеклизы.

В исследуемом районе вендские и нижнепалеозойские породы перекрывают девонские отложения, которые слагают преимущественно основание четвертичной толщи. Для девонских отложений в целом характерна моноклиальная структура в залегании. Это проявляется в падении слоев девона и возрастании их мощности по направлению с юго-запада на северо-восток. На поверхности коренного субстрата в том же направлении выступают все более молодые отложения. Например, у границы максимального распространения в юго-западной части района представлены отложения эйфельского яруса среднего девона. В северо-восточном направлении в западной и центральной частях выступают отложения живетского яруса. На востоке и севере региона в ложе четвертичной толщи появляются отложения франского и фаменского ярусов верхнего девона.

При условиях моноклиального залегания девонских пород разного возраста на поверхности коренного субстрата северной части Беларуси образуются полосы отложений, вытянутые с северо-запада на юго-восток, различные не только по возрасту, но также по ширине и составу. Глинисто-алевритовыми и карбонатно-глинистыми отложениями представлены наровские слои, выступающие в виде полосы шириной 35–100 км (рис. 5). Песчано-глинистые отложения характерны для широкой (90–180 км) полосы распространения отложений полоцкого и ланского горизонтов девона. На севере и востоке района в полосе развития отложений верхнего девона существенное место принадлежит доломитам и доломитизированным известнякам.

Ледниковые ложбины приурочены, как правило, к полосе распространения девонских песчано-глинистых отложений. В ее пределах отмечается второй по многочисленности после Белорусской антеклизы и плотности район скопления ложбин. Плотность ложбин здесь в основном составляет 20,8 %. Наиболее высокая плотность имеет место на западном и центральном участках полосы, где расположены котловинообразные гляциодепрессии, трогообразные ложбины, ложбины-ванны и рытвины. В отличие от ложбин первого района в описываемом районе преобладают эрозионно-экзарационные и экзарационные ложбины, а также шире встречаются субгляциальные водно-эрозионные ложбины [9] (см. рис. 3).

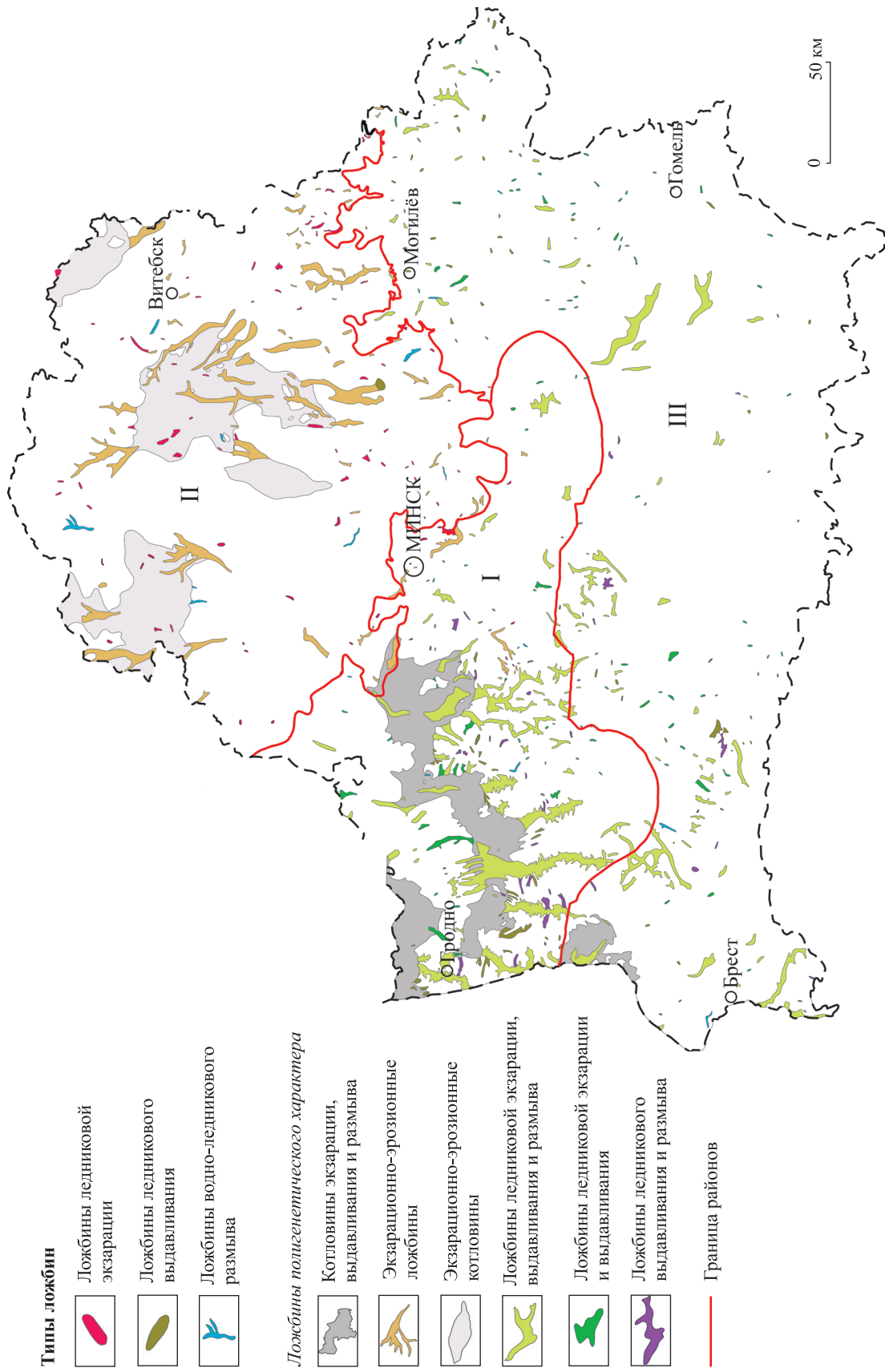


Рис. 3. Карта расположения основных морфогенетических типов ледниковых ложбин. Природа ложбин заметно изменяется при переходе от районов с деформируемым субстратом к району преобладания прочных палеозойских пород на севере Беларуси
 Fig. 3. Location map of principal morphogenetic types of glacial valleys. The glacial valley origin altered appreciably when passing from the area with deformable bedrock to the area with dominant hard Paleozoic deposits in the North of Belarus

