



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

2019

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; доцент кафедры 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.
Зуй В. И.	Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь.
Иванов Д. Л.	Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь.
Калицкий Т.	Институт географии Университета Яна Кوخановского в Кельце, Кельце, Польша.
Карабанов А. К.	Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь.
Катровский А. П.	Смоленский государственный университет, Смоленск, Россия.
Курлович Д. М.	Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь.
Маркс Л.	Варшавский университет, Варшава, Польша.
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; associate professor at 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.
Zui V. I.	Belarusian State University, Minsk, Belarus.
Ivanov D. L.	Belarusian State University, Minsk, Belarus.
Kalicki T.	Institute of Geography of the Jan Kochanowski University in Kielce, Kielce, Poland.
Karabanov A. K.	Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus.
Katrovskii A. P.	Smolensk State University, Smolensk, Russia.
Kurlovich D. M.	Belarusian State University, Minsk, Belarus.
Marks L.	University of Warsaw, Warsaw, Poland.
Nyusupova G. N.	al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan.
Pirozhnik I. I.	Akademia Pomorska, Slupsk, Poland.
Rodionova I. A.	Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia.
Rudenko L. G.	Institute of Geography of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine.
Sanko A. F.	Belarusian State University, Minsk, Belarus.
Sarmento Zh. K. B.	University of Minho, Braga, Portugal.

УДК 631.42+911.9

ОТ ИЗУЧЕНИЯ СВОЙСТВ И ФУНКЦИЙ ЗЕМЕЛЬ И ПОЧВ К ОЦЕНКЕ ИХ ЭКОСИСТЕМНЫХ УСЛУГ: ОБЗОР

В. М. ЯЦУХНО¹⁾, Е. В. ЦВЕТНОВ²⁾

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

²⁾Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова,
Ленинские горы, 1, 119991, г. Москва, Россия

Представлены результаты аналитического обзора зарубежных и отечественных научных и прикладных исследований, а также собственные разработки авторов, посвященные специфическим особенностям и роли земель и почв в предоставлении экосистемных услуг. Под последними понимаются выгоды и блага, которые получает человек в результате хозяйственного использования почвенно-земельных ресурсов, способствующих повышению благосостояния людей, а также устойчивому существованию наземных экосистем. Рассмотрена дуалистическая роль земель и почв, которые, с одной стороны, выполняют хозяйственные, экологические, санитарно-гигиенические, территориально-организационные и другие функции, а с другой – являются признанной формой природного капитала, обладающей накопленным запасом стоимости. Несмотря на физическое единство земель и почв, при стоимостном измерении предлагается учитывать их отдельно, определяя ценность почв исходя из выполняемых ими экологических функций, а ценность земель как пространственной основы, сферы жизнеобеспечения, среды обитания, а также составной части любого объекта недвижимости – с позиций полезности и доходности использования земельного участка. Анализируются возможности оценки экосистемных услуг земель и почв на основе концепции общей экономической их ценности и перспективы применения полученных результатов в практике рационального природопользования и статистического учета природного капитала.

Ключевые слова: земля; почва; экосистемные услуги; экологические функции; природный капитал.

Благодарность. Публикация подготовлена в рамках проекта № 1.33 государственной программы научных исследований «Природопользование и экология» на 2016–2020 гг. (подпрограмма «Природные ресурсы и экологическая безопасность» на 2019–2020 гг.).

Образец цитирования:

Яцухно ВМ, Цветнов ЕВ. От изучения свойств и функций земель и почв к оценке их экосистемных услуг: обзор. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология*. 2019;2:3–14.
<https://doi.org/10.33581/2521-6740-2019-2-3-14>

For citation:

Yatsukhno VM, Tsvetnov EV. From studying the properties and functions of land and soil to assessing their ecosystem services: a review. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology*. 2019;2:3–14. Russian.
<https://doi.org/10.33581/2521-6740-2019-2-3-14>

Авторы:

Валентин Минович Яцухно – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент; ведущий научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории экологии ландшафтов факультета географии и геоинформатики.

Евгений Владимирович Цветнов – кандидат биологических наук; старший научный сотрудник кафедры радиэкологии и экотоксикологии факультета почвоведения.

Authors:

Valentin M. Yatsukhno, PhD (agricultural sciences), docent; leading researcher at the research laboratory of landscape ecology, faculty of geography and geoinformatics.
yatsukhno@bsu.by

Evgeny V. Tsvetnov, PhD (biology); senior researcher at the department of radioecology and ecotoxicology, faculty of soil science.
ecobox@mail.ru

FROM STUDYING THE PROPERTIES AND FUNCTIONS OF LAND AND SOIL TO ASSESSING THEIR ECOSYSTEM SERVICES: A REVIEW

V. M. YATSUKHNO^a, E. V. TSVETNOV^b

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

^bLomonosov Moscow State University, 1 Leninskie Gory, Moscow 119991, Russia

Corresponding author: V. M. Yatsukhno (yatsukhno@bsu.by)

The content of the article is based on the results of an analytical review of foreign and domestic scientific and applied research, as well as the author's own developments on the specific features and the role of land and soil in the provision of ecosystem services. The latter are the benefits and goods that people receive as a result of the functioning and economic use of soil and land resources, contributing to the improvement of their well-being, as well as the sustainable existence of terrestrial ecosystems. The dualist role of land and soil performing, on the one hand, economic, environmental, sanitary and hygienic, territorial-organizational and other functions, on the other hand, being a recognized form of natural capital with an accumulated stock of value, is considered. It is proposed despite the physical unity of land and soil, when valuing them, be considered separately, determining the value of soil from the standpoint of their ecological functions, and the land – the spatial basis, life support and habitat, and also as an integral part of utility and profitability of land use. The possibilities of assessing land and soil ecosystem services are analysed on the basis of the concept of their common economic value and the prospects for applying its results in environmental management practice and statistical accounting of the natural capital.

Keywords: land; soil; ecosystem services; ecological functions; natural capital.

Acknowledgements. The publication was prepared in the framework of the project No. 1.33 of the state program of scientific research «Nature Management and Ecology» for 2016–2020 (subprogramme «Natural Resources and Environmental Safety» for 2019–2020).

Введение

Последние два десятилетия в научной и общественной сферах, бизнес-среде, органах управления, а также на различных международных и национальных форумах активно обсуждаются вопросы и принимаются решения, связанные с оценкой экосистемных услуг и практикой применения ее результатов. Кардинальные изменения в понимании значимости экосистемных услуг как части природного капитала и предоставленных в процессе их осуществления благ и выгод были обусловлены разработкой и принятием ООН в Рио-де-Жанейро в 1992 г. концепции устойчивого развития, а также подготовкой под эгидой ЮНЕП с участием 1360 специалистов и ученых из 95 стран мира программы «Оценка экосистем на пороге тысячелетия» [1].

Важным шагом в контексте расширения учета экосистемных услуг при принятии оптимальных управленческих решений по эффективному использованию и сохранению природного потенциала стала резолюция, одобренная на совещании министров стран «Большой восьмерки», а также Бразилии, Китая, Индии, Мексики и ЮАР по охране окружающей среды в 2007 г. в Германии. В ней были продекларированы три ключевых принципа: 1) признание ценности экосистем и биоразнообразия; 2) проведение эколого-экономической оценки экосистем с применением рыночных и нерыночных методов; 3) разработка механизмов учета предоставляемых экосистемами услуг при планировании хозяйственной и природоохранной деятельности [2].

В широком разнообразии наземных экосистем, их структурных и функциональных особенностей ключевую роль играют земли и почвы, выступающие в качестве естественно-природной матрицы многочисленных биофизических, химических и информационных процессов, происходящих в результате взаимодействия земель и почв с организмами и продуктами их жизнедеятельности. Несмотря на это, экосистемные услуги, предоставляемые землями и почвами, не нашли должного отражения в национальной и международной практике научных и прикладных исследований. Имеющиеся попытки увязать представление об экосистемных услугах земель и почв с их экономической оценкой носят единичный характер. На изменение данной ситуации направлены два недавно опубликованных аналитических обзора, посвященных роли земель и почв в предоставлении экосистемных услуг и их оценке как необходимому условию обоснования и реализации задач устойчивого землепользования [3; 4].

В связи с нерешенностью вопросов единой трактовки понятий «земля» и «почва», в том числе на научном и правовом уровнях, мы полагаем, что с позиций предоставления ими экосистемных услуг земля и почва должны рассматриваться как самостоятельные, но тесно связанные компоненты окружающей среды. Так, почвенный компонент ограничен пространственным проявлением процессов почвообразования и оценивается с учетом природных свойств и классификационной принадлежности почв,

выполнения ими экологических функций. Земельный же компонент представляет собой заключенный в фиксированные границы определенной территории природный комплекс, характеризующийся пространством, рельефом, климатом, почвенным покровом, растительностью. Таким образом, если почва является биокосным природным телом и главным образом выполняет важные экологические функции в биосфере, то земля обладает не только системно-историческим содержанием, а включает также земную поверхность и характеризуется географическим положением, территориально-хозяйственным и ресурсно-имущественным потенциалом, предоставляя услуги неэкологического характера [5]. Несмотря на отмеченные отличия земли и почвы с позиций предоставляемых экосистемных услуг, их необходимо рассматривать в едином комплексе выполняемых функций с учетом специфики их природных свойств и разных вариантов землепользования.

В целях раскрытия содержания и особенностей использования экосистемных услуг земель и почв в статье приведены результаты аналитического обзора трех аспектов проблемы. Во-первых, рассматриваются экосистемные услуги, предоставляемые почвами при выполнении ими экологических функций на глобальном и биогеоценотических уровнях; во-вторых, сопоставляются международные классификации экосистемных услуг, в том числе предоставляемых землями и почвами; в-третьих, анализируются методические подходы эколого-экономической оценки экосистемных услуг и сферы практического применения ее результатов.

Материалы исследования

При выполнении данного исследования рассматривались опубликованные научные работы ряда зарубежных, советских, а также современных российских и белорусских ученых, посвященные экологической роли почв и почвенных процессов, использованию земельных ресурсов, функциям почвенного покрова в наземных экосистемах, их влиянию на пространственно-временные изменчивость и устойчивость природной среды. Наиболее полно и всесторонне эти проблемы отражены в научных трудах В. Р. Волобуева, В. А. Ковды, А. Н. Геннадиева, Г. В. Добровольского, Е. Д. Никитина, Л. О. Карпачевского, Г. И. Уварова, Т. А. Романовой, Н. В. Клебановича, В. И. Васенева, Г. Брюмера (G. Brümmer), У. Э. Х. Блюма (W. E. H. Blum), Р. П. О. Шульте (R. P. O. Shulte), П. Лавеля (P. Lavelle), К. Мадены (K. Madena), Н. Глезнер (N. Glæsner) и др. [6–24].

Менее изученными остаются вопросы, касающиеся определения, систематизации, картографирования, оценки и прикладного применения экосистемных услуг земель и почв. Лишь в последние годы наблюдается заметный рост количества научных публикаций по данной проблематике, главным образом в англоязычных изданиях. К наиболее значимым с научно-методической точки зрения можно отнести работы [25–40].

В рамках выполненного обзора проведена оценка степени отражения экосистемных услуг, предоставляемых землями и почвами, в ряде международных и специальных классификаций экосистемных услуг. В первую очередь рассматривались классификации, представленные рабочими группами программы «Оценка экосистем на пороге тысячелетия» (*Millennium Ecosystem Assessment*, MEA) [1] и проекта «Экономика экосистем и биоразнообразия» (*The Economics of Ecosystems and Biodiversity*, TEEB) [41], а также классификация экосистемных услуг, выполненная под эгидой Европейского агентства по окружающей среде (*European Environment Agency*, ЕЕА) [42]. В данном контексте проведено сопоставление места и роли земель и почв в наиболее распространенных классификациях экосистемных услуг [29; 43–45], разработанных рядом известных исследователей в этой области (Р. Костанца (R. Costanza), Э. Дж. Доминати (E. J. Dominati), Р. С. де Грут (R. S. de Groot) и др.). Наконец, выполнен анализ предлагаемых методов оценки экосистемных услуг земель и почв, состояния и перспектив использования ее итогов в практической деятельности и статистическом учете природного капитала.

Результаты исследований и их обсуждение

Достижение целей устойчивого развития, как одна из долгосрочных и приоритетных задач современности, предполагает обеспечение экономического роста при одновременном снижении воздействия хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду. Такая политика «двойного выигрыша», наряду с инструментами государственного регулирования и рыночными механизмами, должна сочетать в себе принятие на государственном уровне обязательств по сохранению экосистем в долгосрочной перспективе. Ценность и значимость последних заключается не только в том, что они выступают природным капиталом и рассматриваются как источник природного сырья для производства и потребления, но и в том, что обеспечивают предоставление широкого спектра экосистемных услуг. Как известно, экосистемы, являясь сообществами живых существ и их среды обитания, представляющими единое функциональное целое [46] и характеризующимися различными протекающими в них материальными и энергетическими процессами, обеспечивают безопасность и благополучие жизнедеятельности людей и содействуют сохранению и поддержанию устойчивого функционирования природной среды.

Данная проблема начала интенсивно обсуждаться в международных научных кругах в связи с опубликованием на эту тему коллективной монографии [47] и аналитической статьи в журнале «Nature» [48]. Что касается понятия «экосистемные услуги», то его содержание впервые было раскрыто П. Р. Эрлихом (P. R. Ehrlich) и Г. А. Муни (H. A. Mooney) [49]. В вышеуказанной статье [48] приводятся результаты определения стоимости 17 категорий экосистемных услуг, предоставляемые 16 биотомами земного шара (крупными биотическими сообществами в пределах природно-климатических зон): она составила 33,2 трлн долл. США в год. Для сравнения: общемировой валовой продукт в тот период был около 18 трлн долл. США в год. Как отмечают сами авторы статьи, спустя 20 лет после ее опубликования, несмотря на различное отношение ученых и специалистов к результатам представленной оценки, все сошлись во мнении, что экосистемные услуги в не меньшей мере определяют благополучие людей, чем добыча и эксплуатация природных ресурсов [50]. Упование на то, что природный и производственный капитал взаимозаменяемы, и поэтому технологические решения могут гарантировать устойчивое общественное развитие, вряд ли можно считать оправданным. До сих пор не существует (и не просматриваются перспективы создания в будущем) таких технологий, которые могли бы обеспечить производство кислорода, поддержание биологического разнообразия, круговорот и очистку воды и воздуха в масштабе планеты, регулирование химического состава атмосферы, миграцию диких животных и естественные среды обитания для них, ассимиляцию различного рода отходов, фотосинтез, защиту от вредной космической радиации, регулирование климата, формирование плодородного слоя почвы и многое другое. Принятая в 2005 г. программа ООН «Оценка экосистем на пороге тысячелетия» подтверждает это и исходит из того, «что люди являются интегральной частью экосистем и что существует динамическое взаимодействие между ними и другими частями экосистем, при этом изменения условий существования людей вызывают – как прямо, так и косвенно – изменения в экосистемах и, таким образом, в благополучии человека»¹ [1, р. 6].

В рамках указанной программы были выделены четыре базовые категории экосистемных услуг:

- обеспечивающие (*provisioning*) – предоставление материальных благ для производства продуктов питания, снабжение водой, минеральным и биологическим сырьем, лекарственными и генетическими ресурсами и др.;
- регулирующие (*regulating*) – управление климатом, качеством воздуха и почв, очистка вод, смягчение природных и техногенных опасностей, регулирование состояния экосистем и их деградации;
- поддерживающие (*supporting*) – круговорот биогенных и минеральных веществ, вод, почвообразование, фотосинтез или производство первичной биопродукции;
- культурные (*cultural*) – нематериальные и материальные ценности и выгоды, содействующие познавательной, воспитательной, рекреационной деятельности, эстетическому наслаждению, а также использующиеся в образовательном процессе, научных исследованиях, сохранении культурного и природного наследия. Составляющими благополучия названы безопасность, основы качественной жизни, здоровье и хорошие социальные отношения.

В настоящее время обоснованы и разработаны более двух десятков классификаций экосистемных услуг, отражающих разнообразие структурных, функциональных, а также национальных и региональных особенностей их интерпретации. Однако наиболее используемыми в практических целях признаны классификации трех международных инициативных групп, объединяющих ученых, специалистов и практиков из разных стран и регионов мира. Первая из этих классификаций была представлена рабочей группой программы «Оценка экосистем на пороге тысячелетия» [1], вторая – в рамках проекта «Экономика экосистем и биоразнообразия» [41], а третья, получившая название «Общая международная классификация экосистемных услуг» (*Common International Classification of Ecosystem Services*, CICES), выполнена под эгидой Европейского агентства по окружающей среде [2].

Детально проанализировав степень отражения земель и почв в различных классификациях экосистемных услуг, мы сделали общий вывод, что до настоящего времени этим компонентам уделяется мало внимания, а их многочисленные функции и процессы изначально были оставлены вне рамок экосистемных услуг или слабо освещены в подобных классификациях. Так, в базовой классификации экосистемных услуг МЕА почвы упоминаются лишь в связи с оценкой почвообразования, регулирования эрозии, водного режима, сдерживания опасных природных явлений. В классификации CICES, которая имеет 5-уровневую иерархическую структуру, состоящую из секций, разделов, групп, классов и типов классов, земли и почвы упоминаются только на 3-м уровне в группе «регулирование качества почв» и на 5-м уровне в типе класса «предотвращение загрязнения отходами».

Недостаточный учет почвенно-земельного фактора при классификации экосистемных услуг не позволяет в полной мере отразить содержание и провести объективную их оценку. Почвы, являясь ключевым биокосным компонентом наземных экосистем, выступают не только местом и средой обитания

¹Здесь и далее перевод наш. – В. Я., Е. Ц.

организмов, аккумулятором вещества и энергии для них, но и связующим звеном биологического и геологического круговоротов, защитным барьером и фактором функционирования биосферы, а также своеобразной матрицей, определяющей биоразнообразие данных экосистем. В этом заключается важность учета свойств и функций земель и почв для более полной оценки экосистемных услуг и использования ее результатов в практической деятельности. О растущем понимании роли земель и почв в этом процессе свидетельствуют, пусть пока единичные, примеры классификации почвенных экосистемных услуг, представленные в работах [5; 28; 29; 44; 51; 52].

Основной трудностью разработки единой классификации экосистемных услуг земель и почв является сложность и разноплановость выполняемых ими функций, отдельные из которых определяют несколько видов экосистемных услуг [51]. Стоит отметить, что в современном почвоведении и экологии учение об экосистемных услугах почв и методах их оценки – относительно новое направление, долгое время более популярным оставался термин «функции почв». При рассмотрении почвенных экологических функций имеется в виду роль и значение почв, а также почвенных процессов в жизни организмов, их сохранении и эволюции. В течение длительного периода развивалось учение о биогеоценотических функциях почвы в экосистемах и глобальных функциях почвенного покрова в биосфере [9; 10]. Основное внимание было сфокусировано на естественно-научных проблемах изучения экологических функций почв и их охраны, проблема же комплексной экономической оценки практически не затрагивалась. Возможно, одна из причин этого – положение о том, что экосистемные услуги и экологические функции почв не являются тождественными понятиями. Любая функция в некотором смысле шире, чем услуга, связанная с ней, потому что при определении экосистемных услуг производится выбор только тех результатов почвенных функций, которые могут иметь экономическую интерпретацию. Так, оценку услуг почв по защите от эрозии мы можем осуществить только в случае измеренного количественного и (или) качественного изменения такой ее функции, как поддержание почвозащитной устойчивости склоновых земель.

Наиболее активно изучение функциональных особенностей почв и их роли в природе и обществе начало проводиться в 1970–80-х гг. и получило значительное развитие в XXI в. Его результаты легли в основу содержания Всемирной хартии почв, утвержденной на 150-й сессии Совета ФАО ООН (1–5 декабря 2014 г.) [53]. В частности, в ней провозглашается, что «конкретные функции, обеспечиваемые почвой, во многом определяются комплексом химических, биологических и физических свойств, характерных для данной почвы», и что «обеспечиваемые почвой поддерживающие, продукционные, регулирующие и культурные услуги сохраняются или приумножаются без значительного снижения почвенных функций» [53, р. 5]. Одними из первых ученых, которые предложили классификацию почвенных функций, были Г. Брюмер [18] и Г. Варалай (G. Varallyay) [54]. Значительный вклад в изучение функций почв внес известный австрийский почвовед У. Э. Х. Блюм [19; 20], который выделил шесть категорий почвенных функций, три из которых соответствовали экологическим, две – социально-экономическим и одна – культурным функциям. Данная классификация легла в основу концепции по подготовке Тематической стратегии защиты почв, которая была принята Еврокомиссией в 2006 г. Ключевой целью стратегии является «создание общих рамок защиты почв на основе принципов сохранения почвенных функций и предотвращения деградации земель» [55, р. 12].

Концепция многофункциональности почв стала ключевым элементом в политике ряда государств, определяющей территориальное планирование землепользования [56–58], а также в деятельности такой авторитетной международной организации, как ФАО ООН [59].

На постсоветском пространстве также активно и плодотворно проводились исследования в области учения о функциях почв. Наиболее заметный вклад в решение этой важной теоретической и прикладной задачи внесли известные российские ученые-почвоведы академик Г. В. Добровольский и профессор Е. Д. Никитин [9; 10]. Они с коллегами определяли функции почв исходя из их роли в экосистемах, опираясь на подходы классического генетического почвоведения. Таким образом, проводимые на территории бывшего СССР исследования носят ярко выраженный экологический характер, что широко используется в природоохранных целях. Зарубежные же трактовки экологических функций почв в первую очередь нацелены на применение в практической деятельности (оценка земель, планирование землепользования, формирование здоровой комфортной среды обитания и эстетической ее привлекательности и т. д.).

В классификации Г. В. Добровольского и Е. Д. Никитина в большей степени уделяется внимание взаимодействию природных сред на разных иерархических уровнях, в частности почв и ландшафтов (биогеоценотический уровень) и окружающей среды в целом (глобальный уровень). Это позволило выделить 32 функции (из них 16 – глобальные и 16 – биогеоценотические) [10]. Несмотря на различие данной классификации функций почв с ее зарубежными вариантами, отдельные аналоги могут с успехом применяться при оценке предоставляемых экосистемных услуг. В зарубежной классификации наряду с почвой как природным телом дополнительно используется понятие «земля», выступающее в качестве пространственного базиса размещения объектов инфраструктуры, природного и культурного

наследия, поселений, источников полезных ископаемых, стройматериалов и др., предоставляющих неэкологические услуги. Совместное их рассмотрение в контексте предоставления экосистемных услуг является логичным, однако требует более глубокого обоснования и правового закрепления различий понятий «почва» и «земля», на что неоднократно указывали ученые и специалисты [60].

Следует признать, что достаточно продолжительное время экосистемные услуги и функции земель и почв рассматривались параллельно и вопросы их взаимосвязи и взаимообусловленности не затрагивались. И только осознание и принятие постулата о том, что земли и почвы являются природным капиталом, дали основание утверждать, что они охватывают как свойства, так и процессы. Их динамическими особенностями обусловлен неразрывный ансамбль взаимосвязей [3]. К настоящему времени накоплен достаточно богатый опыт изучения взаимосвязи между отдельными функциями почв и предоставляемыми ими экосистемными услугами. Что касается разработки единой системы, охватывающей весь спектр прямых и косвенных взаимосвязей, то исследования в этой области носят единичный характер и требуют более глубокого осмысления и всесторонней оценки их результатов. К числу наиболее продуктивных разработок, как правило завершающихся составлением обобщающих схем соотношения функций почв и соответствующих услуг, относятся исследования В. И. Васенева, Э. Дж. Доминати, Е. В. Цветнова, К. Адхикари (K. Adhikari) и др. [17; 28; 29; 44; 52]. Предложенные ими схемы были использованы нами при установлении прямых взаимосвязей, определяющих непосредственное влияние глобальных и биогеоценотических функций почв на предоставляемые ими экосистемные услуги (см. таблицу).

**Прямые взаимосвязи между глобальными и биогеоценотическими функциями почв
и предоставляемыми ими экосистемными услугами**

**Direct relationships between global and biogeocenotic soil functions
and the ecosystem services they provide**

Категории экосистемных услуг	Глобальные функции				Биогеоценотические функции				Неэкологические функции (территориальный базис, культурное наследие)
	Литосферные	Гидросферные	Атмосферные	Общебиосферные	Физические	Химические и физико-химические	Информационные	Целостные	
Обеспечивающие	+	+	+	+	+	+	–	+	+
Регулирующие	+	+	+	+	+	+	–	+	–
Поддерживающие	–	–	–	+	+	+	+	+	–
Культурные	–	–	–	+	–	–	+	–	+

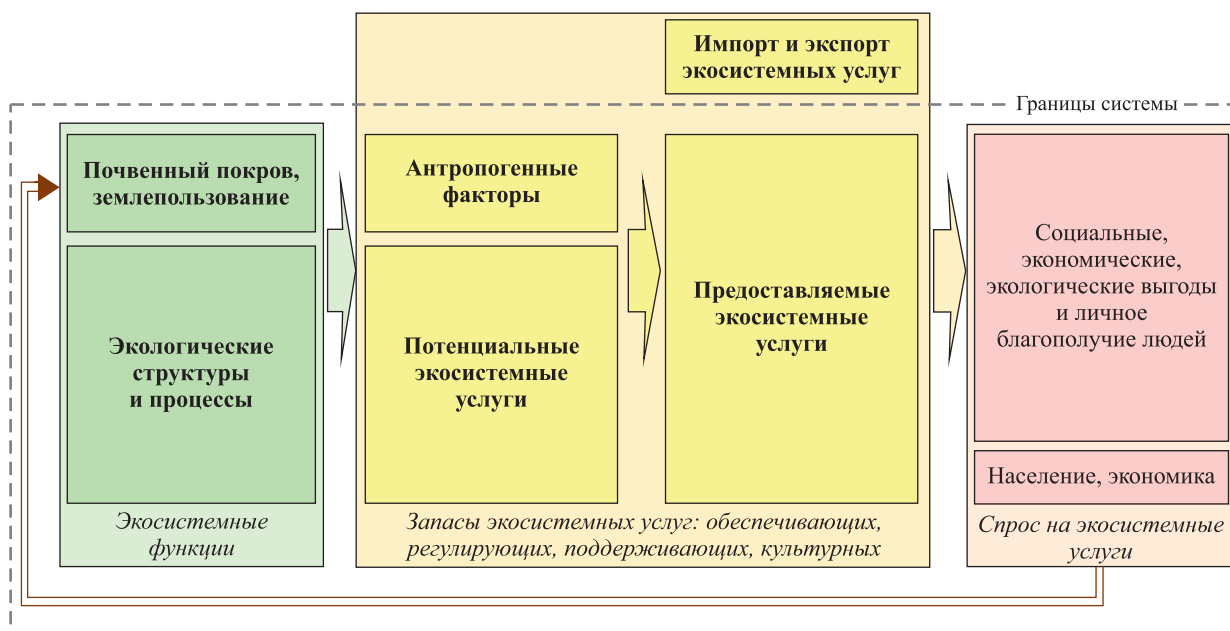
Источники: [5; 9; 10; 13; 17].

При этом надо иметь в виду, что функции почв помимо прямого оказывают косвенное влияние на предоставляемые ими услуги и тем самым формируют сложную мозаику их взаимодействий. Предложенная схема позволяет судить о той интегральной роли, которую играют почвы в общей совокупности экосистемных услуг, а также рассматривать и учитывать функции почв как важную основу практики планирования, нормирования и мониторинга природопользования и эколого-экономической (стойкой) оценки почвенно-земельных ресурсов, а также управления ими.

Наиболее сложным и принципиальным остается вопрос взаимосвязи между функциями экосистем и предоставляемыми ими услугами [61]. После многочисленных дискуссий международным комитетом проекта «Экономика экосистем и биоразнообразия» [41] было определено, что функции экосистем проявляются в форме множества взаимодействий между структурой экосистемы и процессами, которые лежат в основе способности экосистем предоставлять товары и услуги. Рассматривая в данном контексте почву как ключевую подсистему биогеоценоза в его естественном состоянии и в агроценозе, можно утверждать, что она выступает в качестве самостоятельного биокосного объекта функционирования. Последнее предполагает разнообразные формы участия почв и почвенных процессов в функционировании, сохранении и эволюции экосистем и биосферы в целом [13].

Одной из особенностей соотношения «услуга – функция почв» выступает тот факт, что функция может проявляться для людей как с положительной, так и с отрицательной стороны, тогда как услуга всегда

положительна, ибо экосистемная услуга – это определенная выгода. Например, такая экологическая функция почв, как поглощение и удержание некоторых газов, заключается не только в фиксации углекислого газа (благоприятное явление с позиции борьбы с глобальным потеплением), но и в его эмиссии (негативный процесс с этой же точки зрения). Услуги же регистрируются только тогда, когда есть положительный баланс (фиксация превышает эмиссию). Таким примером может служить реабилитация нарушенных после разработки торфяных месторождений болотных экосистем. Однако концептуально весьма важно понимать роль и значение почв в предоставлении экосистемных услуг и получаемые при этом выгоды и блага, причем не только специалистами, но и лицами, принимающими решения, а также представителями широкой общественности. Этому может содействовать приведенная ниже структурная схема взаимосвязи экосистемных функций земель и почв, предоставляемых ими услуг и получаемых выгод.



Взаимосвязь экосистемных функций и услуг земель и почв,
а также получаемых при этом выгод и благ
(разработано по [62], с дополнением авторов)

Interconnection of ecosystem functions, land and soil services
and their benefits and benefits
(developed by [62], added by authors)

Схема иллюстрирует пошаговую операцию, включающую последовательное определение перечня экосистемных функций исходя из выполняемых землями и почвами процессов, предоставление потенциально возможных экосистемных услуг. На данном этапе необходимо учитывать не только внутренние свойства почв, но и внешние факторы, влияющие на характер и степень протекания происходящих в них процессов и часто приводящие к коренному изменению почв. Как правило, такие изменения обусловлены целенаправленными антропогенными воздействиями (внесение удобрений и применение средств защиты растений, мелиоративное преобразование, рекультивация земель, нерациональное использование земельного фонда, развитие деградации почв). Таким образом, в зависимости от направления землепользования экосистемные услуги земель и почв могут расширяться или ограничиваться [63].

Определяя реально существующие экосистемные услуги, отдельные из которых могут быть выражены количественно, необходимо провести оценку полученных выгод и благ. В настоящее время все более актуальной и практически востребованной проблемой является эколого-экономическая (стоимостная) оценка экосистемных услуг земель и почв [64]. Прежде всего это касается установления размера наносимого землям и почвам ущерба, который часто недооценивается или вообще игнорируется. При превращении стоимости земель и почв как важной составной части природного капитала из абстрактного понятия в конкретные цифры создается фактический материал, помогающий принимать точные и эффективные с точки зрения затрат решения. Актуальность этого утверждения очевидна, поскольку до настоящего времени экономическая наука традиционно затрагивает вопросы ценности не почв, а земельных участков различной категориальной принадлежности. Использование в эколого-экономической оценке, в частности сельскохозяйственных земель, показателей свойств и функциональных

особенностей почв позволяет более объективно отражать их ценность через эффективность вложенных в них капиталов (удобрений, мелиорантов, средств защиты растений, затрат на улучшение и охрану земель и почв и др.). Несмотря на достаточно большой накопленный научно-методический и практический опыт земельно-оценочных работ, до настоящего времени полностью не решена задача выработки приемлемых и всесторонних методов оценки земель, включая почвы. Во многом это объясняется многоплановостью целей, поставленных перед такой оценкой, и той многофункциональной ролью, которую играют земли и почвы в хозяйственной, экологической, природоохранной и социальной деятельности, а также правовом регулировании имущественных отношений человеческого общества.

В последнее время получили развитие методические подходы по определению стоимости земель и земельных участков как объектов оценки с позиций предоставления ими природных благ (экосистемных услуг), важнейшим поставщиком которых является слагающий их почвенный покров. В международной практике данный вид стоимости обозначается термином «общая экономическая ценность» (TEV) [65] и рассчитывается на основе комплексного учета полезных свойств земель и почв по формуле

$$TEV = UV + NV = DV + IV + OV + NV,$$

где UV – стоимость использования, которую можно представить как сумму трех показателей (DV + IV + OV); DV – стоимость прямого использования; IV – стоимость косвенного использования; OV – потенциальная ценность; NV – стоимость отложенного использования.

Так, стоимость прямого использования для сельскохозяйственной земли – это стоимость, полученная на основе дохода от реализации производимой на ней продукции растениеводства и животноводства. Однако почва выступает не только производственной матрицей, но и регулирующим компонентом экосистемы, в частности естественным буфером для большинства загрязнителей. Стоимостная интерпретация этой способности приводит нас к стоимости косвенного использования, внедрение которой в практику позволит в полной мере решить проблему экологизации оценки земли и почвы.

Методика общей экономической ценности применялась белорусскими исследователями при определении стоимости экосистемных услуг и биологического разнообразия, а также прямой и косвенной стоимости естественных болотных экосистем [66; 67].

В настоящее время в экономической науке при оценке природного капитала активно обсуждается концепция справедливой стоимости (*fair value*), которая должна учитывать фундаментальные свойства (в нашем случае – земель и почв), позволяющие снизить зависимость стоимости от рыночных флуктуаций [31; 68]. Включение экосистемных услуг земель и почв в оценку справедливой их стоимости представляется закономерным явлением, способствующим развитию природоохранных тенденций в землепользовании, а также формированию эколого ориентированного рынка недвижимости, в частности земли.

Заключение

Земли и почвы как ключевые компоненты природного капитала не только играют важную роль в хозяйственной деятельности, но и одновременно выполняют ряд незаменимых экологически значимых функций в окружающей среде (буферные, сорбционные, водо-, тепло- и газорегулирующие, биогеохимические, эдафические и др.). Это свидетельствует об их существенной значимости в качестве природных объектов, предоставляющих экосистемные услуги (обеспечивающие, регулирующие, поддерживающие, культурные), направленные на получение всевозможных выгод и благ. До недавнего времени эти услуги не всегда учитывались в рыночно-имущественных отношениях, не относились к активам, поскольку не была определена величина их стоимости.

В аналитическом обзоре сделана попытка обобщить мировой и отечественный опыт определения отдельных особенностей, классификации, оценки экосистемных услуг земель и почв, обусловленных происходящими в них процессами и выполняемыми ими экологическими функциями. Востребованность результатов оценки экосистемных услуг земель и почв, включая ее стоимостное выражение, объясняется необходимостью учета национального богатства, отражения его в государственной статистике и бухгалтерском учете, а также важностью принятия научно обоснованных решений при планировании и реализации задач устойчивого землепользования.

Библиографические ссылки

1. *Ecosystems and human well-being. Synthesis. A report of the Millennium Ecosystem Assessment*. Washington: Island Press; 2005. 138 p.
2. Helm D, Hepburn C, editors. *Nature in the balance: the economics of biodiversity*. Oxford: Oxford University Press; 2014. 448 p.
3. Baveye PC, Baveye J, Gowdy J. Soil «Ecosystem» Services and Natural Capital: Critical Appraisal of Research on Uncertain Ground. *Frontiers in Environmental Science* [Internet]. 2016 [cited 2019 March 21];4. Available from: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenvs.2016.00041/full>. DOI: 10.3389/fenvs.2016.00041.

4. Конюшков ДЕ. Формирование и развитие концепции экосистемных услуг: обзор зарубежных публикаций. *Бюллетень Почвенного института имени В. В. Докучаева*. 2015;80:26–49. DOI: 10.19047/0136-1694-2015-80-26-49.
5. Яцухно В, Дудко Г, Тишкович О. Экосистемные услуги земель/почв: особенности, значение, перспективы использования. *Земля Беларуси*. 2018;1:35–39.
6. Волобуев ВР. *Экология почв (очерки)*. Баку: Издательство Академии наук АзССР; 1963. 260 с.
7. Ковда ВА. *Биогеохимия почвенного покрова*. Москва: Наука; 1985. 263 с.
8. Геннадиев АН. *Почвы и время: модели развития*. Москва: Издательство Московского университета; 1990. 232 с.
9. Добровольский ГВ, Никитин ЕД. *Экология почв: учение об экологических функциях почв*. 2-е издание, уточненное и дополненное. Москва: Издательство Московского университета; 2012. 412 с.
10. Добровольский ГВ, Никитин ЕД. *Сохранение почв как незаменимого компонента биосферы: функционально-экологический подход*. Москва: Наука; 2000. 185 с.
11. Карпачевский ЛО. *Экологическое почвоведение*. Москва: ГЕОС; 2005. 336 с.
12. Добровольский ГВ, редактор. *Структурно-функциональная роль почвы в биосфере*. Москва: ГЕОС; 1999. 278 с.
13. Уваров ГИ. *Экологические функции почв*. 2-е издание, дополненное. Санкт-Петербург: Лань; 2017. 296 с.
14. Шоба СА, Яковлев АС, Рыбальский НГ, редакторы. *Экологическое нормирование и управление качеством почв и земель*. Москва: НИА-Природа; 2013. 310 с.
15. Романова ТА. *Диагностика почв Беларуси и их классификация в системе ФАО-WRB*. Карпачевский ЛО, редактор. Минск: Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларуси; 2004. 428 с.
16. Клебанович НВ. Почвы Беларуси – наше богатство. *Земля Беларуси*. 2015;2–3:47–48, 39–47.
17. Васенев ВИ, Ван Ауденховен АП, Ромзайкина ОН, Гаджиагаева РА. Экологические функции и экосистемные сервисы городских и техногенных почв: от теории к практическому применению (обзор). *Почвоведение*. 2018;10:1177–1191. DOI: 10.1134/S0032180X18100131.
18. Brümmer G. Funktion des Bodens im Stoffhaushalt der Ökosphäre. *Deutscher Rat für Landespflege*. 1978;31:13–20.
19. Blum WEH. Functions of soil for society and the environment. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*. 2005; 4(3):75–79. DOI: 10.1007/s11157-005-2236-x.
20. Blum WEH, Schad P, Nortcliff S. *Essentials of Soil Science: soil formation, functions, use and classification (World Reference Base, WRB)*. Stuttgart: Borntraeger Science Publishers; 2018. 171 p.
21. Schulte RPO, Creamer RE, Donnellan T, Farrelly N, Fealy R, O'Donoghue C, et al. Functional land management: a framework for managing soil-based ecosystem services for the sustainable intensification of agriculture. *Environmental Science & Policy*. 2014;38:45–58. DOI: 10.1016/j.envsci.2013.10.002.
22. Lavelle P. Ecological challenges for soil science. *Soil Science*. 2000;165(1):73–86.
23. Madena K, Bormann H, Giani L. Soil functions – Today's situation and further development under climate change. *Erdkunde. Archive for Scientific Geography*. 2012;66(3):221–237. DOI: 10.3112/erdkunde.2012.03.03.
24. Gläser N, Helming K, De Vries W. Do current European policies prevent soil threats and support soil functions? *Sustainability*. 2014;6(12):9538–9563. DOI: 10.3390/su6129538.
25. Schwilch G, Lemann T, Berglund O, Camarotto C, Cerdà A, Daliakopoulos IN, et al. Assessing impacts of soil management measures on ecosystem services. *Sustainability*. 2018;10(12):4416. DOI: 10.3390/su10124416.
26. Dominati EJ, Mackay AD, Bouma J, Green S. An ecosystems approach to quantify soil performance for multiple outcomes: the future of land evaluation? *Soil Science Society of America Journal*. 2016;80(2):438–449. DOI: 10.2136/sssaj2015.07.0266.
27. Comerford NB, Franzluebbers AJ, Stromberger ME, Morris L, Markewitz D, Moore R. Assessment and evaluation of soil ecosystem services. *Soil Horizons*. 2013;54(3):1–14. DOI: 10.2136/sh12-10-0028.
28. Adhikari K, Hartemink AE. Linking soils to ecosystem services – a global review. *Geoderma*. 2016;262:101–111. DOI: 10.1016/j.geoderma.2015.08.009.
29. Jónsson JOG, Davidsdóttir B. Classification and valuation of soil ecosystem services. *Agroecological Systems*. 2016;145:24–38. DOI: 10.1016/j.agsy.2016.02.010.
30. *Status of the World's Soil Resources. Charter 2. The role of soils in ecosystem processes*. [S. l.]: FAO; 2015. 18 p.
31. Robinson DA, Fraser I, Dominati EJ, Davidsdóttir B, Jónsson JOG, Jones L, et al. On the value of soil resources in the context of natural capital and ecosystem service delivery. *Soil Science Society of America Journal*. 2014;78(3):685–700. DOI: 10.2136/sssaj2014.01.0017.
32. Robinson DA, Jackson BM, Clothier BE, Dominati EJ, Marchant SC, Cooper DM, et al. Advances in soil ecosystem services: concepts, models, and applications for earth system life support. *Vadose Zone Journal*. 2013;12(4):65–78. DOI: 10.2136/vzj2013.01.0027.
33. da Silva RT, Fleskens L, van Delden H, van der Ploeg M. Incorporating soil ecosystem services into urban planning: status, challenges and opportunities. *Landscape Ecology*. 2018;33(7):1087–1102. DOI: 10.1007/s10980-018-0652-x.
34. Pulleman M, Creamer R, Hamer U, Helder J, Pelosi C, Pérès G, et al. Soil biodiversity, biological indicators and soil ecosystem services – an overview on European approaches. *Current Opinion in Environment Sustainability*. 2012;4(5):529–538. DOI: 10.1016/j.cosust.2012.10.009.
35. Hauck J, Görg C, Varjopuro R, Ratamäki O, Jax K. Benefits and limitations of the ecosystem services concept in environmental policy and decision making: some stakeholder perspectives. *Environmental Science & Policy*. 2013;25:13–21. DOI: 10.1016/j.envsci.2012.08.001.
36. Lal R. Soil conservation and ecosystem services. *International Soil and Water Conservation Research*. 2014;2(3):36–47. DOI: 10.1016/S2095-6339(15)30021-6.
37. Wall DH, Bardgett RD, Beham-Pelletier V, Herrick JE, Jones TH, Six J, et al., editors. *Soil ecology and ecosystem services*. Oxford: Oxford University Press; 2013. 424 p.
38. Stolte J, Tesfai M, Øygarden L, Kværnø S, Keizer J, Verheijen F, et al., editors. *Soil threats in Europe: status, methods, drivers and effects on ecosystem services*. Luxembourg: European Union; 2015. 207 p. (JRS Technical Reports).
39. Hardelin J, Lankoski J. *Land use and ecosystem services. OECD food, agriculture and fisheries papers, No. 114*. Paris: OECD Publishing; 2018. 74 p.
40. *The value of land: prosperous lands and positive rewards through sustainable land management*. Bonn: Eld Initiative; 2015. 165 p.