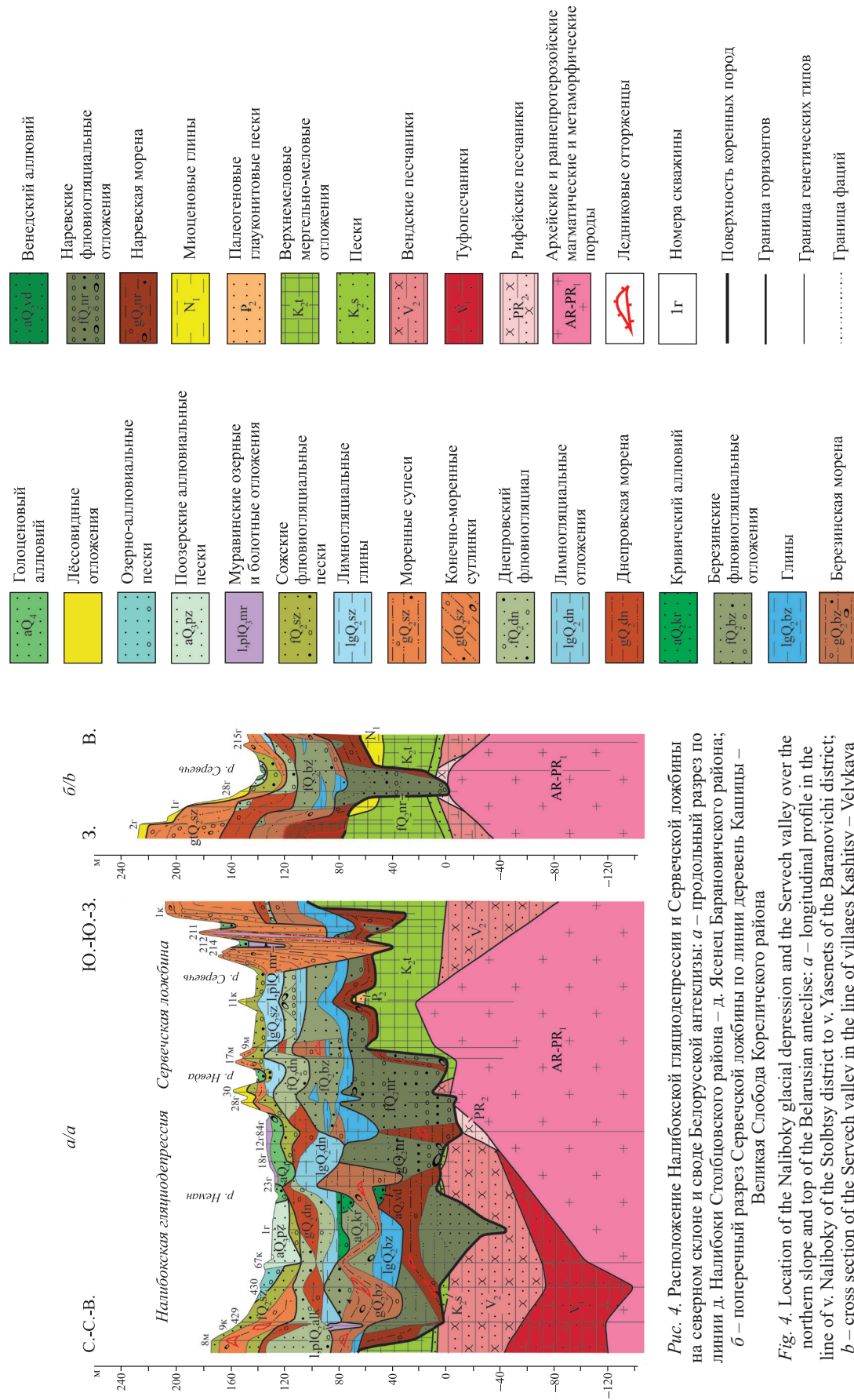


Рис. 4. Расположение Налибокской гляциодепрессии и Сервечской ложбины на северном склоне и своде Белорусской антеклизы: а – продольный разрез по линии д. Налибокы Столбовского района – д. Ясенец Барановичского района; б – поперечный разрез Сервечской ложбины по линии деревень Кашицы – Великая Слобода Кореличского района
 Fig. 4. Location of the Nalibokya glacial depression and the Servech valley over the northern slope and top of the Belarusian anticline: a – longitudinal profile in the line of v. Nalibokya of the Stolbtsy district to v. Yasenets of the Baranovichi district; b – cross section of the Servech valley in the line of villages Kashtsy – Velykaya Sloboda of the Korelich district

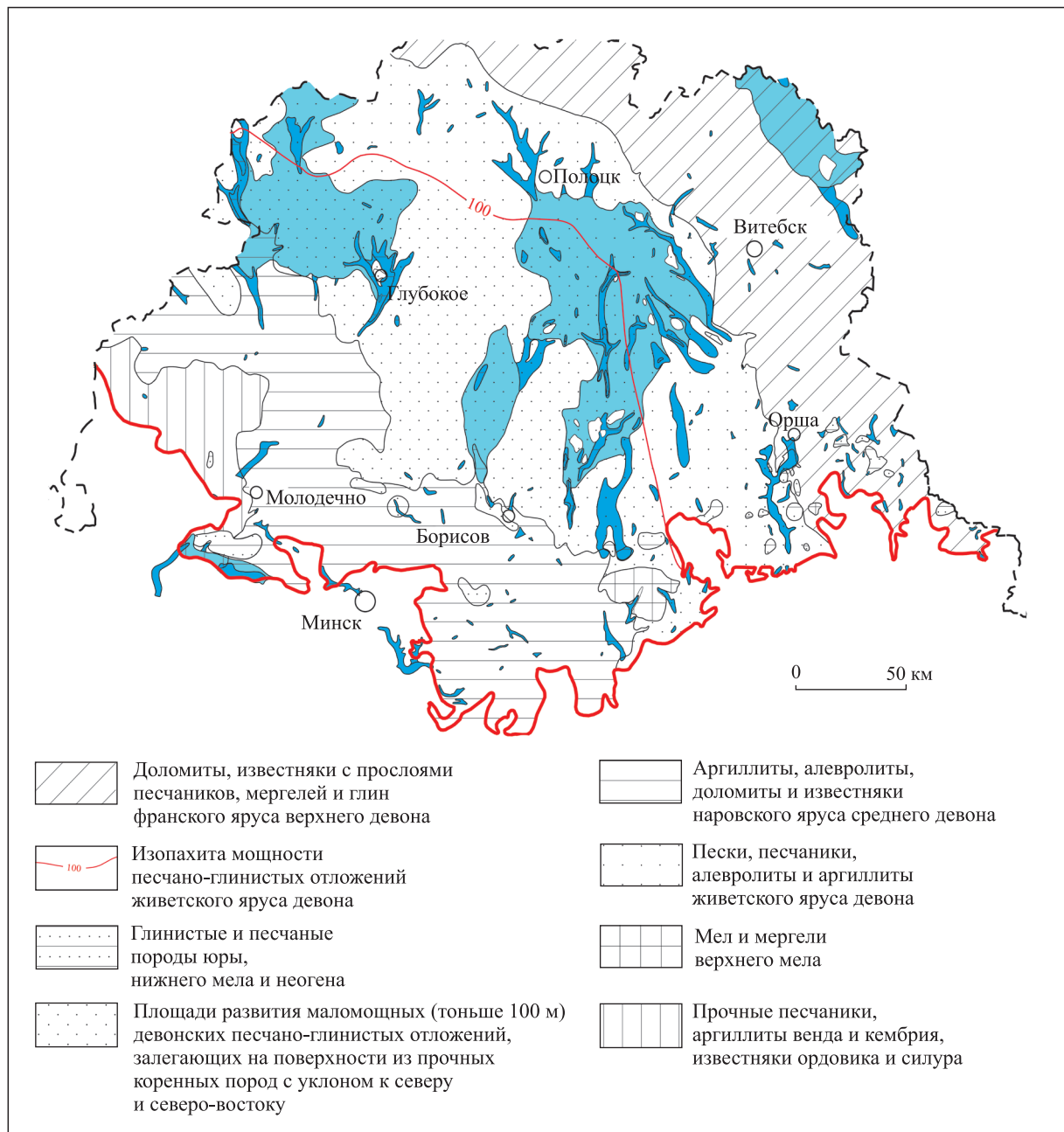


Рис. 5. Соотношение между ледниковыми ложбинами и комплексами коренных пород разного состава и возраста в северной Беларуси

Fig. 5. The relation between glacial valleys and bedrock assemblages, having different structure and age within northern Belarus

Гляциодепрессии и большинство других ложбин приурочены к площадям развития маломощных (менее 100 м) девонских песков и слабосцементированных песчаников, расположенных вблизи зоны их выклинивания. Отложения содержат прослой гли и алевролитов и залегают на поверхности из более плотных карбонатно-глинистых и глинисто-алевролитовых пород, которая имеет наклон к северу и северо-востоку. Многие участки гляциодепрессий подстраиваются к полосе распространения девонских песков и песчаников и ее границам (см. рис. 5). Гляциодепрессии в песчано-глинистых отложениях менее глубокие, чем в мергельно-меловых отложениях района I. Переуглубленные участки днища вдоль оси гляциодепрессий также следуют в целом согласно границам песчано-глинистых отложений. Только Суражская гляциодепрессия на востоке района, врезанная в более устойчивые к ледниковой экзарации карбонатные породы, является самой неглубокой. Поверхности дна и склонов гляциодепрессий отличаются пологой вогнутостью и выположенностью, хотя местами осложняются выступами из прочных слоев девонских пород.

Связь ледниковых ложбин с полосой развития девонских песков и песчаников отчетливо проявляется также в пограничных частях. В юго-западной части поля наблюдается заметное совпадение окончаний ложбин с границей выклинивания девонских песчаных отложений. Вдоль северо-восточной границы отмечается приуроченность многих ложбин к узкой зоне, где относительно прочные и тонкие карбонатные отложения саргаевского горизонта перекрывают менее устойчивые ланские пески и песчаники. В пределах полей распространения глинисто-алевроитовых, карбонатно-глинистых и карбонатных отложений на юго-западе, севере и востоке района ложбин гораздо меньше или они вовсе не установлены. Размещение отдельных, особенно субмеридиональных, ложбин ледниковой экзарации, водно-ледникового размыва и полигенетического типа связано с разуплотнением отложений вдоль разломов.

На площади залегания песчано-глинистых отложений девона ложбины в общем наклонены согласно наклону кровли подстилающих нижнепалеозойских и девонских пород. Наблюдается тенденция уменьшения глубины вреза ложбин по направлению от центральных районов площади песчано-глинистых отложений к ее юго-западной и северо-восточной границам. Ложбины глубиной более 100 м прорезают всю толщу песчано-глинистых отложений и углублены до кровли более прочных пород девона. Максимальные по глубине ложбины проходят даже сквозь всю толщу девона. Глубина их вреза и морфология контролируются скальными породами нижнего палеозоя. В поверхности дочетвертичных отложений такие ложбины более отчетливо выделяются: они глубокие и узкие. На участках максимального углубления и сужения их склоны крутые и ровные или ступенчатые с террасовидными площадками из более устойчивых пород. Сами ложбины принимают каньонообразный вид.

Район III представлен отложениями с преобладанием мергельно-меловых, песчано-алевроитовых и глинисто-песчаных отложений нижнего мела – брестского горизонта среднего плейстоцена. Этот район охватывает Припятский прогиб, южную часть Оршанской впадины и Брестскую впадину. На площади района в верхних 200 м ложа ледниковых отложений отмечаются сходные с районом I условия залегания отложений мела, палеогена и неогена. В отличие от него фундамент лежит заметно глубже и, за исключением Полесской седловины, Микашевичско-Житковичского выступа и Воронежской антеклизы, вскрывается на отметках ниже – 0,5 км. Меловые и более молодые дочетвертичные отложения перекрывают поверхность из пород разного возраста (от рифейских до верхнеюрских), которая залегает в целом глубже и постепенно погружается к западу, югу и юго-востоку. Району отвечают большие мощности меловых и неогеновых отложений (до 100–230 м) и выдержанность мощности слоев по площади. Шире развиты в субстрате отложения олигоцена – брестского предледниковья: глауконитовые пески, глины и алевроиты.

В пределах района развития пород мелового – брестского возраста обнаружено меньшее число ледниковых ложбин по сравнению с соседними районами. Плотность ложбин здесь также низкая. Ложбины в основном мелкие, выступают в виде одиночных форм менее чем на 100 м в глубину и 2 км в ширину, полностью врезаны в пески, глины и мел. По происхождению на этой территории выделяются наиболее распространенные типы: ложбины ледникового выдавливания, ложбины экзарации и выдавливания. Реже отмечаются ложбины ледникового выдавливания и размыва и почти отсутствуют субгляциальные водно-эрозионные врезы. Исключение представляют зоны развития разломов и локальных структур, к которым приурочены более крупные и глубокие ложбины экзарации, выдавливания и размыва и системы ложбин в сложных сочетаниях.

Обсуждение результатов исследования

В соответствии с приведенными данными следует подчеркнуть важнейшие особенности во взаимосвязи между характером геологического строения, литологией дочетвертичных отложений и наличием ледниковых ложбин и их природой. Наиболее очевидная взаимосвязь присутствует в районе неглубокого залегания кристаллического фундамента Белорусской антеклизы, перекрытого податливыми мезокайнозойскими мергельно-меловыми и песчано-глинистыми отложениями. Здесь сосредоточено преобладающее количество ложбин, а плотность их самая высокая.