41. Kumar P, editor. *The economic of ecosystems and biodiversity. Ecological and economic foundations*. Abingdon: Rutledge; 2010. 410 p.
42. Haines-Young R, Potschin M. *Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) V5.1. Guidance on the application of the revised structure*. Nottingham: Fabis Consulting; 2017. 26 p.
43. Costanza R. Ecosystem services: multiple classification systems are needed. *Biological Conservation*. 2008;141(2):350–352. DOI: 10.1016/j.biocon.2007.12.020.
44. Dominati EJ, Patterson MG, Mackay AD. A framework for classifying and quantifying the natural capital and ecosystem services of soils. *Ecological Economics*. 2010;69(9):1858–1868. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2010.05.002.
45. de Groot RS, Wilson MA, Boumans RMJ. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*. 2002;41(3):393–408. DOI: 10.1016/S0921-8009(02)00089-7.
46. Реймерс НФ. *Природопользование: словарь-справочник*. Москва: Мысль; 1990. 638 с.
47. Daily GC, editor. *Nature's services: societal dependence on natural ecosystems*. Washington: Island Press; 1997. 392 p.
48. Costanza R, d'Arge R, de Groot R, Farber S, Grasso M, Hannon B, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*. 1997;387(6630):253–260.
49. Ehrlich PR, Mooney HA. Extinction, substitution and ecosystem services. *BioScience*. 1983;33(4):248–254. DOI: 10.2307/1309037.
50. Costanza R, de Groot R, Braat L, Kubiszewski I, Fioramonti L, Sutton P, et al. Twenty years of ecosystem services: how far have we come and how far do we still need to go? *Ecosystem Services*. 2017;28(part A):1–16. DOI: 10.1016/j.ecoser.2017.09.008.
51. Васенев ВИ, Ананьева НД, Макаров ОА. Особенности экологического функционирования конструкторов на территории Москвы и Московской области. *Почвоведение*. 2012;2:224–235.
52. Цветнов ЕВ, Макаров ОА, Яковлев АС, Бондаренко ЕВ. О включении экосистемных услуг в систему оценки ущерба от деградации земель. *Почвоведение*. 2016;12:1534–1540. DOI: 10.7868/S0032180X16120133.
53. *Revised World Soil Charter*. Rome: FAO; 2005. 8 p.
54. Varállyay G. Land evaluation in Hungary – scientific problems, practical applications. In: Bouma JJ, Bregt AK, editors. *Land Qualities in Space and Time: proceedings of a symposium organized by the International Society of Soil Science (ISSS); 1988 August 22–26; Wageningen, the Netherlands*. Wageningen: Pudoc; 1989. p. 241–252.
55. *Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Thematic Strategy for Soil Protection (COM (2006) 231 final)*. Brussels: Commission of the European Communities; 2006. 12 p.
56. Lehmann A, Stahr K. The potential of soil functions and planner-oriented soil evaluation to achieve sustainable land use. *Journal of Soils and Sediments*. 2010;10(6):1092–1102. DOI: 10.1007/s11368-010-0207-5.
57. Liang SY, Lehmann A, Wu KN, Staor K. Perspectives of function-based soil evaluation in land-use planning in China. *Journal of Soils and Sediments*. 2014;14(1):10–22. DOI: 10.1007/s11368-013-0787-y.
58. Tzivilakis J, Lewis KA, Williamson AR. A prototype framework for assessing risks to soil functions. *Environmental Impact Assessment Review*. 2005;25(2):181–195. DOI: 10.1016/j.eiar.2004.02.003.
59. *Land resource planning for sustainable land management. Current and emerging needs in land resource planning for food security, sustainable livelihoods, integrated landscape management and restoration*. Rome: FAO; 2017. 68 p.
60. Яковлев АС, Сизов АП. Научные и правовые предпосылки использования понятий «почва» и «земля» в природоохранной практике. В: Шоба СА, Яковлев АС, Рыбальский НГ, редакторы. *Экологическое нормирование и управление качеством почв и земель*. Москва: НИА-Природа; 2013. с. 22–28.
61. Greiner L, Keller A, Grêt-Regamey A, Papritz A. Soil function assessment: review of methods for quantifying the contributions of soils to ecosystem services. *Land Use Policy*. 2017;69:224–237. DOI: 10.1016/j.landusepol.2017.06.025.
62. Burkhard B, Kandziora M, Hou Y, Müller F. Ecosystem service potentials, flows and demands – concepts for spatial localisation, indication and quantification. *Landscape Online* [Internet]. 2014 [cited 2019 February 20];34:1–32. Available from: <https://www.landscape-online.org/index.php/lo/article/view/LO.201434>. DOI: 10.3097/LO.201434.
63. Murray-Rust D, Dendoncker N, Dawson TP, Acosta-Michlik L, Karali E, Guillem E, et al. Conceptualising the analysis of socio-ecological systems through ecosystem services and agent-based modelling. *Journal of Land Use Science*. 2011;6(2–3):83–99. DOI: 10.1080/1747423X.2011.558600.
64. *Методологические рекомендации по оценке земли по текущей рыночной стоимости*. Москва: Росстат; 2015. 409 с.
65. *System of environmental-economic accounting 2012. Central framework*. New York: United Nations; 2014. 347 p.
66. *Охрана окружающей среды и природопользование. Порядок проведения стоимостной оценки экосистемных услуг и определения стоимостной оценки биологического разнообразия, ТКП 17.02-10-2013 (02120) (01.06.2013)*. Минск: Минприроды; 2013. 23 с.
67. Краковецкий АВ. Методические подходы к определению экономической ценности естественных болотных экосистем. В: Карабанов АК, редактор. *Природопользование. Выпуск 28*. Минск: Институт природопользования НАН Беларуси; 2015. с. 61–67.
68. Шоба СА, Макаров ОА, Абдулханова ДР, Бондаренко ЕВ, Гиоргадзе СР, Глазунов ГП и др. *«Справедливая» экономика землепользования*. Шоба СА, Макаров ОА, редакторы. Москва: МАКС Пресс; 2018. 196 с.

References

1. *Ecosystems and human well-being. Synthesis. A report of the Millennium Ecosystem Assessment*. Washington: Island Press; 2005. 138 p.
2. Helm D, Hepburn C, editors. *Nature in the balance: the economics of biodiversity*. Oxford: Oxford University Press; 2014. 448 p.
3. Baveye PC, Baveye J, Gowdy J. Soil «Ecosystem» Services and Natural Capital: Critical Appraisal of Research on Uncertain Ground. *Frontiers in Environmental Science* [Internet]. 2016 [cited 2019 March 21];4. Available from: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenvs.2016.00041/full>. DOI: 10.3389/fenvs.2016.00041.

4. Konyushkov DE. The development of the concept of ecosystem services: a review of foreign publications. *Byulleten' Pochvennogo instituta imeni V. V. Dokuchaeva*. 2015;80:26–49. DOI: 10.19047/0136-1694-2015-80-26-49. Russian.
5. Yatsukhno V, Dudko H, Tischkovich J. Lands/soils ecosystem services: peculiarities, significance, perspectives using. *Zemlya Belarusi*. 2018;1:35–39. Russian.
6. Volobuev VR. *Ekologiya pochv (ocherki)* [Soil ecology (essays)]. Baku: Izdatel'stvo Akademii nauk AzSSR; 1963. 260 p. Russian.
7. Kovda VA. *Biogeokhimiya pochvennogo pokrova* [Biogeochemistry of soil cover]. Moscow: Nauka; 1985. 263 p. Russian.
8. Gennadiyev AN. *Pochvy i vremya: modeli razvitiya* [Soil and time: development models]. Moscow: Izdatel'stvo Moskovskogo universiteta; 1990. 232 p. Russian.
9. Dobrovolskii GV, Nikitin ED. *Ekologiya pochv: uchenie ob ekologicheskikh funktsiyakh pochv* [Soil ecology: the doctrine of the ecological functions of soils]. 2nd edition, updated and supplemented. Moscow: Izdatel'stvo Moskovskogo universiteta; 2012. 412 p. Russian.
10. Dobrovolskii GV, Nikitin ED. *Sokhranenie pochv kak nezamenimogo komponenta biosfery: funktsional'no-ekologicheskii podkhod* [Soil conservation as an indispensable component of the biosphere: a functional-ecological approach]. Moscow: Nauka; 2000. 185 p. Russian.
11. Karpachevskii LO. *Ekologicheskoe pochvovedenie* [Ecological soil science]. Moscow: GEOS; 2005. 336 p. Russian.
12. Dobrovolskii GV, editor. *Strukturno-funktsional'naya rol' pochvy v biosfere* [The structural and functional role of soil in the biosphere]. Moscow: GEOS; 1999. 278 p. Russian.
13. Uvarov GI. *Ekologicheskie funktsii pochv* [Ecological functions of soils]. 2nd edition, supplemented. Saint Petersburg: Lan'; 2017. 296 p. Russian.
14. Shoba SA, Yakovlev AS, Rybalsky NG, editors. *Ekologicheskoe normirovanie i upravlenie kachestvom pochv i zemel'* [Standardization and regulation of environmental and soils quality and land management]. Moscow: NIA-Priroda; 2013. 310 p. Russian.
15. Romanova TA. *Diagnostika pochv Belarusi i ikh klassifikatsiya v sisteme FAO-WRB* [Diagnostics of Belarusian soils and their classification in the FAO-WRB system]. Karpachevskii LO, editor. Minsk: Institute for Soil Science and Agrochemistry of the National Academy of Sciences of Belarus; 2004. 428 p. Russian.
16. Klebanovich NV. Soils of Belarus – our wealth. *Zemlya Belarusi*. 2015;2–3:47–48, 39–47. Russian.
17. Vasenev VI, Van Audenkhoven AP, Romzaikina ON, Gadzhagaeva RA. [Ecological functions and ecosystem services of urban and technogenic soils: from theory to practical application (review)]. *Pochvovedenie*. 2018;10:1177–1191. DOI: 10.1134/S0032180X18100131. Russian.
18. Brümmer G. Funktion des Bodens im Stoffhaushalt der Ökosphäre. *Deutscher Rat für Landespflege*. 1978;31:13–20.
19. Blum WEH. Functions of soil for society and the environment. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*. 2005;4(3):75–79. DOI: 10.1007/s11157-005-2236-x.
20. Blum WEH, Schad P, Nortcliff S. *Essentials of Soil Science: soil formation, functions, use and classification (World Reference Base, WRB)*. Stuttgart: Borntraeger Science Publishers; 2018. 171 p.
21. Schulte RPO, Creamer RE, Donnellan T, Farrelly N, Fealy R, O'Donoghue C, et al. Functional land management: a framework for managing soil-based ecosystem services for the sustainable intensification of agriculture. *Environmental Science & Policy*. 2014;38:45–58. DOI: 10.1016/j.envsci.2013.10.002.
22. Lavelle P. Ecological challenges for soil science. *Soil Science*. 2000;165(1):73–86.
23. Madena K, Bormann H, Giani L. Soil functions – Today's situation and further development under climate change. *Erdkunde. Archive for Scientific Geography*. 2012;66(3):221–237. DOI: 10.3112/erdkunde.2012.03.03.
24. Gläser N, Helming K, De Vries W. Do current European policies prevent soil threats and support soil functions? *Sustainability*. 2014;6(12):9538–9563. DOI: 10.3390/su6129538.
25. Schwilch G, Lemann T, Berglund O, Camarotto C, Cerdà A, Daliakopoulos IN, et al. Assessing impacts of soil management measures on ecosystem services. *Sustainability*. 2018;10(12):4416. DOI: 10.3390/su10124416.
26. Dominati EJ, Mackay AD, Bouma J, Green S. An ecosystems approach to quantify soil performance for multiple outcomes: the future of land evaluation? *Soil Science Society of America Journal*. 2016;80(2):438–449. DOI: 10.2136/sssaj2015.07.0266.
27. Comerford NB, Franzluebbers AJ, Stromberger ME, Morris L, Markewitz D, Moore R. Assessment and evaluation of soil ecosystem services. *Soil Horizons*. 2013;54(3):1–14. DOI: 10.2136/sh12-10-0028.
28. Adhikari K, Hartemink AE. Linking soils to ecosystem services – a global review. *Geoderma*. 2016;262:101–111. DOI: 10.1016/j.geoderma.2015.08.009.
29. Jónsson JOG, Davidsdóttir B. Classification and valuation of soil ecosystem services. *Agroecological Systems*. 2016;145:24–38. DOI: 10.1016/j.agsy.2016.02.010.
30. *Status of the World's Soil Resources. Charter 2. The role of soils in ecosystem processes*. [S. l.]: FAO; 2015. 18 p.
31. Robinson DA, Fraser I, Dominati EJ, Davidsdóttir B, Jónsson JOG, Jones L, et al. On the value of soil resources in the context of natural capital and ecosystem service delivery. *Soil Science Society of America Journal*. 2014;78(3):685–700. DOI: 10.2136/sssaj2014.01.0017.
32. Robinson DA, Jackson BM, Clothier BE, Dominati EJ, Marchant SC, Cooper DM, et al. Advances in soil ecosystem services: concepts, models, and applications for earth system life support. *Vadose Zone Journal*. 2013;12(4):65–78. DOI: 10.2136/vzj2013.01.0027.
33. da Silva RT, Fleskens L, van Delden H, van der Ploeg M. Incorporating soil ecosystem services into urban planning: status, challenges and opportunities. *Landscape Ecology*. 2018;33(7):1087–1102. DOI: 10.1007/s10980-018-0652-x.
34. Pulleman M, Creamer R, Hamer U, Helder J, Pelosi C, Pérès G, et al. Soil biodiversity, biological indicators and soil ecosystem services – an overview on European approaches. *Current Opinion in Environment Sustainability*. 2012;4(5):529–538. DOI: 10.1016/j.cosust.2012.10.009.
35. Hauck J, Görg C, Varjopuro R, Ratamäki O, Jax K. Benefits and limitations of the ecosystem services concept in environmental policy and decision making: some stakeholder perspectives. *Environmental Science & Policy*. 2013;25:13–21. DOI: 10.1016/j.envsci.2012.08.001.
36. Lal R. Soil conservation and ecosystem services. *International Soil and Water Conservation Research*. 2014;2(3):36–47. DOI: 10.1016/S2095-6339(15)30021-6.
37. Wall DH, Bardgett RD, Beham-Pelletier V, Herrick JE, Jones TH, Six J, et al., editors. *Soil ecology and ecosystem services*. Oxford: Oxford University Press; 2013. 424 p.

38. Stolte J, Tesfai M, Øygarden L, Kværnø S, Keizer J, Verheijen F, et al., editors. *Soil threats in Europe: status, methods, drivers and effects on ecosystem services*. Luxembourg: European Union; 2015. 207 p. (JRS Technical Reports).
39. Hardelin J, Lankoski J. *Land use and ecosystem services. OECD food, agriculture and fisheries papers, No. 114*. Paris: OECD Publishing; 2018. 74 p.
40. *The value of land: prosperous lands and positive rewards through sustainable land management*. Bonn: Eld Initiative; 2015. 165 p.
41. Kumar P, editor. *The economic of ecosystems and biodiversity. Ecological and economic foundations*. Abingdon: Rutledge; 2010. 410 p.
42. Haines-Young R, Potschin M. *Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) V5.1. Guidance on the application of the revised structure*. Nottingham: Fabis Consulting; 2017. 26 p.
43. Costanza R. Ecosystem services: multiple classification systems are needed. *Biological Conservation*. 2008;141(2):350–352. DOI: 10.1016/j.biocon.2007.12.020.
44. Dominati EJ, Patterson MG, Mackay AD. A framework for classifying and quantifying the natural capital and ecosystem services of soils. *Ecological Economics*. 2010;69(9):1858–1868. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2010.05.002.
45. de Groot RS, Wilson MA, Boumans RMJ. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*. 2002;41(3):393–408. DOI: 10.1016/S0921-8009(02)00089-7.
46. Reimers NF. *Prirodopol'zovanie: slovar'-spravochnik* [Nature management: glossary]. Moscow: Mysl'; 1990. 638 p. Russian.
47. Daily GC, editor. *Nature's services: societal dependence on natural ecosystems*. Washington: Island Press; 1997. 392 p.
48. Costanza R, d'Arge R, de Groot R, Farber S, Grasso M, Hannon B, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*. 1997;387(6630):253–260.
49. Ehrlich PR, Mooney HA. Extinction, substitution and ecosystem services. *BioScience*. 1983;33(4):248–254. DOI: 10.2307/1309037.
50. Costanza R, de Groot R, Braat L, Kubiszewski I, Fioramonti L, Sutton P, et al. Twenty years of ecosystem services: how far have we come and how far do we still need to go? *Ecosystem Services*. 2017;28(part A):1–16. DOI: 10.1016/j.ecoser.2017.09.008.
51. Vasenev VI, Anan'eva ND, Makarov OA. [Features of the ecological functioning of constructozems on the territory of Moscow and the Moscow region]. *Pochvovedenie*. 2012;2:224–235. Russian.
52. Tsvetnov EV, Makarov OA, Yakovlev AS, Bondarenko EV. [On the inclusion of ecosystem services in the system for assessing damage from land degradation]. *Pochvovedenie*. 2016;12:1534–1540. DOI: 10.7868/S0032180X16120133. Russian.
53. *Revised World Soil Charter*. Rome: FAO; 2005. 8 p.
54. Varállyay G. Land evaluation in Hungary – scientific problems, practical applications. In: Bouma JJ, Bregt AK, editors. *Land Qualities in Space and Time: proceedings of a symposium organized by the International Society of Soil Science (ISSS); 1988 August 22–26; Wageningen, the Netherlands*. Wageningen: Pudoc; 1989. p. 241–252.
55. *Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Thematic Strategy for Soil Protection (COM (2006) 231 final)*. Brussels: Commission of the European Communities; 2006. 12 p.
56. Lehmann A, Stahr K. The potential of soil functions and planner-oriented soil evaluation to achieve sustainable land use. *Journal of Soils and Sediments*. 2010;10(6):1092–1102. DOI: 10.1007/s11368-010-0207-5.
57. Liang SY, Lehmann A, Wu KN, Staor K. Perspectives of function-based soil evaluation in land-use planning in China. *Journal of Soils and Sediments*. 2014;14(1):10–22. DOI: 10.1007/s11368-013-0787-y.
58. Tziliavakis J, Lewis KA, Williamson AR. A prototype framework for assessing risks to soil functions. *Environmental Impact Assessment Review*. 2005;25(2):181–195. DOI: 10.1016/j.eiar.2004.02.003.
59. *Land resource planning for sustainable land management. Current and emerging needs in land resource planning for food security, sustainable livelihoods, integrated landscape management and restoration*. Rome: FAO; 2017. 68 p.
60. Yakovlev AS, Sizov AP. [Scientific and legal prerequisites for the use of the concepts of «soil» and «land» in environmental practice]. In: Shoba SA, Yakovlev AS, Rybalsky NG, editors. *Ekologicheskoe normirovanie i upravlenie kachestvom pochv i zemel'* [Standardization and regulation of environmental and soils quality and land management]. Moscow: NIA-Priroda; 2013. p. 22–28. Russian.
61. Greiner L, Keller A, Grêt-Regamey A, Papritz A. Soil function assessment: review of methods for quantifying the contributions of soils to ecosystem services. *Land Use Policy*. 2017;69:224–237. DOI: 10.1016/j.landusepol.2017.06.025.
62. Burkhard B, Kandziora M, Hou Y, Müller F. Ecosystem service potentials, flows and demands – concepts for spatial localisation, indication and quantification. *Landscape Online* [Internet]. 2014 [cited 2019 February 20];34:1–32. Available from: <https://www.landscape-online.org/index.php/lo/article/view/LO.201434>. DOI: 10.3097/LO.201434.
63. Murray-Rust D, Dendoncker N, Dawson TP, Acosta-Michlik L, Karali E, Guillem E, et al. Conceptualising the analysis of socio-ecological systems through ecosystem services and agent-based modelling. *Journal of Land Use Science*. 2011;6(2–3):83–99. DOI: 10.1080/1747423X.2011.558600.
64. *Metodologicheskie rekomendatsii po otsenke zemli po tekushchei rynochnoi stoimosti* [Methodological recommendations for assessing land at current market value]. Moscow: Rosstat; 2015. 409 p. Russian.
65. *System of environmental-economic accounting 2012. Central framework*. New York: United Nations; 2014. 347 p.
66. *Environmental protection and nature use. The procedure for determining the price assessment of ecosystem services and estimated value of biological diversity, TKP 17.02-10-2013 (02120) (01.06.2013)*. Minsk: Minprirody; 2013. 23 p. Russian.
67. Krakovetsky AV. Methodical approaches to determination of the economic value of natural marsh ecosystems. In: Karabanov AK, editor. *Prirodopol'zovanie. Vypusk 28* [Nature management. Issue 28]. Minsk: Institute of Environmental Management of the National Academy of Sciences of Belarus; 2015. p. 61–67. Russian.
68. Shoba SA, Makarov OA, Abdulkhanova DR, Bondarenko EV, Giorgadze SR, Glazunov GP, et al. *«Spravedlivaya» ekonomika zemlepol'zovaniya* [A fair land use economy]. Shoba SA, Makarov OA, editors. Moscow: MAKSPress; 2018. 196 p. Russian.

Статья поступила в редколлегию 25.04.2019.
Received by editorial board 25.04.2019.

СОЦИАЛЬНАЯ ГЕОГРАФИЯ ПУБЛИЧНЫХ ПРОСТРАНСТВ:
СОЦИАЛЬНАЯ СРЕДА VS ПЕРИФЕРИЙНОСТЬН. И. ПРОВОТАР¹⁾, К. В. МЕЗЕНЦЕВ¹⁾, М. В. ПАЛЬЧУК²⁾¹⁾Киевский национальный университет им. Тараса Шевченко, ул. Владимирская, 60, 01601, г. Киев, Украина²⁾Украинский государственный научно-исследовательский институт проектирования городов
«ДИПРОМИСТО» им. Ю. Н. Белоконя, бул. Леси Украинки, 26, 01133, г. Киев, Украина

Трансформации публичных пространств в разных частях города имеют свои особенности. Судьба публичного пространства в центре и на периферии может казаться предопределенной местоположением, но меняющаяся социальная среда вносит свои коррективы. Проанализировано влияние социальной среды на эволюцию публичных пространств периферийной части Киева. Объектом исследования выступают современные трансформации двух зеленых публичных пространств на окраине города. Цель исследования – определение особенностей изменения данных пространств под воздействием социальной среды, а также установление характера этого воздействия. Полученные результаты подтвердили определяющую роль социальной среды, которая проявляется через потребности местных жителей, и позволили идентифицировать основные факторы трансформации публичных пространств в периферийных районах Киева: местные инициативы, веб-форумы, сотрудничество с бизнес-структурами, новое строительство, изменение возрастной и социальной структуры жителей, фактор собственности на жилье. На основе анализа восприятия посетителями доступности, использования, имиджа и интегрированности публичных пространств определены наиболее проблемные моменты их функционирования на периферии, которые требуют первоочередного изменения. Все это обуславливает научную новизну и актуальность исследования зеленых публичных пространств периферийной части города в контексте социальной среды их эволюции.

Ключевые слова: город; публичное пространство; социальная среда; периферийность; эволюция; трансформация; Киев.

Образец цитирования:

Провотар НИ, Мезенцев КВ, Пальчук МВ. Социальная география публичных пространств: социальная среда vs периферийность. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология.* 2019;2:15–24. <https://doi.org/10.33581/2521-6740-2019-2-15-24>

For citation:

Provotar NI, Mezentsev KV, Palchuk MV. Social geography of the public spaces: social environment vs peripherality. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology.* 2019;2:15–24. Russian. <https://doi.org/10.33581/2521-6740-2019-2-15-24>

Авторы:

Наталья Ивановна Провотар – кандидат географических наук, доцент; доцент кафедры экономической и социальной географии географического факультета.

Константин Владимирович Мезенцев – доктор географических наук, профессор; заведующий кафедрой экономической и социальной географии географического факультета.

Мария Викторовна Пальчук – кандидат географических наук; младший научный сотрудник архитектурно-планировочной мастерской № 3.

Authors:

Natalia I. Provotar, PhD (geography), docent; associate professor at the department of economic and social geography, faculty of geography.

provotarnat@ukr.net

<https://orcid.org/0000-0003-2211-6509>

Kostyantyn V. Mezentsev, doctor of science (geography), full professor; head of the department of economic and social geography, faculty of geography.

geokyiv@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-1974-7860>

Maria V. Palchuk, PhD (geography); junior researcher at the architectural and planning studio No. 3.

marialookhere@gmail.com

SOCIAL GEOGRAPHY OF THE PUBLIC SPACES: SOCIAL ENVIRONMENT VS PERIPHERALITY

N. I. PROVOTAR¹⁾, K. V. MEZENTSEV¹⁾, M. V. PALCHUK²⁾

^aTaras Shevchenko National University of Kyiv, 60 Volodymyrska Street, Kyiv 01601, Ukraine

^bY. Bilokon Ukrainian State Scientific-Research Institute of Urban Design «DIPROMISTO»,
26 Lesi Ukrainky Boulevard, Kyiv 01133, Ukraine

Corresponding author: N. I. Provotar (provotarnat@ukr.net)

Transformations of public spaces in different parts of the city have their own characteristics. The fate of public space in the center and on the periphery may seem to be a predetermined by location. But the changing social environment makes its own adjustments. This paper analyzes the influence of the social environment on the public spaces changing in the peripheral part of Kyiv. Research subject is the contemporary transformation of two green public spaces in Kyiv neighborhoods. The aim of the paper is to determine the peculiarities of green public spaces transformations in the peripheral part of Kyiv influenced by the social environment, to determine the nature of its impact on public spaces changes. Analysis of the transformation of public spaces in the peripheral part of Kyiv confirmed the decisive role of the social environment, which is manifesting through the needs of local residents, and made it possible to identify the main factors of change: local initiatives, web forums, cooperation with business, new construction, changes in the residents' age and social structure, housing ownership. Based on the analysis of users' perception of public spaces, their accessibility, use, image and integration it was determined the most problematic aspects of the functioning of Kyiv neighborhoods' public spaces that require priority changes. All this determines the scientific novelty and relevance of the study of green public spaces on the periphery of the city in the context of the social environment of their evolution.

Keywords: city; public space; social environment; peripherality; evolution; transformation; Kyiv.

Введение

Понимание города и городского пространства изменяется, в определенной степени эволюционирует. В центре современной дефиниции города находятся человек, социум. С точки зрения человекоцентричности публичные пространства – уникальные объекты, где одновременно аккумулируются проявления всех процессов городских трансформаций. Публичное пространство города – это доступное и динамичное пространство для самовыражения, отдыха и общения людей. Эволюцию публичных пространств в существенной степени определяют социальные практики. Трансформации социальных практик, в свою очередь, связаны с выполнением публичными пространствами определенных функций и обусловлены их сужением или расширением, появлением новых, а также потерей или полным изменением отдельных из них [1].

Одним из основных фокусов современных городских социально-географических исследований является социальная среда. Первичная социальность городского пространства для А. Лефевра означает, что вопросы производства пространства должны рассматриваться в контексте проблемы производства социальных отношений [2; 3]. Именно такая трактовка положена в основу социально-пространственного подхода к изучению городских публичных пространств З. Нила [4]. Данный подход базируется на понятии эволюции публичных пространств, когда их старые формы могут исчезать, трансформироваться или уступать место новым [5].

Многие исследователи акцентируют внимание на влиянии месторасположения и социальной среды близлежащего жилого района на состояние и использование городского публичного пространства. Например, З. Нил описывает разные сценарии трансформации парков, находящихся на окраине города, где живут люди с достатком ниже среднего, и в центральных районах, где проживает население с более высокими доходами. В первом случае парк обычно постепенно теряет посетителей, переходя под неофициальный контроль лиц с маргинальным поведением, и со временем закрывается, поскольку местная власть считает его ревитализацию экономически неэффективной. Во втором случае он чаще всего приватизируется, трансформируясь в полупубличное (закрытое) пространство [4].

Состояние публичного пространства напрямую влияет на его использование и посещение. Как отмечает Я. Гейл, запущенность публичного пространства становится одной из причин его потери. Посетители могут отказаться использовать некомфортное, неприветливое публичное пространство и отдать предпочтение частному, которое предоставляет больше преимуществ. Именно аттрактивные, приветливые публичные пространства с удобным расположением считаются качественными и привлекают посетителей [6]. Таким образом, публичное пространство должно быть адаптивным, реагируя на социальные изменения, а новые формы публичности вызывают возникновение новых публичных пространств [7].

Важный аспект, который обуславливает трансформацию публичных пространств, – их имидж, восприятие посетителями. При этом, как отмечает К. Линч, «мы являемся не просто наблюдателями представления, а частью его, находясь на сцене с другими участниками» [8, с. 2]. То есть посетители воспринимают публичное пространство через призму своего присутствия в нем.

В. Мехта выделяет пять ключевых параметров для оценки качества публичных пространств – инклюзивность, значимые активности, безопасность, комфорт и удовольствие. Он отмечает, что общественное пространство должно быть визуально приятным, доступным и открытым пространством участия, в котором обеспечиваются безопасность (реальная и воспринимаемая) и чувство комфорта [9]. По его мнению, качественные общественные пространства – эволюционирующие, сбалансированные, разнообразные (не преднамеренно эксклюзивные), разграниченные (но не сегрегированные), социальные, свободные, значимые, комфортные, устойчивые (в том числе к гомогенизации) [10].

В данной работе на основе социально-пространственного подхода проанализированы современные трансформации двух публичных пространств в периферийной части Киева. Были поставлены следующие исследовательские вопросы: «Каковы общие особенности трансформации публичных пространств в периферийных районах Киева?»; «Каким образом социальная среда влияет на эволюцию публичных пространств и определяет ли она характер их трансформации?»; «Как местные жители воспринимают публичные пространства с точки зрения их доступности, использования, имиджа, интегрированности?».

Методика исследования

Исследование публичных пространств периферийной части Киева включало оценку их как физического объекта, определение взаимного влияния социальной среды жилого района и публичного пространства, анализ взаимодействия потребителей (посетителей) с публичными пространствами.

Исследование проводилось на основе двух кейсов – сквера в микрорайоне Теремки-1 и парка «Теремки» в микрорайоне Теремки-2. Выбранные кейсы имеют ряд общих черт, определяющих их сопоставимость: оба были созданы в 1970-х гг. в новопостроенных микрорайонах, характеризуются схожим благоустройством (уличная мебель, детские площадки и т. д.) и выполняют аналогичные функции – общения, отдыха и развлечения для жителей соседних многоэтажных домов. Выбор зеленых публичных пространств обусловлен тем, что в периферийной части города именно этот вид публичных пространств является наиболее распространенным.

Информационной базой исследования стали результаты полевых наблюдений и анкетного опроса, проведенных в 2017–2018 гг.

На первом этапе были описаны объекты, которые находятся в пределах исследуемых публичных пространств (уличная мебель, постаменты, скульптуры, покрытие дорожек, поручни, кафе, детские площадки, культовые сооружения, деревья, клумбы и т. д.) и позволяют осуществлять определенные активности (виды деятельности) или, наоборот, делают это невозможным. Далее были выявлены активности (виды деятельности), которые предлагаются в рамках публичного пространства для посетителей. На основе результатов наблюдений и опроса проанализировано взаимодействие посетителей с публичным пространством.

Наблюдения проводились дважды (в марте и сентябре 2017 г.) по семь дней в разное время суток (утро, день, вечер). Для уточнения отдельных моментов дополнительные наблюдения были выполнены в марте 2018 г. Полученные результаты ежедневно фиксировались в виде текстовых отчетов и фотоматериалов. Для идентификации трансформаций публичных пространств текстовые отчеты включали комментарии: а) относительно уличной мебели, ее присутствия/отсутствия, удобства, эстетичности; б) ресторанов и кафе в контексте наличия собственной парковки, ценовой политики заведения; в) храмов с точки зрения наличия ограждения, ограничения доступа; г) других объектов касательно того, не препятствуют ли они свободному проходу пользователей, не закрывают ли пейзаж/панораму; д) ландшафтного дизайна; е) локальных правил поведения (например, запрета сидеть/лежать на траве и т. п.).

Анкетный опрос проводился с использованием метода семантического дифференциала. В каждом кейсе было опрошено по 40 респондентов – посетителей публичных пространств. Им предлагалось оценить публичное пространство по антонимическим характеристикам, сгруппированным в четыре блока: 1) доступность публичного пространства; 2) использование публичного пространства; 3) имидж публичного пространства; 4) интегрированность публичного пространства. Результаты опроса анализировались с помощью диаграммы размаха (*box and whisker plot*), которая позволила определить уровень согласованности оценок респондентов и сопоставить медианы оценок по выбранным параметрам.

Основные результаты

Влияние социальной среды на публичные пространства. Анализ зеленых публичных пространств периферийной части Киева в контексте влияния социальной среды жилого района включал определение стартовых предпосылок развития, факторов изменения их функций и особенностей современных трансформаций. Что повлияло на эволюцию использования публичных пространств исследуемых кейсов, которые в 1990-х гг. в результате экономического кризиса начали постепенно приходить в упадок? Ответить на этот вопрос стоит через призму ретроспективного анализа создания, изменения и развития выбранных публичных пространств.

Проекты строительства жилых районов. Согласно концепции проекта микрорайона Теремки-1, в первую очередь квартиры должны были получить кибернетики – аспиранты, ученые и преподаватели. Проект был экспериментальным, поскольку предлагалось строительство жилых домов, объединенных в одно сооружение, и комплекса общественно-культурного обслуживания. То есть планировалось возведение единого архитектурного ансамбля с каскадной компоновкой разноэтажных зданий. Форма дома напоминала фрагменты пчелиных сот, что и определило структуру внутреннего двора. По проекту каждая часть двора должна была отличаться малыми архитектурными формами, цветами и озеленением.

Одна из идей концепции застройки микрорайона Теремки-1 заключалась в организации центра общественного обслуживания, который избавил бы жителей от различных бытовых проблем. Планировалось, что свободное время жильцы будут проводить в библиотеках, оздоровительных комплексах, залах семейных праздников. К сожалению, идея создания центра общественного обслуживания и публичного пространства была воплощена только в аспекте организации территории внутреннего двора. Также этот микрорайон не стал местом жительства только ученых: часть квартир получили люди, которых расселяли из старых домов центральных районов Киева.

Одной из основных задач проекта микрорайона Теремки-2 было создание такой планировочной структуры, которая бы минимизировала неблагоприятное воздействие шума от Большой окружной дороги. Микрорайон построен на месте экспериментально-исследовательского питомника плодово-ягодных культур, что изначально обусловило относительно высокий уровень его озеленения. На истоках р. Нивки были созданы три озера, возле которых разместился парк «Теремки».

С начала 2000-х гг. рядом с советской жилой застройкой возводится новый жилой комплекс «Лико-Град». В основу его планировочной концепции была положена идея полузакрытых дворов для каждой группы жилых домов. Высокий уровень автомобилизации микрорайона стал причиной превращения внутренних дворов в парковки. При проектировании комплекса «Лико-Град» предполагалось, что жители будут использовать уже существующее зеленое публичное пространство – парк «Теремки», который фактически приобрел признаки парка именно после строительства нового жилого комплекса. Придомовые территории, в частности внутренние дворы, здесь не позиционируются как публичные пространства, а рассматриваются как транзитная зона и места для парковки автомобилей. Поэтому даже довольно активное сообщество жителей комплекса «Лико-Град» пока не смогло актуализировать вопрос создания внутренних публичных пространств. Одна из причин этого – именно проектировочные предпосылки.

Изменение социальной структуры жителей. В 1990-х гг. экономический кризис обусловил упадок в развитии Киева, и особенно его периферийной части. Это вызвало существенные изменения в социальной структуре жителей микрорайона, моделях их повседневных практик (поведения).

Тех, кто жил в микрорайоне Теремки-1 со времени его заселения, осталось мало. Многие владельцы не живут здесь, а сдают квартиры в аренду (опрос 15 марта 2017 г.). Сегодня тут селятся молодые семьи, во дворах можно видеть родителей с колясками (наблюдение 14–20 марта 2017 г.). Жители, которые хорошо знают своих соседей, говорят, что в доме постоянно появляются новые лица (опрос 17 марта 2017 г.). То есть местный социум не целостный, а делится на две части. Первая – те, кто проживает здесь давно, постоянно и имеет чувство «дворового» патриотизма, которое, однако, подкреплено лишь отдельными актами бютификации (создание березовой аллеи, клумб, мини-музея деревянных изделий под открытым небом, импровизированного мемориала героям «небесной сотни»). Другая часть – те, кто живет тут временно и не заинтересован тратить время и усилия на благоустройство публичного пространства [1].

В новопостроенном комплексе «Лико-Град», где проживает более 25 тыс. человек, квартиры в основном покупают люди в возрасте 30–40 лет, имеющие высокий социальный статус, о чем, в частности, свидетельствуют припаркованные у подъездов автомобили (наблюдения 14–20 марта и 9–15 сентября 2017 г.). Главным образом здесь селятся представители среднего класса: часть из них – киевляне, которые приобрели жилье за собственные средства, часть – молодые амбициозные профессионалы, приехавшие в Киев из различных регионов Украины и купившие жилье в кредит, есть также те, кому квартира была подарена состоятельными родителями, и те, кто воспользовался возможностями программы молодежного строительства [1].

В комплексе «Лико-Град» сформировалась целостная община жителей преимущественно молодого возраста, которые создали семьи, имеют детей, поселились надолго и поэтому заинтересованы в благоустройстве территории, и прежде всего публичных пространств. Местный социум активен в своих действиях, иницируя различные проекты, обращения, протесты, тесно взаимодействуя с представителями власти и бизнеса.

Социальные сети. Жителями микрорайона Теремки-1 в социальной сети *Facebook* создана группа «Теремки», которая на октябрь 2018 г. включала 331 участника. Тематика сообщений чаще всего связана с личными, бытовыми вопросами (например, объявления об утере домашних любимцев, оказании репетиторских и повседневных услуг, продаже различных вещей), а также с презентацией образа микрорайона (в основном фотоматериалы). Лишь отдельные сообщения касаются проблем публичного пространства. Кроме того, есть объявления о розыске подозреваемых в совершении преступления, контактные данные для сообщения о продаже запрещенных веществ.

В микрорайоне создан орган самоорганизации – комитет микрорайона Теремки-1. Один из последних примеров его активности, о которой заявлено на уровне города, – обращение в городской совет по поводу установки шумозащитного экрана вдоль проспекта Академика Глушкова с интенсивным автомобильным движением.

Для обсуждения проблем и проводимых мероприятий жители комплекса «Лико-Град» используют веб-форум *Liko Life*. Несколько групп создано в социальной сети *Facebook*, в частности «Община Теремки-2» (1073 участника), «Экопространство Теремки-2» (254 участника), «Теремки-2... Там, где я живу...» (141 участник). Кроме того, жители основали общественную организацию «Общество Лико-Града», задачей которой является представление и защита интересов ее участников. Анализ сообщений в социальных сетях показал, что большое их количество в группе «Община Теремки-2» касается парка «Теремки» (например, проведение фестивалей, субботников, мобилизация для защиты от вырубки деревьев и т. п.).

Коммерциализация. В 2003 г. в микрорайоне Теремки-1 был построен торгово-развлекательный центр «Магеллан», ставший местом притяжения представителей среднего класса, которые могли бы принять активное участие в преобразованиях соседнего сквера. Но этих преобразований не произошло. Наоборот, вследствие исключения части представителей среднего класса происходит в определенной степени маргинализация и потеря сквера (проявления вандализма, асоциального поведения на детских площадках в дневное время и т. п.).

В микрорайоне Теремки-2 рядом с парком «Теремки» и на его территории открыты два ресторана, точки по продаже напитков и сладостей (рис. 1). Для детей в летний период обустраиваются платные аттракционы. Рядом построены сетевой спортивный комплекс «Sportlife», гостиница «Фавор». Эти объекты привлекают посетителей парка, диверсифицируют его функции.

Сакрализация. Инициативой жителей микрорайона Теремки-1, которая существенно повлияла на публичное пространство, является строительство храма в 2004 г. Он возведен на месте стихийной свалки. Сейчас территория храма огорожена деревянным забором, который выполняет скорее декоративную функцию (рис. 2).

Уникальность публичного пространства микрорайона Теремки-2 состоит в особом, органичном сочетании самых разных объектов и активностей: рядом с храмом находится всегда заполненная детская площадка, возле ступенек церкви дети катаются на электромобилях и велосипедах, недалеко жители отдыхают на пляже озера (наблюдения 14–20 марта и 9–15 сентября 2017 г.). Публичное пространство постоянно имеет потребителей, которые используют его для различных целей, но при этом не мешают другим и не создают для них неудобств [4].



Рис. 1. Коммерциализация и сакрализация парка «Теремки» (наблюдение 12 сентября 2017 г.)

Fig. 1. Commercialization and sacralization of «Teremky» park (2017 September 12 observation)



Рис. 2. Бьютификация и сакрализация сквера
в микрорайоне Теремки-1 (наблюдение 17 марта 2017 г.)

Fig. 2. Beautification and sacralization of public garden
in Teremky-1 neighborhood (2017 March 17 observation)

Взаимодействие посетителей с публичными пространствами. Наблюдения в *первом кейсе* (сквер в микрорайоне Теремки-1) позволили определить следующие положения.

1. Основными пользователями сквера являются жители соседних домов, самые активные среди них – пенсионеры, посетители с детьми, а также домашними любимцами (собаками), школьники, личности с признаками маргинального поведения.

2. Планировочная структура публичного пространства обусловлена конфигурацией жилых домов, объединенных в единый архитектурный ансамбль. Особенностью данного публичного пространства является интегрированность двух общеобразовательных школ и четырех дошкольных учреждений, которые определялись как планировочные центры. Для сквера характерна эклектика – сочетание уличной мебели и малых архитектурных форм 1980-х и 2010-х гг., что обуславливает мозаичность пространственной организации (см. рис. 1). Уличная мебель, спортивные тренажеры не имеют единого стиля оформления, а отдельные элементы установлены не по принципу удобства для посетителей, а там, где было место.

3. В пределах публичного пространства выделяются ареалы с разной интенсивностью использования, однако их границы достаточно условны:

- малоиспользуемые ареалы, которые включают заброшенные бетонные детские площадки, бытовые и необорудованные спортивные площадки (фактически здесь выгуливают собак) (рис. 3);

- ареалы, которые можно условно назвать «лучше там не ходить» (наблюдение 17 марта 2018 г., с 12:00 до 14:00). Используются в основном лицами с маргинальным поведением (для распития алкогольных напитков и употребления запрещенных веществ);

- ареалы двух детских площадок – бетонной 1980-х гг. и современной, которые пользуются популярностью среди посетителей с детьми и имеют элементы бьютификации, установленные жителями соседних домов;

- ареал бьювета, который является одним из наиболее популярных в пределах публичного пространства мест у пенсионеров (особенно в первой половине дня);

- ареал специфических уличных тренажеров, который, несмотря на новое обустройство, не пользуется популярностью;



Рис. 3. Эклектичность оформления сквера в микрорайоне Теремки-1 (наблюдение 17 марта 2017 г.)

Fig. 3. Eclecticism of public garden design in Teremky-1 neighborhood (2017 March 17 observation)

- ареал пешеходных дорожек и площадок у подъездов, который оснащен скамейками различного дизайна. Наиболее востребован у пенсионеров, которые отдыхают на свежем воздухе рядом с жильем;
- ареал православного храма, который является центральной композиционной точкой публичного пространства и используется прихожанами;
- ареал внутридворовых проездов, который не имеет обособленных пешеходной, велосипедной и проезжей зон, что в определенной степени создает неудобства, однако вследствие низкой интенсивности движения автомобилей не является острой проблемой.

Публичное пространство внутреннего двора в микрорайоне Теремки-1 активно используется только в районе бьювета и новых детских площадок. Вечером пребывание на этой территории условно безопасно, поскольку иногда среди посетителей можно встретить лиц с маргинальным поведением (наблюдения 14–20 марта и 13–19 сентября 2017 г.).

4. В целом организация сквера удовлетворяет потребности только отдельных групп жителей микрорайона. Это повлияло на оценку данного публичного пространства. Суммарно респонденты оценили его относительно низко (см. таблицу). Лишь четыре характеристики из пятнадцати получили максимальный балл: «доступное», «пешеходное», «доступное для велосипедистов» и «активное использование». Гораздо ниже респонденты оценили привлекательность и эстетичность публичного пространства, возможность рассматривать его как предмет гордости. Невысокой, но положительной является оценка чистоты сквера и его соответствия запросам потребителей. Однако отдельные респонденты отмечали, что двор соответствует тем, кто здесь живет (наблюдение 18 марта 2017 г., с 13:00 до 15:00). Несмотря на то что в публичном пространстве зафиксированы проявления асоциального поведения и присутствие маргинальных личностей, респонденты оценили безопасность публичного пространства на среднем уровне.

Таким образом, наиболее проблемными составляющими использования публичного пространства первого кейса являются его привлекательность, эстетичность, безопасность и соответствие современным запросам различных категорий посетителей.

Результаты наблюдений во *втором кейсе* (парк «Теремки» в микрорайоне Теремки-2) свидетельствуют о следующих особенностях.

1. Основные посетители публичного пространства – жители соседних домов, среди которых наиболее активными выступают посетители с детьми и домашними любимцами, пенсионеры, семейные пары.

2. Планировочной осью парка является сеть прудов на русле р. Нивки. Композиционные элементы расположены вдоль береговой линии.

3. На территории парка можно выделить следующие типы ареалов по локализации различных видов активностей:

- ареал детской площадки – территория, специально оборудованная и отгороженная в целях безопасности детей. Является наиболее используемым (рис. 4). Уличная мебель детской площадки размещена на современном мягком покрытии. Рядом предлагаются дополнительные развлечения (радиоуправляемые автомобили, детский поезд) и располагается уличный мини-фуд-корт с двумя кафе;
- ареал пляжа, где обеспечен непосредственный доступ посетителей к водоему. В теплое время года здесь кормят уток, загорают, а в зимний период катаются на коньках;
- ареал кафе и ресторанов, расположенных в здании спортивного комплекса и имеющих летние террасы. Посетители могут сочетать прогулку по парку и посещение этих заведений;



Рис. 4. Ареалы зеленых зон парка «Теремки» (наблюдение 13 сентября 2017 г.)

Fig. 4. Green areas of the park «Teremky» (2017 September 13 observation)

- ареал православного собора с колокольной и церковью. Территория никак не огорожена, доступна для всех (без ограничения доступа, связанного с внешним видом посетителей). Площадь перед собором активно используется детьми для игр и развлечений. Сакрализация публичного пространства не вызвала его фрагментации и эксклюзии (наблюдения 14–20 марта и 9–15 сентября 2017 г.);

- ареал прогулочных аллей, оснащенный пешеходными дорожками, скамейками. Его основные посетители – люди пенсионного возраста, семейные пары, вечером – молодежь. Пешеходные дорожки используются для пробежек. Отсутствие специальной разметки и всегда большое количество посетителей затрудняют передвижение на велосипеде. Также аллеи служат транзитной зоной прохода к метро;

- ареалы зеленых насаждений, которые активно используются как зона для семейного отдыха в выходные дни теплого времени года. Здесь посетители устраивают пикники, загорают, проводят семейные вечера на свежем воздухе, организуют разные игры (см. рис. 4), в чем проявляется доместикация публичного пространства. Стоит акцентировать внимание на наличии запрета использования зеленой зоны для выгула собак, однако часть посетителей все же нарушают это административное требование (наблюдение 10 сентября 2017 г., с 17:00 до 19:00).

4. За период проведения наблюдений проявлений асоциального поведения в парке зафиксировано не было.

5. Парк «Теремки» как публичное пространство пользуется популярностью благодаря возможности удовлетворения потребностей различных категорий посетителей. Шесть из пятнадцати его характеристик респонденты оценили максимально высоко. Негативные оценки публичного пространства отсутствуют вообще (см. таблицу).

**Медианные значения оценок респондентами сквера в микрорайоне Теремки-1 (I)
и парка «Теремки» в микрорайоне Теремки-2 (II)**

**Median values of assesment by respondents of public garden in Teremky-1 (I)
and park «Teremky» in Teremky-2 neighborhoods (II)**

Характеристики	Общая оценка		В том числе оценка											
			женщинами		мужчинами		работающими		неработающими		часто посещающими		редко посещающими	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
Доступное (+) / недоступное (–)	+3	+3	+3	+3	+3	+3	+3	+3	+3	+2	+3	+2	+3	+3
Удобно (+) / неудачно расположенное (–)	+2	+3	+2	+3	+2	+3	+3	+3	+2	+3	+2	+3	+2	+3
Пешеходное (+) / неудобное для пешеходов (–)	+3	+2,5	+3	+2	+3	+3	+3	+3	+3	+2	+3	+3	+3	+2
Доступное для велосипедистов (+) / велосипедное движение невозможно (–)	+3	+2	+2	+2	+3	+2	+3	+2	+3	+3	+3	+2	+2,5	+1
Активное (+) / пассивное использование (–)	+3	+2	+3	+2	+3	+1	+3	+2	+3	+2	+3	+2	+2,5	+3
Полезное (+) / бесцельное использование (–)	+2	+3	+2	+3	+2	+2	+2	+3	+2	+3	+2	+3	+1,5	+3
Успешное (+) / неудачное использование (–)	+2	+2	+1	+2	+3	+2	+1	+2	+2	+2	+3	+2	+1	+2
Реальное (+) / искусственное использование (–)	+2	+3	+1,5	+2	+3	+3	+2,5	+3	+2	+2,5	+3	+3	+1	+2
Безопасное (+) / небезопасное (–)	+2	+3	+2	+2,5	+2	+3	+2	+3	+2	+2,5	+2,5	+2,5	0	+3
Чистое (+) / грязное (–)	+1,5	+2	+2	+2,5	+1	+2	–1	+2	+2	+2,5	+2	+2	+1	+2
Привлекательное (+) / непривлекательное (–)	+1	+3	+1	+3	+1	+3	+1	+2	+2	+3	+2	+3	0	+3

Окончание таблицы
Ending table

Характеристики	Общая оценка		В том числе оценка											
			женщинами		мужчинами		работающими		неработающими		часто посещающими		редко посещающими	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
Эстетическое (+) / неэстетическое (–)	+1	+2	+1	+2,5	+1	+2	+1	+2	+1	+2	+1	+2	+1	+3
Совместимое (+) / несовместимое (–)	+1,5	+2,5	+1	+2	+2	+3	+1	+2	+2	+3	+2	+3	0	+2
Дружеское (+) / недружеское (–)	+2	+2	+3	+2	+1	+3	+2	+3	+2	+2	+2,5	+2	+1,5	+2
Предмет гордости (+) / разочарования (–)	+1	+2	+1	+2	+1	+1	–1	+2	+2	+2	+2	+2	+1	+1

Примечание. Полужирным шрифтом выделены значения медианы (балл) согласованных оценок респондентов, а курсивом – несогласованных.

Заключение

Анализ эволюции публичных пространств периферийной части Киева подтвердил определяющее влияние на нее социальной среды. При этом следует отметить, что, в отличие от центральной части города, трансформации публичных пространств на периферии обусловлены прежде всего потребностями жителей, а не туристов, поскольку их репрезентативная функция незначительна. Движущей силой изменений, происходящих в контексте европеизации, создания «города для людей», являются местные инициативы, активные действия жителей соседних домов, их сотрудничество с бизнес-структурами.

Характер трансформаций публичных пространств в периферийных районах Киева тесно связан с изменением социальной структуры жителей: публичные пространства приходят в упадок, если среди посетителей сокращается или исчезает активный средний класс. Наиболее существенное влияние на эволюцию публичных пространств периферии Киева оказывает новое строительство, где покупают жилье молодые люди с высоким социальным статусом. Важным фактором эволюции публичных пространств является фактор собственности: если человек рассматривает место жительства в периферийном районе Киева как временное, он не инициирует изменений по улучшению публичного пространства.

Дальнейшие исследования данной проблематики связаны с анализом предпочтений жителей и должны дать ответы на вопросы: «Под каким лозунгом будут развиваться публичные пространства города дальше?»; «Какими будут приоритеты их развития?»; «Насколько вероятно совместить безопасность и комфортность в развитии города?».

Библиографические ссылки

1. Мезенцева НИ, Пальчук МВ, Мезенцев КВ. Публичные пространства на периферии города в контексте их социальной среды – кейс Киева. *Магілёвські меридиани*. 2018;18(3–4):57–61.
2. Лефевр А. *Производство пространства*. Стаф И, переводчик; Великанова М, Журбина А, редакторы. Москва: Strelka Press; 2015. 432 с.
3. Lefebvre H. The right to the city. In: Kofman E, Lebas E, translators and editors. *Writings on cities*. Oxford: Blackwell Publishers; 2000. p. 147–159.
4. Orum AM, Neal ZP, editors. *Common ground? Readings and reflections on public space*. New York: Routledge; 2009. 240 p.
5. Мезенцева Н, Пальчук М. Публічні простори міст: осмислення через призму зарубіжного дискурсу. *Економічна та соціальна географія*. 2016;76:19–26. DOI: 10.17721/2413-7154/2016.76.19-26.
6. Gehl J. Public spaces for a changing public life. In: Thompson CW, Travlou P, editors. *Open space: people space*. London: Taylor & Francis; 2007. p. 3–9.
7. Worpole K, Knox K. *The social value of public spaces*. [S. l.]: Joseph Rowntree Foundation; 2007. 16 p.
8. Lynch K. *The image of the city*. Cambridge (Mass.): MIT Press; 1960. 194 p.
9. Mehta V. Evaluating public space. *Journal of Urban Design*. 2014;19(1):53–88. DOI: 10.1080/13574809.2013.854698.
10. Carmona M. Re-theorising contemporary public space: a new narrative and a new normative. *Journal of Urbanism: International Research on Placemaking and Urban Sustainability*. 2015;8(4):373–405. DOI: 10.1080/17549175.2014.909518.

References

1. Mezentseva NI, Palchuk MV, Mezentsev KV. [Public spaces on the urban periphery in the context of their social environment – case of Kyiv]. *Magiljowski merydyjan*. 2018;18(3–4):57–61. Russian.
2. Lefebvre H. *La production de l'espace*. 4^e édition. Paris: Economica; 2000. 512 p.
Russian edition: Lefebvre H. *Proizvodstvo prostranstva*. Staf I, translator; Velikanova M, Zhurbina A, editors. Moscow: Strelka Press; 2015. 432 p.
3. Lefebvre H. The right to the city. In: Kofman E, Lebas E, translators and editors. *Writings on cities*. Oxford: Blackwell Publishers; 2000. p. 147–159.
4. Orum AM, Neal ZP, editors. *Common ground? Readings and reflections on public space*. New York: Routledge; 2009. 240 p.
5. Mezentseva N, Palchuk M. Urban Public Spaces: Understanding through the prism of foreign discourse. *Ekonomichna ta Social'na Geografija*. 2016;76:19–26. Ukrainian. DOI: 10.17721/2413-7154/2016.76.19-26.
6. Gehl J. Public spaces for a changing public life. In: Thompson CW, Travlou P, editors. *Open space: people space*. London: Taylor & Francis; 2007. p. 3–9.
7. Worpole K, Knox K. *The social value of public spaces*. [S. l.]: Joseph Rowntree Foundation; 2007. 16 p.
8. Lynch K. *The image of the city*. Cambridge (Mass.): MIT Press; 1960. 194 p.
9. Mehta V. Evaluating public space. *Journal of Urban Design*. 2014;19(1):53–88. DOI: 10.1080/13574809.2013.854698.
10. Carmona M. Re-theorising contemporary public space: a new narrative and a new normative. *Journal of Urbanism: International Research on Placemaking and Urban Sustainability*. 2015;8(4):373–405. DOI: 10.1080/17549175.2014.909518.

Статья поступила в редколлегию 18.04.2019.
Received by editorial board 18.04.2019.

ПРОГРАММНЫЕ РЕШЕНИЯ В ПРОЦЕССАХ СОЗДАНИЯ
И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АТЛАСНЫХ ИНТЕРАКТИВНЫХ КАРТВ. С. ЧАБАНИЮК¹⁾, Л. Г. РУДЕНКО¹⁾¹⁾Институт географии НАН Украины, ул. Владимирская, 44, 01030, г. Киев, Украина

Картографическая интерактивность в настоящее время обычно понимается как дополнение к картографическим представлениям электронных карт конечным пользователям. Обосновывается необходимость расширить указанное понимание. Это поможет создавать современные атласные системы, которые все чаще разрабатываются как интегрированные или состоящие из нескольких систем. Наряду с конечными пользователями эксперты-картографы (разработчики) и аналитики также становятся пользователями атласных систем и их интерактивных карт. Пользователи с соответствующими знаниями объединяются в эпистемологически упорядоченные эшелоны: чем выше эшелон, тем большими знаниями об интерактивности должен обладать пользователь. Поэтому атласная интерактивная картография должна рассматриваться теперь для многих одновременно работающих систем и для многих пользователей. Приведены примеры новых операций картографической интерактивности для новых эшелонов пользователей: для экспертов-картографов это динамическое изменение (т. е. во время эксплуатации системы) картографического метода моделирования действительности, а для аналитиков – самой модели. Выполнен обзор программных решений, которые применяются для реализации расширенной картографической интерактивности при создании нового поколения атласных систем. Для доказательства результатов используются методы новой реляционной картографии. В частности, метод концептуальных каркасов атласных систем, который позволяет объединить методы классической и реляционной картографии в системный метод будущей системной картографии. В качестве примеров парадигм классической картографии выбраны коммуникативная парадигма и перспектива роста Р. Рота из Висконсинского университета в Мэдисоне.

Ключевые слова: интерактивная картография; концептуальный каркас атласных систем; операции интерактивности для экспертов-картографов и аналитиков.

SOFTWARE SOLUTIONS IN THE PROCESSES
OF CREATING AND USING ATLAS INTERACTIVE MAPSV. S. CHABANIUK^a, L. G. RUDENKO^a^aInstitute of Geography, National Academy of Sciences of Ukraine,
44 Volodymyrska Street, Kyiv 01030, Ukraine

Corresponding author: V. S. Chabaniuk (chab3@i.ua)

Cartographic interactivity is now most often understood as an addition to cartographic representations for end users of electronic maps. The article substantiates the need to extend this understanding. This extension will help in creation of the modern atlas systems, which are increasingly being developed as integrated or consisting of several systems. Along

Образец цитирования:

Чабанюк В.С., Руденко Л.Г. Программные решения в процессах создания и использования атласных интерактивных карт. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология*. 2019;2:25–39.
<https://doi.org/10.33581/2521-6740-2019-2-25-39>

For citation:

Chabaniuk VS, Rudenko LG. Software solutions in the processes of creating and using atlas interactive maps. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology*. 2019;2: 25–39. Russian.
<https://doi.org/10.33581/2521-6740-2019-2-25-39>

Авторы:

Виктор Савович Чабанюк – кандидат физико-математических наук; старший научный сотрудник отдела картографии.
Леонид Григорьевич Руденко – академик НАН Украины, доктор географических наук, профессор; заведующий отделом картографии.

Authors:

Viktor S. Chabaniuk, PhD (physics and mathematics); senior researcher at the department of cartography.
chab3@i.ua
Leonid G. Rudenko, academician of the National Academy of Sciences of Ukraine, doctor of science (geography), full professor; head of the department of cartography.
l.gr.rudenko@gmail.com

with end users, expert-cartographers (developers) and analysts also become users of atlas systems and their interactive maps. Users with relevant knowledge are combined into epistemologically ordered echelons – the higher the echelon, the more knowledge about interactivity the user should possess. Therefore, atlas interactive cartography should now be considered for many simultaneously operating systems and for many users. Examples of new operations of cartographic interactivity for new echelons of users are given: for expert-cartographers this is a dynamic change (i. e. during the operation of the system) of the cartographic method of modeling actuality, and for analysts, the model itself. A review of software solutions that are used to implement extended cartographic interactivity when creating a new generation of atlas systems has been completed. To prove the results, the methods of new relational cartography are used. In particular, the method of conceptual frameworks of atlas systems is used, which allows combining the methods of classical cartography and the methods of relational cartography into the system method of future system cartography. As examples of the paradigms of classical cartography, the communicative paradigm and growth perspective of R. Roth from the University of Wisconsin-Madison are chosen.

Keywords: interactive cartography; conceptual framework of atlas systems; interaction operations for expert-cartographers and analysts.

Введение

В современную цифровую эпоху понятие «интерактивная карта» так же многообразно, как и понятие основного предмета электронной картографии – электронной карты. Если отбросить незначительные краевые варианты, то можно даже считать, что в настоящее время эти понятия совпадают. Действительно, в данной статье речь идет об атласных интерактивных картах. Для электронных атласов справедлива следующая эволюция интерактивности [1, p. 168]: атласы только для просмотра (или атласы только для чтения) → интерактивные атласы → аналитические атласы. Атласы только для просмотра выступают аналогами бумажных атласов и считаются неинтерактивными [1, p. 73]. Они разрабатывались преимущественно в прошлом столетии и практически не создаются в наше время. Поэтому составляющие их карты являются примером упомянутого выше краевого варианта. М.-Ж. Краак и Ф. Ормелинг [2, p. 161] косвенно называют аналитические атласы атласными информационными системами (далее – АТИС). Мы используем для АТИС также прямое определение из работы [3]. Для обозначения всех видов интерактивных и аналитических электронных атласов, а также АТИС применяется термин «атласная система» (сокращенно – АтС). Кроме того, мы учитываем тот факт, что и электронным атласам, и АТИС свойственно некое расширенное понимание (будет определено ниже). Для расширенных систем также используется обозначение АтС, хотя и с некоторыми уточнениями. Например, АтСш – это класс АтС в расширенном понимании.

Литература по интерактивной карте и картографической интерактивности весьма обширна. Поэтому для сокращения количества цитируемых источников о предмете ограничимся только материалами группы ученых из Висконсинского университета в Мэдисоне, руководимой профессором Р. Ротом. Такое ограничение объясняется также следующими тремя причинами. Во-первых, даже выборочные работы по интерактивности, написанные только самим Р. Ротом [4–7], содержат большой перечень литературы по предмету. Поэтому дополнительную информацию читатель сможет получить из указанных источников.

Во-вторых, Р. Рот входит в состав группы ученых, которые в настоящее время выполняют проект «Программа исследований по интерактивной картографии Международной картографической ассоциации (МКА)»¹. Представленные этой группой результаты касаются как отдельных вопросов интерактивной картографии [8], так и видения картографических исследований в целом [9].

В-третьих, Р. Рот в своей докторской диссертации [4] описывает картографическую интерактивность как диалог между человеком и картой, осуществляемый при помощи компьютерного устройства, и понимает ее при этом как дополнение к картографическому представлению. Такая весьма общая интерпретация позволяет рассматривать многие аспекты картографической интерактивности, которые возникают при создании и использовании интерактивных карт. В частности, Р. Рот утверждает [4; 5], что картография находится в очередном кризисе (в оригинале *identity crisis* – кризис идентичности), и предлагает выход из этого кризиса, который заключается в использовании так называемой перспективы роста. Автор считает, что в нее могут быть включены все основные парадигмы картографии. Перспектива роста изображена им в виде квадрата со сторонами (начиная снизу по часовой стрелке): картографическая интерактивность – изготовление карт – картографическое представление – использование карт [4, fig. 1.4].

¹ICA. Interactive Cartography Research Agenda [Electronic resource]. URL: <https://www.researchgate.net/project/ICA-Interactive-Cartography-Research-Agenda> (date of access: 21.02.2019).

Последняя причина важна для нас, поскольку мнение Р. Рота совпадает с нашими представлениями о кризисе картографии, а интерактивность в перспективе роста структурно соответствует интерактивности, которая рассматривается в нашей работе. Для объяснения структурного соответствия двух подходов приведем рис. 1, взятый из работы [5]. Его Р. Рот получил, применив к картографической интерактивности модель (интер)активности Нормана [10].

Д. Норман [10] раскладывает один сеанс (в оригинале *exchange* – обмен) выполнения-оценивания на семь последовательных стадий. Р. Рот [5] считает, что таксономия примитивов интерактивности может быть предложена на всех этих стадиях, однако следует выделить три общих подхода: 1) основанный на задачах (*objectives* – первое *O*) – на стадии формирования намерения; 2) основанный на операторах (*operators* – второе *O*) – на стадии спецификации активности; 3) основанный на операндах (*operands* – третье *O*) – на звене выполнения и оценивания, между стадиями выполнения активности и восприятия состояния системы. Например, при использовании подхода, основанного на операндах (третье *O*), внимание сосредоточивается на операнде или на цифровом (виртуальном) объекте, с которым взаимодействует (конечный) пользователь. При создании будущего пользовательского интерфейса разработчик должен гарантировать надлежащую обратную связь, касающуюся изменений операнда (третье *O*) в зависимости от результатов выполнения оператора (второе *O*).

Мы тоже придерживаемся «трех *O*» картографической интерактивности [5, fig. 2], однако соотносим каждое из трех *O* с одним из трех эшелонов пользователей АтС и их карт (сверху вниз): инфраструктурным (первое *O*), аппликационным (второе *O*) и операционным (третье *O*). Пользователи указанных эшелонов обращаются к одной из трех структурных, или эпистемологических, страт (сверху вниз) – концептуальной или понятийной (первое *O*), аппликационной (второе *O*) либо операционной (третье *O*),

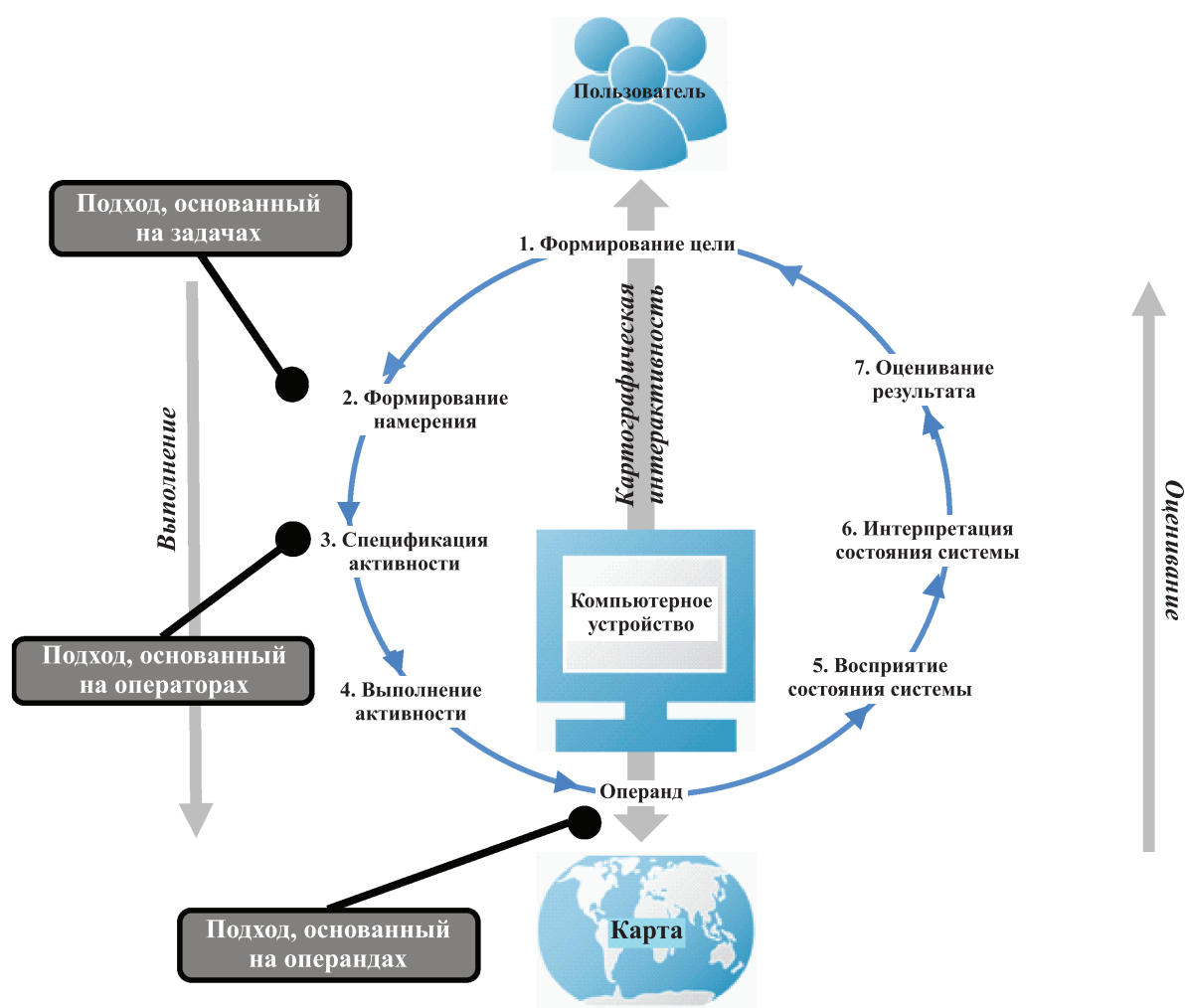


Рис. 1. Стадии модели активности Нормана и «три *O*» картографической интерактивности.
Источник: [5, fig. 2]

Fig. 1. Stages of the Norman's activity model and the «three *O*» cartographic interactivity.
Source: [5, fig. 2]

на которых существуют соответствующие варианты АтС и их карт. Если определять цикл существования какой-либо АтС конечного пользователя, то на каждой страте можно выделить элементы, которые относятся к результатам как минимум трех фаз жизненного цикла системы (сверху вниз): исследования, разработки, эксплуатации. Приведенная информация детализируется в монографии [11].

Здесь мы сделаем только два замечания: 1) в отличие от статьи [5] мы рассматриваем не одну, а множества АтС и их карт, причем на каждой из трех страт. Это же замечание касается и множеств пользователей этих АтС и карт на каждом из трех эшелонов; 2) в нашем подходе существует также эпистемологически самая высокая, общая, страта. Пользователями элементов этой страты выступают ученые или преподаватели. Они объединяются в общий эшелон пользователей.

Поскольку нас интересует теория, которую можно использовать на практике, важно ознакомиться с результатами практической реализации картографической интерактивности в работах школы Висконсинского университета в Мэдисоне. Перед изложением этих результатов необходимо сделать небольшой экскурс в тематику паттернов (*patterns*), а именно следует разграничить понятия каркаса, паттерна и шаблона в информатике и картографии.

В информатике слово *pattern* очень часто переводится на русский язык как «шаблон». Однако этот вариант, скорее всего, нравится переводчикам, которые не различают значений английских терминов *pattern* и *template*. Вместе с тем в ставшем уже стандартом в информатике языке UML (*unified modeling language*) и его окружении эти понятия довольно четко различаются. Так, в глоссарии переведенной с английского книги [12] есть три нужных нам определения: 1) **паттерн** (образец) – типичное решение типичной проблемы в данном контексте; 2) **каркас** – архитектурный образец (паттерн), обеспечивающий расширяемый шаблон приложений в некоторой предметной области; 3) **шаблон** – параметризованный элемент. Во второй редакции этой же книги [13] в глоссарии приведены определения тех же понятий, но перевод изменен: 1) **образец** (*pattern*) – общее решение типичной проблемы в заданном контексте; 2) **каркас** (*framework*) – архитектурный образец, представляющий расширяемый шаблон для приложений в некоторой предметной области; 3) **шаблон** (*template*) – параметризованный элемент. Ниже мы используем понятие «паттерны проектирования» (*design patterns*). Именно такой перевод дан при их описании в ставшей уже классической книге² [14].

В картографии термин «паттерн проектирования» в смысле книги [14] использован в работе [15]. Словом *pattern* Ж. Бертен назвал одну из визуальных переменных (*visual variables*) [16]. Однако в популярном в странах бывшего Советского Союза учебнике А. Берлянта и др. [17, с. 99] эти же переменные переведены как «графические», а *pattern* – как «внутренняя структура». Чтобы углубить понимание различий между понятиями паттерна в информатике и в семиологии графики Ж. Бертена, в монографии В. С. Чабанюка [11] визуальная переменная *pattern* переведена на украинский язык как «візерунок» (по-русски – «узор»).

Из приведенного экскурса следует иерархия каркас – паттерн – шаблон. Каркасы используются для обозначения сложных элементов (таких как системы), а шаблоны – простых (например, шаблон стартовой страницы веб-приложения). Паттерн является наиболее общим понятием, однако при наличии уточняющего слова, как в термине «паттерн проектирования», он помещается по смыслу между каркасом и шаблоном. Мы придерживаемся описанного выше понимания терминов «каркас», «паттерн» и «шаблон» в информатике, поскольку о бумажной картографии в современной практической деятельности рано или поздно придется забыть. Обширный обзор проблематики паттернов представлен в [11, гл. 10].

Один из главных практических результатов группы Р. Рота изложен в диссертации Р. Донахью [18], в гл. 5 «Библиотека паттернов веб-картографирования», несмотря на то что в ней речь идет только о прототипе библиотеки (см. таблицу, за исключением столбца «ЭлНАУ»). Р. Донахью выделил картографическую интерактивность в отдельный столбец. Предполагается, что каждая из операций интерактивности применяется пользователем к одному или более слоям, которые представляют карту. Мы добавили столбец под названием «ЭлНАУ», в который помещены значки операций из электронной версии Национального атласа Украины [19] (далее – ЭлНАУ), соответствующие операциям столбца «интерактивность» из диссертации Р. Донахью [18].

Пример описания паттерна проектирования «извлечение» приведен в диссертации Р. Донахью [18]. «Паттернизация» операций картографической интерактивности очень важна для общего представления об этом явлении, поскольку понятие «паттерн» предполагает многократное повторение той или иной операции в аналогичных контекстах. Несмотря на то что тираж Национального атласа Украины был выпущен в предыдущем десятилетии (в 2007 г.), наблюдается значительное совпадение операций интерактивности в двух независимых источниках – диссертации Р. Донахью и ЭлНАУ. Для подтверждения этого наблюдения дадим комментарии относительно некоторых обозначений из столбца «ЭлНАУ» в таблице:

²Оригинал на английском языке опубликован в 1995 г.

-  – «Управление слоями» (подпись кнопки). Включение/выключение слоя изменяет итоговый оверлей. Операция «переключение» (*toggle*) была реализована для всех кнопок. Так, вышеназванная кнопка в нажатом состоянии выглядит как .
-  – «Поиск». При помощи этой операции можно задать произвольный фильтр для информации карты. Кроме того, были реализованы предопределенные фильтры. Например, нажав правую кнопку мыши на интересующей карте, можно было выбрать предопределенный масштаб, и информация на отображаемой карте будет отфильтрована в зависимости от масштаба;
-  – «Карта целиком». При выполнении этой операции осуществляется заданное разработчиком упорядочивание отображаемой информации для случая показа всей карты полностью. Такие же действия были реализованы для предопределенных правой кнопкой мыши масштабов;
-  – «Навигатор». Однако это не совсем операция «повторно выразить» (*reexpress*). Тогда чем является «Навигатор»?;
- – + означает, что в ЭлНАУ кнопки «Последовательность» нет, но можно посмотреть последовательность карт при фиксированных параметрах отображения. Для этого надо поочередно щелкать по картам из дерева содержания;
- + предполагает, что в ЭлНАУ кнопки «Ресимволизация» нет, но при увеличении определенных карт появляются символы, обозначающие другие слои. Например, как в карте «Прямые иностранные инвестиции» на увеличениях 1453,11 и 726,55 км;
- – означает, что в ЭлНАУ нет ни кнопки, ни операции «репроектирование».