На севере Беларуси можно также видеть подрайоны с большим числом и высокой плотностью ледниковых ложбин, соответствующие полосе механически менее устойчивых девонских песчано-глинистых отложений. Ложбины приурочены в основном к площадям развития маломощных девонских песков и песчаников, которые залегают над выступами карбонатно-глинистых и аргиллито-алевроитовых отложений с наклоном навстречу леднику. Однако северный район также имеет обширные участки с редкими или единичными ложбинами. Эти участки совпадают с полями развития более устойчивых нижнепалеозойских и девонских аргиллитов, известняков и доломитов (см. рис. 5). Как видно, в северном районе республики наблюдается взаимосвязь между высокой плотностью ложбин и песчано-глинистым субстратом и низкой плотностью ложбин и аргиллито-алевролитовым и карбонатно-глинистым субстратом. Самая высокая концентрация ложбин отмечается на участках развития песчано-глинистых

отложений, где их мощность сокращается до 100 м и менее, а подстилающие более плотные породы девона имеют высокое положение и уклон к леднику.

В районе Припятского прогиба, южной части Оршанской впадины и на территории Брестской впадины, где поверхность субстрата слагают мелы, мергели, пески, алевроиты и глины мезокайнозоя и брестского горизонта, плотность ложбин низкая. Ограниченное число ложбин в районе, по-видимому, находится в соответствии с условиями геологического строения: горизонтальным залеганием меловых – брестских отложений, большими значениями мощности, выдержанностью по площади и увеличением к западу и юго-востоку их мощности, постепенным погружением по ходу движения ледника поверхности подстилающих рифейско-юрских отложений и значительно более глубоким расположением фундамента.

Определенная связь отмечается также между районами с различным характером геологического строения и литологии субстрата и распространением различных морфогенетических типов ледниковых ложбин (см. рис. 3). В районе неглубокого залегания кристаллического фундамента и мезокайнозойских мергельно-меловых и песчано-глинистых отложений представлены преимущественно ложбины, которые образовались в результате отдельных процессов (ледникового выпаживания, выдавливания, водно-ледникового размыва) и их комбинации. Ложбины организованы в комплексы, включающие обширные гляциодепрессии, субмеридиональные трогообразные ложбины выводных языков и пересекающие их поперечные ложбины. К этим ложбинам приурочены самые многочисленные группы гляциодислокаций и отторженцев главным образом мергельно-меловых пород [7].

На юге Беларуси, где в ложе отмечаются мергельно-меловые отложения, пески, алевроиты и глины, но подстилающая их поверхность рифейско-юрских пород залегает глубже и с наклоном в направлении движения ледника, ложбины ледникового выдавливания и размыва представлены единично, а субгляциальные водно-эрозионные врезы почти не встречаются.

Природа ледниковых ложбин заметно изменяется при переходе от районов с деформируемым субстратом к району с преобладанием жестких палеозойских карбонатных и терригенных пород на севере Беларуси. Здесь распространены ложбины, в возникновении которых существенное место принадлежит ледниковой экзарации, субгляциальной водной эрозии и наложению разновременных процессов. Появление в поверхности дочетвертичных отложений субгляциальных водно-эрозионных ложбин можно связать с присутствием глинистых пород, которые способны затруднять дренаж крупных объемов подледных талых вод, обуславливая их накопление. При спусках подледных водоемов это приводило к образованию ложбин водно-ледникового размыва [16; 22].

Совпадение районов распространения мергельно-меловых и песчано-глинистых пород и участков развития ледниковых ложбин и их ограниченное присутствие на участках с преобладанием известняков, доломитов указывают на то, что между литологическими особенностями пород субстрата и их деформационными свойствами и условиями для возникновения ложбин существует прямая связь. Прочные скальные породы значительной мощности и однородные, слагающие субстрат на юго-западе и востоке северной Беларуси, механически более устойчивы. Поэтому ложбин здесь встречается меньшее количество, их плотность невысокая. Пески и слабосцементированные песчаники на западе и в центре северной Беларуси являются относительно менее устойчивыми из-за воздействия нагрузок, обусловленных ледником. По этой причине здесь находится большее количество ложбин. В сравнении с прочными отложениями района II мергельно-меловые и песчано-глинистые отложения района I мягче, пластичнее и подвержены деформациям под ледниковой нагрузкой. Это обстоятельство определяет широкое распространение ложбин в деформируемом ложе ледника.

Районы концентрации ледниковых ложбин в Беларуси имеют прямую связь с территориями неглубокого залегания кристаллического фундамента и девонских доломитов и известняков, перекрытых менее устойчивыми и маломощными песками и песчаниками. Появление ложбин объясняют разрушением слабых пород в результате концентрации напряжений на контакте с неглубоко залегающими скальными породами [2; 18].

Наличие субстрата, относительно устойчивого к воздействию ледниковой нагрузки в северной Беларуси, и субстрата, деформируемого на территории Белорусской антеклизы, обусловило проявление разных процессов ледниковой эрозии [4; 23] и формирование различных типов ледниковых ложбин. В северной Беларуси главными являются ледниковая экзарация и абразия и местами субгляциальная водная эрозия. Они привели к возникновению ложбин ледниковой экзарации, водно-ледникового размыва и экзарационно-эрозионного происхождения. На территории Белорусской антеклизы отложения субстрата эродировались в результате деформаций путем образования складок, перемещения по надвигам, подледного течения, меньше – за счет экзарации и водно-ледникового размыва. Как следствие, здесь образовались ложбины ледникового выдавливания, выпаживания и полигенетические.

Заключение

Образование ледниковых ложбин наиболее вероятно в районах с субстратом из малопрочных пород. Под ледниковой нагрузкой податливые мергельно-меловые и песчано-глинистые отложения при потере структурных связей будут иметь тенденцию к эрозии и обуславливать образование ложбин. В районах с жесткими, механически более устойчивыми и практически не поддающимися пластическим деформациям карбонатными отложениями ложбины либо встречаются в отдельных случаях, либо отсутствуют.

Условия тектонического строения на территории Белорусской антеклизы, западного и центрального участков северной Беларуси значительно усиливали напряжение в субстрате, скорость и масштаб эскарации и деформации отложений. В результате этого здесь появились районы развития ложбин.

Характер геологического строения и литологии субстрата сказался на различном стиле ледниковой эрозии, что привело к развитию различных типов ложбин.

Библиографические ссылки

1. Boulton GS. Processes and patterns of glacial erosion. In: Coates DR, editor. *Glacial geomorphology*. Binghamton: State University of New York; 1974. p. 41–87.
2. Левков ЭА. *Гляциотектоника*. Минск: Наука и техника; 1980. 278 с.
3. Kupsch WO. Ice-thrust ridges in Western Canada. *The Journal of Geology*. 1962;70(5):582–594. DOI: 10.1086/626853.
4. Boulton GS. Processes of glacier erosion on different substrata. *Journal of Glaciology*. 1979;23(89):15–38.
5. Larson G, Schaetzl R. Origin and evolution of the Great Lakes. *Journal of Great Lakes Research*. 2001;27(4):518–546. DOI: 10.1016/S0380-1330(01)70665-X.
6. Hough JL. The prehistoric Great Lakes of North America. *American Scientists*. 1963;51(1):84–109.
7. Левков ЭА. Региональные и локальные факторы формирования гляциодислокаций. *Доклады Академии наук БССР*. 1972;16(12):1126–1128.
8. Матвеев АВ. *Ледниковая формация антропогена Белоруссии*. Минск: Наука и техника; 1976. 158 с.
9. Комаровский МЕ. *Палеоложбины Белорусского Поозерья*. Минск: БГУ; 2009. 181 с.
10. Rastas J, Seppälä M. Rock jointing and abrasion forms on *roches moutonnees*, SW Finland. *Annals of Glaciology*. 1981;2:159–163. DOI: 10.3189/172756481794352504.
11. Bluemle JP, Clayton L. Large-scale glacial thrusting and related processes in North Dakota. *Boreas*. 1984;13(3):279–299. DOI: 10.1111/j.1502-3885.1984.tb01124.x.
12. Gordon JE. Ice-scoured topography and its relationships to bedrock structure and ice movement in parts of Northern Scotland and West Greenland. *Geografiska Annaler. Series A. Physical Geography*. 1981;63(1–2):55–65. DOI: 10.1080/04353676.1981.11880018.
13. Olvmo M, Johansson M. The significance of rock structure, lithology and pre-glacial deep weathering for the shape of intermediate-scale glacial erosional landforms. *Earth Surface Processes and Landforms*. 2002;27(3):251–268. DOI: 10.1002/esp.317.
14. Комаровский МЕ, Хилькевич ЕВ. Соотношение между ледниковыми ложбинами и активными разломами на территории Беларуси. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология*. 2018;2:106–117.
15. Горецкий ГИ. *Особенности палеопотамологии ледниковых областей (на примере Белорусского Понеманья)*. Минск: Наука и техника; 1980. 286 с.
16. Sandersen PBE, Jørgensen F. Substratum control on tunnel-valley formation in Denmark. In: Huuse M, Redfern J, Heron DPL, Dixon RJ, Moscardello A, Craig J, editors. *Glaciogenic Reservoirs and Hydrocarbon Systems*. [S. l.]: The Geological Society; 2012. p. 145–157. DOI: 10.1144/SP368.12. (Geological Society, London, Special Publications; volume 368).
17. Коженев ВЯ. *Белорусская антеклиза: строение, развитие, новейшая тектоника*. Минск: Наука и техника; 1979. 132 с.
18. Левков ЭА. О структуре и природе Белорусской гряды. В: Матвеев АВ, редактор. *Морфогенез на территории Белоруссии*. Минск: Наука и техника; 1983. с. 5–8.
19. Грибко АВ. *Морфология, генезис линейных переуглублений ложа антропогенных отложений в областях покровных оледенений (на примере Белорусской гряды)* [автореферат диссертации]. Москва: МГУ; 1989. 20 с.
20. Карабанов АК. *Гродненская возвышенность: строение, рельеф, этапы формирования*. Минск: Наука и техника; 1987. 108 с.
21. Комаровский МЕ. *Минская и Ошмянская возвышенности*. Минск: Институт геологических наук Академии наук Беларуси; 1996. 124 с.
22. Piotrowski JA, Hermanowski P, Piechota AM. Meltwater discharge through the subglacial bed and its land-forming consequences from numerical experiments in the Polish lowland during the last glaciation. *Earth Surface Processes and Landforms*. 2009;34(4):481–492. DOI: 10.1002/esp.1728.
23. 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.

References

1. Boulton GS. Processes and patterns of glacial erosion. In: Coates DR, editor. *Glacial geomorphology*. Binghamton: State University of New York; 1974. p. 41–87.
2. Levkov EA. *Glyatsiotektonika* [Glaciotectonics]. Minsk: Nauka i tekhnika; 1980. 278 p. Russian.
3. Kupsch WO. Ice-thrust ridges in Western Canada. *The Journal of Geology*. 1962;70(5):582–594. DOI: 10.1086/626853.
4. Boulton GS. Processes of glacier erosion on different substrata. *Journal of Glaciology*. 1979;23(89):15–38.

5. Larson G, Schaetzl R. Origin and evolution of the Great Lakes. *Journal of Great Lakes Research*. 2001;27(4):518–546. DOI: 10.1016/S0380-1330(01)70665-X.
6. Hough JL. The prehistoric Great Lakes of North America. *American Scientists*. 1963;51(1):84–109.
7. Levkov EA. [Regional and local factors of the glacial tectonics formation]. *Doklady Akademii nauk BSSR*. 1972;16(12):1126–1128. Russian.
8. Matveev AV. *Lednikovaya formatsiya antropogena Belorussii* [The glacial formation of the Quaternary of Belarus]. Minsk: Nauka i tekhnika; 1976. 158 p. Russian.
9. Komarovskii ME. *Paleolozhbiny Belorusskogo Poozer'ya* [Paleo-valleys in the Belarusian Poozerje area]. Minsk: Belarusian State University; 2009. 181 p. Russian.
10. Rastas J, Seppälä M. Rock jointing and abrasion forms on *roches moutonnees*, SW Finland. *Annals of Glaciology*. 1981;2:159–163. DOI: 10.3189/172756481794352504.
11. Bluemle JP, Clayton L. Large-scale glacial thrusting and related processes in North Dakota. *Boreas*. 1984;13(3):279–299. DOI: 10.1111/j.1502-3885.1984.tb01124.x.
12. Gordon JE. Ice-scoured topography and its relationships to bedrock structure and ice movement in parts of Northern Scotland and West Greenland. *Geografiska Annaler. Series A. Physical Geography*. 1981;63(1–2):55–65. DOI: 10.1080/04353676.1981.11880018.
13. Olvmo M, Johansson M. The significance of rock structure, lithology and pre-glacial deep weathering for the shape of intermediate-scale glacial erosional landforms. *Earth Surface Processes and Landforms*. 2002;27(3):251–268. DOI: 10.1002/esp.317.
14. 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.
15. Goretskii GI. *Osobennosti paleopotamologii lednikovyykh oblastei (na primere Belorusskogo Poneman'ya)* [Palaeopotamological peculiarities of the glaciated areas (after the example of Belarusian part of the Niemen Bassin)]. Minsk: Nauka i tekhnika; 1980. 286 p. Russian.
16. Sandersen PBE, Jørgensen F. Substratum control on tunnel-valley formation in Denmark. In: Huuse M, Redfern J, Heron DPLE, Dixon RJ, Moscariello A, Craig J, editors. *Glaciogenic Reservoirs and Hydrocarbon Systems*. [S. l.]: The Geological Society; 2012. p. 145–157. DOI: 10.1144/SP368.12. (Geological Society, London, Special Publications; volume 368).
17. Kozhenov VYa. *Belorusskaya antekliza: stroenie, razvitie, noveishaya tektonika* [The Belarusian anticline: structure, development and neotectonics]. Minsk: Nauka i tekhnika; 1979. 132 p. Russian.
18. Levkov EA. [About structure and genesis of the Belarusian Ridge]. In: Matveev AV, editor. *Morfogenez na territorii Belorussii*. Minsk: Nauka i tekhnika; 1983. p. 5–8. Russian.
19. Gribko AV. *Morfologiya, genezis lineinykh pereuglublenii lozha antropogenovykh otlozhenii v oblastiakh pokrovnykh oledenenii (na primere Belorusskoi gryady)* [The morphology and genesis of the linear gullies in bedrock within the areas of former ice sheets (after the example of the Belarusian Ridge)] [master's thesis]. Moscow: Lomonosov Moscow State University; 1989. 20 p. Russian.
20. Karabanov AK. *Grodenskaya vozvyshennost': stroenie, rel'ef, etapy formirovaniya* [The Grodno Highland: structure, relief and formation stages]. Minsk: Nauka i tekhnika; 1987. 108 p. Russian.
21. Komarovskii ME. *Minskaya i Oshmyanskaya vozvyshennosti* [The Minsk and Oshmyany Highlands]. Minsk: Institute of Geological Sciences, Academy of Sciences of Belarus; 1996. 124 p. Russian.
22. Piotrowski JA, Hermanowski P, Piechota AM. Meltwater discharge through the subglacial bed and its land-forming consequences from numerical experiments in the Polish lowland during the last glaciation. *Earth Surface Processes and Landforms*. 2009;34(4):481–492. DOI: 10.1002/esp.1728.
23. 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.