Навигационное меню прототипа библиотеки паттернов веб-картографирования

The navigation menu of the prototype web mapping pattern library

Разделы паттернов проектирования				ЭлНАУ
начало работы	данные	представление	интерактивность	
шаблонный код	загрузка данных	тайловая базовая карта	перемещение	
шаблон страницы	сохранение	векторная базовая карта	зум (уменьшение, увеличение)	 
	экспорт	хороплета	извлечение	
	элементы карты	пропорциональный символ	оверлей/переключение	
	картографическая	плотность точек	фильтр	
	сетка	изолиния/поверхность	упорядочивание	
	легенда	поток	повторно выразить	
		картограмма	последовательность	– +
		бивариантное/	ресимволизация	+
		многовариантное	(повторная символизация)	
		анимация	репроектирование	–
		график/диаграмма	(повторное проектирование)	
			поиск	
			вычисление	

Примечание. Составлено по [18, р. 124], с дополнением авторов.

При анализе таблицы следует учитывать довольно много обстоятельств, благодаря которым определен именно такой ее вид. Логично считать, что Р. Донахью, как аспирант Р. Рота, должен был учесть в таблице результаты рис. 1. Однако нахождение возможного соответствия между теорией и практикой является непростой задачей. Более того, эта задача не всегда имеет решение. Прежде всего из-за ограничений, которые следуют из определения картографии и карты. Так, Р. Рот анализировал явление интерактивности не только в картографии, но и в смежных дисциплинах, таких как графика. Р. Донахью, скорее всего, придерживался классического, используемого МКА определения картографии и карты, согласно которому **картография** понимается как «дисциплина, занимающаяся искусством, наукой и техникой создания и использования карт»³. Соответственно **карта** – «символизированное представление географической реальности, представляющее отдельные функции или характеристики, созданное в результате творческих усилий автора при выборе вариантов и предназначенное для получения первичной пространственной информации»⁴.

³ International Cartographic Association [Electronic resource]. URL: <https://icaci.org/mission/> (date of access: 22.02.2019) (здесь и далее перевод наш. – В. Ч., Л. Р.).

⁴ Там же.

Несмотря на очевидный интерес научного картографического сообщества к теме интерактивности, который материализован в большом количестве трудов, на практике все равно возникает множество вопросов, недостаточно ясно определенных в научной литературе. Главный из них: «Какие научно обоснованные операции интерактивности реализовывать в проектах конкретных (геоинформационных) систем?» Поскольку данный вопрос выглядит весьма сложным, упростим его: «Какую интерактивность реализовывать в АтС?» Если и этот вопрос кажется сложным, можем упростить его еще больше: «Какую интерактивность реализовывать в АтИС национального уровня (например, в национальных атласах)?»

В данной работе рассматриваются примеры конструкторов картографической интерактивности, которые, с одной стороны, указывают направление теоретических исследований, а с другой – применяются на практике уже сейчас. Тем самым предлагается подход к картографической интерактивности, который обеспечивает тесное соответствие между теорией и практикой и позволяет строго согласовать все три *O* ее таксономии: задачи (*objectives* – первое *O*), операторы (*operators* – второе *O*) и операнды (*operands* – третье *O*). Описанный подход хорошо реализуется на практике. Более того, авторы убеждены, что именно его нужно применять при создании современных интерактивных АтС.

Методология исследования

Методология исследования базируется на применении метода концептуальных каркасов (далее – КоКа) реляционной картографии [11], детализованного для АтС. Первый КоКа АтС получен в статье [20] на примере ЭлНАУ в ходе познавательных рассуждений, направленных на поиск правдоподобных объяснительных гипотез (они называются абдуктивными рассуждениями). При этом мы внесли несколько принципиальных изменений в представления об атласной картографии (ссылки на все использованные ниже определения могут быть найдены в монографии [11]).

1. АтС, такая как, например, электронный результат проекта Национального атласа Украины, состоит не только из продукта конечного пользователя – ЭлНАУ на DVD (часть расширенного ЭлНАУ, записанная на оптический носитель DVD). В расширенный ЭлНАУ входит также атласная инфраструктура ЭлНАУ – комплекс взаимосвязанных обслуживающих структур или объектов, составляющих и обеспечивающих основу для решения задач создания, поддержания работоспособности и обновления различных атласов фазы использования (как пример – ЭлНАУ на DVD). В информатике объединение ЭлНАУ на DVD и атласной инфраструктуры ЭлНАУ называется информационной системой в широком понимании (ИСш), под которой подразумевается совокупность всех формальных и неформальных представлений данных, а также действий с ними в организации, включая ассоциированный взаимообмен первого и второго (как внутренний, так и с внешним миром). Иными словами, в [20] мы исследовали ЭлНАУ как пример ИСш (точнее – АтСш).

2. Определения картографии от МКА (см. выше) недостаточно, поскольку при создании АтС помимо карт нам приходится иметь дело с картографическими отношениями и системами. Поэтому нужно пользоваться определением системной картографии, которое введено в монографии [11]: **системная картография** – согласованные и несогласованные искусства, науки и технологии изготовления и использования карт, картографических отношений и картографических систем.

3. В проектах так называемой франко-немецкой черновильской инициативы в 1998–2003 гг. [11, гл. 3] наряду с понятием ИСш употреблялось понятие слабой интеграции элементов ИСш. На практике слабая интеграция была реализована при помощи портового программного решения *TripleNet*. Проще говоря, минимально допустимым отношением слабой интеграции была простая HTML-ссылка между двумя элементами систем. Иными словами, хотя бы эта ссылка должна быть обязательно. За прошедшие годы слабая интеграция эволюционировала в различные формы сильной интеграции. В настоящее время наиболее популярные отношения интеграции строятся на стандарте RDF (*resource description framework*) консорциума W3C⁵.

Здесь мы выделяем два основных понятия КоКа АтС – страты (эшелоны) и формации. В специфическом трехмерном пространстве всех возможных АтСш это два из трех измерений. Благодаря включению страт в итоговую расширенную систему элементов обычная АтС конечного пользователя превращается в расширенную – АтСш. Термин «страта» совпадает с термином «эшелон», если речь идет об организационной системе (чаще всего – виртуальной), в которой используется АтСш. Эта организационная система состоит из находящихся в определенной иерархии эшелонов пользователей.

В КоКа каждой обычной АтС обязательно существуют организованные в иерархию страты (снизу вверх): операционная, аппликационная, концептуальная (понятийная), общая. Операционной страте соответствует операционный эшелон, который включает в себя конечных пользователей АтС в узком

⁵W3C. Semantic Web [Electronic resource]. URL: <https://www.w3.org/RDF/> (date of access: 26.02.2019).

понимании (АтСу) или обычной АтС. Пример АтСу – ЭлНАУ на DVD. Аппликационной страте соответствует аппликационный эшелон, в который входят разработчики АтСу. Примером одной из многих систем этой страты (эшелона) является система ЭлНАУ_Edited. Она так названа, поскольку содержит в себе редактируемые элементы, которые преобразуются в не редактируемые элементы ЭлНАУ на DVD. Концептуальной страте соответствует инфраструктурный эшелон, включающий не только разработчиков систем инфраструктурного эшелона, но и пользователей АтСу, таких как менеджеры и архитекторы. Общая страта соответствует общему эшелону и включает в себя преподавателей и ученых, которые работают в домене АтС.

Формации АтС увязаны с эпохами развития веба: *веб 1.0*, *веб 1.0²*, *веб 2.0*, *веб 3.0* и т. д. Формация *веб 1.0²* используется для классификации АтС, которые находятся между *веб 1.0* и *веб 2.0*. Она еще называется формацией АтС классического динамического типа. Именно такие АтС разрабатываются в текущем десятилетии. АтС формаций *веб 3.0* и далее еще не создаются, поэтому в работе речь идет об АтС формаций *веб 1.0*, *веб 1.0²* и *веб 2.0*.

Примеры интерактивности аппликационной страты

Используем пример картографической интерактивности из проекта ЭлНАУ для простейшего вида тематической карты – хороплетной. Эта интерактивность – следствие рассмотрения понятий аппликационной страты. В ЭлНАУ на DVD метод классификации хороплеты зафиксирован – практически для всех карт он является авторским. Вместе с тем в ЭлНАУ_Edited каждая хороплетная карта представляется в соответствующих форматах и обрабатывается в *MapInfo Professional*, где классификация этой карты может выполняться с использованием не только авторского, но и следующих методов: 1) равного количества записей; 2) равного разброса записей; 3) естественных групп; 4) стандартного отклонения; 5) квантилей. При этом довольно очевидным является вопрос относительно принадлежности методов классификации хороплеты к картографической интерактивности.

Разработчики-картографы АтС считают, что конечному пользователю эту функциональность нельзя предоставлять, поскольку он не имеет нужного образования и поэтому не сможет построить правильную, с их точки зрения, карту. Разработчики-программисты АтС полагают, что эту функциональность конечному пользователю можно и предоставить. Но основная проблема в том, что мнение ни первых, ни вторых не является определяющим.

Между элементами операционной и аппликационной страт АтСш при фиксированном значении формации всегда существуют отношения $(X, \mathbf{O}, \Phi 1) \uparrow (X, \mathbf{A}, \Phi 1)$, где $X = \mathbf{D}, \mathbf{I}, \mathbf{P}$ ($\mathbf{D}$ – даталогия, $\mathbf{I}$ – инфология, $\mathbf{P}$ – потребление (или органонологика)); $\mathbf{O}$ – операционная страта; $\mathbf{A}$ – аппликационная страта; $\Phi 1$ – формация *веб 1.0*. Полу жирное начертание обозначений $\mathbf{O}$ и $\mathbf{A}$ указывает на акценты этого раздела. Для объяснения понятия отношений, о которых идет речь, воспользуемся общеизвестной схемой «Коммуникация картографической информации» из работы [21]. На рис. 2 изменения оригинальной схемы выделены цветом. Обозначение U (*universe*) из [21] заменено на $\mathbf{D}$ (действительность).

Приведено описание рис. 2 с учетом информации из статьи А. Колачного [21]: $\mathbf{D}_1$ – действительность (в оригинале – вселенная) в представлении автора (в оригинале – картографа); $\mathbf{Y}\mathbf{A}$ – картографический язык, которым пользуется автор на аппликационной страте; $\mathbf{Y}\mathbf{O}$ – картографический язык, которым пользуется читатель на операционной страте (в оригинале: $\mathbf{Y}$ – картографический язык как система символов карты и правила их использования); $\mathbf{C}_1$ – субъект, который представляет себе действительность (автор-картограф); $\mathbf{K}$ – продукция картографии (карта); $\mathbf{D}, \mathbf{I}, \mathbf{D}, \mathbf{I}$ – соответствующие концептуальному каркасу квадранты карты $\mathbf{K}$, которые символически созданы двусторонними стрелками; $\mathbf{C}_2$ – субъект, который потребляет карту (читатель, в оригинале – пользователь); $\mathbf{D}_2$ – действительность (вселенная) в представлении читателя (пользователя) карты. Создание и передача картографической информации является сложным процессом деятельности и включает несколько операций с цепочками обратной связи на разных уровнях [21]. Динамика этого процесса упрощена до семи основных стадий на рис. 2. Стадии 1–4 представляют создание карты, а стадии 5–7 – ее потребление (использование).

Мы не стали усложнять рис. 2. Однако очевидно, что как $\mathbf{C}_1$, так и $\mathbf{C}_2$ могут иметь материализацию, и ее надо бы показать. В случае поддерживаемых на протяжении длительного времени АтС эта материализация является обязательной. Так, в случае ЭлНАУ $\mathbf{C}_1$ материализуется редактируемым вариантом карты $\mathbf{K}$ в форматах *MapInfo Professional*. В случае хороплеты этот вариант карты $\mathbf{K}$ может определяться множеством допустимых методов классификации. Могут изменяться сами данные, дата актуальности данных и т. п. Материализация $\mathbf{C}_2$ также отличается от самой карты $\mathbf{K}$. Дело в том, что А. Колачный [21] работал с аналоговыми (бумажными) картографическими произведениями. В случае электронных карт следует различать их представление и интерактивность. Интерактивность связана с разумом читателя карты. Для нас это уровень $\mathbf{P}$ (потребление), в котором необразованный читатель может и не знать, как

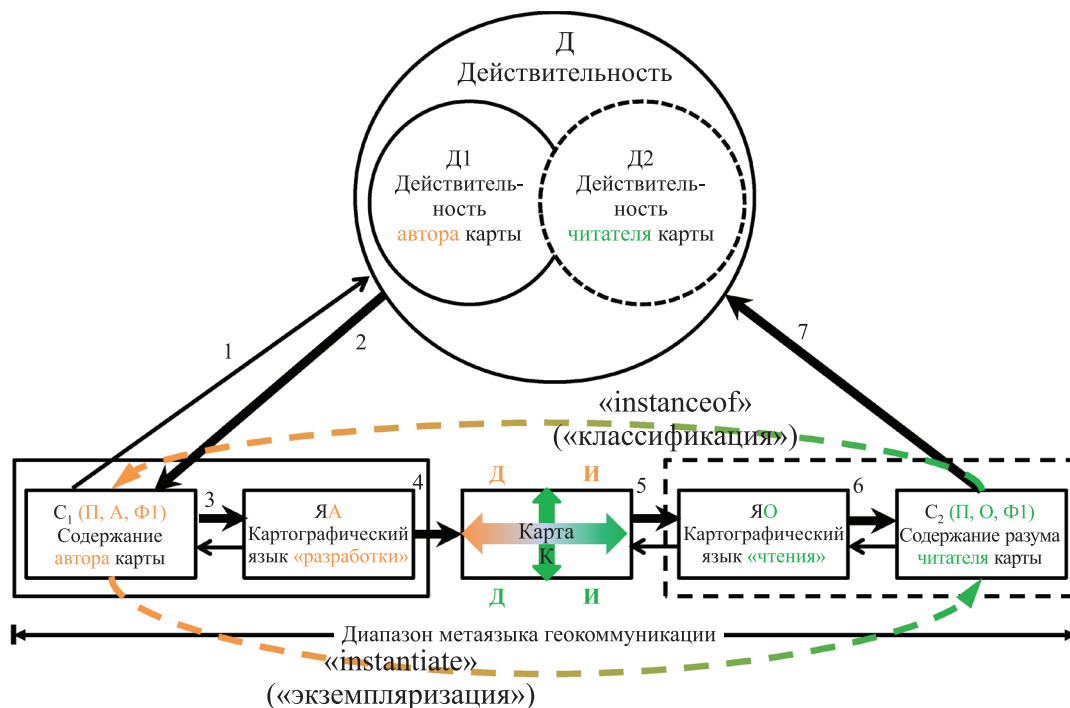


Рис. 2. Коммуникация картографической информации [21] с точки зрения реляционной картографии [11]
Fig. 2. Communication of cartographic information [21] in terms of relational cartography [11]

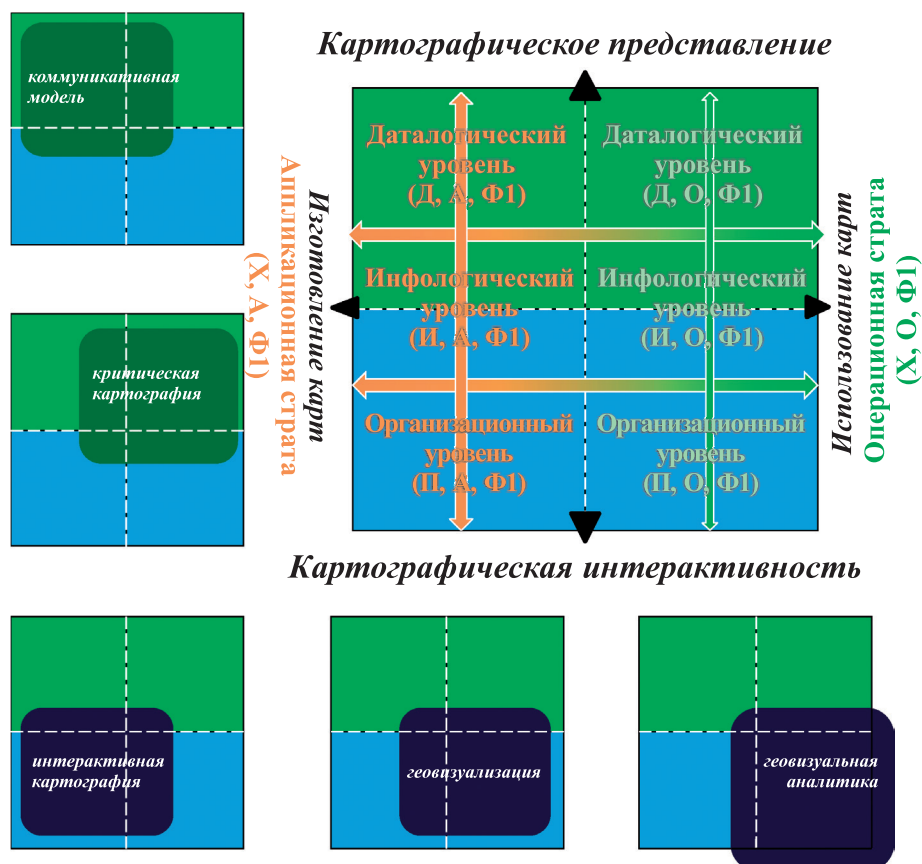


Рис. 3. Перспектива роста, дополненная элементами операционной и аппликационной страт (разработано авторами на основе [4, fig. 1.4a])

Fig. 3. Growth perspective, supplemented by elements of the operational and application strata (developed by authors on the basis of [4, fig. 1.4a])

использовать интерактивность. От этого она никуда не исчезает, но в мозгу необразованного читателя ее нет. В конечном счете мы имеем отношение между классом и экземпляром «допустимых» хороплетных карт, что показано на рис. 2 отношениями классификации и экземплярзации.

Заметим, что схема А. Колачного [21] представляет коммуникативную парадигму классической картографии. Аналогичное рис. 2 совмещение выполнено для других парадигм. На рис. 3 нижняя часть КоКа наложена на основной прямоугольник перспективы роста [4, fig. 1.4a]. Добавленные элементы выделены оранжевым и зеленым цветом.

Примеры интерактивности понятийной страты

В создаваемые в текущем десятилетии АтС мы были вынуждены добавлять операцию «репроектирование» и предоставлять конечному пользователю интерфейс для ее использования. Это произошло из-за того, что помимо базовых карт собственного производства нам пришлось применять базовые карты *OpenStreetMap* (*OSM*), *Google Maps* и др. Как известно, эти базовые карты соответствуют глобальной системе координат WGS 84. Отечественные карты все еще изготавливаются в локальных системах координат. Поэтому и понадобилось репроектирование.

Сразу заметим, что реализация репроектирования в случае современных атласных решений не просто добавление еще одной операции интерактивности: репроектирование является одной из реализаций процедуры замены, которая определяется следующим образом [22, с. 544]:

$$MX = (W, X, r),$$

где MX – метасистема X , $X \in X$; W – параметрическое множество всех систем, составляющих метасистему; X – произвольное множество систем, чьи параметрические множества есть подмножества W ; r – процедура замены, которая должна реализовывать определенную функцию замены $r: W \rightarrow X$. Пример параметрического множества W описан в работе [23] для системы атласных базовых карт эпохи (формации) *веб 2.0*. Там W формируется из таких параметров, как пространство, время и группа.

В описанной ситуации мы имеем дело с базовой картой как с элементом гео- и картоплатформы, например *OSM*. При этом нужная нам часть *OSM* – элемент инфраструктурного эшелона некоторой современной АтСш. Поскольку *OSM* не является собственной подсистемой АтСш, можно говорить о том, что АтСш выступает системой нескольких систем, в которых интеграция может осуществляться динамически. Имеется в виду, что атласное решение должно быть готово к тому, что владелец платформы сделает изменения, которые повлияют на работоспособность других элементов решения. В данном случае нерабочее отношение надо будет изменить на рабочее.

В этом месте нам понадобится понятие модели, которое в общем виде трактуется как упрощение системы, построенное с учетом предполагаемой цели. Модель должна предоставлять возможность отвечать на вопросы вместо фактической системы [24]. В соответствии с этим каждая конкретная карта выступает моделью некоторой пространственной системы действительности. Картографические модели – это элементы множества допустимых картографических текстов, которые определяются соответствующим языком карты. Отсюда следует, что язык карты является языком моделирования карт. Затронутые здесь темы имеют решающее значение как для атласной картографии, так и для картографии в целом. Однако ограниченность объема статьи не позволяет изложить их детально, поэтому отсылаем заинтересованного читателя к монографии [11].

Среди возможных картографических моделей мы имеем дело с картами, которые реализуются при помощи информационных технологий. Такие модели тоже называются системами, но только информационными. В определенном смысле понятия модели и системы взаимозаменяемы. Однако мы придерживаемся введенного выше определения модели, чтобы обратить внимание на еще один вид интерактивности, который существует между элементами концептуальной и аппликационной страт. Вышеуказанные метасистемы являются элементами концептуальной страты, а составляющие их системы – аппликационной. Для них мы можем указать на такой вид интерактивности, как изменение моделей.

Вместо словесного описания изменения моделей приведем графические примеры. Для этого найдем в дереве содержания ЭлНАУ карту «Сельские поселения» (ее номер 4036) и покажем хороплетный слой «Плотность сельского населения» (рис. 4). Для этого отключим дерево содержания, визуализируем карту целиком (кнопка ) , отобразим легенду (кнопка ) , в «Управлении слоями» (кнопка ) включим нужный набор слоев. Значения других кнопок описаны выше.

Эта же карта с использованием современного программного решения на базовой карте *OSM* показана на рис. 5.

Наконец, на рис. 6 представлены результаты замены модели хороплеты на модель тримапы (*treemap*). Тримапа (карта (*map*) по-украински – «мапа», поэтому и «тримапа») была введена в работе Б. Шнейдермана [25] для визуализации больших иерархически организованных структур данных. Она

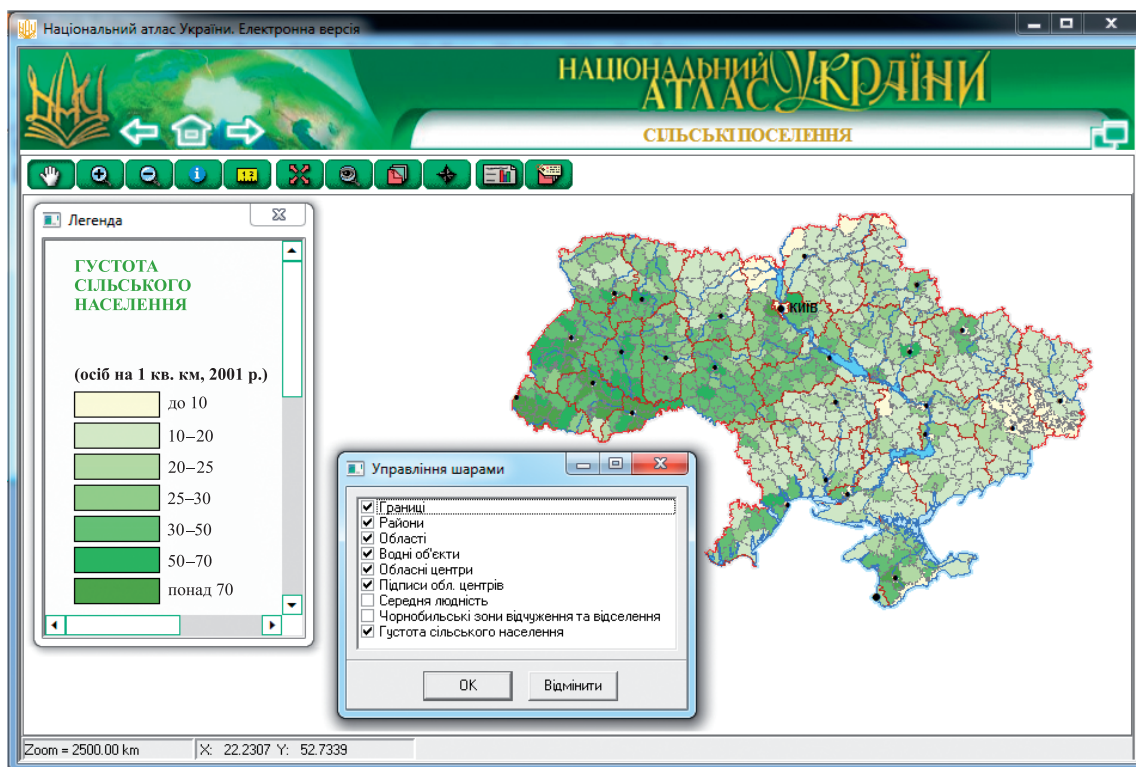


Рис. 4. Слой «Плотность сельского населения» карты «Сельские поселения» ЭлНАУ 2007

Fig. 4. Layer «Density of the rural population» of the map «Rural settlements» of EINAU 2007

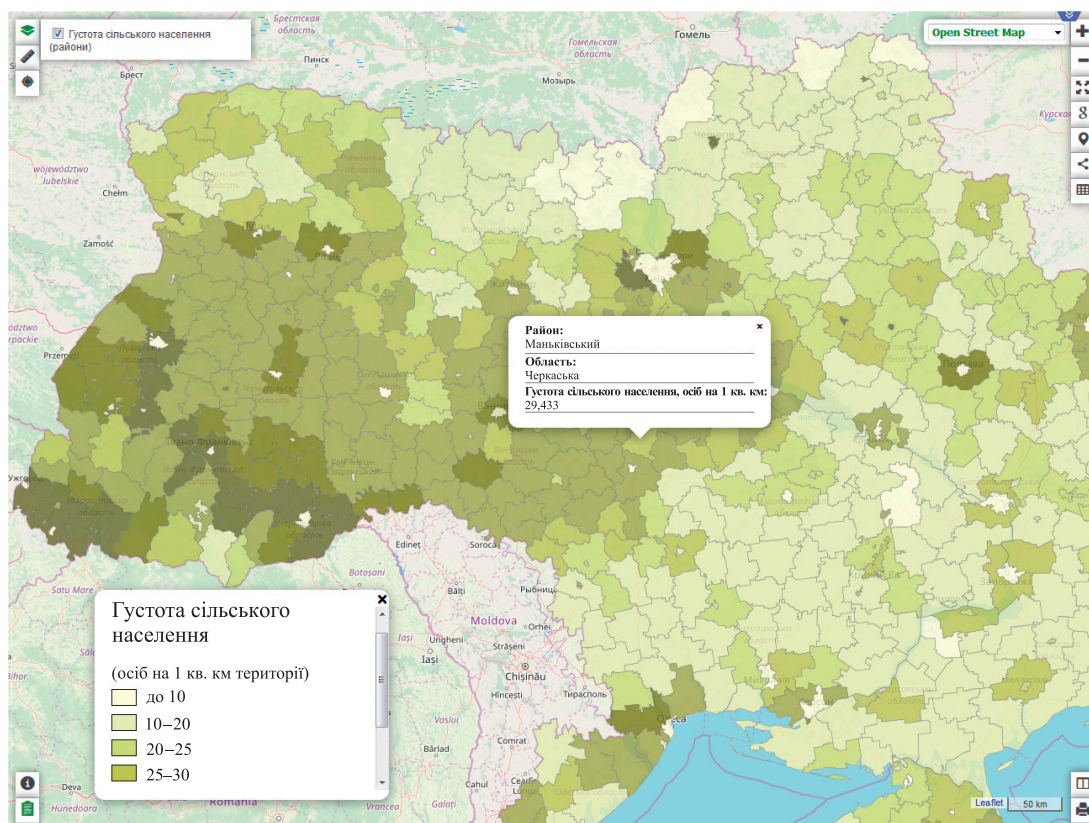


Рис. 5. Хороплетная карта «Плотность сельского населения» после репроектирования (легенда незначительно изменена)

Fig. 5. Choropleth map «Density of the rural population» after reproject (legend slightly modified)

отображает иерархические данные как набор вложенных прямоугольников. Это плоская таблица, которая наглядно показывает соотношение частей целого. Размер и цвет каждой ячейки в приведенном примере тримапы определяются числовым показателем: чем больше его значение, тем больше и темнее ячейка плоской таблицы. Интересно, что тримапа на рис. 6 не противоречит приведенному выше определению карты от МКА.

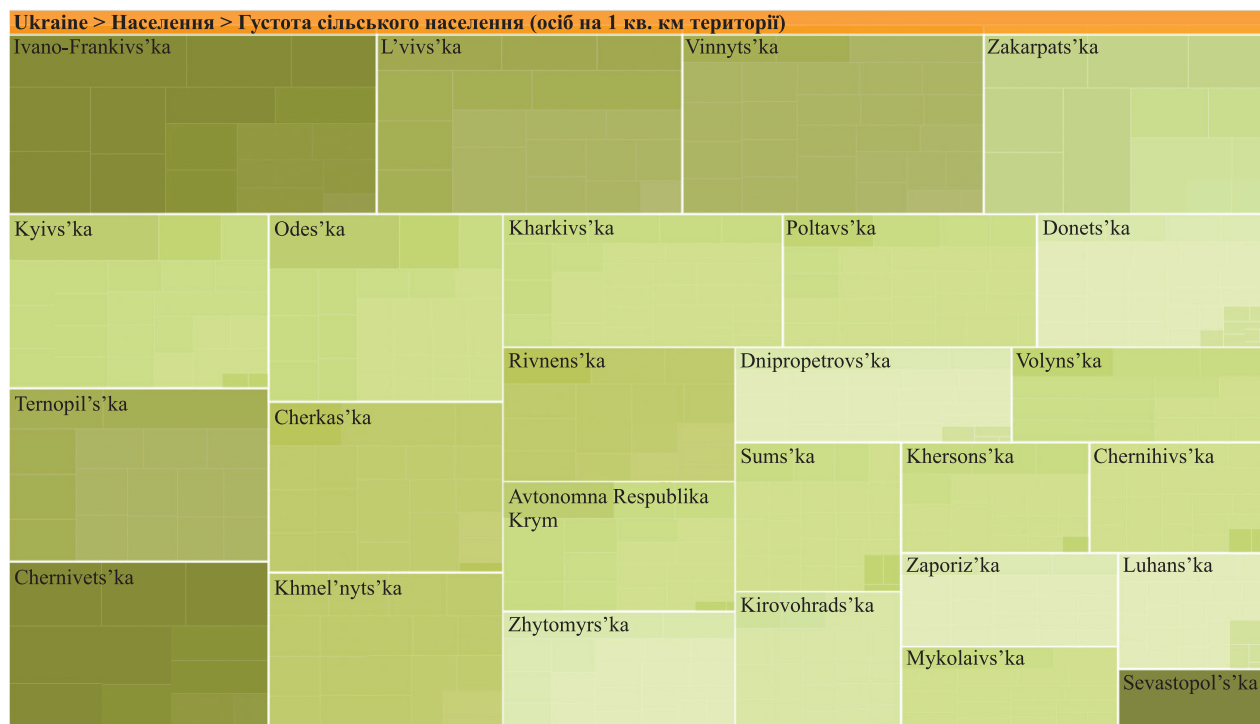


Рис. 6. Карта «Плотность сельского населения» после замены модели хороплеты на модель тримапы
Fig. 6. Map «Density of the rural population» after replacing the choropleth model with the treemap model

Современные программные решения

Анализируя современные программные решения для реализации интерактивности в АтС, не стоит основываться только на их технологических достоинствах и недостатках. Для логически объяснимого выбора программной технологии можно воспользоваться КоКа АтС. Напомним, что при фиксированной формации в каждой страте КоКа АтС выделяются три уровня (контекста): даталогический (технологический), инфологический (языковой) и организационный (потребления или использования) [11].

Если принимать во внимание только технологический контекст, то можно утверждать следующее. В формации *веб 1.0* отношения между элементами двух соседних страт были неавтоматизируемыми, поэтому главной признавалась программная технология реализации элементов операционной страты или же клиентских приложений. В атласах нашего производства в прошлом десятилетии это был документ в формате HTML4, который визуализировался браузером *Internet Explorer*. Для отображения карты применялся встроенный в HTML-страницу картографический объект *ActiveX*. Это был объект собственного производства, который получал управление во время активации и в ответ на действия пользователя возвращал тому результаты использования интерактивных операций, реализованных в интерфейсе пользователя (см. рис. 4). Вся технологическая цепочка была ориентирована на продукцию корпорации *MapInfo*.

Другим путем пошло НПП «Картография»⁶ при изготовлении и выпуске серии учебных атласов. Как и проект ЭлНАУ, этот проект существует длительное время. Однако его основным отличием от ЭлНАУ было использование плагина *Adobe Flash* и стоящей за ним технологии. Этот плагин приблизительно десять лет назад обязательно применялся практически в любом браузере. Одно время даже казалось, что для клиентских приложений (или элементов операционной страты) нет альтернативы так называемым *rich internet applications (RIA)*, среди которых наиболее популярным был *Adobe Flex* (ныне – *Apache Flex*). Получаемая в результате технологическая цепочка, в том числе благодаря другим продуктам *Adobe* (например, *Illustrator*), была очень привлекательной для построения атласов.

⁶Картография [Электронный ресурс]. URL: <https://kartographia.com.ua/> (дата обращения: 28.03.2019).

Есть, правда, ограничение, которое зависит от основной используемой парадигмы картографии. Согласно [26] в каждой из парадигм карта понимается по-разному: 1) изображение (коммуникативная и когнитивная парадигмы); 2) модель или средство вычислений (аналитическая парадигма); 3) замысел, намерение или социальная конструкция (критическая парадигма). Мы считаем, что коммуникативная и когнитивная парадигмы ближе всего к инфологическому уровню, аналитическая – к даталогическому, а критическая – к организационному. «Ближе всего» означает, что вопросы той или иной парадигмы следует рассматривать прежде всего в соответствующем уровне.

В ЭлНАУ на DVD 2007/2010 тоже пришлось использовать плагин *Adobe Flash*. Более того, три из пяти основных тематических блоков карт ЭлНАУ на DVD 2007/2010 были представлены в формате .SWF и изготавливались в НПП «Картография». Благодаря теории реляционной картографии [11] теперь мы понимаем, что в ЭлНАУ произошло изменение картографической парадигмы. Дело в том, что первый конечный продукт проекта Национального атласа Украины – ЭлНАУ на CD 2000 [27] – соответствовал аналитической парадигме. Это утверждение следует из того, что при создании ЭлНАУ 2000 кибернетики и программисты очень плотно взаимодействовали с географами и картографами. По сути, первые были сторонниками аналитической парадигмы, вторые – коммуникативной и когнитивной. Несмотря на попытки географов и картографов внедрить изображения карт без надлежащих данных, можем констатировать, что все карты ЭлНАУ на CD 2000 имеют аналитическую часть и что все они представлены в векторных форматах известной разработчику структуры. После 2000 г. было создано несколько атласов в аналитической парадигме. Однако при подготовке полной версии Национального атласа Украины в 2007 г. было решено первым разрабатывать бумажный вариант. Поэтому ЭлНАУ на DVD 2007 создавался как его электронный образ. Не стоит особо объяснять, что при разработке бумажной версии атласа основное внимание уделялось карте как изображению. А в то время для «рисования» карт больше всего были приспособлены продукты *Adobe*.

Однако 17 декабря 2012 г. консорциум W3C объявил о завершении работ над стандартом HTML5 и присвоении ему статуса *Candidate Recommendation*. Это событие стало определяющим для развития веба. Технологии *RIA* начали терять свои позиции. На замену им, сперва для возобновления функциональности технологий *RIA*, возникло большое количество библиотек и фреймворков *JavaScript*. Теперь вместо «чужих» активных объектов или плагинов в браузер встраиваются «родные» библиотеки на *JavaScript*. Практически обязательной стала библиотека *jQuery*. В картографии большое распространение получила библиотека *Leaflet*. Для графики (и картографии) стала повсеместно использоваться библиотека *D3*. Картографическая интерактивность переключалась в эти специализированные библиотеки *JavaScript*. Следует признать, что технология на базе HTML5, включающая CSS3 и соответствующую версию *JavaScript* с нужными библиотеками, практически полностью повторила интерактивную атласную картографию предыдущего десятилетия.

Со временем средства для решений презентационного (клиентского) программного слоя дополнились средствами для решений других слоев (делового, данных и т. п.). Сформировались целые стеки технологий. Самыми востребованными для нас являются стеки *MERN* (*MongoDB*, *Express*, *React*, *Node*) или *MEAN* (*React* заменен на *Angular*). Начало предыдущего абзаца отражает нашу точку зрения на используемые для АТС программные технологии: монополия как *Microsoft*, так и *Adobe* нас не устраивает. Мы могли бы много рассуждать на данную тему, поскольку прошли описанный путь на практике, однако объем статьи не позволяет этого сделать.

Обращаем внимание, что в стеках *MEAN/MERN* появились средства для работы на сервере: *MongoDB*, *Express*, *Node*. Причем все они базируются на *JavaScript*. По-видимому, впервые при развитии информационных технологий удалось добиться такой гармонизации программных решений между клиентской и серверной частями. Однако в практических условиях все равно приходится учитывать некоторые важные аспекты.

1. Наиболее характерной особенностью АТС формации веб 2.0 является использование существующих на момент создания национальных и международных гео- и картоплатформ или же инфраструктур пространственных данных, которые тоже должны быть платформами. При этом все они состоялись в прошлом десятилетии. И если с модернизацией средств доступа из-за стандартизации HTML5 эти платформы справились, то с хранением данных ситуация совсем иная. Так, в *OSM* основной СУБД является реляционная *PostgreSQL/PostGIS*, что отличается от объектной *MongoDB*. С *PostgreSQL* через *API* работает несколько редакторов карт. Кроме группы редактирования, *OSM* выделяет еще четыре группы программ⁷.

2. Не менее важной особенностью АТС формации веб 2.0 является многообразие паттернов программных архитектур, с которыми приходится работать. Согласимся с М. Ричардсом [28], которым выделены

⁷Заинтересованные читатели могут получить дополнительные сведения об этих группах по ссылке: https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Component_overview (дата обращения: 26.02.2019).

пять таких архитектур: 1) послойная (*layered*); 2) управляемая событиями (*event-driven*); 3) микроядерная (*microkernel*); 4) микросервисная (*microservices*); 5) пространственно-базируемая (*space-based*), известная также как облачная (*cloud*).

Заключение

Мы предлагаем выводы, которые не являются прямым следствием изложенного материала. Однако фактов, представленных в работе и в приведенных в ней ссылках, достаточно, чтобы заинтересованный читатель смог убедиться в правильности сформулированных выводов для современных атласных программных решений.

1. Картографическая интерактивность не может рассматриваться применительно к какой-то одной, ориентированной на одну группу пользователей статической карте. Наоборот, необходимо изучать интерактивность для нескольких карт, упорядоченных с учетом имеющихся знаний. При этом минимальный набор интерактивности таких карт должен включать интерактивность трех динамически изменяемых карт: операционную, аппликационную и понятийную (концептуальную) – и согласовываться с интерактивностью трех *O*, показанных Р. Ротом на рис. 1, причем не с каждым *O* в отдельности, а именно с динамически взаимодействующими всеми тремя *O*.