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

УДК 631.41(075.8)+631.8(075.8)

Химическая мелиорация почв [Электронный ресурс] : электрон. учеб.-метод. комплекс для спец. 1-31 02 01 «География» / БГУ ; сост.: Н. В. Клебанович [и др.]. Электрон. текстовые дан. Минск : БГУ, 2020. 88 с. : табл. Библиогр.: с. 84–85. Режим доступа: <http://elib.bsu.by/handle/123456789/242928>. Загл. с экрана. Деп. в БГУ 22.05.2020, № 005522052020.

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

УДК 33:911.3(100)(075.8)

Антипова Е. А. География мирового хозяйства [Электронный ресурс] : электрон. учеб.-метод. комплекс для спец. 1-31 02 01 «География (по направлениям)» / Е. А. Антипова ; БГУ. Электрон. текстовые дан. Минск : БГУ, 2020. 58 с. : табл. Библиогр.: с. 55–56. Режим доступа: <http://elib.bsu.by/handle/123456789/243930>. Загл. с экрана. Деп. в БГУ 12.06.2020, № 006612062020.

Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) предназначен для студентов специальности 1-31 02 01 «География (по направлениям)». В ЭУМК представлены материалы по географии населения. ЭУМК состоит из четырех разделов. В них рассматриваются вопросы факторов роста и развития мирового хозяйства, системно-структурного анализа отраслей производственной сферы, географической и отраслевой структуры отраслей непродовольственной сферы.

УДК 553.3/4(075.8)

Металлические полезные ископаемые [Электронный ресурс] : электрон. учеб.-метод. комплекс для спец. 1-51 01 01 «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых» / БГУ ; сост.: Д. Л. Творонovich-Севрук, О. В. Лукашёв. Электрон. текстовые дан. Минск : БГУ, 2020. 48 с. : ил., табл. Библиогр.: с. 47–48. Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/245054>. Загл. с экрана. Деп. в БГУ 06.07.2020, № 007506072020.

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 самостоя-

тельной работой студентов по освоению учебной дисциплины «Металлические полезные ископаемые» с помощью внедрения в образовательный процесс инновационных образовательных технологий, обеспечение качественной подготовки высококвалифицированных специалистов-геологов.

УДК 553.6(075.8)

Горючие и неметаллические полезные ископаемые [Электронный ресурс] : электрон. учеб.-метод. комплекс для спец. 1-51 01 01 «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых» / БГУ ; сост.: Д. Л. Творонович-Севрук, О. В. Лукашёв. Электрон. текстовые дан. Минск : БГУ, 2020. 32 с. : ил., табл. Библиогр.: с. 31–32. Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/245059>. Загл. с экрана. Деп. в БГУ 06.07.2020, № 007606072020.

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 «Горючие и неметаллические полезные ископаемые» с помощью внедрения в образовательный процесс инновационных образовательных технологий, обеспечение качественной подготовки высококвалифицированных специалистов-геологов.

УДК 55(091)(075.8)+55:001.891(075.8)

История и методология геологических наук. Конспект лекций [Электронный ресурс] : электрон. учеб.-метод. комплекс для спец. 1-51 01 01 «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых» / БГУ ; сост.: Д. Л. Творонович-Севрук, О. В. Лукашёв. Электрон. текстовые дан. Минск : БГУ, 2020. 134 с. Библиогр.: с. 128. Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/245884>. Загл. с экрана. Деп. в БГУ 15.07.2020, № 009015072020.

Конспект лекций предназначен для студентов, обучающихся по специальности 1-51 01 01 «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых». Содержание электронного учебно-методического комплекса предполагает повышение эффективности управления образовательным процессом и самостоятельной работой студентов по освоению учебной дисциплины «История и методология геологических наук» с помощью внедрения в образовательный процесс инновационных образовательных технологий, обеспечение качественной подготовки высококвалифицированных специалистов-геологов.

УДК 55(091)(075.8)+55:001.891(075.8)

История и методология геологических наук [Электронный ресурс] : электрон. учеб.-метод. комплекс с элементами эвристики для спец. 1-51 01 01 «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых» / БГУ ; сост.: Д. Л. Творонович-Севрук, О. В. Лукашёв. Электрон. текстовые дан. Минск : БГУ, 2020. 169 с. : табл. Библиогр.: с. 129–130. Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/245886>. Загл. с экрана. Деп. в БГУ 15.07.2020, № 009115072020.

Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) с эвристическим компонентом 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 «История и методология геологических наук» с помощью внедрения в образовательный процесс инновационных образовательных технологий, в том числе элементов эвристики, обеспечение качественной подготовки высококвалифицированных специалистов-геологов.

УДК 911.2(082)

Региональная физическая география в новом столетии [Электронный ресурс] : сб. науч. ст. Вып. 12 / БГУ ; [под общ. ред. Е. В. Матюшевой]. Электрон. текстовые дан. Минск : БГУ, 2020. 98 с. : ил. Библиогр. в тексте. Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/246425>. Загл. с экрана. Деп. в БГУ 17.07.2020, № 009217072020.