2. Существует необходимость применять в АтС гео- и картоплатформы от других, независимых производителей. Интерактивная картография должна обеспечить научную основу для использования таких гео- и картоплатформ как на операционной, так и на аппликационной страте АтС.

3. При производстве АтС национального уровня альтернативы паттернам нет. Понятно, что паттерны непросты для понимания и тем более реализации. Кроме того, нужны концептуальные (паттерны проектирования), аппликационные и операционные паттерны. Однако только очень крупные фирмы могут делать паттернами собственные решения, заставляя других применять их. Не очень понятно, что делать в этой ситуации производителям АтС: как правило, это небольшие коллективы разработчиков, которые не обладают ресурсами, чтобы использовать лучшие в отрасли решения, поскольку последние все время меняются, а ознакомление с ними требует затрат. Поэтому необходимо через паттерны определять тенденции, которые меняются медленнее, чем отдельные решения. Здесь должна помочь атласная интерактивная картография как наука. К сожалению, из монографии [11, гл. 2] следует, что для научно обоснованного манипулирования картами трех задействованных страт нужны языки карты для каждой из страт.

Библиографические ссылки

1. Cauvin C, Escobar F, Serradj A. *Thematic cartography. Volume 3. New approaches in thematic cartography*. London: ISTE; 2010. 291 p. Co-published by the «Wiley».
2. Kraak M-J, Ormeling F. *Cartography: visualization of geospatial data*. 3rd edition. Harlow: Prentice Hall; 2010. 198 p.
3. Hurni L. Atlas information systems. In: Shekhar S, Xiong H, Zhou X, editors. *Encyclopedia of GIS*. 2nd edition. [S. l.]: Springer; 2017. p. 85–92.
4. Roth RE. *Interacting with maps: the science and practice of cartographic interaction* [dissertation]. [S. l.]: The Pennsylvania State University; 2011. 215 p.
5. Roth RE. Cartographic interaction primitives: framework and synthesis. *The Cartographic Journal*. 2012;49(4):376–395. DOI: 10.1179/1743277412Y.0000000019.
6. Roth RE. Interactive maps: what we know and what we need to know. *Journal of Spatial Information Science*. 2013;6:59–115. DOI: 10.5311/JOSIS.2013.6.105.
7. Roth RE. Interactivity and cartography: a contemporary perspective on user interface and user experience design from geospatial professionals. *Cartographica*. 2015;50(2):94–115. DOI: 10.3138/cart.50.2.2427.
8. Roth RE, Çöltekin A, Delazari L, Filho HF, Griffin A, Hall A, et al. User studies in cartography: opportunities for empirical research on interactive maps and visualizations. *International Journal of Cartography*. 2017;3(sup1):61–89. DOI: 10.1080/23729333.2017.1288534.
9. Griffin AL, Robinson AC, Roth RE. Envisioning the future of cartographic research. *International Journal of Cartography*. 2017;3(sup1):1–8. DOI: 10.1080/23729333.2017.1316466.
10. Norman DA. *The design of everyday things*. New York: Basic Books; 1988. 247 p.
11. Чабанюк ВС. *Реляційна картографія: теорія та практика* [Інтернет]. Київ: Інститут географії НАН України; 2018 [процитовано 21 лютого 2019 р.]. Доступно по: <https://igu.org.ua/uk/node/22240>.
12. Буч Г, Рамбо Дж, Джекобсон А. Язык UML. *Руководство пользователя*. Москва: ДМК; 2001. 432 с.
13. Буч Г, Рамбо Дж, Якобсон И. Язык UML. *Руководство пользователя*. Мухин Н, переводчик. 2-е издание. Москва: ДМК Пресс; 2006. 496 с.
14. Гамма Э, Хелм Р, Джонсон Р, Влиссидес Дж. *Приемы объектно-ориентированного проектирования. Паттерны проектирования*. 2-е издание. Санкт-Петербург: Питер; 2010. 368 с.
15. Peterson GN. *Cartographer's toolkit: colors, typography, patterns*. [S. l.]: PetersonGIS; 2012. 169 p.
16. Bertin J. *Semiology of graphics: diagrams, networks, maps*. Berg WJ, translator. [S. l.]: Esri Press; 2010. 438 p.
17. Берлянт АМ, Востокова АВ, Кравцова ВИ, Лурье ИК, Сваткова ТГ, Серапинас ББ. *Картоведение*. Берлянт АМ, редактор. Москва: Аспект Пресс; 2003. 477 с. (Классический университетский учебник).

18. Donohue RG. *Web cartography with web standards: teaching, learning, and using open source web mapping technologies* [dissertation]. [S. l.]: University of Wisconsin-Madison; 2014. 167 p.
19. Руденко ЛГ, Бочковська АІ, Козаченко ТІ, Пархоменко ГО, Разов ВП, Ляшенко ДО та інш. *Національний атлас України. Наукові основи створення та їх реалізація*. Руденко ЛГ, редактор. Київ: Академперіодика; 2007. 408 с.
20. Чабанюк ВС, Дишлик ОП. Концептуальний каркас електронної версії Національного атласу України. *Український географічний журнал*. 2014;2:58–68. DOI: 10.15407/ugz2014.02.058.
21. Koláčný A. Cartographic information – a fundamental concept and term in modern cartography. *Cartographica*. 1977;14(1): 39–45. DOI: 10.3138/N587-4H37-2875-L16J.
22. Клар Дж. *Системология. Автоматизация решения системных задач*. Зуев МА, переводчик; Горлин АИ, редактор. Москва: Радио и связь; 1990. 544 с.
23. Chabaniuk V, Dyshlyk O. Atlas basemaps in Web 2.0 epoch. In: *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Volume XLI-B4. XXIII ISPRS Congress; 2016 July 12–19; Prague, Czech Republic*. [S. l.]: [s. n.]; 2016. p. 611–618. DOI: 10.5194/isprs-archives-XLI-B4-611-2016.
24. Bézivin J, Gerbé O. Towards a precise definition of the OMG/MDA framework. In: *Proceedings of the 16th IEEE International conference on Automated Software Engineering (ASE 2001); 2001 November 26–29; Coronado Island, San Diego, CA, USA*. [S. l.]: [s. n.]; 2001. p. 273–280.
25. Shneiderman B. Tree visualization with tree-maps: 2-d space-filling approach. *ACM Transactions on Graphics*. 1992;11(1): 92–99. DOI: 10.1145/102377.115768.
26. Sui DZ, Holt JB. Visualizing and analysing public-health data using value-by-area cartograms: toward a new synthetic framework. *Cartographica*. 2008;43(1):3–20. DOI: 10.3138/carto.43.1.3.
27. Бочковська АІ, Козаченко ТІ, Палієнко ВП, Пархоменко ГО, Разов ВП, Руденко ЛГ та інш. Електронна версія пілотного проекту «Національний атлас України». *Український географічний журнал*. 2000;1:48–61.
28. Richards M. *Software architecture patterns: understanding common architecture patterns and when to use them*. [S. l.]: O'Reilly; 2015. 46 p.

References

1. Cauvin C, Escobar F, Serradj A. *Thematic cartography. Volume 3. New approaches in thematic cartography*. London: ISTE; 2010. 291 p. Co-published by the «Wiley».
2. Kraak M-J, Ormeling F. *Cartography: visualization of geospatial data*. 3rd edition. Harlow: Prentice Hall; 2010. 198 p.
3. Humi L. Atlas information systems. In: Shekhar S, Xiong H, Zhou X, editors. *Encyclopedia of GIS*. 2nd edition. [S. l.]: Springer; 2017. p. 85–92.
4. Roth RE. *Interacting with maps: the science and practice of cartographic interaction* [dissertation]. [S. l.]: The Pennsylvania State University; 2011. 215 p.
5. Roth RE. Cartographic interaction primitives: framework and synthesis. *The Cartographic Journal*. 2012;49(4):376–395. DOI: 10.1179/1743277412Y.0000000019.
6. Roth RE. Interactive maps: what we know and what we need to know. *Journal of Spatial Information Science*. 2013;6:59–115. DOI: 10.5311/JOSIS.2013.6.105.
7. Roth RE. Interactivity and cartography: a contemporary perspective on user interface and user experience design from geospatial professionals. *Cartographica*. 2015;50(2):94–115. DOI: 10.3138/cart.50.2.2427.
8. Roth RE, Çöltekin A, Delazari L, Filho HF, Griffin A, Hall A, et al. User studies in cartography: opportunities for empirical research on interactive maps and visualizations. *International Journal of Cartography*. 2017;3(sup1):61–89. DOI: 10.1080/23729333.2017.1288534.
9. Griffin AL, Robinson AC, Roth RE. Envisioning the future of cartographic research. *International Journal of Cartography*. 2017;3(sup1):1–8. DOI: 10.1080/23729333.2017.1316466.
10. Norman DA. *The design of everyday things*. New York: Basic Books; 1988. 247 p.
11. Chabaniuk VS. *Reljacijska kartografija: teorija ta praktyka* [Relational cartography: theory and practice] [Internet]. Kyiv: Institute of Geography of the National Academy of Sciences of Ukraine; 2018 [cited 2019 February 21]. Available from: <https://igu.org.ua/uk/node/22240>. Ukrainian.
12. Booch G, Rumbaugh J, Jacobson I. *The Unified Modeling Language user guide*. [S. l.]: Addison-Wesley; 1998. 512 p. Russian edition: Booch G, Rumbaugh J, Jacobson I. *Yazyk UML. Rukovodstvo pol'zovatelya*. Moscow: DMK; 2001. 432 p.
13. Booch G, Rumbaugh J, Jacobson I. *The Unified Modeling Language user guide*. 2nd edition. [S. l.]: Addison-Wesley; 2005. 496 p. Russian edition: Booch G, Rumbaugh J, Jacobson I. *Yazyk UML. Rukovodstvo pol'zovatelya*. Mukhin N, translator. 2nd edition. Moscow: DMK Press; 2006. 496 p.
14. Gamma E, Helm R, Johnson R, Vlissides J. *Design patterns: elements of reusable object-oriented software*. [S. l.]: Addison-Wesley; 1995. 395 p. Russian edition: Gamma E, Helm R, Johnson R, Vlissides J. *Priemy ob'ektno-orientirovannogo proektirovaniya. Patterny proektirovaniya*. 2nd edition. Saint Petersburg: Piter; 2010. 368 p.
15. Peterson GN. *Cartographer's toolkit: colors, typography, patterns*. [S. l.]: PetersonGIS; 2012. 169 p.
16. Bertin J. *Semiology of graphics: diagrams, networks, maps*. Berg WJ, translator. [S. l.]: Esri Press; 2010. 438 p.
17. Berlyant AM, Vostokova AV, Kravtsova VI, Lur'e IK, Svatkova TG, Serapinas BB. *Kartovedenie* [Cartography]. Berlyant AM, editor. Moscow: Aspect Press; 2003. 477 p. (Classic university textbook). Russian.
18. Donohue RG. *Web cartography with web standards: teaching, learning, and using open source web mapping technologies* [dissertation]. [S. l.]: University of Wisconsin-Madison; 2014. 167 p.
19. Rudenko LG, Bochkov's'ka AI, Kozachenko TI, Parhomenko GO, Razov VP, Ljashenko DO, et al. *Nacional'nyj atlas Ukrainy. Naukovi osnovy stvorennja ta i'h realizacija* [National atlas of Ukraine. Scientific backgrounds of creation and their realization]. Rudenko LG, editor. Kyiv: Akademperiodyka; 2007. 408 p. Ukrainian.

20. Chabaniuk VS, Dyshlyk OP. Conceptual framework of the National Atlas of Ukraine electronic version. *Ukrai'ns'kyj geografichnyj zhurnal*. 2014;2:58–68. Ukrainian. DOI: 10.15407/ugz2014.02.058.
21. Koláčný A. Cartographic information – a fundamental concept and term in modern cartography. *Cartographica*. 1977;14(1): 39–45. DOI: 10.3138/N587-4H37-2875-L16J.
22. Klir GJ. *Architecture of systems problem solving*. New York: Plenum Press; 1985. 540 p.
Russian edition: Klir G. *Sistemologiya. Avtomatizatsiya resheniya sistemnykh zadach*. Zuev MA, translator; Gorlin AI, editor. Moscow: Radio i svyaz'; 1990. 544 p.
23. Chabaniuk V, Dyshlyk O. Atlas basemaps in Web 2.0 epoch. In: *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Volume XLI-B4. XXIII ISPRS Congress; 2016 July 12–19; Prague, Czech Republic*. [S. l.]: [s. n.]; 2016. p. 611–618. DOI: 10.5194/isprs-archives-XLI-B4-611-2016.
24. Bézivin J, Gerbé O. Towards a precise definition of the OMG/MDA framework. In: *Proceedings of the 16th IEEE International conference on Automated Software Engineering (ASE 2001); 2001 November 26–29; Coronado Island, San Diego, CA, USA*. [S. l.]: [s. n.]; 2001. p. 273–280.
25. Shneiderman B. Tree visualization with tree-maps: 2-d space-filling approach. *ACM Transactions on Graphics*. 1992;11(1): 92–99. DOI: 10.1145/102377.115768.
26. Sui DZ, Holt JB. Visualizing and analysing public-health data using value-by-area cartograms: toward a new synthetic framework. *Cartographica*. 2008;43(1):3–20. DOI: 10.3138/carto.43.1.3.
27. Bochkovska AI, Kozachenko TI, Palienko VP, Parhomenko GO, Razov VP, Rudenko LG, et al. [Electronic version of the pilot project «The National Atlas of Ukraine»]. *Ukrai'ns'kyj geografichnyj zhurnal*. 2000;1:48–61. Ukrainian.
28. Richards M. *Software architecture patterns: understanding common architecture patterns and when to use them*. [S. l.]: O'Reilly; 2015. 46 p.

Статья поступила в редколлегию 12.04.2019.
Received by editorial board 12.04.2019.

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В МАКРОФИТАХ ОЗЕР БЕЛАРУСИ

Н. В. ЖУКОВСКАЯ¹⁾, Н. В. КОВАЛЬЧИК¹⁾, Б. П. ВЛАСОВ¹⁾, Т. МОЛЕНДА²⁾

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

²⁾Силезский университет в Катовицах, ул. Бенджиньска, 60, 41-200, г. Сосновец, Польша

Проанализирована пространственная дифференциация концентрации тяжелых металлов (Ti, V, Cr, Mn, Ni, Cu, Pb) в высшей водной растительности озер Беларуси. Данные о содержании элементов в макрофитах Беларуси сопоставимы с показателями, полученными в Польше и других соседних странах. Озерным растениям свойственна избирательность в накоплении металлов, различающаяся для экологических групп погруженных, надводных растений и макрофитов с плавающими листьями. Установлены статистически значимые отличия между бассейнами рек по содержанию Mn, Cu, Pb в погруженных макрофитах озер. Наибольшими концентрациями Mn в тканях макрофитов всех экологических групп характеризуются бассейны рек Днепр, Припять, Западный Буг, наименьшими – р. Березины. Наименьшее количество Pb обнаружено в водных растениях озер бассейнов рек Западный Буг и Днепр. Водные растения озер различной степени трофности отличаются на статистически значимом уровне по содержанию Mn и Cu, наименьшие концентрации Mn в тканях макрофитов характерны для мезотрофных озер с признаками олиготрофии. С помощью пространственного кластерного анализа выделены восемь групп озер по содержанию Mn, Cu и Pb в высшей водной растительности. Группа озер Браславского района характеризуется повышенным содержанием Mn и Cu в тканях макрофитов, озера бассейна р. Вилии отличаются наименьшей среди других групп средней концентрацией Cu и Pb в водных растениях, озера северной части Беларуси выделяются повышенным содержанием Cu и Pb в тканях растений.

Ключевые слова: тяжелые металлы; высшая водная растительность; экологические группы; пространственная изменчивость; мониторинг; трофический статус озер.

Образец цитирования:

Жуковская НВ, Ковальчик НВ, Власов БП, Моланда Т. Пространственная изменчивость содержания тяжелых металлов в макрофитах озер Беларуси. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология.* 2019; 2:40–51 (на англ.).
<https://doi.org/10.33581/2521-6740-2019-2-40-51>

For citation:

Zhukovskaya NV, Kavalchik NV, Vlasov BP, Molenda T. Spatial variations of trace elements contents in macrophytes within Belarusian lakes. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology.* 2019;2:40–51.
<https://doi.org/10.33581/2521-6740-2019-2-40-51>

Авторы:

Наталья Викторовна Жуковская – кандидат географических наук, доцент; доцент кафедры почвоведения и географических информационных систем факультета географии и геоинформатики.

Надежда Владимировна Ковальчик – кандидат географических наук, доцент; доцент кафедры почвоведения и географических информационных систем факультета географии и геоинформатики.

Борис Павлович Власов – доктор географических наук, профессор; заведующий научно-исследовательской лабораторией озераведения факультета географии и геоинформатики.

Тадеуш Моланда – доктор географических наук; доцент кафедры физической географии факультета наук о Земле.

Authors:

Natalia V. Zhukovskaya, PhD (geography), docent; associate professor at the department of soil science and geographic information systems, faculty of geography and geoinformatics.
natazhuk@gmail.com

Nadzeya V. Kavalchik, PhD (geography), docent; associate professor at the department of soil science and geographic information systems, faculty of geography and geoinformatics.
kovalchiknv@gmail.com

Boris P. Vlasov, doctor of science (geography), full professor; head of the laboratory of lakes research, faculty of geography and geoinformatics.
vlasov@bsu.by

Tadeusz Molenda, doctor of science (geography); associate professor at the department of physical geography, faculty of earth science.
tedimolenda@interia.pl

SPATIAL VARIATIONS OF TRACE ELEMENTS CONTENTS
IN MACROPHYTES WITHIN BELARUSIAN LAKESN. V. ZHUKOVSKAYA^a, N. V. KAVALCHYK^a, B. P. VLASOV^a, T. MOLEND^b^aBelarusian State University, 4 Niezaliežnasci Avenue, Minsk 220030, Belarus^bUniversity of Silesia in Katowice, 60 Będzińska Street, Sosnowiec 41-200, Poland

Corresponding author: N. V. Zhukovskaya (natazhuk@gmail.com)

The spatial variation of trace elements contents of heavy metals (Ti, V, Cr, Mn, Ni, Cu, Pb) in higher aquatic plants of Belarusian lakes has been analyzed according to monitoring data. Natural variability limits of metals contents in aquatic plants of lakes within principal rivers basins of Belarus have been determined. The data on trace elements contents in macrophytes of Belarus are comparable with the data obtained in Poland and other neighbouring countries. Aquatic plants in lakes are characterized by selective metals accumulation, which is different for ecological groups of submersed, emergent and macrophytes with floating leaves. Statistically significant differences between river basins in the contents of Mn, Cu and Pb have been established in the submersed macrophytes. For all ecological groups, the highest concentrations of Mn in lakes macrophytes tissues are observed in the basins of the Dniapro, Prypiać, Zachodni Buh, and the lowest – the Biarezina. The lakes of the Zachodni Buh and Dniapro basins are distinguished by lower Pb concentrations in aquatic plants. Significant differences in the content of Mn and Cu in the plant tissues within different trophicity lakes have been established. The lowest concentrations of Mn are observed in mesotrophic lakes with signs of oligotrophy. Group analysis of lakes based on the content of Mn, Cu, Pb in macrophyte tissues and spatial constraints has been performed. Among the allocated groups are the lakes of the Braslav district characterized by elevated content of Mn and Cu; lakes of the Viliya basin, distinguished by the lowest average levels of Cu and Pb; lakes of the northern part of Belarus, notable for increased contents of Cu and Pb.

Keywords: trace elements; higher aquatic plants; ecological groups; spatial variability; monitoring; lakes trophic level.

Introduction

Aquatic macrophytes may accumulate chemical elements in concentrations exceeding their content in the environment. The concentrations of chemical elements in aquatic plants can be more than 100 000 times higher than in the associated water [1]. This accumulation activity determines their use in the system of monitoring higher aquatic plants and monitoring the state of water bodies in the National Environment Monitoring System of the Republic of Belarus. A major limit to use macrophytes as bioindicators is the variability of elements in the organisms. The most important causes of the variability are a seasonal cycle, the biological state of organisms (species, size, age, and probably growth rate) and physical environment [2]. Chemical composition of water and bottom sediments is the result of climatic, hydrological, mechanical, physical, chemical, biological and others processes occurring both on the catchment area and in the reservoir itself. The aim of this paper is to identify the spatial characteristics of trace elements (Ti, V, Cr, Mn, Ni, Cu, Pb) accumulated by aquatic plants in Belarusian lakes.

Materials and methods

In the present study we have used data from the National Environment Monitoring System. The accumulation of heavy metals by higher aquatic plants within Belarus reservoirs and lakes from 2000 to 2015 has been analyzed. A monitoring network on lakes includes 46 key sites (fig. 1). The representativeness of the network is ensured by the monitoring objects distribution in accordance with the lake percentage and physiographic zoning of Belarus. The lakes differ in the hollows origin, morphometry, and degree of overgrowing.

Bottom sediments in macrophytes growing locations are mainly represented by sand and silted sand in littoral zones and deeper sandy silts. The samples were formed from macrophytes tissues of various ecological groups and have been considered in this study: emergent (*Acorus calamus* L., *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud., *Carex rostrata* Stokes, *Carex lasiocarpa* Ehrh. and *Carex acuta* L., *Sparganium erectum* L., *Sparganium natans* L., *Glyceria maxima* (O. Hartm) Holmb, *Glyceria fluitans* (L.) R. Br., *Cladium mariscus* (L.) Pohl, *Schoenoplectus lacustris* (L.), *Scirpus sylvaticus* L., *Typha angustifolia* L., *Typha latifolia* L., *Sagittaria sagittifolia* L., *Butomus umbellatus* L., *Equisetum fluviatile* L., *Zizania palustris* L., *Zizania latifolia* (Griseb.) Stapf, *Alisma plantago-aquatica* L.); submersed (*Hydrilla verticillata* (L. fil.) Royle, *Potamogeton lucens* L., *Potamogeton perfoliatus* L., *Potamogeton trichoides* Cham. et Schlecht., *Potamogeton praelongus*

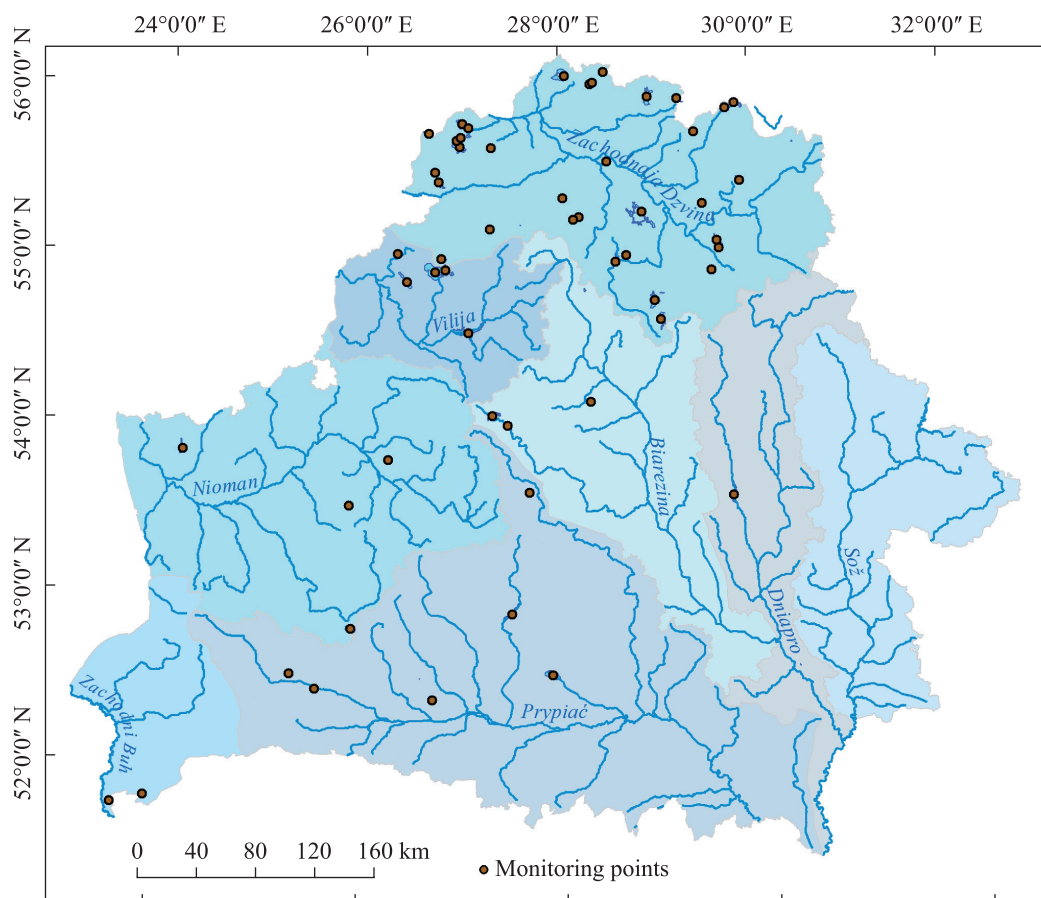


Fig. 1. Macrophyte sampling locations

Wulf., *Potamogeton crispus* L., *Potamogeton acutifolius* Link, *Potamogeton compressus* L., *Potamogeton obtusifolius* Mert. et Koch, *Potamogeton nodosus* Poir., *Potamogeton friesii* Rupr., *Myriophyllum spicatum* L., *Myriophyllum verticillatum* L., *Elodea canadensis* Michx., *Ceratophyllum submersum* L., *Ceratophyllum demersum* L., *Stratiotes albidus* L., *Isoetes lacustris* L., *Littorella uniflora* (L.) Aschers; floating-leaved (*Persicaria amphibian* (L.), *Nuphar lutea* (L.) Smith., *Nymphaea candida* J. et C. Presl., *Potamogeton natans* L.). Charophyta, which are often referred to as higher aquatic vegetation.

The time of sampling corresponds to maximum biomass development and chemicals accumulation by plants during the flowering period (July – August).

Analytical determination of trace elements (Ti, V, Cr, Mn, Ni, Cu, Pb) is performed by emission spectral analysis methods described by Zyrin, Obukhov [3].

For the analysis and visualization of spatial variability of trace elements contents in lake macrophytes, ArcGIS 10.3 geographic database has been designed and developed. Vectors datasets have been created based on OpenStreetMap data¹. Point feature class «lakes_monitoring» contains characteristics of monitoring points. The relationship class has been created to associate a table with data on trace elements contents in macrophytes and the «lakes_monitoring» feature class. Watersheds of principal rivers within Belarus have been identified based on SRTM digital relief model² using ArcGIS Hydrology tools.

Statistical data analysis includes the variable distribution assessment with the help of histograms, normal quantile – quantile (Q–Q) plots and fitting criterions (the Kolmogorov – Smirnov test, the Shapiro – Wilk test), as well as data transformation, calculating descriptive statistics, the Kruskal – Wallis test which is the most effective for samples with a markedly different number of observations. For the lognormal (ln) distribution, the geometric mean (*g*) is taken as the average. In the case of truncated samples, with frequency of trace elements occurrence more than 50 % the median is used as the average. The level of significance is set at $p \leq 0.01$ (two-tailed).

¹Download OpenStreetMap data for this region: Europe [Electronic resource]. URL: <http://download.geofabrik.de/europe.html> (date of access: 11.01.2019).

²SRTM data // CGIAR – Consortium for Spatial Information (CGIAR-CSI) [Electronic resource]. URL: <http://srtm.csi.cgiar.org/srtmdata/> (date of access: 11.01.2019).

Cluster analysis of the examined lakes on the base of trace elements contents in macrophyte tissues and spatial limitation has been performed using the ArcGIS Grouping Analysis tool (uses a K-means algorithm).

Distribution parameters of trace elements in lakes macrophytes are compared in terms of principal Belarusian river basins by ecological groups of aquatic plants: submersed, floating-leaved, emergent.

Results and discussion

Geochemical features of aquatic plants are largely determined by their membership in ecological groups, among which systematic differences can appear [4]. Data analysis has shown that the average elemental contents are different in aquatic plants groups. The highest concentrations of all analyzed elements are characteristic of submersed macrophytes (table 1).

Such a high accumulation capability of submersed macrophytes in relation to trace elements was noted by many authors [5; 6]. Submersed plant leaves have a very thin cuticle. The leaves of submersed plants are therefore very good at taking up metals directly from the water [7].

Table 1

**Metals contents in macrophytes
of various ecological groups within reservoirs**

Element (frequency, %)	Submersed, mg/kg (n = 305)	Floating-leaved, mg/kg (n = 132)	Emergent, mg/kg (n = 320)
Ti (51–67)	4.3 (n. d. – 973)	1.28 (n. d. – 305)	1.18 (n. d. – 184)
V (30–39)	5.37 (n. d. – 141)	2.01 (n. d. – 19.0)	2.34 (n. d. – 19.3)
Cr (23–42)	4.32 (n. d. – 94.2)	0.58 (n. d. – 7.32)	0.85 (n. d. – 14.8)
Mn (100)	296 (0.60–9158)	101.4 (0.23–3957)	23.1 (0.03–3259)
Ni (23–40)	1.18 (n. d. – 23.6)	0.094 (n. d. – 0.87)	0.39 (n. d. – 23.3)
Cu (100)	2.25 (0.07–235.6)	0.32 (0.07–12.2)	1.37 (0.05–76.1)
Pb (100)	2.93 (0.08–471.2)	0.39 (0.04–18.3)	0.42 (0.03–93.1)

Note. N. d. means not detected.

Ti, V, Mn and Pb concentrations in all examined aquatic plants are within the range described by Markert [8]. Cu and Ni abundance is lower than the average content in a plant. The data on trace elements contents in macrophytes of Belarus are mainly comparable with the data obtained in Poland and other neighboring countries (table 2).

Table 2

**Elemental composition of aquatic macrophytes obtained
in this study compared with data from [5; 8–14], mg/kg dry wt**

Indicator	Ti	V	Cr	Mn	Ni	Cu	Pb
Average contents in plant [8]	0.02–56.0	0.001–10.0	0.02–1.0	1–700	0.4–4.0	5–20	0.1–5.0
Normal level in plant leaves [9]	–	0.2–1.5	0.1–1.5	30–300	0.1–1.5	5–30	5–10
Poland							
Słup Dam Reservoir [10]							
<i>Potamogeton crispus</i> L.	–	–	–	–	5.9	17.5	5.4
<i>Ceratophyllum demersum</i> L.	–	–	–	–	6.9	9.7	5.6
<i>Phragmites communis</i> Trin.	–	–	–	–	5.7–8.0	5.4–12.3	2.6–9.9
Dominickie Lake [11]							
<i>Ceratophyllum demersum</i> L.	–	–	1.4	304	1.28	2.5	16.9
West Poland lakes [12]							
<i>Nymphaea alba</i>	–	–	1.2–4.7	88–247	1.1–1.2	1.7–4.8	8.7–4.8
<i>Nuphar luteum</i>	–	–	1.4–3.1	253–345	1.4–1.6	1.8–2.2	10.5–11.9
Lake Symsar [12]							
<i>Myriophyllum spicatum</i> L.	–	–	3.9	1190	24	4.2	6.0
<i>Nymphaea alba</i> L.	–	–	1.0	510	3.0	0.9	Less 1
<i>Typha angustifolia</i> L.	–	–	3.6	540	23	3.3	15

Ending table 2

Indicator	Ti	V	Cr	Mn	Ni	Cu	Pb
The Russian Federation							
Bugach Lake [13] Macrophytes	297	1.71	8.66	407	7.30	50.5	0.57
Ivan'kovskoe Reservoir [5] <i>Potamogeton perfoliatus</i> L.	–	2.6	5.0	1240	7.1	8.8	1.4
<i>Ceratophyllum demersum</i> L.	–	0.44	11.8	5260	14	55.3	4.5
<i>Myriophyllum spicatum</i> L.	–	Less 0.45	3.0	2898	1.8	14.5	1.0
Ukraine							
Zaporozhian Reservoir [14] <i>Potamogeton perfoliatus</i> L.	–	–	–	960–1830	6.2–19.0	6–18	3.0–6.1
<i>Phragmites australis</i>	–	–	–	29–112	1.7–4.6	3.1–6.2	0.7–1.3
Belarus							
Lakes and reservoirs							
<i>Potamogeton perfoliatus</i> L.	2.7	3.4	1.8	186	0.41	1.4	1.8
<i>Potamogeton crispus</i> L.	4.0	0.66	1.7	225	0.99	1.8	2.77
<i>Myriophyllum spicatum</i> L.	4.0	5.6	4.7	269	1.15	2.8	4.4
<i>Ceratophyllum demersum</i> L.	1.3	5.4	6.2	702	1.2	3.3	4.3
<i>Nymphaea alba</i> L.	3.0	2.1	0.25	69	0.11	0.28	0.18
<i>Nuphar luteum</i>	0.14	1.6	0.34	79	0.07	0.25	0.18
<i>Phragmites australis</i>	0.05	2.1	0.35	11.8	0.09	2.0	0.49
<i>Typha angustifolia</i> L.	1.47	0.35	0.20	110.0	0.02	1.2	0.17

Non-parametric dispersion analysis of Kruskal – Wallis has been used to compare Mn, Cu and Pb contents (elements with 100 % occurrence) in lake macrophytes. The results of the test demonstrate statistically significant differences between river basins in Mn ($H = 26.7$, $df = 6$, $p < 0.001$), Cu ($H = 23.3$, $df = 6$, $p < 0.001$) and Pb content ($H = 31.8$, $df = 6$, $p < 0.001$) in submersed macrophytes; Mn ($H = 32.7$, $df = 6$, $p < 0.001$) and Pb ($H = 17.0$, $df = 6$, $p < 0.009$) content in emergent macrophytes; Mn ($H = 31.2$, $df = 6$, $p < 0.001$) content in submersed macrophytes with floating leaves.

The highest spatial variations is noted in taking up of Mn by macrophytes (fig. 2). The average Mn content in submerged macrophytes within different catchments ranges from 1736 (the Dniapro River Basin) to 208 mg/kg (the Biarezina River Basin).

A similar pattern of spatial variability for examined trace element contents in lakes macrophytes for all ecological groups has been revealed (fig. 2 and 3). The highest concentrations of Mn in lakes macrophytes tissues are observed in the basins of the Dniapro, Prypiac, Zachodni Buh, and the lowest – in the Biarezina. The lakes of the Zachodni Buh and Dniapro basins are distinguished by the lowest Pb contents in aquatic plants. The average rank variation of Mn, Cu and Pb contents in submersed and emergent macrophytes in river basins is presented in fig. 4 and 5. The analyzed elements are distinguished by the spatial variability nature. Spatial variation of Pb and Cu contents in submersed as well as emergent macrophytes at principal river basins level is similar in nature.

Metals concentration levels in macrophytes depends on a large number of various factors. The chemical composition of aquatic plants reflects the geochemical features of lakes bottom sediments, rocks and soils within catchment areas and it depends on lake morphometrical characteristics and production processes, on technogenesis products flow into reservoirs from local sources.

In general, trace elements contents in rocks and soils of Belarus are lower than the average world values. So, Belarusian soils are depleted of Ti, Mn, V, Ni, Cu about 3 times, Cr – 2 times, the Pb content is comparable to Clarke values [15]. In lake sediments elements accumulate in lower concentrations than in soils, with the exception of Mn and Pb. Glacial complexes of the poozersky and pripyat ages [16], as well as poozersko-holocene alluvial, lake-alluvial and aeolian accumulations, holocene alluvial and bog formations prevail among the covering deposits. In some areas, due to a variegated lithological composition, the covering deposits can be characterized by elevated trace elements concentrations [17].

The territory within the Zachodniya Dzvina River Basin is characterized by the highest lake density. In conditions of a significant vertical dissection of relief the lake hollows have a deep (up to 30–50 m) erosional incision, and the catchments have been developed and plowed up. A lot of allochthonic terrigenous material enters the reservoirs. Silicate type of sedimentation is typical for lakes [18]. The soils within the Zachodniya Dzvina River Basin are distinguished by the highest concentrations of Cu, Ni, Cr, to a lesser extent Ti, the lowest – Zr [19].

Within the basins of the Viliya and the Nioman as well as the Biarezina (the right tributary of the Dniapro) both low-flowing lakes with organo-silicate, mixed and carbonate sediments, and biogenic lithogenesis lakes with an increased amount of organic matter prevail. The soils of the Nioman River Basin are characterized by a high content of Mn, low – Ni, Co and Cr.

The territories of the Dniapro and Sož river basins are distinguished by low lakes density, well-defined surface runoff and the development of suffusion processes. A reduced content of trace elements except Ni has been noted, the accumulation of which is associated with the minerals aleuritic fraction that predominates in the composition of covering deposits [20]. The low forest cover within the Dniapro Basin (22 %) indicates an increase in the intensity of the input of biogenic and terrigenous material into water bodies.

In the Zachodni Buh Basin, there is a high level of forest cover (60 %), water-glacial plains dominate with sandy soils which are poor of trace elements. Within the Prypiač River Basin, extensive plains of river terraces and sandurs with swampy lowerings and flat lake hollows are widespread. Lake density is low, silicate-organic, organo-silicate, mixed and carbonate sediments form in weak-flow lakes. The geochemical specificity of soils in this basin reveals Fe accumulation, low contents of Mg and trace elements (Ti, Mn, Ni, Co, Cr) compared with the average values in Belarus [19].

The modern formation of lake sediments on the territory of Belarus is influenced by technogenesis. There is increasing the flow of terrigenous material (mainly clayey) from watersheds (with which Ti, Mn, Zn, Cr, V, Pb are associated) as a result of the agricultural and reclamation use of the land. The geochemical mobility of Mn, Cu, Zn is increasing as a result of organo-mineral interaction [18]. Some abnormal concentrations of Pb, Ni, Cu, Cr in lake sediments are associated with the impact of local technogenic sources [21].

Direct inheritance of the chemical composition of bottom sediments from elements content in soils and rocks within catchment areas has not been revealed. Farhat and Aly [22] suggested that the organic matter was more important in controlling heavy metals distribution. Statistically significant relationships between analyzed trace elements contents in macrophytes tissues and bottom sediments has been determined only for Mn.