Сборник научных работ сотрудников, аспирантов и студентов кафедры физической географии мира и образовательных технологий и кафедры общего землеведения и гидрометеорологии факультета гео-

графии и геоинформатики Белорусского государственного университета и кафедры географии и методики преподавания географии факультета естествознания Белорусского государственного педагогического университета имени Максима Танка содержит результаты научной и учебно-методической деятельности специалистов в области физической географии, исторической географии, топонимики, сохранения и устойчивого использования объектов природного наследия, а также современные взгляды на методическую организацию учебного процесса в средней и высшей школе. Тематика и содержание научных статей раскрывают основные тренды развития научных исследований в области физической географии как науки и преподаваемой дисциплины.

Сборник научных работ рекомендуется преподавателям географических дисциплин высших учебных заведений, ученым и исследователям в области современной физической и эволюционной географии, геоэкологии, топонимики, педагогических наук, а также студентам, магистрантам и аспирантам географических и смежных специальностей.

УДК 551.8(075.8)

Махнач В. В. Палеогеография [Электронный ресурс] : электрон. учеб.-метод. комплекс для спец. 1-31 02 01 «География (по направлениям)», направления спец.: 1-31 02 01-02 «География (научно-педагогическая деятельность)» ; 1-33 01 02 «Геоэкология» / В. В. Махнач ; БГУ. Электрон. текстовые дан. Минск : БГУ, 2019. 35 с. : ил., табл. Библиогр.: с. 29–33. Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/246535>. Загл. с экрана. Деп. в БГУ 24.07.2020, № 009724072020.

Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) по палеогеографии предназначен для студентов специальностей: 1-31 02 01 «География (по направлениям)» и 1-33 01 02 «Геоэкология». Содержание ЭУМК предполагает создание условий, содействующих освоению студентами учебного курса «Палеогеография» и обеспечивающих полноту процесса становления специалиста через представление теоретического и информационно-методического материала. Содержание ЭУМК предполагает повышение эффективности управления образовательным процессом и самостоятельной работой студентов с помощью внедрения в образовательный процесс инновационных образовательных технологий, обеспечение качественной подготовки высококвалифицированных специалистов-географов.

УДК 551.79(476)+561:581.33:551.79(476)

Геологические разрезы гляциоплейстоцена и голоцена Беларуси [Электронный ресурс] : к 100-летию Белорусского государственного университета : в 5 т. Т. 2. Бассейн Западной Двины / Я. К. Еловичева, Е. Н. Дрозд ; БГУ. Электрон. текстовые дан. Минск : БГУ, 2020. 234 с. : ил. Библиогр.: с. 218–227. Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/247963>. Загл. с экрана. Деп. в БГУ 01.09.2020, № 010801092020.

Данная работа вмещает разрезы гляциоплейстоцена и голоцена, которые были изучены на территории Беларуси в бассейне реки Западной Двины. Потребность их публикации в единой монографии вызвана необходимостью детально и полно представить палинологическую характеристику 206 разрезов, а также отразить взгляд авторов на решение проблем стратиграфии и палеогеографии квартала в современном понимании развития природной среды и межрегиональной геологической корреляции. Приведена расширенная библиография по всем имеющимся публикациям о палинологически изученных разрезах, а также использованы материалы фондовых исследований, находящихся в палинологической базе данных Беларуси.

Работа предназначена для ученых в области четвертичной геологии, палеонтологии, палеогеографии, а также обширного круга специалистов-стратиграфов, палинологов, палеогеографов, климатологов, экологов научно-исследовательских и учебных учреждений и производственных геологических организаций.

УДК 502.175(075.8)+005.931(075.8)

Гагина Н. В. Экологическая экспертиза, менеджмент и аудит [Электронный ресурс] : электрон. учеб.-метод. комплекс для спец. 1-33 01 02 «Геоэкология» / Н. В. Гагина ; БГУ. Электрон. текстовые дан. Минск : БГУ, 2020. 115 с. : ил., табл. Библиогр.: с. 112–113. Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/248506>. Загл. с экрана. Деп. в БГУ 17.09.2020, № 011317092020.

Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) предназначен для студентов, обучающихся по специальности 1-33 01 02 «Геоэкология». В ЭУМК изложены принципы, методы, этапы, законодательные требования к проведению экологической экспертизы, экологического менеджмента и аудита. Представлены тематика практических занятий, задания для управляемой самостоятельной работы студентов, перечень заданий в тестовой форме, вопросы для самоконтроля для итогового промежуточного контроля знаний.

УДК 373.5.016:91(075.8)

Ермолович М. М. **Методика преподавания географических дисциплин** [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)» / М. М. Ермолович ; БГУ. Электрон. текстовые дан. Минск : БГУ, 2020. 61 с. : табл. Библиогр.: с. 57–60. Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/248509>. Загл. с экрана. Деп. в БГУ 17.09.2020, № 011417092020.

Электронный учебно-методический комплекс по учебной дисциплине «Методика преподавания географических дисциплин» предназначен для студентов специальности 1-31 02 01 «География (по направлениям)». Содержание ЭУМК предполагает создание условий, содействующих освоению студентами содержания учебной дисциплины и обеспечивающих полноту процесса становления специалиста-педагога через изучение теоретического материала к практической составляющей педагогической компетентности.

УДК 556.512.048.06(075.8)

Данилович И. С. **Водно- и теплобалансовые расчеты** [Электронный ресурс] : электрон. учеб.-метод. комплекс для спец. 1-31 02 02 «Гидрометеорология» / И. С. Данилович ; БГУ. Электрон. текстовые дан. Минск : БГУ, 2020. 46 с. : табл. Библиогр.: с. 41–44. Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/249188>. Загл. с экрана. Деп. в БГУ 12.10.2020, № 012712102020.

Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) предназначен для студентов специальности 1-31 02 02 «Гидрометеорология» факультета географии и геоинформатики Белорусского государственного университета. В ЭУМК представлены основные сведения для выполнения расчетов элементов водного баланса речных и озерных водосборов при наличии и отсутствии данных гидрометеорологических наблюдений, расчетов теплового баланса водоемов. Представлены тематика, содержание и методические рекомендации для выполнения лабораторных и практических работ, перечень вопросов и заданий для семинарских занятий, управляемой самостоятельной работы студентов и промежуточного контроля знаний.

УДК 91:004(075.8)

Курлович Д. М. **ГИС-технологии** [Электронный ресурс] : учеб.-метод. пособие / Д. М. Курлович, Н. В. Жуковская, О. М. Ковалевская ; БГУ. Электрон. текстовые дан. Минск : БГУ, 2020. 309 с. : ил., табл. Библиогр.: с. 307–309. Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/249198>. Загл. с экрана. Деп. в БГУ 13.10.2020, № 012813102020.