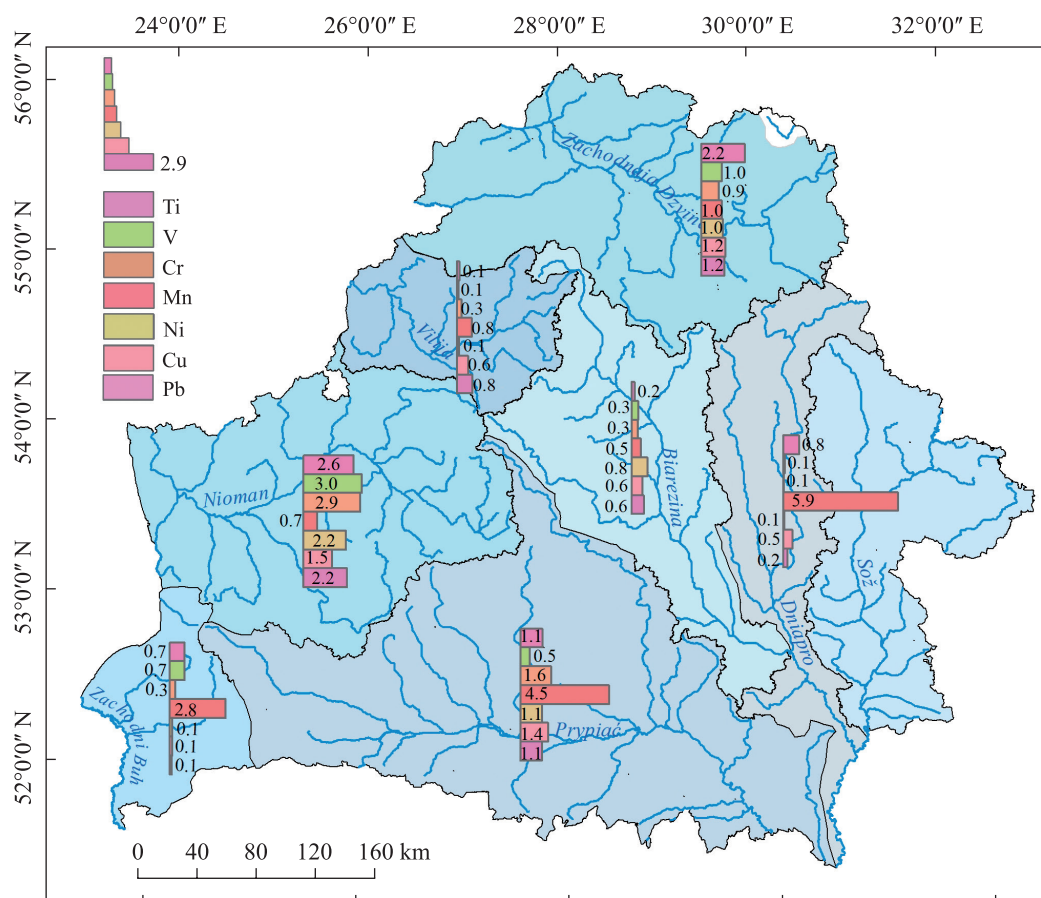


Fig. 2. Relative trace element abundances in submersed macrophytes of Belarusian lakes within principal river basins

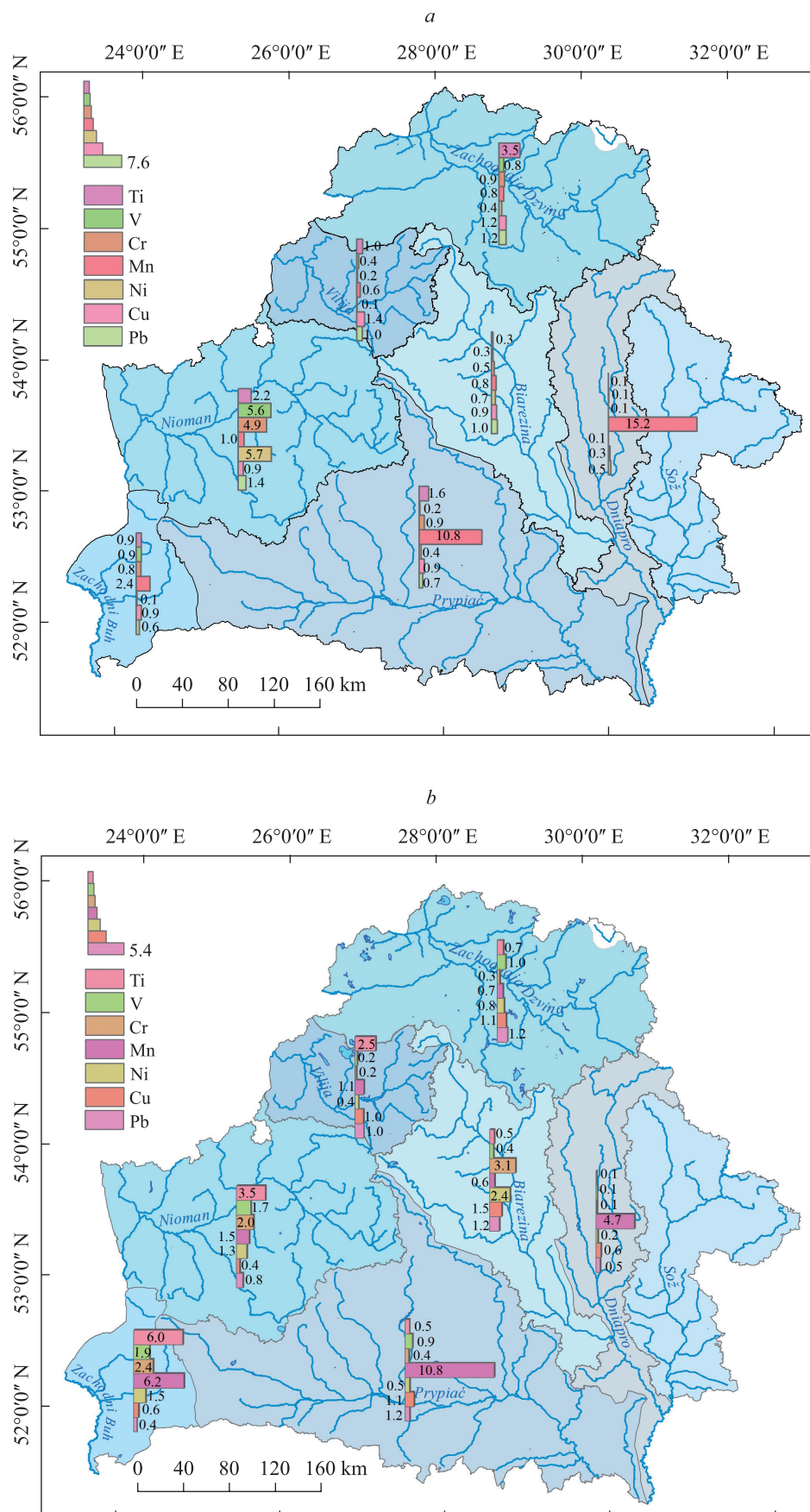


Fig. 3. Relative trace element abundances in emerged (*a*) and submersed with floating leaves (*b*) macrophytes of Belarusian lakes within principal river basins

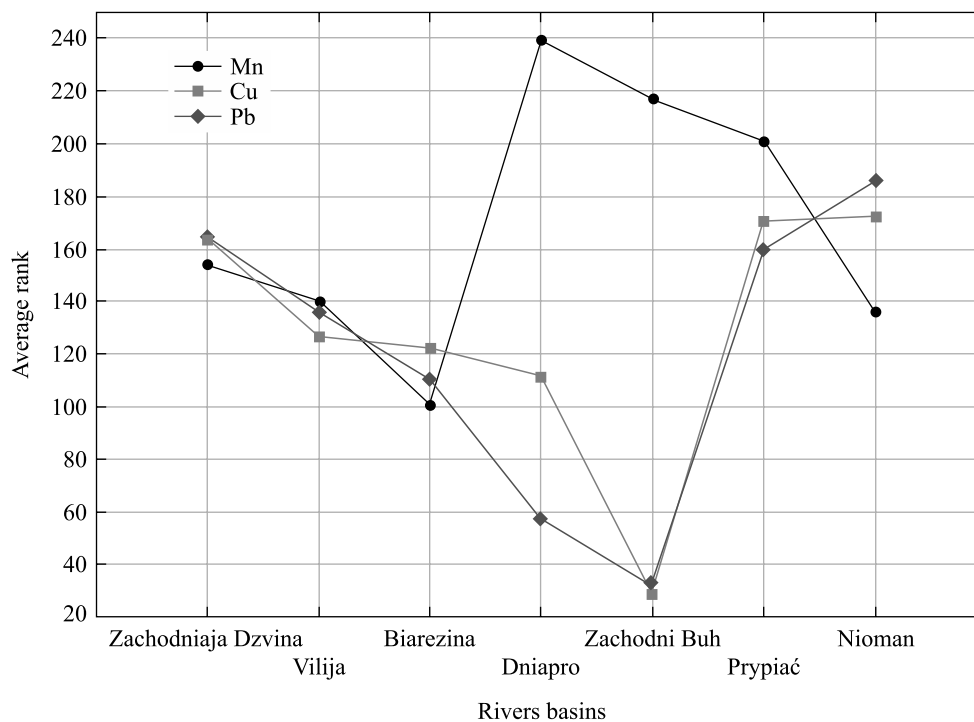


Fig. 4. Average rank variation of Mn, Cu, Pb contents in submersed lake macrophytes by principal river basins

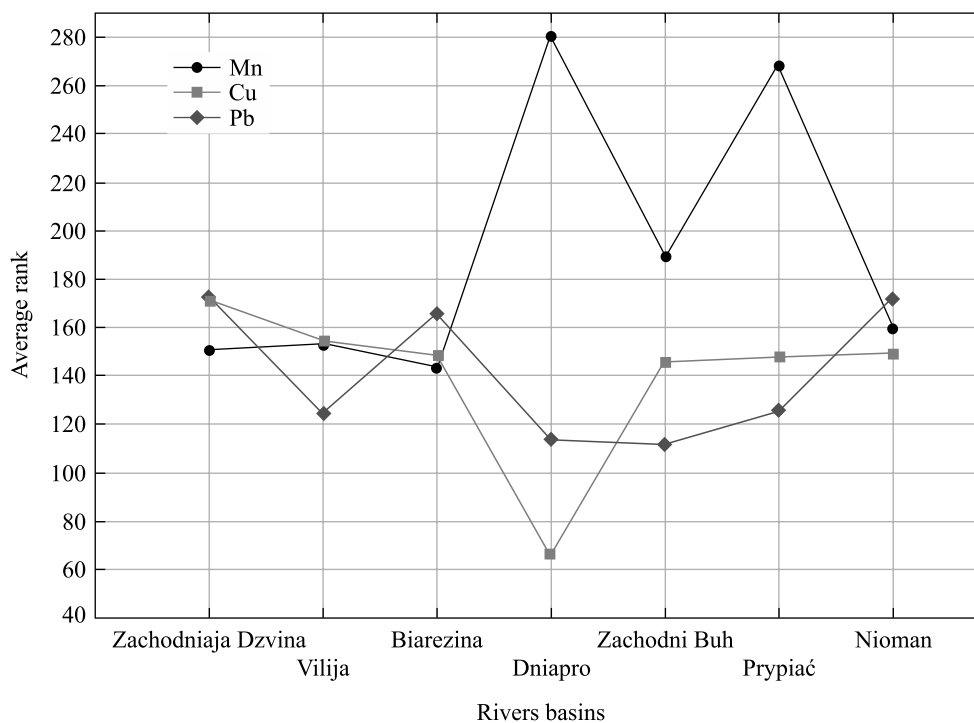


Fig. 5. Average rank variation of Mn, Cu, Pb contents in emerged lake macrophytes by principal river basins

A fairly complete picture of the ecological conditions for the growth of macrophytes gives the degree of trophic water bodies. The effect of trophic status on trace elements contents in aquatic plants was estimated using the example of submersed macrophytes (table 3). Statistically significant differences in Mn and Cu contents in the tissues of plants growing in lakes of varying trophicity have been established (H variates from 16.2 to 16.9, $p < 0.01$). The lowest concentration of Mn has been observed in plant tissues of mesotrophic lakes with signs of oligotrophy. This dependence is also typical of plants in other ecological groups (fig. 6).

It should be noted that within the Zachodni Buh and Dniapro basins standing out for high Mn content in aquatic plants, eutrophic lakes make up 100 % of the sample (fig. 7).

Cluster analysis of monitoring points based on Mn, Cu and Pb contents in macrophyte tissues and spatial constraints has been performed. Eight clusters have been allocated (fig. 8).

Table 3

Trace elements contents in submersed plants
within lakes of different trophic status, mg/kg

Trophic status	Ti	V	Cr	Mn	Ni	Cu	Pb
Mesotrophic lakes with signs of oligotrophy ($n = 64$)	3.87	9.24	7.37	125	2.04	2.84	3.1
Mesotrophic ($n = 87$)	13.6	6.38	4.45	363	1.23	3.18	4.2
Eutrophic ($n = 146$)	1.65	3.16	3.12	464	0.76	1.82	2.39
Dystrophic ($n = 8$)	0.14	2.30	–	237	–	0.35	2.04

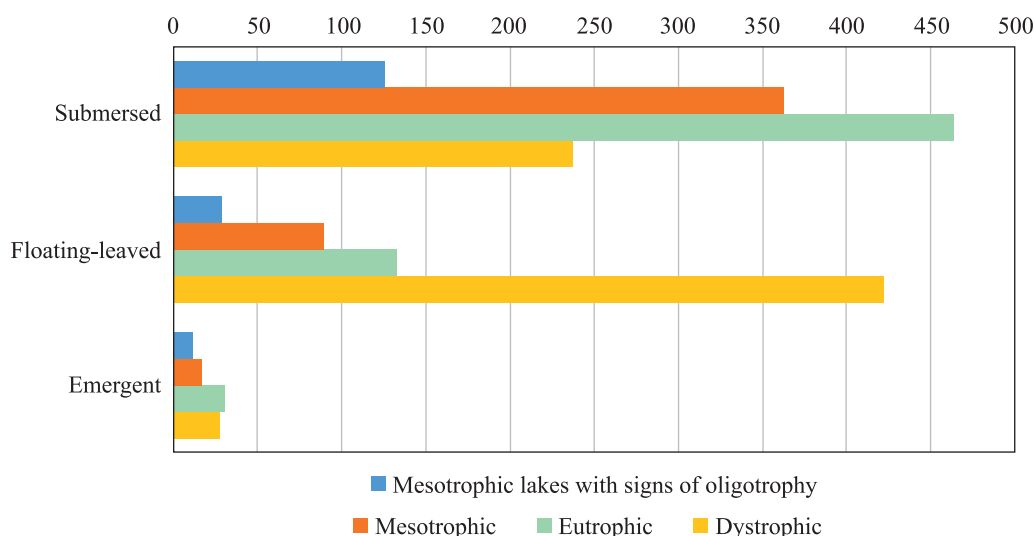


Fig. 6. Mn average content in macrophytes within lakes of different trophic status, mg/kg

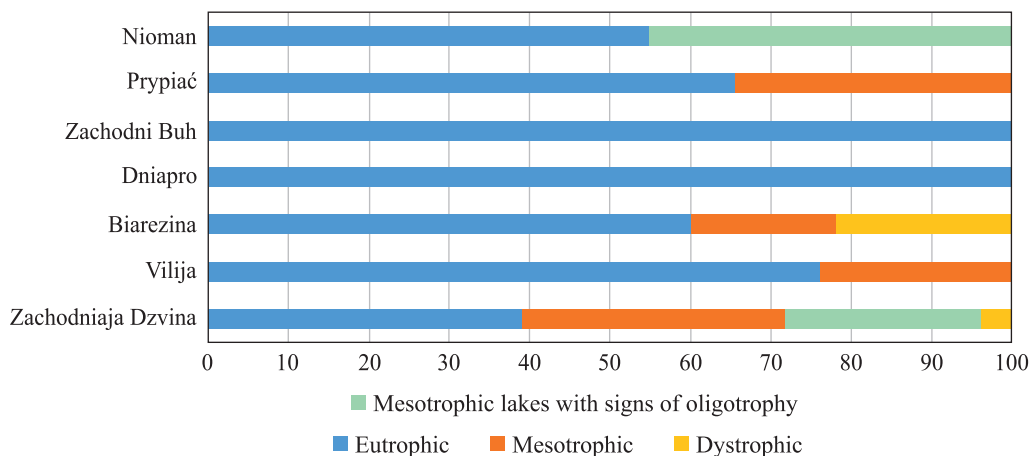


Fig. 7. Percentage of different trophic status lakes, %

The first group consists of the Viliya Basin lakes, which are distinguished by lower average levels of the elements (Mn, Cu, Pb). The second group includes examined lakes of the Braslav district characterized by elevated content of Mn and Cu (fig. 9). Bredna Lake (maximum Pb content), Lieskavičy Lake (maximum Mn content) and Sviciaž Lake (elevated Pb and Cu contents) form separate groups. Lakes of the northern part of Belarus, which are notable for elevated contents of Cu and Pb are combined into the sixth group. The lakes of the Zachodni Buh and Prypiač basins form a separate group described by elevated Mn concentration in macrophytes. The latter cluster includes lakes within the Biarezina, Dniapro and Sož basins and the southern part of the Zachodniaja Dzvina Basin.

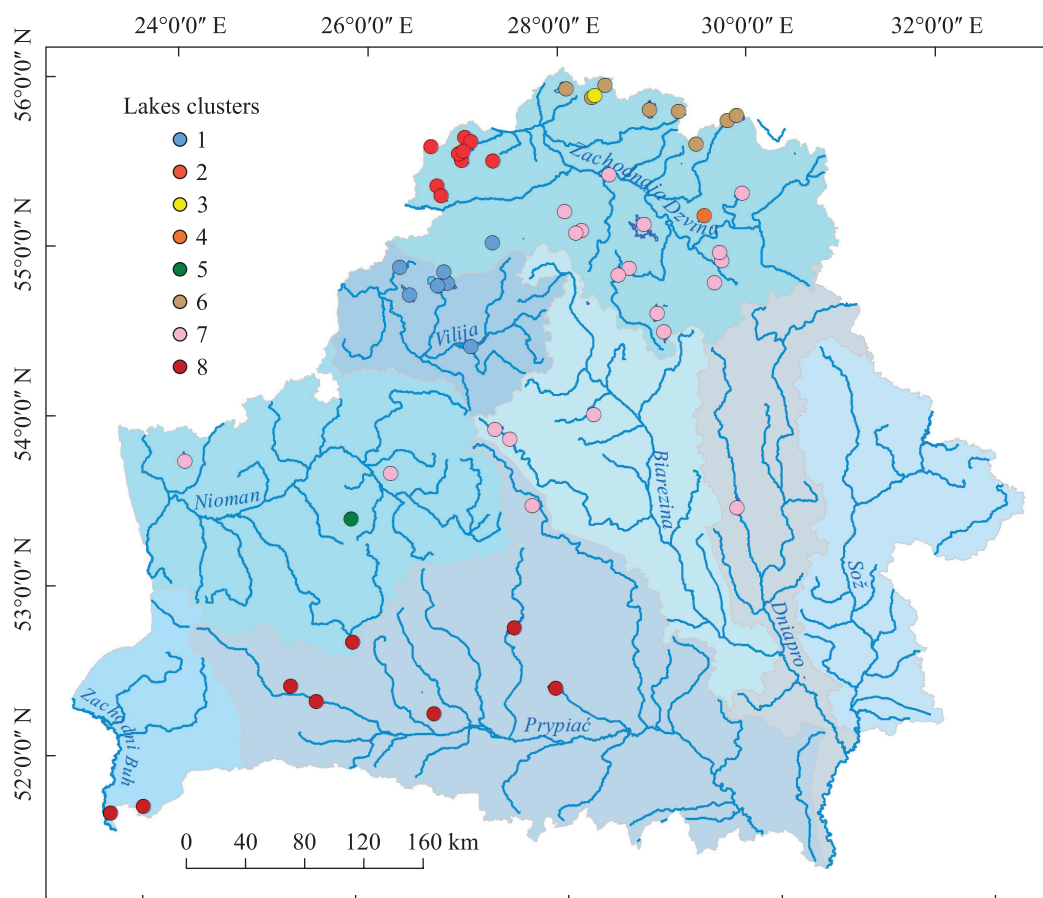


Fig. 8. Cluster analysis of lakes based on the content of Mn, Cu, Pb in macrophyte tissues

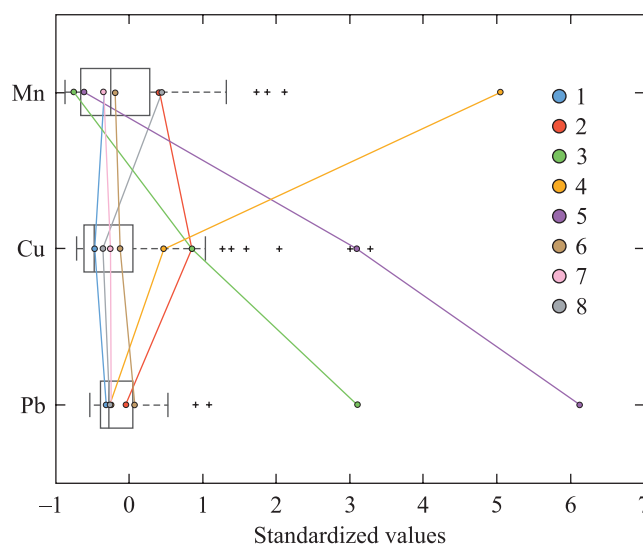


Fig. 9. Mn, Cu and Pb average contents (standardized values) in submersed macrophytes of identified lakes groups

Conclusion

The variation of trace elements contents in lake macrophytes on principal river basins has been investigated. Statistically significant differences between river basins in the contents of Mn, Cu and Pb in submersed macrophytes, Mn and Cu in emergent macrophytes and Mn in macrophytes with floating leaves have been established. For all ecological groups the highest concentrations of Mn in lake macrophytes tissues are observed in the basins of the Dniapro, the Prypiac and the Zachodni Buh, and the lowest – in the Biarezina. The lakes of the Zachodni Buh and Dniapro basins are distinguished by the lowest Pb contents in aquatic plants.

The lakes trophic status is an important factor determining the spatial variability of trace elements accumulation in macrophyte tissues. Within the Zachodni Buh and Dniapro basins standing out for the highest Mn content in aquatic plants, eutrophic lakes make up 100 % of the sample.

Based on Mn, Cu and Pb contents in macrophyte tissues and spatial constraints eight lakes clusters has been allocated. Among the groups are the lakes of the Braslav district characterized by elevated content of Mn and Cu; lakes of the Viliya Basin, which are distinguished by lower average levels of the elements; lakes of the northern part of Belarus, which are notable for elevated contents of Cu and Pb. Separate groups form Bredna Lake (maximum Pb content) and Sviciaz Lake (elevated Pb and Cu contents).

Cognition of spatial distribution features of trace elements contents in macrophytes tissues contributes to the improvement in the system of monitoring higher aquatic plants and monitoring the state of water bodies in general.

Библиографические ссылки

1. Albers PH, Camardese MB. Effects of acidification on metal accumulation by aquatic plants and invertebrates. 1. Constructed wetlands. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 1993 June;12(6):959–967. DOI: 10.1002/etc.5620120602.
2. Ravera O, Cenci R, Beone GM, Dantas M, Lodigiani P. Trace element concentrations in freshwater mussels and macrophytes as related to those in their environment. *Journal of Limnology*. 2003;62(1):61–70. DOI: 10.4081/jlimnol.2003.61.
3. Зырин НГ, Обухов АИ. *Спектральный анализ почв, растений и других биологических материалов*. Москва: Издательство МГУ; 1977. 334 с.
4. Гигевич ГС, Власов БП, Вынаев ГВ. *Высшие водные растения Беларуси: эколого-биологическая характеристика, использование и охрана*. Минск: Издательский центр БГУ; 2001. 231 с.
5. Гришанцева ЕС, Сафронова НС, Кирпичникова НВ, Федорова НП. Распределение микроэлементов в высшей водной растительности Иваньковского водохранилища. *Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология*. 2010;3: 223–231.
6. Crowder A, Dushenko WT, Greig J, Poland JS. Metal contamination in sediments and biota of the Bay of Quinte, Lake Ontario, Canada. *Hydrobiologia*. 1989 December;188(1):337–343. DOI: 10.1007/BF00027798.
7. Prasad MNV, Greger M, Aravind P. Biogeochemical cycling of trace elements by aquatic and wetland plants. In: Prasad MNV, Sajwan KS, Naidu R, editors. *Trace elements in the environment: biogeochemistry, biotechnology and bioremediation*. Boca Raton: Taylor & Francis; 2005. p. 451–482. DOI: 10.1201/9781420032048.ch24.
8. Markert B. Presence and significance of naturally occurring chemical elements of the periodic system in the plant organism and consequences for future investigations on inorganic environmental chemistry in ecosystems. *Vegetatio*. 1992 November;103(1):1–30. DOI: 10.1007/BF00033413.
9. Kabata-Pendias A. *Trace elements in soils and plants*. 4th edition. Boca Raton: CRC Press; 2010. 548 p.
10. Senze M, Kowalska-Góralaska M, Pokorny P. Metals in chosen aquatic plants in a lowland dam reservoir. *Journal of Elementology*. 2009 January;14(1):147–156. DOI: 10.13140/2.1.1422.9126.
11. Szymanowska A, Samecka-Cymermana A, Kempers AJ. Heavy Metals in Three Lakes in West Poland. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 1999 May;43(1):21–29. DOI: 10.1006/eesa.1998.1747.
12. Kuriata-Potasznik A, Szymczyk S, Pilejczyk D. Effect of bottom sediments on the nutrient and metal concentration in macrophytes of river-lake systems. *Annales de Limnologie – International Journal of Limnology*. 2018;54. Article number 1. DOI: 10.1051/limn/2017028.
13. Иванова ЕА, Анищенко ОВ, Грибовская ИВ, Зиненко ГК, Назаренко НС, Немчинов ВГ и др. Содержание металлов в высших водных растениях в небольшом сибирском водохранилище. *Сибирский экологический журнал*. 2012;4:485–495.
14. Федоненко ЕВ, Филиппова ЕВ. Оценка уровня загрязнения Запорожского водохранилища тяжелыми металлами. *Ученые записки Таврического национального университета имени В. И. Вернадского. Серия: Биология. Химия*. 2008;21(2):133–138.
15. Петухова НН, Кузнецов ВА. К кларкам микроэлементов в почвенном покрове Беларуси. *Доклады Академии наук Беларуси*. 1992;36(5):461–465.
16. Кручек СА, редактор. *Стратиграфические схемы докембрийских и фанерозойских отложений Беларуси: объяснительная записка*. Минск: Белорусский научно-исследовательский геолого-разведочный институт; 2010. 282 с.
17. Матвеев АВ, Бордон ВЕ. *Геохимия четвертичных отложений Беларуси*. Минск: Беларуская навука; 2013. 191 с.
18. Жуховицкая АЛ, Генералова ВА. *Геохимия озер Белоруссии*. Минск: Наука и техника; 1991. 202 с.
19. Петухова НН. *Геохимия почв Белорусской ССР*. Минск: Наука и техника; 1987. 231 с.
20. Лукашев КИ, редактор. *Геохимические провинции покровных отложений БССР*. Минск: Наука и техника; 1969. 473 с.
21. Лукашëв ОВ, Жуковская НВ, Лукашëва НГ, Творонович-Севрук ДЛ, Савченко СВ. Содержание химических элементов в современных донных отложениях рек Беларуси (техногеохимический аспект). *Природопользование*. 2015;27:109–117.
22. Farhat HI, Aly W. Effect of site on sedimentological characteristics and metal pollution in two semi-enclosed embayments of great freshwater reservoir: Lake Nasser, Egypt. *Journal of African Earth Sciences*. 2018;141:194–206. DOI: 10.1016/j.jafrearsci.2018.02.012.

References

1. Albers PH, Camardese MB. Effects of acidification on metal accumulation by aquatic plants and invertebrates. 1. Constructed wetlands. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 1993 June;12(6):959–967. DOI: 10.1002/etc.5620120602.
2. Ravera O, Cenci R, Beone GM, Dantas M, Lodigiani P. Trace element concentrations in freshwater mussels and macrophytes as related to those in their environment. *Journal of Limnology*. 2003;62(1):61–70. DOI: 10.4081/jlimnol.2003.61.
3. Zyrin NG, Obukhov AI. *Spektral'nyi analiz pochv, rastenii i drugikh biologicheskikh materialov* [Spectral analysis of soils, plants and other biological materials]. Moscow: Publishing House of the Moscow State University; 1977. 334 p. Russian.
4. Gigevich GS, Vlasov BP, Vynaev GV. *Vysshie vodnye rasteniya Belarusi: ekologo-biologicheskaya kharakteristika, ispol'zovanie i okhrana* [Higher aquatic plants of Belarus: ecological and biological characteristics, use and protection]. Minsk: Publishing Center of Belarusian State University; 2001. 231 p. Russian.
5. Grishantseva ES, Safronova NS, Kirpichnikova NV, Fedorova NP. Distribution of microelements in higher aquatic plants in the Ivan'kovskoe water reservoir. *Geojekologiya. Inzhenernaya geologiya. Gidrogeologiya. Geokriologiya*. 2010;3:223–231. Russian.
6. Crowder A, Dushenko WT, Greig J, Poland JS. Metal contamination in sediments and biota of the Bay of Quinte, Lake Ontario, Canada. *Hydrobiologia*. 1989 December;188(1):337–343. DOI: 10.1007/BF00027798.
7. Prasad MNV, Greger M, Aravind P. Biogeochemical cycling of trace elements by aquatic and wetland plants. In: Prasad MNV, Sajwan KS, Naidu R, editors. *Trace elements in the environment: biogeochemistry, biotechnology and bioremediation*. Boca Raton: Taylor & Francis; 2005. p. 451–482. DOI: 10.1201/9781420032048.ch24.
8. Markert B. Presence and significance of naturally occurring chemical elements of the periodic system in the plant organism and consequences for future investigations on inorganic environmental chemistry in ecosystems. *Vegetatio*. 1992 November;103(1):1–30. DOI: 10.1007/BF00033413.
9. Kabata-Pendias A. *Trace elements in soils and plants*. 4th edition. Boca Raton: CRC Press; 2010. 548 p.
10. Senze M, Kowalska-Górska M, Pokorny P. Metals in chosen aquatic plants in a lowland dam reservoir. *Journal of Elementology*. 2009 January;14(1):147–156. DOI: 10.13140/2.1.1422.9126.
11. Szymanowska A, Samecka-Cymermana A, Kempers AJ. Heavy Metals in Three Lakes in West Poland. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 1999 May;43(1):21–29. DOI: 10.1006/eesa.1998.1747.
12. Kuriata-Potasznik A, Szymczyk S, Pilejczyk D. Effect of bottom sediments on the nutrient and metal concentration in macrophytes of river-lake systems. *Annales de Limnologie – International Journal of Limnology*. 2018;54. Article number 1. DOI: 10.1051/limn/2017028.
13. Ivanova EA, Anishchenko OV, Gribovskaya IV, Zinenko GK, Nazarenko NS, Nemchinov VG, et al. Metal content in higher aquatic plants in a small Syberian water reservoir. *Sibirskii Ekologicheskii Zhurnal*. 2012;4:485–495. Russian.
14. Fedonenko EV, Filippova EV. Contamination level estimation in the Zaporozhian reservoir by heavy metals. *Uchenye zapiski Tavricheskogo natsional'nogo universiteta imeni V. I. Vernadskogo. Seriya: Biologiya. Khimiya*. 2008;21(2):133–138. Russian.
15. Petuhova NN, Kuznetsov VA. [To Clarke values of trace elements in the soil cover of Belarus]. *Doklady Akademii nauk Belarusi*. 1992;36(5):461–465. Russian.
16. Kruchek SA, editor. *Stratigraphic charts of precambrian and phanerozoic deposits of Belarus: explanatory note*. Minsk: Belarusian Research Geological Exploration Institute; 2010. 282 p. Russian.
17. Matveev AV, Bordon VE. *Geokhimiya chetvertichnykh otlozhenii Belarusi* [Geochemistry of quaternary sediments of Belarus]. Minsk: Belaruskaja navuka; 2013. 191 p. Russian.
18. Zhuhovickaya AL, Generalova VA. *Geokhimiya ozer Belorussii* [Geochemistry of Belarussian lakes]. Minsk: Nauka i tekhnika; 1991. 202 p. Russian.
19. Petuhova NN. *Geokhimiya pochv Belorusskoi SSR* [Geochemistry of soils of the Belorussian SSR]. Minsk: Nauka i tekhnika; 1987. 231 p. Russian.
20. Lukashev KI, editor. *Geokhimicheskie provintsii pokrovnykh otlozhenii BSSR* [Geochemical provinces of superficial deposits of the BSSR]. Minsk: Nauka i tekhnika; 1969. 473 p. Russian.
21. Lukashev OV, Zhukovskaya NV, Lukasheva NG, Tvoronovich-Sevruk DL, Savchenko SV. Chemical elements contents in modern bottom sediments of Belarus rivers (technogeochemical aspect). *Prirodopol'zovaniye*. 2015;27:109–117. Russian.
22. Farhat HI, Aly W. Effect of site on sedimentological characteristics and metal pollution in two semi-enclosed embayments of great freshwater reservoir: Lake Nasser, Egypt. *Journal of African Earth Sciences*. 2018;141:194–206. DOI: 10.1016/j.jafrearsci.2018.02.012.

Received by editorial board 11.04.2019.

ТОРГОВЫЕ СЕТИ ЛЬВОВСКОЙ ОБЛАСТИ

В. А. КЛАПЧУК¹⁾, Р. М. ЛОЗИНСКИЙ¹⁾

¹⁾Львовский национальный университет им. Ивана Франко,
ул. Университетская, 1, 79000, г. Львов, Украина

Проанализированы торговые сети, которые осуществляют деятельность на территории Львовской области. Определена доля каждой из них в общей совокупности торговых сетей по региону покрытия. Объектом исследования является 251 заведение современной торговли следующих форматов: мини-маркет, супермаркет, гипермаркет, дискаунтер и cash & carry. Также проанализирована геопространственная организация торговых сетей Львова как крупнейшего города Львовской области. Это позволяет определить перспективные районы для развития ретейла. В ходе исследования установлено, что одним из основных показателей наряду с количеством сетей выступает общая площадь их заведений, ведь она отражает возможности ретейлера по обслуживанию потребителей. Самые большие, как правило, заведения международных торговых сетей, несколько меньшие – национальных, самые маленькие – локальных. Для получения полной информации о площади торговых объектов были использованы методы ГИС. Результаты показали, что наибольшую среднюю площадь заведений имеют международные торговые сети, и, несмотря на малое количество, их доля в общей площади всех сетей является одной из крупнейших. На основе различных показателей была сформирована база данных для проведения кластерного анализа, что позволило разделить районы Львовской области на шесть групп, а города областного значения – на четыре группы по сходству показателей. Полученные результаты могут использоваться для оценки доступа населения к современным предприятиям торговли, отражающего уровень развития социальных благ, а также для формирования инвестиционной привлекательности некоторых районов Львовской области.

Ключевые слова: торговая сеть; ретейлер; регион покрытия; универсальные сети; мини-маркет; супермаркет; гипермаркет; «магазин возле дома».

RETAILERS OF THE LVIV REGION

V. A. KLAPCHUK^a, R. M. LOZYNSKY^a

^aIvan Franko National University of Lviv, 1 Universitetskaya Street, Lviv 79000, Ukraine

Corresponding author: V. A. Klapchuk (vikkikiki@ukr.net)

We analyzed trading networks operating in the territory of the Lviv region. Also we determined the fraction of each retailers in the general structure of the retailers by region coverage. The research objects are 251 modern trade establishments, represented by such formats as minimarket, supermarket, hypermarket, discounters and cash & carry. The article analyzes the spatial development of the retail chains of Lviv as the largest city in the Lviv region. Determination of geo-spatial organization of the Lviv retailers allow us to identify perspective areas for the development of retailers. In the

Образец цитирования:

Клапчук ВА, Лозинский РМ. Торговые сети Львовской области. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология.* 2019;2:52–64.
<https://doi.org/10.33581/2521-6740-2019-2-52-64>

For citation:

Klapchuk VA, Lozynskyy RM. Retailers of the Lviv region. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology.* 2019;2:52–64. Russian.
<https://doi.org/10.33581/2521-6740-2019-2-52-64>

Авторы:

Виктория Андреевна Клапчук – аспирантка кафедры географии Украины географического факультета. Научный руководитель – Р. М. Лозинский.

Роман Марьянович Лозинский – доктор географических наук, профессор; заведующий кафедрой географии Украины географического факультета.

Authors:

Viktoria A. Klapchuk, postgraduate student at the department of geography of Ukraine, faculty of geography.

vikkikiki@ukr.net

Roman M. Lozynskyy, doctor of science (geography), full professor; head of the department of geography of Ukraine, faculty of geography.

lrn3@ukr.net

course of the research, it was found that one of the key indicators, in addition to the numbers of networks, is the general trading area of their establishments, after all it reflects the possibilities of the retailer's in customer service. The largest areas, as a rule, have establishments in international trade networks, somewhat smaller – national networks, the smallest, respectively, in local area networks. For getting the complete information about the area of the trading establishments we used GIS methods. According to the received results, it was determined that the largest average area of retail establishments has international trade networks, and despite their small number, their fraction from the general is one of the largest. Using different indicators we created a database for cluster analysis, which makes possible to combine regions and cities of regional significance into certain groups according to the similarity of indicators. According to the results of the analysis, the districts of Lviv region were divided into 6 groups, and cities of regional significance for 4 groups. Received results can be used to determine the accessibility of the population to modern trade establishments, thus showing the level of development of social benefits, and also to create the investment attractiveness of some districts of the Lviv region.

Keywords: trading network; retailer; region coverage; universal retailers; minimarket; supermarket; hypermarket; «shop near the house».

Введение

В последние годы торговля претерпела значительные изменения как в объемах, так и в форматах продаж. Именно поэтому стоит задача изучения этих форматов, установления закономерностей размещения и развития торговых объектов, а также их влияния на общество и уровень его жизни. От торговли как важнейшей отрасли нынешнего времени во многом зависит экономическое положение страны в мире. Каждый регион играет значимую роль в формировании рынка торговли государства. Новый этап развития отрасли проявляется в деятельности торговых сетей. Они выступают основой современной сферы торговли. Особенно выделяются универсальные сети как наиболее развитые.

Материалы и методы, теоретические основы исследования

Географическое исследование пространственной организации торговых сетей позволяет оптимизировать их размещение и увеличить доступ населения к современным предприятиям торговли. До последнего времени торговые сети изучались главным образом в экономике и маркетинге. Менее исследован этот вопрос с географической точки зрения [1]. В географии проблематикой торговых сетей занимались такие украинские и зарубежные ученые, как Р. Скуба, О. Петрик, Г. Багиева, П. Черномаз, В. Павлов, М. Мальская, Н. Голошубова, Н. Ригли, И. Ансофф, Г. Армстронг, Ф. Котлер, Ж. Ламбен, В. Харпер, Л. Штерн и др. В общем, в Украине подобного рода исследования только начинаются.

Методические аспекты функционирования торговых сетей раскрыты в работах И. Бланка [2], А. Виноградской [3], Н. Голошубовой [4], А. Мазараки [5] и др. Развитие торговых сетей как основное направление торговой сферы на данном этапе исследовано В. Лагутиным [6], Л. Лигоненко [7]. Вопросы классификации отражены в трудах А. Виноградской [3] (виды современных дискаунтеров) и Р. Скубы [8] (типы торговых сетей). На конкретных проблемах развития торговых центров и торговых сетей акцентируют внимание И. Бланк [2], Н. Голошубова [4], Я. Касьянов [9] и др.

Цель статьи – исследование пространственной организации торговых сетей Львовской области. Для достижения цели поставлены следующие задачи: анализ общих показателей торговли в Украине, определение особенностей Львовской области как наиболее развитой в западном регионе, оценка количества и площади торговых сетей во Львовской области и г. Львове.

Изучение пространственной организации торговых сетей включает ряд этапов:

- поиск и сбор информации о торговых сетях (количество заведений, их местоположение, год открытия и др.);
- создание базы данных ГИС и внесение ранее собранной информации о торговых сетях;
- получение с помощью средств и инструментов ГИС-технологий необходимых для исследования данных (площадь торговых сетей, их доля в общем количестве торговых сетей области и каждого населенного пункта в отдельности, радиус действия торговой зоны [10] и т. д.);
- проведение кластерного анализа на основе полученных показателей;
- геопространственный анализ торговых сетей Львовской области.

Собственники торговых сетей, как правило, не доводят до всеобщего сведения детализированную информацию (в разрезе областей, районов, населенных пунктов) о средней площади заведений своих сетей. Соответственно, в литературных и интернет-источниках имеются лишь частичные данные о площадях торговых сетей, поэтому для получения полной информации дополнительно нами были использованы методы ГИС-технологий.

Дистанционные данные позволяют достаточно точно установить местонахождение торговых сетей, а средства ГИС-технологий – их площадь. Процесс нахождения площадей состоял из следующих этапов.

1. Дистанционное определение границ магазинов торговых сетей с помощью программы *Google Earth Pro*, а также картографического сервиса *Google Maps* в режиме браузера.
2. Векторизация предустановленных границ в программной среде *ESRI ArcGIS*.
3. Автоматическое определение площадей полученных полигональных объектов в режиме обработки атрибутивных данных *ArcGIS*.

Приведем краткую методику на примере одного из магазинов. На первом этапе в программе *Google Earth Pro* в режиме просмотра улиц (*Google Street View*) визуальное устанавливается местоположение магазина торговой сети по заданному адресу. Сведения дополняются информацией из картографического сервиса *Google Maps*, где в режиме браузера есть функции, с помощью которых можно просматривать фотографии, загруженные разными пользователями, что позволяет точнее определить границы магазина. На втором этапе в программной среде *ArcGIS for Desktop 10.2.1* составляется слой, где оцифровываются установленные границы магазинов. На заключительном этапе в режиме редактирования атрибутивной таблицы создается поле *Square*, куда автоматически с помощью калькулятора поля (*Field Calculator*) вносятся данные о площади магазина. Аналогичные действия выполнены для всех магазинов торговых сетей Львовской области. Обобщенная информация представлена в табл. 1.

Таблица 1

Площади торговых сетей Львовской области

Table 1

Square of trade networks of Lviv region

Торговая сеть	Общее количество заведений	Площадь, м ²			
		Минимальная	Максимальная	Общая	Средняя
«Арсен»	6	460	4185	18 088	3014,7
«АТБ-маркет»	27	148	1366	18 158	672,5
«Ашан»	2	4689	11 684	16 373	8186,5
«Близенько»	41	87	581	9671	235,9
«Вопак»	10	275	769	5074	507,4
«Колибрис»	6	240	930	3313	552,2
«METRO»	2	8739	10 377	19 116	9558,0
«Наш Край»	25	103	460	5170	206,8
«Рукавичка»	91	201	3156	37 036	407,0
«Свой Маркет»	23	107	527	4911	213,5
«Сильпо»	13	585	7500	27 231	2094,7
«Фуршет»	5	442	1516	4895	979,0

Примечание. Составлено авторами на основании собственных исследований.

Обобщение терминологических определений современных ученых позволило заключить, что торговая сеть – это совокупность однотипных или разных бизнес-единиц, которые осуществляют розничную торговлю под одной торговой маркой, имеют единую стратегию деятельности, общий центр управления, координации и контроля, а также собственный распределительный склад, откуда поставляют товары бизнес-единицам, входящим в состав объединения.

Исследуя торговые сети, основное внимание обращают на мини-маркеты, супермаркеты и гипермаркеты, которые наиболее распространены в Украине. Супермаркеты и гипермаркеты относятся к одному виду торговых предприятий, однако между ними все же существуют отличия, и в первую очередь это занимаемые ими площади. Гипермаркет – магазин самообслуживания с торговой площадью более 5000 м², где представлен широкий спектр продовольственных и непродовольственных товаров. Супермаркет – магазин самообслуживания с торговой площадью от 400 до 5000 м². Он также предлагает довольно большой ассортимент продовольственных товаров, но ввиду меньшей площади, соответственно, меньшее количество непродовольственных. Мини-маркет – небольшой продовольственный магазин с торговой площадью менее 400 м². Как правило, здесь представлен схожий с супермаркетами, но более узкий ассортимент [11]. Кроме упомянутых выше, довольно часто в Украине встречаются и такие форматы заведений торговых сетей, как дискаунтер, cash & carry, «магазин возле дома», киоск и др.

Результаты и их обсуждение

Главным показателем, который отражает состояние розничной торговли во Львовской области, является розничный товарооборот торговых предприятий, которые функционируют на ее территории [12]. Из рис. 1 видно, что если использовать статистическую информацию в национальной валюте (гривна), то этот показатель постоянно растет, причем довольно быстрыми темпами. Однако ситуация будет иной, если пересчитать данные о товарообороте в долларах США¹ (рис. 2). Так, начиная с 2014 г. во Львовской области происходит резкое падение розничного товарооборота торговых предприятий, что обусловлено неблагоприятной макроэкономической ситуацией в стране, которая вызвана войной, а также политическим и экономическим кризисами.

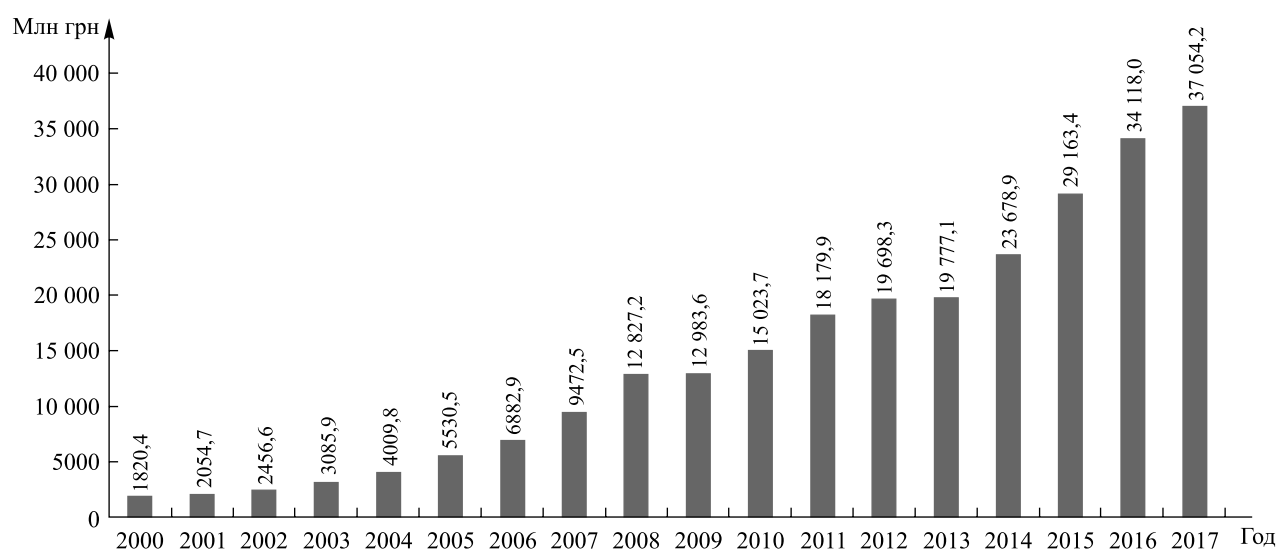


Рис. 1. Розничный товарооборот торговых предприятий Львовской области за 2000–2017 гг. в национальной валюте (по данным Государственной службы статистики Украины)

Fig. 1. Retail turnover of trade enterprises of Lviv region for 2000–2017 in national currency (to the data of the State Statistics Service of Ukraine)

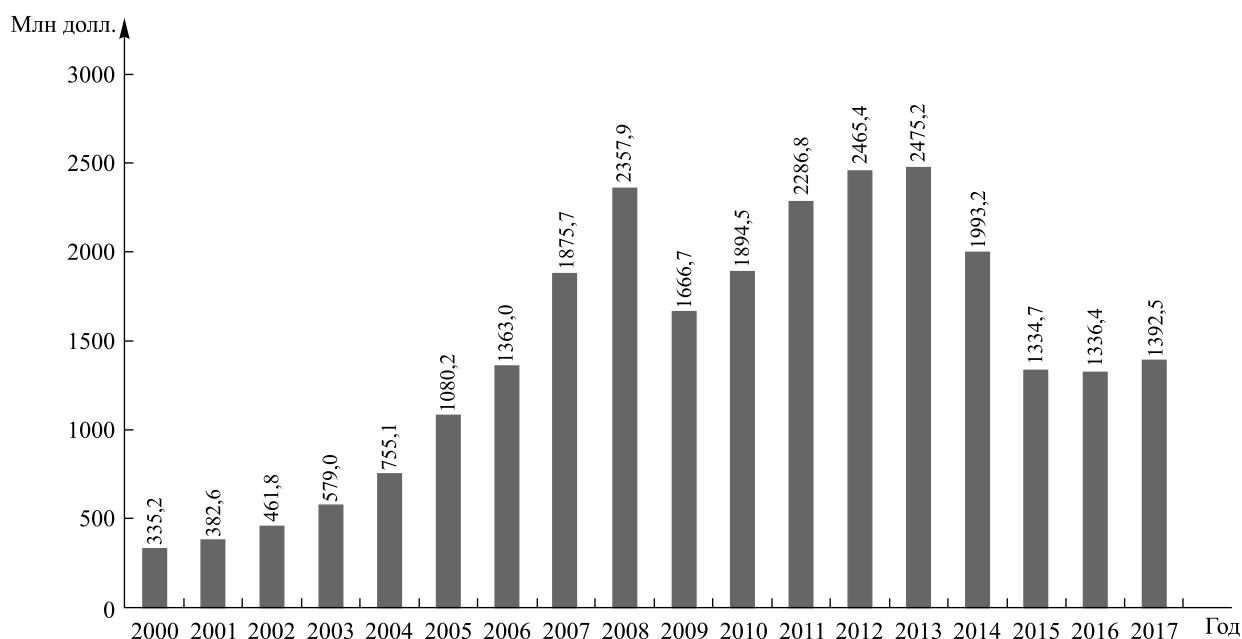


Рис. 2. Розничный товарооборот торговых предприятий Львовской области за 2000–2017 гг. в долларах США (по данным Государственной службы статистики Украины)

Fig. 2. Retail turnover of trade enterprises of Lviv region for 2000–2017 in US dollars (to the data of the State Statistics Service of Ukraine)

¹Согласно курсам валют официального интернет-представительства Национального банка Украины.

Важным показателем также является общее количество объектов розничной торговли, куда согласно статистическим материалам включают магазины и киоски. Из рис. 3 видно, что начиная с 2000 г. число объектов розничной торговли постоянно уменьшается. Главная причина этого – появление новых форматов торговли, таких как супермаркеты и гипермаркеты. Эти заведения вытесняют с рынка розничной торговли небольшие магазины и киоски, потому что могут обслуживать значительно больше людей, имеют широкий ассортимент товаров и зачастую более низкие цены по многим позициям. В разрезе Украины сокращение количества объектов розничной торговли начинается с 1994 г., когда в стране получают развитие новые форматы торговли. В частности, торговая сеть «АТБ-маркет» в 1993 г. открыла в г. Днепропетровске первый гастроном с признаками дискаунтера². Развитие национальных торговых сетей продолжалось всю вторую половину 1990-х гг. Международные торговые сети стали появляться в Украине с 2000-х гг. (первой была торговая сеть «BILLA»³ в г. Киеве). В 2002 г. начала свою деятельность одна из крупнейших на сегодня национальных торговых сетей «Сильпо»⁴.

Львовская область – лидер по уровню развития торговых сетей в западном регионе. Она имеет наивысшие показатели как по количеству торговых сетей, так и по числу современных торговых заведений. Прежде всего развитию торговых сетей во Львовской области способствуют географическое положение, большие по сравнению с другими областями Западной Украины количество городских поселений и численность жителей, наивысший уровень урбанизации и доходов населения, наиболее высокие показатели розничного товарооборота и другие экономико-географические предпосылки. Содействуют этому и отдельные социальные факторы, в частности ментальность населения данного региона, которая способствует развитию патристического потребления и, как следствие, локальных и региональных торговых сетей.

На начало 2017 г. во Львовской области осуществляли деятельность 12 торговых сетей – «Арсен», «АТБ-маркет», «Ашан», «Близенько», «Вопак», «Колибрис», «Наш Край», «Рукавичка», «Свой Маркет», «Сильпо», «Фуршет», «METRO». Общее количество торговых предприятий всех сетей составляло 251 единицу (рис. 4).

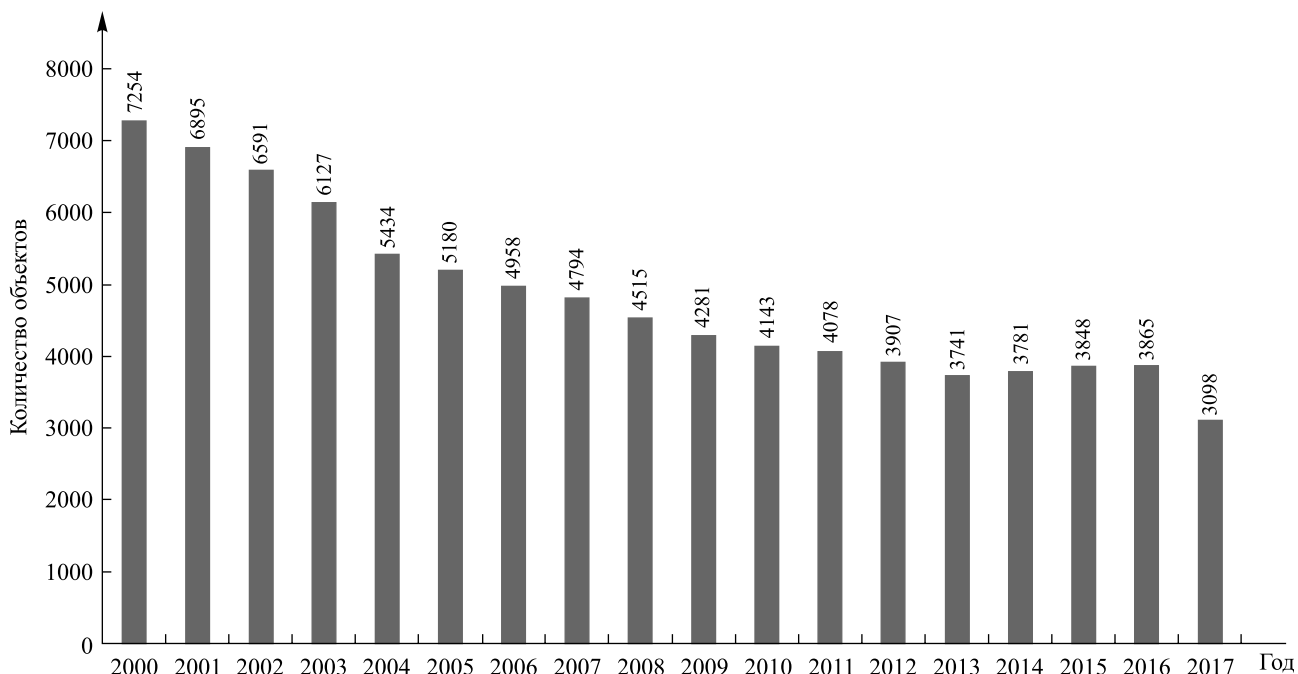


Рис. 3. Количество объектов розничной торговли в 2000–2017 гг.
(по данным Государственной службы статистики Украины)

Fig. 3. Number of the objects in retail trade from 2000–2017
(to the data of the State Statistics Service of Ukraine)

² АТБ-маркет [Электронный ресурс]. URL: <http://www.atbmarket.com/> (дата звернення: 22.03.2019).

³ BILLA [Электронный ресурс]. URL: www.billa.ua (дата звернення: 22.03.2019).

⁴ Fozzy Group [Электронный ресурс]. URL: <https://www.fozzy.ua/ua/> (дата звернення: 22.03.2019).

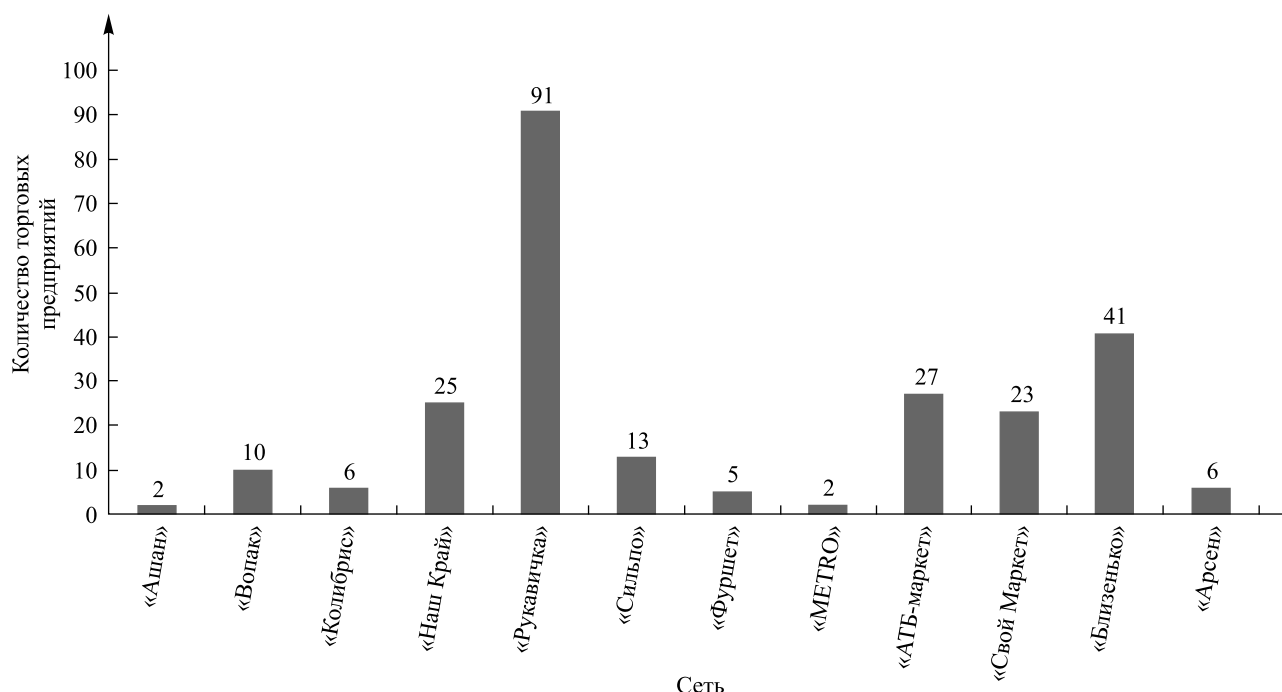


Рис. 4. Количество предприятий торговых сетей во Львовской области в 2017 г.
(разработано авторами на основании собственных исследований)

Fig. 4. Number of establishments of trading networks in Lviv region in 2017
(developed by the authors based on their own research)

В Украине и мире принято классифицировать торговые сети по так называемому региону покрытия. Это понятие используют маркетологи. Буквально регион покрытия – это регион государства, где есть хотя бы одно заведение, которое представляет определенную торговую сеть. Все современные торговые сети по этому критерию делятся:

- на международные (осуществляют деятельность в нескольких странах);
- национальные (есть в пяти и более областях Украины);
- региональные (представлены в трех-четырех областях Украины);
- локальные (есть в одной-двух областях Украины)⁵.

Во Львовской области функционируют две международные торговые сети – «Ашан» и «METRO». Такие сети Львовской области, как «Волак», «Колибрис», «Наш Край», «Сильпо», «Фуршет» и «АТБ-маркет», являются национальными ретейлерами. Сети «Арсен», «Барвинок» и «Рукавичка» относятся к региональным, а «Свой Маркет» и «Близенько» – к локальным.

Таким образом, во Львовской области представлены все виды торговых сетей. Наибольшую долю от общего количества предприятий, размещенных в области, составляют заведения торговой сети «Рукавичка» – 36,2 %. Торговые сети «Близенько» и «АТБ-маркет» имеют 16,3 и 10,7 % соответственно, «Наш Край» и «Свой Маркет» – 10,0 и 9,2 % соответственно, а национальная сеть «Сильпо» – 5,2 %. Доля предприятий остальных торговых сетей не превышает 4 % (рис. 5).

Еще в 2014 г. почти половину предприятий торговых сетей Львовской области составляли заведения локальной сети «Рукавичка». Другие торговые сети не контролировали и 25 % рынка. Из 176 заведений, представленных во Львовской области, 38,9 % функционировали в пределах г. Львова, 60 % размещались в городских поселениях области. И только два сетевых торговых заведения находились в сельских населенных пунктах (села Жовтанцы и Сокольники вблизи г. Львова), что составляет всего 1,1 %.

По состоянию на 2017 г. количество торговых предприятий возросло на 42,6 % – с 176 до 251 заведения. Появились другие локальные и даже местные торговые сети типа «Близенько» и «Свой Маркет». На рынке Западной Украины также начала свою деятельность крупнейшая национальная сеть «АТБ-маркет». То есть экономический кризис 2014–2015 гг. не привел к замедлению развития торговых сетей на территории области, но вызвал существенное изменение их структуры.

Торговая сеть «Рукавичка» остается лидером по количеству заведений, но все же есть еще четыре сети, которые контролируют значительную часть рынка розничной торговли Львовской области (см. рис. 5).

⁵GT Partners Ukraine [Электронный ресурс]. URL: <http://gtpartners.com.ua/> (дата обращения: 22.03.2019).

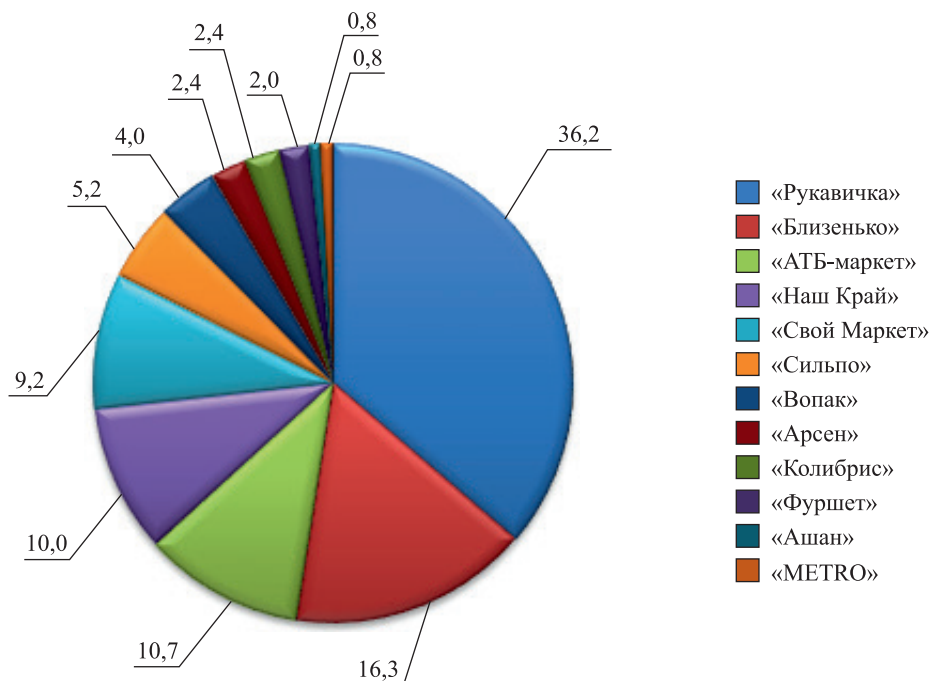


Рис. 5. Доля заведений торговых сетей Львовской области в 2017 г., %
(разработано авторами на основании собственных исследований)

Fig. 5. The fraction of retail establishments of Lviv region in 2017, %
(developed by the authors based on their own research)

В западном регионе Украины больше всего современных заведений торговли сконцентрировано в г. Львове: на начало 2018 г. их насчитывалось 122. Лидером по числу торговых предприятий среди ретейлеров г. Львова является локальная торговая сеть «Близенько» – 41 заведение торговли, что составляет 34 % от общего количества заведений торговых сетей. Второе место занимает региональная сеть «Рукавичка» – 22 заведения, или 18 %, которая до недавнего времени была локальной, а теперь, кроме Львовской, представлена в Закарпатской, Ивано-Франковской, Тернопольской, Хмельницкой и Ровенской областях⁶. Третья по количеству торговых объектов еще одна достаточно большая локальная торговая сеть «Свой Маркет», возникшая в 2016 г. вследствие ребрендинга сети «Наш Край»⁷. В г. Львове она имеет 17 заведений (14 %), магазины сети представлены в трех форматах: супермаркет, «магазин возле дома» и «экспресс». На четвертом месте находится торговая сеть «АТБ-маркет» – 11 магазинов, что равняется 9 % от общего количества ретейлеров г. Львова. Заведения национальной сети «Сильпо» составляют 8 % от общего количества магазинов современного формата. Еще одна национальная торговая сеть «Вопак» имеет 6 %, сеть «Арсен» – 5 %, «Фуршет» – 2 %. Из международных сетей свою деятельность в г. Львове осуществляют «METRO» и «Ашан», у них 2 и 1 % соответственно (рис. 6).

В других населенных пунктах региона структура торговых сетей совершенно иная, нежели в областном центре (рис. 7). При анализе рис. 7 видно, что во многих населенных пунктах функционирует лишь одна торговая сеть и практически во всех случаях это ретейлер «Рукавичка». Исключение составляют п. г. т. Подкамень, где свою деятельность осуществляет сеть «Наш Край», и с. Сокольники, где работает французская международная сеть «Ашан». Города Турка, Новый Роздол, Старый Самбор, Николаев, Яворов, Новояворовск, Пустомыты, Золочев, Сокаль, Каменка-Бугская, Рава-Русская, а также п. г. т. Красное имеют по две торговые сети. По большей части в вышеупомянутых городах представлены заведения сети «Рукавичка», помимо них есть также магазины сетей «Наш Край», «АТБ-маркет» и «Колибрис». Три-четыре сети сосредоточены в следующих населенных пунктах: Бориславе, Самборе, Жолкве, Винниках, Бродах. Наибольшее разнообразие торговых сетей во Львове (11), Стрые (6), Трускавце (6), Дрогобыче (5) и Червонограде (5).

Важным показателем уровня развития торговых сетей является общая торговая площадь их заведений (рис. 8), которая отображает возможности ретейлера по обслуживанию потребителей. Наибольшие

⁶ Рукавичка [Электронный ресурс]. URL: <http://www.rukavychka.ua/> (дата звернення: 22.03.2019).

⁷ Свій Маркет [Электронный ресурс]. URL: <http://sviymarket.com/> (дата звернення: 22.03.2019).

площади, как правило, занимают заведения международных торговых сетей, чуть меньшие – национальных, самые маленькие – локальных.

Наибольшую среднюю площадь заведений имеют международные торговые сети, поскольку в Украине они представлены в основном гипермаркетами и супермаркетами. Достаточно высокие показатели средней площади заведений у таких национальных сетей, как «Арсен», «Сильпо» и «Фуршет». Наименьшая средняя площадь заведений у сетей «Наш Край», «Свой Маркет» и «Близенько», т. е. как национальных, так и локальных (см. табл. 1).

На основе некоторых относительных показателей проведен кластерный анализ, что дает возможность объединить районы и города областного значения в группы по сходству показателей. Вид кластерного анализа, который был применен, – метод полной связи, евклидово расстояние (рис. 9 и 10). При этом использовались следующие относительные показатели: доля от общей численности населения области, доля от общего количества и площади заведений торговых сетей области, доля площади городов и районов, процент от средней заработной платы области, доля розничного товарооборота от всего товарооборота области, доля от общего количества рынков в области (табл. 2).

Согласно дендрограмме на рис. 9 районы Львовской области были разделены на шесть групп.

1. Бродовский, Золочевский, Старосамборский, Дрогобычский и Сколевский районы. Они отличаются высокой долей площади и средними значениями других показателей.

2. Бусский, Жидачовский, Радеховский и Турковский районы. Их объединяют небольшая доля количества торговых сетей и невысокий процент средней заработной платы, а также одна из самых низких долей товарооборота в области и очень высокая доля рынков.

3. Городокский, Перемышлянский, Николаевский, Самборский и Мостисский районы. Для них характерны средние показатели доли площадей торговых сетей.

4. Каменка-Бугский, Сокальский и Стрыйский районы. Их объединяет наивысший процент от средней заработной платы области.

5. Жолковский и Яворовский районы. Им присущи наибольшие численность населения и доля заведений торговых сетей, а также высокая доля рынков, розничного товарооборота и площадей торговых сетей.

6. Пустомытовский район, который характеризуется наибольшей долей розничного товарооборота и площадей торговых сетей, что выделяет его из ряда других и формирует отдельную группу, включающую только один район Львовской области.

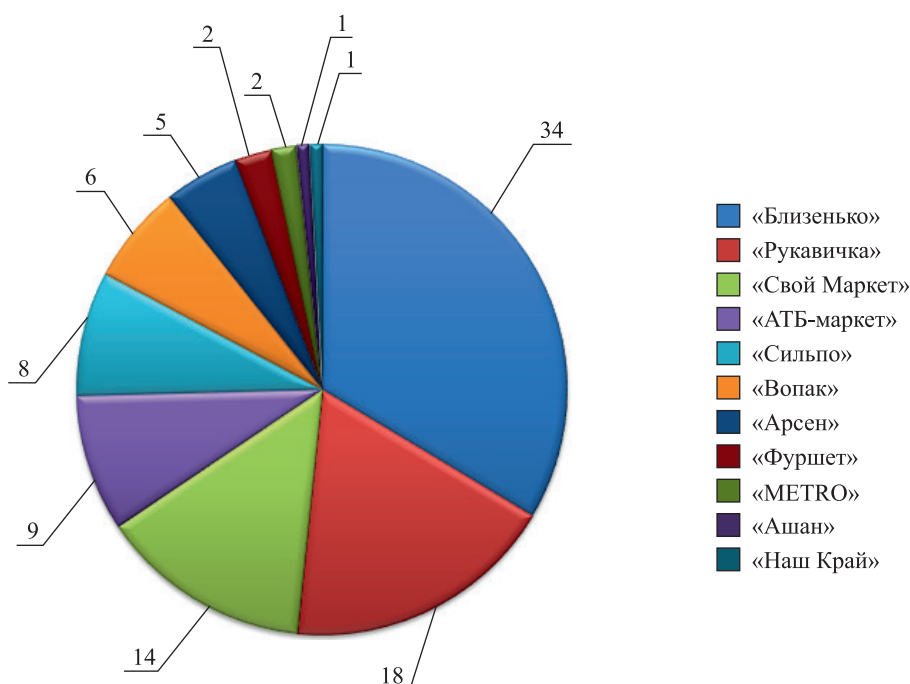
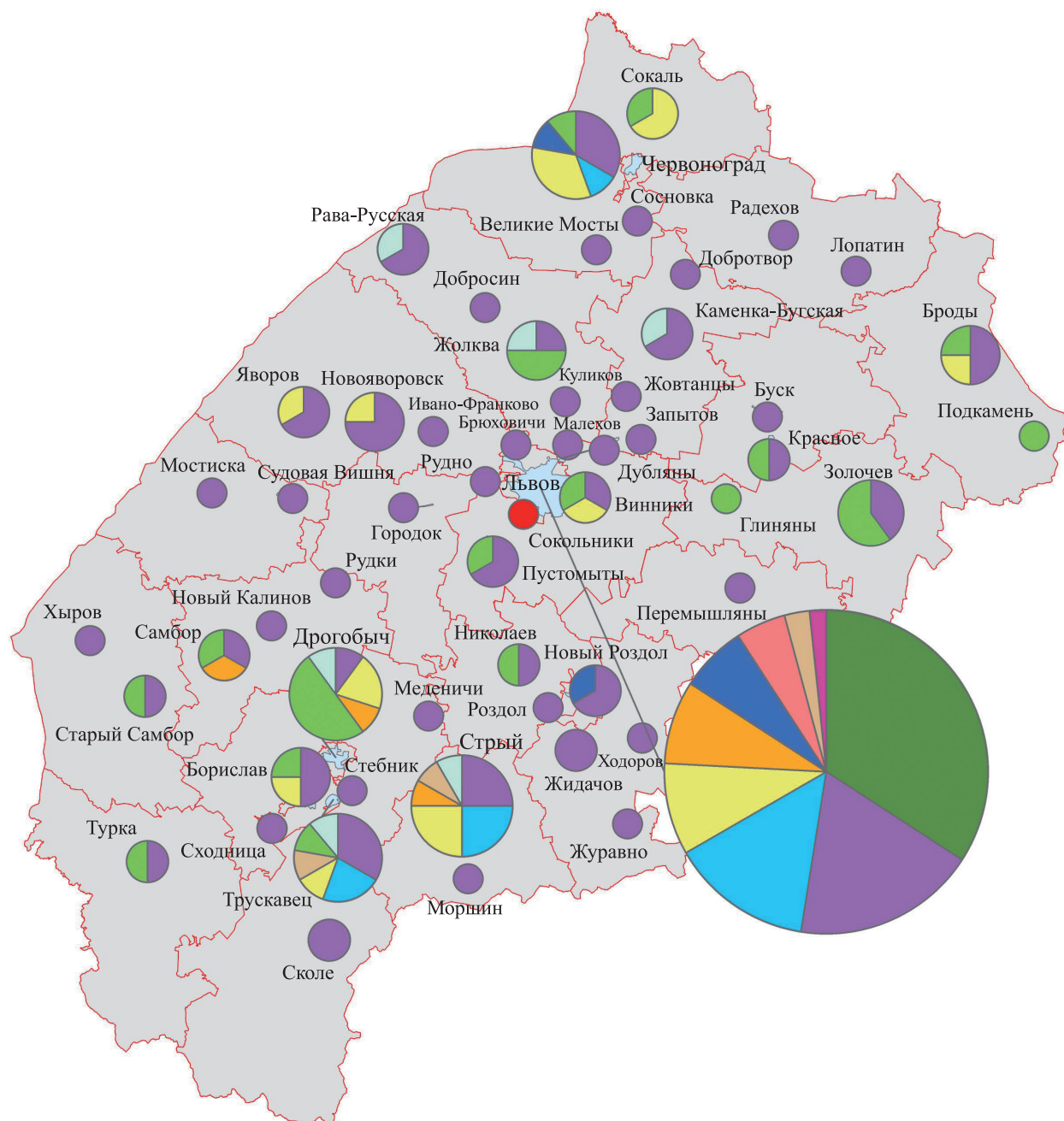


Рис. 6. Доля заведений торговых сетей в г. Львове на начало 2017 г., %
(разработано авторами на основании собственных исследований)

Fig. 6. The fraction of retail establishments in Lviv in early 2017, %
(developed by the authors based on their own research)



Количество заведений торговых сетей

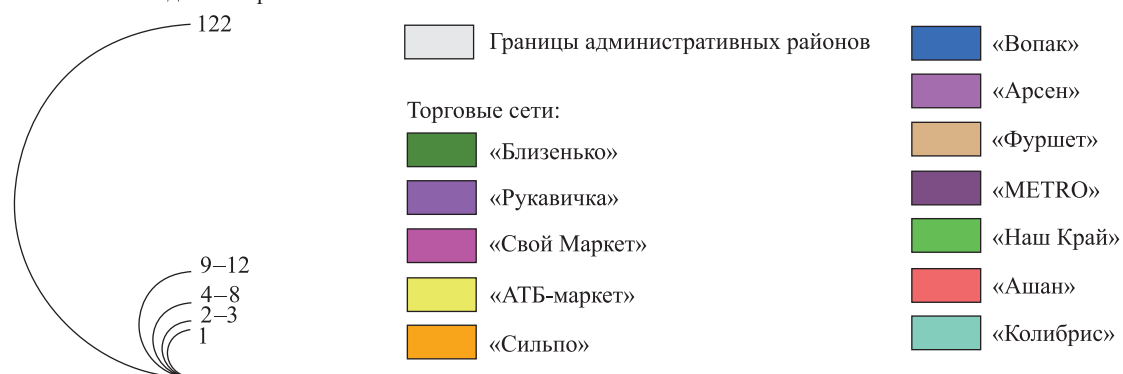


Рис. 7. Доля торговых сетей Львовской области в 2017 г.