Рассматриваются основные понятия геоинформационных систем, модели представления пространственных данных, методы геоинформационного анализа и моделирования. Теоретический материал сопровождается вопросами для самопроверки, электронными тестами, практическими и эвристическими заданиями.

Учебно-методическое пособие предназначено для студентов, обучающихся по специальностям 1-56 02 02 «Геоинформационные системы (по направлениям)» и 1-31 02 01 «География (по направлениям)».

УДК 551.501.8(075.8)

Каўрыга П. А. **Метады дыстанцыйных даследаванняў у гідраметэаралогіі** [Электронны рэсурс] : электрон. вучэб.-метада. комплекс для спец. 1-31 02 02 «Гідраметэаралогія» / П. А. Каўрыга ; БДУ. Электрон. тэкставыя дан. Мінск : БДУ, 2020. 152 с. : мал. Бібліягр.: с. 138–144. Рэжым доступу: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/252497>. Загал. з экрана. Дэп. у БДУ 08.12.2020, № 014508122020.

Электронны вучэбна-метадычны комплекс (ЭВМК) прызначаны для студэнтаў спецыяльнасці 1-31 02 02 «Гідраметэаралогія». Змест ЭВМК прадугледжвае вывучэнне дыстанцыйных (некантактных) метадаў атрымання звестак аб фізічным стане гідраатмасферы, заснаваных на ўлоўліванні электрамагнітных выпрамяненняў, якія распаўсюджваюцца ад гідраатмасферных аб'ектаў і пераносяць неабходную інфармацыю. Выкладаюцца прынцыпы дзеяння сучасных наземных і касмічных вымяральных сістэм, якія ўжываюцца для зандзіравання гідраатмасферы пры дапамозе электрамагнітных і гукавых выпрамяненняў і выкарыстання атрыманых даных у сінэтычным аналізе. Важнейшымі вымяральнымі сістэмамі з'яўляюцца шарапілотнае і радыёзандзіраванне, радыёлакацыя і спадарожніковае зандзіраванне.

ЭВМК прызначаны для студэнтаў географічных і гідраметэаралагічных спецыяльнасцей, якія рыхтуюцца ў вышэйшых навучальных установах. Ён таксама будзе карысным для працаўнікоў гідраметэаслужбы.

СОДЕРЖАНИЕ

ГЕОГРАФИЯ

<i>Зайко П. О., Красовский А. Н., Бородко С. К.</i> Совершенствование мезомасштабного численного прогнозирования погоды WRF-ARW в Республике Беларусь путем ассимиляции радиолокационных данных о ветре и отражаемости	3
<i>Гледко Ю. А., Бережкова Е. С.</i> Анализ метеорологической обстановки в условиях обледенения и гололеда	14
<i>Алиева И. С.</i> Современные изменения стоковых характеристик рек Большого Кавказа	26
<i>Марцинкевич Г. И., Кузьмин С. И., Давыдик Е. Е., Бобко А. В.</i> Методологические проблемы и подходы к выявлению и оценке типичных и редких ландшафтов Республики Беларусь	34
<i>Антипова Е. А., Сливинская Т. В.</i> Экономико-географические факторы развития воздушного транспорта и доступность пассажирских авиаперевозок в Республике Беларусь	47
<i>Коротыш Д. П., Шелег Н. С.</i> Экономико-географический анализ структуры природорожного сервиса Республики Беларусь на примере магистральных автомобильных дорог	60

ГЕОЛОГИЯ

<i>Литвинюк Г. И.</i> Палеокарпологические и палеоклиматические исследования муравинских межледниковых флор Белорусской гряды	70
<i>Комаровский М. Е., Семенюк А. С.</i> Значение геологического строения и литологии коренных пород для распределения и происхождения ледниковых ложбин на территории Беларуси	78
Аннотации депонированных в БГУ работ	91

CONTENTS

GEOGRAPHY

<i>Zaiko P. A., Krasouski A. N., Barodka S. K.</i> Improvement of mesoscale numerical weather prediction WRF-ARW in the Republic of Belarus by assimilation of radar wind and reflectivity data	3
<i>Hledko Y. A., Berazhkova K. S.</i> Analysis of the meteorological situation in the conditions of icing and ice	14
<i>Aliyeva I. S.</i> Modern changes of the runoff characteristics of the rivers of the Greater Caucasus	26
<i>Martsinkevich G. I., Kuzmin S. I., Davydik E. E., Babko A. V.</i> Methodological problems and approaches to identifying and evaluating typical and rare landscapes of the Republic of Belarus...	34
<i>Antipova E. A., Slivinskaya T. V.</i> Economic and geographic factors of development of air transport and accessibility of passenger air transportation in the Republic of Belarus	47
<i>Korotysh D. P., Sheleg N. S.</i> Economic and geographic analysis of road service structure of the Republic of Belarus (on the example of highways).....	60

GEOLOGY

<i>Litviniuk H. I.</i> Palaeocarpological and palaeoclimatic studies of the murtic interglacial flora of the Belarusian upland	70
<i>Komarovskiy M. E., Semianiuk A. S.</i> Significance of bedrock structure and lithology for the glacial valleys distribution and genesis in Belarus	78
Indicative abstracts of the papers deposited in BSU.....	91

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

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

**Журнал Белорусского
государственного университета. География. Геология.
№ 2. 2020**

Учредитель:
Белорусский государственный университет

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

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

Тел. 259-70-74, 259-70-75.

E-mail: jgeo@bsu.by

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 *М. А. Подголина, О. А. Семенец*
Технический редактор *Д. Ф. Когут*
Корректор *Л. А. Меркуль*

Подписано в печать 23.12.2020.

Тираж 100 экз. Заказ 504.

Республиканское унитарное предприятие
«Информационно-вычислительный центр
Министерства финансов Республики Беларусь».
ЛП № 02330/89 от 03.03.2014.
Ул. Кальварийская, 17, 220004, г. Минск.

© БГУ, 2020

**Journal
of the Belarusian State University. Geography and Geology.
No. 2. 2020**

Founder:
Belarusian State University

Registered address: 4 Niezaliežnasci Ave.,
Minsk 220030.

Correspondence address: 4 Niezaliežnasci Ave.,
Minsk 220030.

Tel. 259-70-74, 259-70-75.

E-mail: jgeo@bsu.by

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 *M. A. Podgolina, O. A. Semenets*
Technical editor *D. F. Kogut*
Proofreader *L. A. Merkul'*

Signed print 23.12.2020.

Edition 100 copies. Order number 504.

Republican Unitary Enterprise
«Informatsionno-vychislitel'nyi tsentr
Ministerstva finansov Respubliki Belarus'».
License for publishing No. 02330/89, 3 March 2014.
17 Kal'varyjskaja Str., Minsk 220004.

© BSU, 2020