Fig. 7. The fraction of retailers of Lviv region in 2017

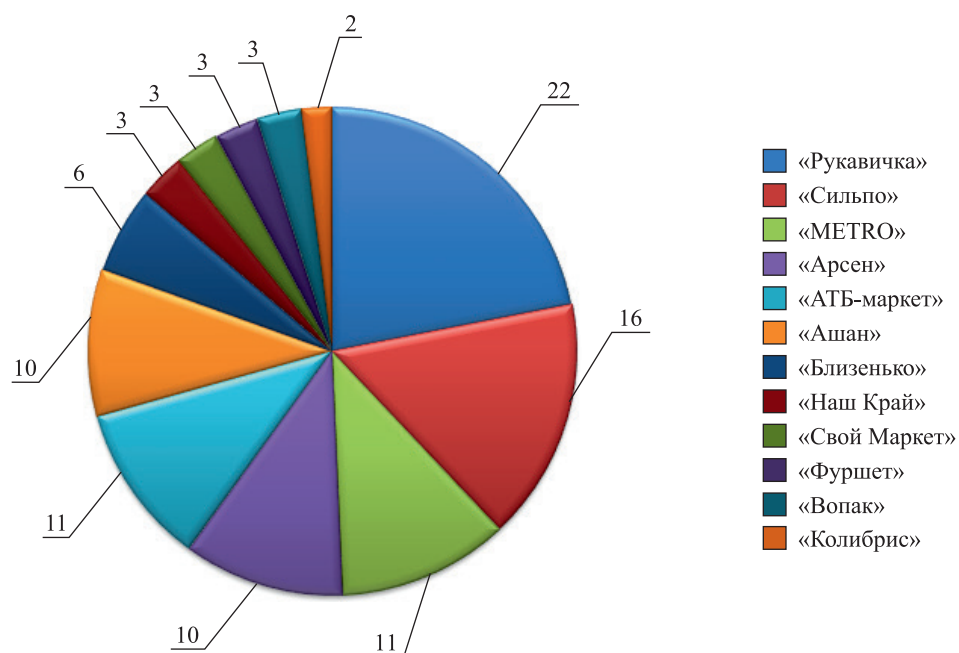


Рис. 8. Доля площадей торговых сетей Львовской области, %
(разработано авторами на основании собственных исследований)

Fig. 8. The fraction of retail network area of Lviv region, %
(developed by the authors based on their own research)

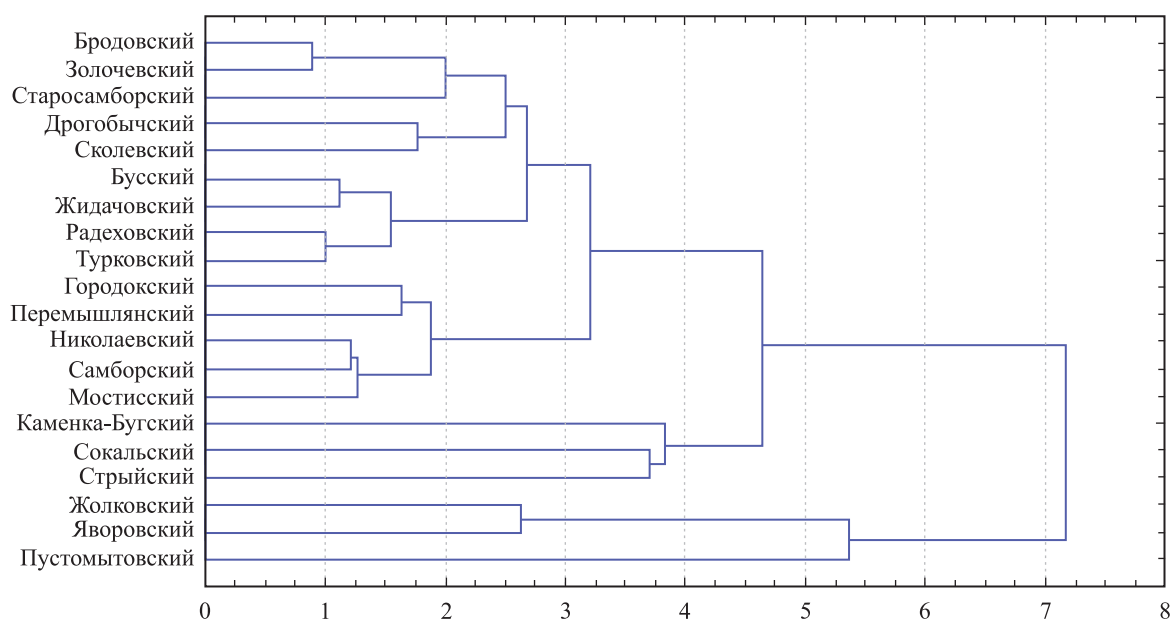


Рис. 9. Дендрограмма кластерного анализа районов Львовской области

Fig. 9. Dendrogram of cluster analysis for districts of Lviv region

Таблица 2

Относительные показатели для проведения кластерного анализа, %

Table 2

Relative indicators for cluster analysis, %

Административно-территориальные единицы	Доля численности населения от общей численности населения области	Доля количества предприятий торговли от их общего количества в области	Доля площади городов и районов от площади области	Процент от средней заработной платы области	Доля розничного товарооборота от всего товарооборота области	Доля количества рынков от их общего количества в области	Доля площадей торговых сетей от общей площади торговых сетей области
Города областного значения							
Львов	30,0	50,6	0,8	107,3	65,4	39,7	62,2
Борислав	1,4	2,0	0,2	90,0	0,7	2,6	1,6
Дрогобыч	3,8	4,4	0,2	80,0	2,6	6,0	3,5
Моршин	0,2	0,4	0,1	86,2	0,2	0,0	0,3
Новый Роздол	1,1	1,2	0,1	109,1	0,5	0,9	0,8
Самбор	1,4	1,2	0,1	88,0	1,1	0,9	0,7
Стрый	2,3	4,8	0,1	121,9	3,6	1,7	3,2
Трускавец	1,1	3,6	0,0	68,0	1,2	2,6	2,7
Червоноград	3,2	4,0	0,3	101,6	3,2	4,3	2,8
Районы							
Бродовский	2,3	2,0	5,3	94,3	0,9	1,7	1,1
Бусский	1,8	1,2	3,9	73,4	0,6	2,6	0,7
Городокский	2,7	0,4	3,3	91,1	0,8	2,6	0,4
Дрогобычский	2,9	0,4	5,6	73,3	0,2	0,0	0,3
Жидачевский	2,6	1,6	4,6	73,0	0,7	2,6	1,2
Жолковский	4,4	4,4	5,9	78,8	2,5	4,3	2,0
Золочевский	2,7	2,4	5,0	88,3	0,9	0,9	0,9
Каменка-Бугский	2,3	2,4	4,0	116,3	1,2	4,3	1,4
Мостисский	2,2	0,8	3,9	78,9	1,6	0,9	0,5
Николаевский	2,5	1,2	3,1	79,2	0,7	0,9	0,5
Перемышлянский	1,5	0,4	4,2	90,8	0,4	1,7	0,3
Пустомытовский	4,7	1,6	4,4	80,6	3,5	1,7	7,6
Радеховский	1,9	0,8	5,2	87,2	0,5	2,6	0,6
Самборский	2,7	0,8	4,3	70,9	0,7	0,9	0,4
Сколевский	1,9	0,8	6,7	83,9	0,7	0,9	0,7
Сокальский	3,6	1,6	7,2	117,8	1,1	0,9	0,8
Старосамборский	3,1	1,2	5,7	71,6	0,8	2,6	0,7
Стрыйский	2,4	0,0	3,7	126,9	0,4	0,0	0,0
Турковский	2,0	0,8	5,5	74,6	0,3	3,4	0,3
Яворовский	5,0	3,2	7,1	105,2	3,2	6,0	2,1

Примечание. Составлено авторами на основании собственных исследований.

Города областного значения, согласно кластерному анализу (рис. 10), разделены на четыре группы:

1) Львов – выделяется среди других по всем показателям, поскольку является административным центром области. Прежде всего его отличают наибольшее количество и площадь заведений торговых сетей, а также численность населения;

2) Борислав, Дрогобыч, Моршин, Самбор и Червоноград – для них характерны средние показатели всех категорий;

3) Трускавец – образует отдельную группу, поскольку имеет самый низкий процент от средней заработной платы и очень высокую долю площадей заведений торговых сетей;

4) Новый Роздол и Стрый – их объединяет наивысший процент от средней заработной платы.

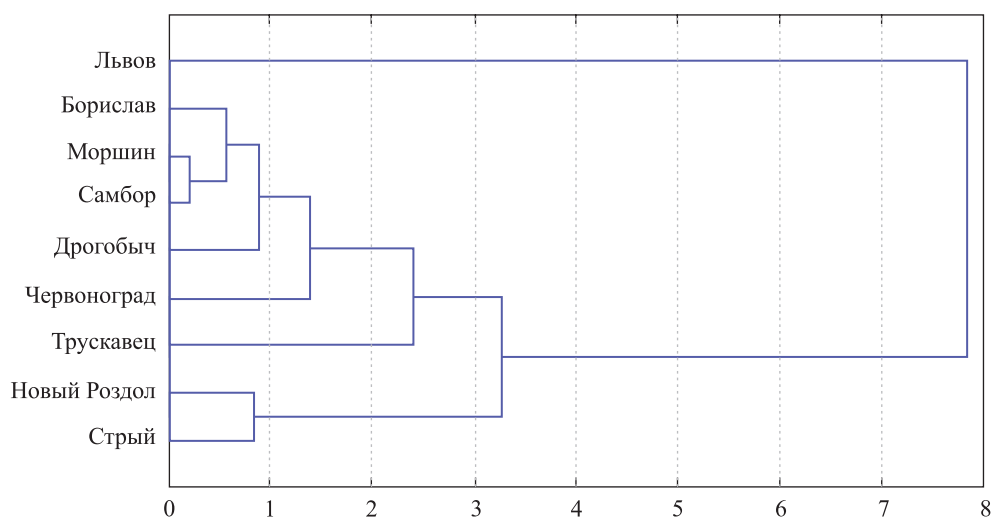


Рис. 10. Дендрограмма кластерного анализа городов областного значения Львовской области

Fig. 10. Dendrogram of cluster analysis for the cities of regional significance of the Lviv region

Заклучение

Таким образом, Львовская область особенно выделяется в западном регионе Украины, поскольку имеет наибольшее количество торговых сетей. В начале 2017 г. их насчитывалось 12: «Арсен», «АТБ-маркет», «Ашан», «Близенько», «Вопак», «Колибрис», «Наш Край», «Рукавичка», «Свой Маркет», «Сильпо», «Фуршет», «METRO». При этом общее количество торговых заведений всех сетей составляло 251 единицу. В области представлены международные, национальные, региональные, локальные и местные торговые сети.

Исходя из проведенных исследований, лидером по количеству заведений является сеть «Рукавичка», но еще четыре сети – «Близенько», «АТБ-маркет», «Наш Край» и «Свой Маркет» – контролируют значительную часть рынка розничной торговли Львовской области. Наибольшее количество современных заведений торговли сконцентрировано в г. Львове. Немало их и в Стрые, Дрогобыче, Червонограде, Трускавце.

Еще один показатель уровня развития торговых сетей – общая торговая площадь их заведений, которая отображает возможности ретейлера по обслуживанию потребителей. Наибольшие площади, как правило, имеют заведения международных торговых сетей, несколько меньшие – национальных, самые маленькие – локальных.

Согласно результатам кластерного анализа районы Львовской области разделены на шесть групп, а города областного значения – на четыре группы по сходству показателей. Подобное деление позволяет выявить регионы с низким уровнем развития торговых сетей.

Результаты выполненных исследований могут использоваться для решения социальных проблем, связанных с доступом населения к социальным благам, в частности к торговым сетям. Также эти исследования помогут выявить районы и города с незначительным развитием торговых сетей, что создаст возможности для роста инвестиционной привлекательности региона. Изучение конкурентной ситуации позволит торговым сетям рационально подходить к пространственной организации предприятий торговли.

Бібліографічні посилання

1. Черномаз ПО. *Маркетингова географія: теоретико-методологічні основи* [автореферат дисертації]. Київ: Київський національний університет імені Тараса Шевченка; 2000. 18 с.
2. Бланк ИА. *Управление торговым предприятием*. Киев: Украинско-Финский институт менеджмента и бизнеса; 2001. 501 с.
3. Виноградська АМ. *Комерційне підприємництво: сучасний стан, стратегії розвитку*. Київ: Центр навчальної літератури; 2004. 807 с.
4. Голошубова Н. Розвиток торговельних мереж в Україні. *Товари і ринки*. 2011;1:15–24.
5. Мазаракі АА, Лігоненко ЛО, Ушакова НМ. *Економіка торговельного підприємства*. Ушакова НМ, редактор. Київ: Хрещатик; 1999. 797 с.
6. Лагутін ВД. *Внутрішня торгівля України*. Київ: Київський національний торговельно-економічний університет; 2016. 864 с.
7. Лігоненко ЛО, редактор. *Торговельне підприємництво: теорія та практика*. Київ: Київський національний торговельно-економічний університет; 2012. 304 с.
8. Скуба РВ, составитель. *Разработка плана маркетинга инновационно-активного предприятия*. Владимир: ВлГУ; 2006. 48 с.
9. Касьянов Я. Економіка «титанів» на товарних ринках України. *Маркетинг в Україні*. 2008;4:28–33.
10. Клапчук ВА. Просторовий розвиток торговельних мереж Львова. *Науковий вісник Херсонського державного університету. Серія: Географічні науки*. 2018;8:63–70.
11. Найбільші FMCG-мережі України по товарообігу в 2016 році [Інтернет; процитовано 18 березня 2019 р.]. Доступно по: <https://rau.ua/uk/novyni/krupnejshie-fmcg-2016/>.
12. Основные форматы розничной торговли [Інтернет; процитовано 18 марта 2019 г.]. Доступно по: <https://commercial-property.ua/kompanii-obekty/spravochnaya-informatsiya/osnovnye-formaty-roznichnoy-torgovli/>.

References

1. Chernomaz PO. *Marketingova geografiya: teoretyko-metodologichni osnovy* [Marketing geography: theoretical and methodological fundamentals] [dissertation abstract]. Kyiv: Taras Shevchenko National University of Kyiv; 2000. 18 p. Ukrainian.
2. Blank IA. *Upravlenie torgovym predpriyatiem* [Trade management]. Kyiv: Ukrainsko-Finskii institut menedzhmenta i biznesa; 2001. 501 p. Russian.
3. Vinograd'ska AM. *Komercijne pidpryjemnyctvo: suchasnyj stan, strategii' rozvytku* [Commercial entrepreneurship: current state, development strategies]. Kyiv: Centr navchal'noi' literatury; 2004. 807 p. Ukrainian.
4. Goloshubova N. [Development of retailers in Ukraine]. *Tovary i rynky*. 2011;1:15–24. Ukrainian.
5. Mazarakii AA, Ligonenko LO, Ushakova NM. *Ekonomika torgovel'nogo pidpryjemstva* [Economy of a trading enterprise]. Ushakova NM, editor. Kyiv: Khreshchatik; 1999. 797 p. Ukrainian.
6. Lagutin VD. *Vnutrishnja torgivlja Ukrainy* [Internal trade of Ukraine]. Kyiv: Kyiv National University of Trade and Economics; 2016. 864 p. Ukrainian.
7. Ligonenko LO, editor. *Torgovel'ne pidpryjemnyctvo: teoriya ta praktyka* [Trading enterprise: theory and practice]. Kyiv: Kyiv National University of Trade and Economics; 2012. 304 p. Ukrainian.
8. Skuba RV, compiler. *Razrabotka plana marketinga innovatsionno-aktivnogo predpriyatiya* [Development of a marketing plan for an innovatively active enterprise]. Vladimir: Vladimir State University; 2006. 48 p. Russian.
9. Kas'yanov Ya. [The economy of «titans» in commodity markets of Ukraine]. *Marketing v Ukraini*. 2008;4:28–33. Ukrainian.
10. Klapchuk VA. [Spatial development of retailers in the Lviv city]. *Naukovyy visnyk Hersons'kogo derzhavnogo universytetu. Seriya: Geografichni nauky*. 2018;8:63–70. Ukrainian.
11. The largest FMCG networks in Ukraine by there turnover in 2016 [Internet; cited 2019 March 18]. Available from: <https://rau.ua/uk/novyni/krupnejshie-fmcg-2016/>. Ukrainian.
12. Basic retail formats [Internet; cited 2019 March 18]. Available from: <https://commercialproperty.ua/kompanii-obekty/spravochnaya-informatsiya/osnovnye-formaty-roznichnoy-torgovli/>. Russian.

Статья поступила в редколлегию 25.03.2019.
Received by editorial board 25.03.2019.

ОЦЕНКА ДИНАМИКИ ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА ЧЕРНОЗЕМА ОПОДЗОЛЕННОГО В ПОЛЕВОМ СЕВООБОРОТЕ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ КЛИМАТА

А. Н. ПОЛЕВОЙ¹⁾, Л. Е. БОЖКО¹⁾

¹⁾Одесский государственный экологический университет,
ул. Львовская, 15, 65016, г. Одесса, Украина

Представлена оценка возможного баланса органического углерода в почве и выделений CO_2 –С в полевом десятипольном севообороте в условиях изменения климата. Ожидаемые в 2021–2050 гг. показатели метеорологических условий определялись с помощью климатических сценариев RCP4.5 и RCP8.5. В исследовании использовалась усовершенствованная авторами модель кругооборота углерода в почве RothC-26.3, которая описывает динамику четырех активных и одного инертного компартментов органического вещества почвы. В численных экспериментах с моделью рассмотрен полевой десятипольный севооборот в трех вариантах: 1) выращивание культур без внесения удобрений; 2) внесение минеральных удобрений в дозах $\text{N}_{45}\text{P}_{45}\text{K}_{45}$ и $\text{N}_{90}\text{P}_{90}\text{K}_{90}$; 3) внесение органических удобрений порядка 9 и 18 т/га. Изучен возможный баланс органического углерода в почве и выделения CO_2 –С на всех полях севооборота и на одном конкретном поле при изменении климата.

Ключевые слова: баланс; углерод; севооборот; осадки; температура воздуха; минеральные удобрения; органические удобрения; коэффициент увлажнения.

ASSESSMENT OF ORGANIC CARBON DYNAMICS IN PODZOLIZED CHERNOZEM SOIL IN FIELD CROP ROTATION UNDER THE CLIMATE CHANGE

A. N. POLEVVOY^a, L. E. BOZKO^a

^aOdessa State Environmental University, 15 Lvivska Street, Odessa 65016, Ukraine
Corresponding author: A. N. Polevoy (apolevoy@te.net.ua)

The work presents assessment of organic carbon in the soil and CO_2 –C emissions for the ten-field crop rotation in a changing climate conditions. The expected weather conditions for the 2021–2050 are estimated with RCP4.5 and RCP8.5 models. The research uses the updated model for the soil carbon cycle RothC-26.3, which describes the dynamics of four active and one inert compartments of the soil organic matter. The numerical studies consider three variants of the

Образец цитирования:

Полевой АН, Божко ЛЕ. Оценка динамики органического углерода чернозема оподзоленного в полевом севообороте при изменении климата. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология*. 2019;2:65–78. <https://doi.org/10.33581/2521-6740-2019-2-65-78>

For citation:

Polevoy AN, Bozko LE. Assessment of organic carbon dynamics in podzolized chernozem soil in field crop rotation under the climate change. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology*. 2019;2:65–78. Russian. <https://doi.org/10.33581/2521-6740-2019-2-65-78>

Авторы:

Анатолий Николаевич Полевой – академик Академии наук высшей школы Украины, доктор географических наук, профессор; заведующий кафедрой агрометеорологии и агроэкологии Гидрометеорологического института.

Людмила Ефимовна Божко – кандидат географических наук, доцент; доцент кафедры агрометеорологии и агроэкологии Гидрометеорологического института.

Authors:

Anatoliy N. Polevoy, academician of the Higher School Academy of Sciences of Ukraine, doctor of science (geography), full professor; head of the department of agrometeorology and agroecology, Hydrometeorological Institute.
apolevoy@te.net.ua

Ludmila E. Bozko, PhD (geography), docent; associate professor at the department of agrometeorology and agroecology, Hydrometeorological Institute.
bozko@i.ua

ten-fields crops rotation: 1) growing crops without fertilizing; 2) fertilization with mineral fertilizers in $N_{45}P_{45}K_{45}$ and $N_{90}P_{90}K_{90}$ doses; 3) fertilization with organic fertilizers in the amounts of 9 and 18 t/ha. The research object is the balance of organic carbon in the soil and CO_2 –C emissions from all crop rotation fields and the singular crop rotation field in the climate change conditions.

Keywords: balance; carbon; crop rotation; precipitation; air temperature; mineral fertilizers; organic fertilizers; moisture coefficient.

Введение

Под плодородием почвы понимается ее способность снабжать растения питательными веществами, водой и воздухом, необходимыми для их качественного развития и размножения. Плодородие – это основной и самый важный признак, отличающий почву от горной породы и любых других природных образований земной суши. Почва обеспечивает растения всем необходимым благодаря бесчисленным химическим, физическим и биологическим процессам, которые в ней протекают. Именно в результате этих процессов почва создает, накапливает, распределяет и в нужный момент отдает вещества, требующиеся растениям.

Одним из главных показателей почвенного плодородия является содержание гумуса и его качество. Изменение количества гумуса в почве обуславливается процессами гумификации и минерализации органических веществ. Динамика его вариации в почве наиболее достоверно определяется в ходе продолжительных стационарных опытов, которые позволяют судить о влиянии разнообразных агротехнических мероприятий на содержание гумуса и состояние почвы [1, с. 73].

Оценка уровня плодородия почвы может производиться по отдельным свойствам, однако это затруднено тем, что различные показатели имеют разные значения. Поэтому наиболее объективным критерием выступает комплексный показатель – индекс окультуренности почв, где каждое свойство выражается в относительных величинах и отражает степень соответствия почвы требованиям культурных растений. Актуальной при этом также является оценка динамики гумуса и выделения CO_2 из сельскохозяйственных полей в условиях изменения климата.

Существуют различные подходы к определению баланса гумуса в почве [2, р. 4–5]. Условно по специфическим целям и методическим приемам их можно разделить на две группы: 1) экологические, основанные на моделировании динамики органического углерода в почве; 2) агрономические, главная цель которых – сохранение оптимальных почвенных функций и определение требуемого для этого количества органических удобрений. В работе [2, р. 6] приводится характеристика семи наиболее применяемых в Европе исследовательских подходов, отличающихся целями, концепциями моделирования, охватом учитываемых влияющих факторов и процедурами валидации.

Будущая динамика органического углерода в почве оценивается с помощью биогеохимических моделей различной сложности, а также сценариев изменения климата.

Потенциальное влияние климатических изменений на свойства почв детально рассмотрено в обзоре [3, р. 54–59]. В работе [4, р. 17–20] приводятся результаты моделирования воздействия изменения климата и увеличения атмосферного CO_2 на продуктивность травянистой растительности и содержание углерода в почве на 31 участке умеренной и тропической зон с помощью модели CENTURY, которые показали существенное повышение продуктивности трав и потери углерода почвы через 50 лет. Аналогичные результаты получены в исследовании с помощью модели SOCRATES продуктивности растений и динамики органического углерода в почве в условиях Австралии на ближайшие 100 лет [5, р. 3]. С использованием моделей CENTURY33 и RothC-34 в работе [6, р. 170] рассмотрено влияние температуры на углерод почвы при изменении климата: отмечается уменьшение количества углерода в различных типах почвы через 100 лет.

В пределах Европы содержание углерода в почве при климатических изменениях в 1990–2080 гг. исследовалось с помощью модели Lund-Potsdam-Jena [7, р. 2145], в 1990–2100 гг. – модели LPJ-DGVM [8, р. 391–393]. С использованием модели CarboSOIL для Андалузии (Испания) [9, р. 8253] проведена оценка динамики почвенного углерода до 2040, 2070, 2100 гг. В странах Балтии выполнены разноплановые фундаментальные исследования изменения климата, включая анализ его влияния на баланс углерода почвы [10, р. 281]. В Дании в течение 20 лет (1991–2010) с помощью CROP-SOIL models изучалась вариация углерода в почве при возделывании озимой пшеницы [11, р. 146]. Сверхдолгосрочные оценки динамики органического углерода в почве для Дании и Китая получены с использованием Bern Carbon Cycle Model в работе [12, р. 218]: отмечается уменьшение содержания углерода через 20, 100 и 200 лет.

В условиях Канады с помощью Long-Term Organic Carbon Model [13, р. 198] оценивалось количество углерода почвы на пастбище при различной степени покрытости растительным покровом на периоды 100, 200, 300 и 400 лет.

В работе [14, р. 802] с использованием статистического анализа BMDP Statistical Software рассматривалась изменчивость содержания углерода в почве на примере 500 пастбищных и 300 культивируемых почв Центральных равнин США.

В Бразилии с помощью модели CQESTR исследовалась динамика углерода в тропической почве как без обработки, так и при пахоте с 1927 до 2033 г. и с 1986 до 2036 г. [15, р. 123]. Для обоих вариантов опыта отмечается устойчивое снижение содержания углерода.

Для Африки и Юго-Восточной Азии обобщающие оценки относительно влияния климатических изменений на продуктивность почв и содержание в них углерода получены с помощью модели ForNBM [16, р. 10–12]. В материалах ФАО [17, р. 7–8] с использованием комплекса моделей (CENTURY, DNDC, RothC-34, LPJ-DGVM, CESAR) всесторонне анализируется влияние изменений климата на углерод почвы.

Материалы и методы исследования

В основу исследования был положен набор климатических сценариев, а именно репрезентативные траектории концентраций (*representative concentration pathways*, RCP) углекислого газа. Наиболее изученными сценариями изменения климата считаются два из них – RCP4.5 и RCP8.5. Самым пессимистическим является сценарий RCP8.5, предусматривающий экспоненциальное увеличение содержания углекислого газа в атмосфере до конца XXI в. примерно в 2,5 раза по сравнению с современным [18, с. 18]. Помимо этого, в исследовании использовалась усовершенствованная авторами модель кругооборота углерода в почве RothC-26.3, которая описывает динамику четырех активных и одного инертного компартментов органического вещества почвы [19, р. 239]. В алгоритм модели RothC-26.3 нами введена полученная на основе работы [20, с. 128] система уравнений, позволяющая разделить растительные остатки по месяцам вегетации, и предложенные в [21, с. 107] уравнения, которые дают возможность вычислить их суммарную величину. Также добавлен расчет температуры почвы на глубине 20 см и изменено определение водного режима почв.

Моделирование динамики органического вещества в минеральных почвах и выбросов углерода из них базируется на обосновании концепции разделения органического вещества растительных остатков и почв на активные и пассивные компартменты и дальнейшем количественном описании их динамики.

В модель включены все главные процессы кругооборота углерода, интенсивность которых описывается уравнением первого порядка. Во время процесса разложения происходит обмен органическим веществом между пулами. При аэробных условиях это приводит к потерям углерода в виде CO_2 .

Идентификация параметров модели выполнялась на основе опубликованных в литературных источниках материалов наблюдений, которые были получены в ходе продолжительных стационарных опытов при исследовании динамики гумуса в Правобережной лесостепи Украины [1, с. 82].

Рассматривался полевой десятипольный севооборот со следующим чередованием сельскохозяйственных культур: клевер (сено) – озимая пшеница – сахарная свекла – кукуруза – горох – озимая пшеница – кукуруза – озимая пшеница – сахарная свекла – яровой ячмень. Основной тип почвы – чернозем оподзоленный. Перед началом стационарных опытов запасы гумуса в слое 0–20 см составляли 82,1 т/га [1, с. 82]. При проведении численных экспериментов с моделью эта величина принималась в качестве начальной. Анализовались три варианта: 1) выращивание культур без внесения удобрений; 2) с внесением минеральных удобрений в дозах $\text{N}_{45}\text{P}_{45}\text{K}_{45}$ и $\text{N}_{90}\text{P}_{90}\text{K}_{90}$; 3) с внесением навоза порядка 9 и 18 т/га.

С помощью модели была выполнена оценка возможного баланса углерода в почве в условиях будущих изменений климата (за 2021–2050 гг.) для всех полей севооборота и для отдельного поля.

Климатические условия как текущие, так и ожидаемые влияют на формирование урожайности культур, баланс гумуса в почве и выделение CO_2 с полей севооборота.

Результаты и их обсуждение

Условия увлажнения и термический режим играют существенную роль в процессах превращения органических веществ в почве прежде всего из-за огромного влияния на продуктивность растительности и деятельность микроорганизмов, которые являются важнейшими биологическими факторами почвообразования.

Рассчитанные по сценариям изменения климата RCP4.5 и RCP8.5 на 2021–2050 гг. температурный режим и суммы осадков представлены на рис. 1 и 2.

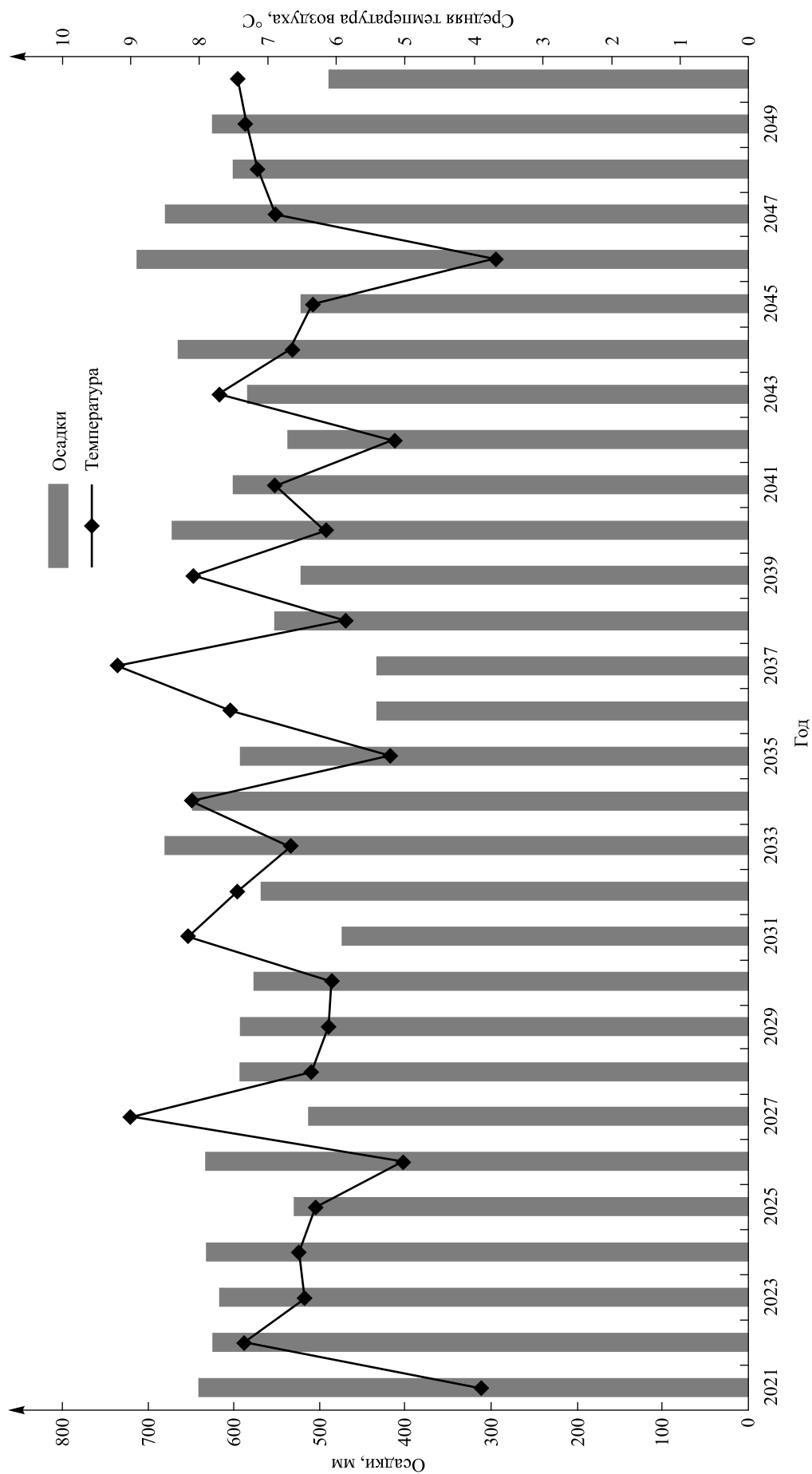


Рис. 1. Динамика ожидаемых годовых сумм осадков и средней годовой температуры воздуха
(климатический сценарий RCP4.5)

Fig. 1. Dynamics of the expected annual rainfalls and middle for a year temperatures of air
(climatic scenario of RCP4.5)

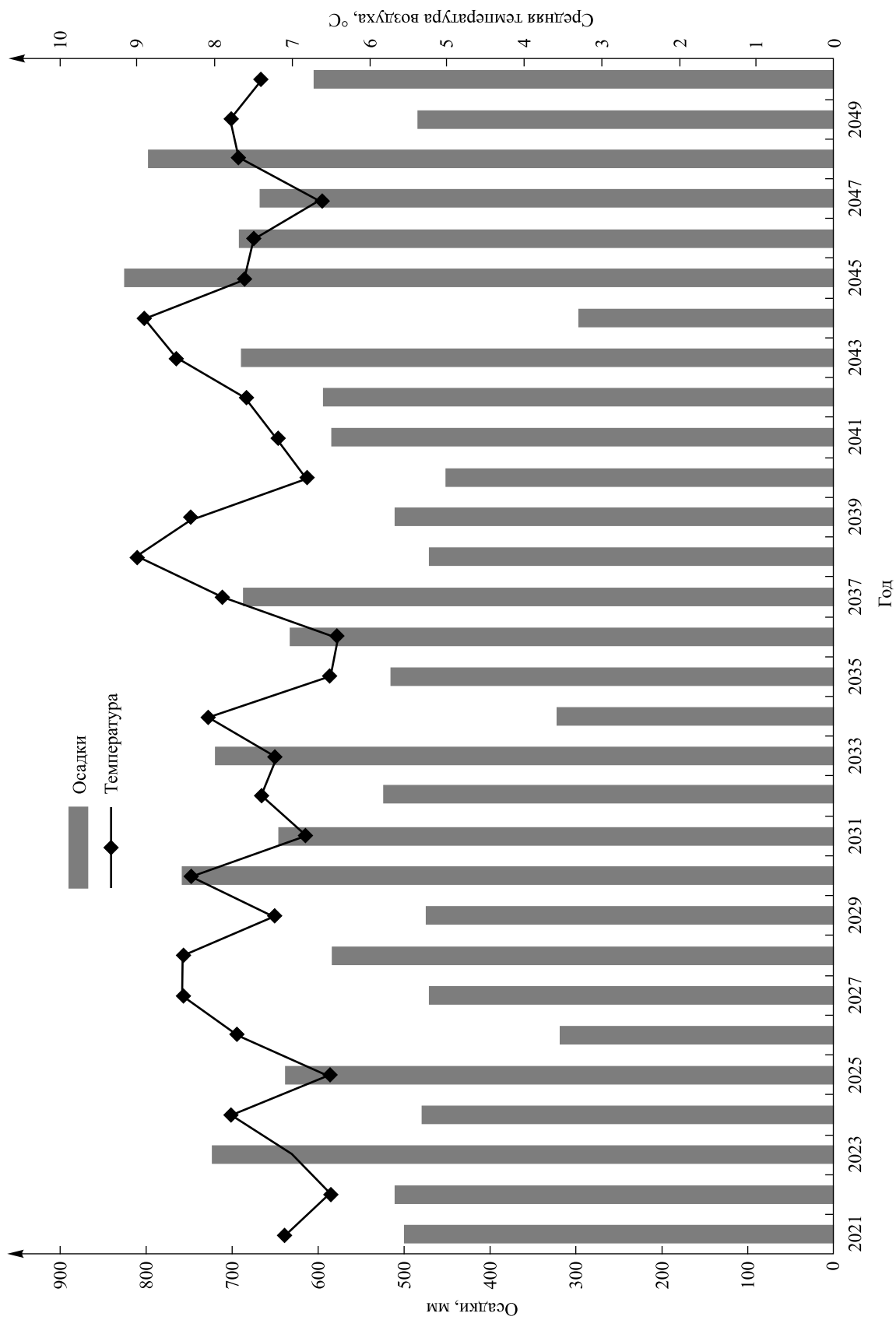


Рис. 2. Динамика ожидаемых годовых сумм осадков и средней годовой температуры воздуха (климатический сценарий RCP8.5)

Fig. 2. Dynamics of the expected annual rainfalls and middle for a year temperatures of air (climatic scenario of RCP8.5)

Ожидается, что по сценарию RCP4.5 среднее за рассматриваемый период годовое количество осадков будет равно 535 мм, т. е. 88 % от среднего многолетнего количества. При этом распределение осадков по годам будет очень неравномерным: предполагается, что в 5–6 годах из этих 30 лет годовая сумма осадков составит 50–65 % от базовой величины, не более чем в 16 годах прогнозируется на уровне 75–85 % и только в 8 годах достигнет 95–115 %.

Если сравнивать ожидаемые по климатическим сценариям суммы осадков, то следует отметить, что по сценарию RCP8.5 среднее за рассматриваемый период годовое количество осадков будет больше, чем по сценарию RCP4.5, и достигнет 574 мм, что равно 94 % от базовой величины.

По показателю увлажнения, которым выступает гидротермический коэффициент Селянинова (далее – ГТК), согласно климатическому сценарию RCP4.5 ожидается девять засушливых лет (рис. 3). Из них наибольшей засушливостью будут отличаться 2021 и 2046 гг., когда ГТК составит 0,58 и 0,52 отн. ед. соответственно, это означает, что вегетационные периоды этих лет характеризуются засухой средней интенсивности при средней за лето температуре воздуха 19,6 и 19,9 °C соответственно.

Вместе с тем по сценарию RCP8.5 увеличится количество лет с суммами осадков 48–52 % от базовой величины. По показателю увлажнения ожидается 10 засушливых лет (см. рис. 3). Причем особенно засушливыми будут 2026, 2034 и 2044 гг., когда значение ГТК составит 0,31; 0,58 и 0,52 отн. ед. соответственно.

Под влиянием погодных условий баланс углерода изменяется ежегодно в настоящее время и продолжит изменяться в будущем.

Характер динамики ожидаемых среднегодовых значений баланса углерода в почве при разных вариантах внесения удобрений в полевом десятипольном севообороте при реализации климатического сценария RCP4.5 представлен на рис. 4. Рассматривались три варианта расчета: 1) без внесения удобрений; 2) с внесением минеральных удобрений в дозе $N_{90}P_{90}K_{90}$; 3) с внесением навоза в количестве 18 т/га. Как видно из данных рис. 4, отрицательный среднегодовой баланс углерода ожидается в варианте без внесения удобрений: его значения будут колебаться от –0,120 до –0,379 тонны углерода на гектар (далее – т С га^{–1}). Наименьшие из них ожидаются в 2036, 2038, 2039, 2048–2050 гг. Средний за рассматриваемый период годовой баланс углерода в почве составит –0,250 т С га^{–1}.

Колебания баланса углерода в почве в варианте с внесением минеральных удобрений $N_{90}P_{90}K_{90}$ будут гораздо меньшими: от –0,184 до 0,101 т С га^{–1}. Причем в девяти годах ожидаются положительные значения. Средний за рассматриваемый период годовой баланс углерода в почве, так же как и в варианте без внесения удобрений, будет отрицательным, но существенно меньшим (на 0,219 т С га^{–1}) и составит –0,031 т С га^{–1}.

Баланс углерода в почве при внесении навоза в количестве 18 т/га ожидается положительный. Средний за рассматриваемый период годовой баланс достигнет 0,085 т С га^{–1}, однако будут два года – 2046-й и 2047-й, когда баланс углерода прогнозируется отрицательный. Предполагается, что эти годы будут характеризоваться самыми высокими среднегодовыми (8,5–8,9 °C) и средними за летний период (19,9 °C) температурами воздуха. Помимо этого, 2046 г. станет и самым засушливым.

При реализации климатического сценария RCP8.5 прослеживается чуть большее, чем при реализации сценария RCP4.5, увеличение годового баланса углерода. Это объясняется тем, что по сценарию RCP8.5 ожидаются более благоприятные условия тепло- и влагообеспеченности: температура воздуха будет несколько ниже средней многолетней, а количество осадков, особенно начиная с 2040 г., – выше среднего многолетнего.

Сопоставление данных рис. 1, 2 и 4 демонстрирует слабую положительную зависимость среднегодового баланса углерода в почве в полевом десятипольном севообороте от условий увлажнения за год.

Естественно, что под разными сельскохозяйственными культурами формируется только им присущий баланс углерода, а на рис. 4 приводятся осредненные по севообороту данные, в которых нивелируются особенности каждой полевой культуры. Если рассмотреть ожидаемый годовой баланс углерода на отдельном поле, например озимой пшеницы, то зависимость будет более отчетливо выраженной.

Улучшение режима увлажнения приведет к увеличению значения баланса углерода. Была рассчитана статистическая зависимость годового баланса углерода на поле с озимой пшеницей в десятипольном севообороте от количества осадков за июнь – август (вариант без внесения удобрений, сценарий RCP4.5). Связь характеризуется незначительным коэффициентом корреляции: $R = 0,349$.

Следует также отметить, что при значительном количестве осадков даже в варианте без внесения удобрений ожидается слабopоложительный баланс.

При сумме осадков за летние месяцы от 50 до 100 мм баланс углерода будет отрицательным и составит от –0,10 до –0,15 т С га^{–1}, а при суммарном количестве осадков за лето свыше 200 мм – положительным – в пределах 0–0,05 т С га^{–1}. В годы, когда сумма осадков ожидается более 220 мм, а средняя температура при этом будет снижена до 17,0–17,5 °C, годовой баланс углерода достигнет 0,12–0,13 т С га^{–1}.

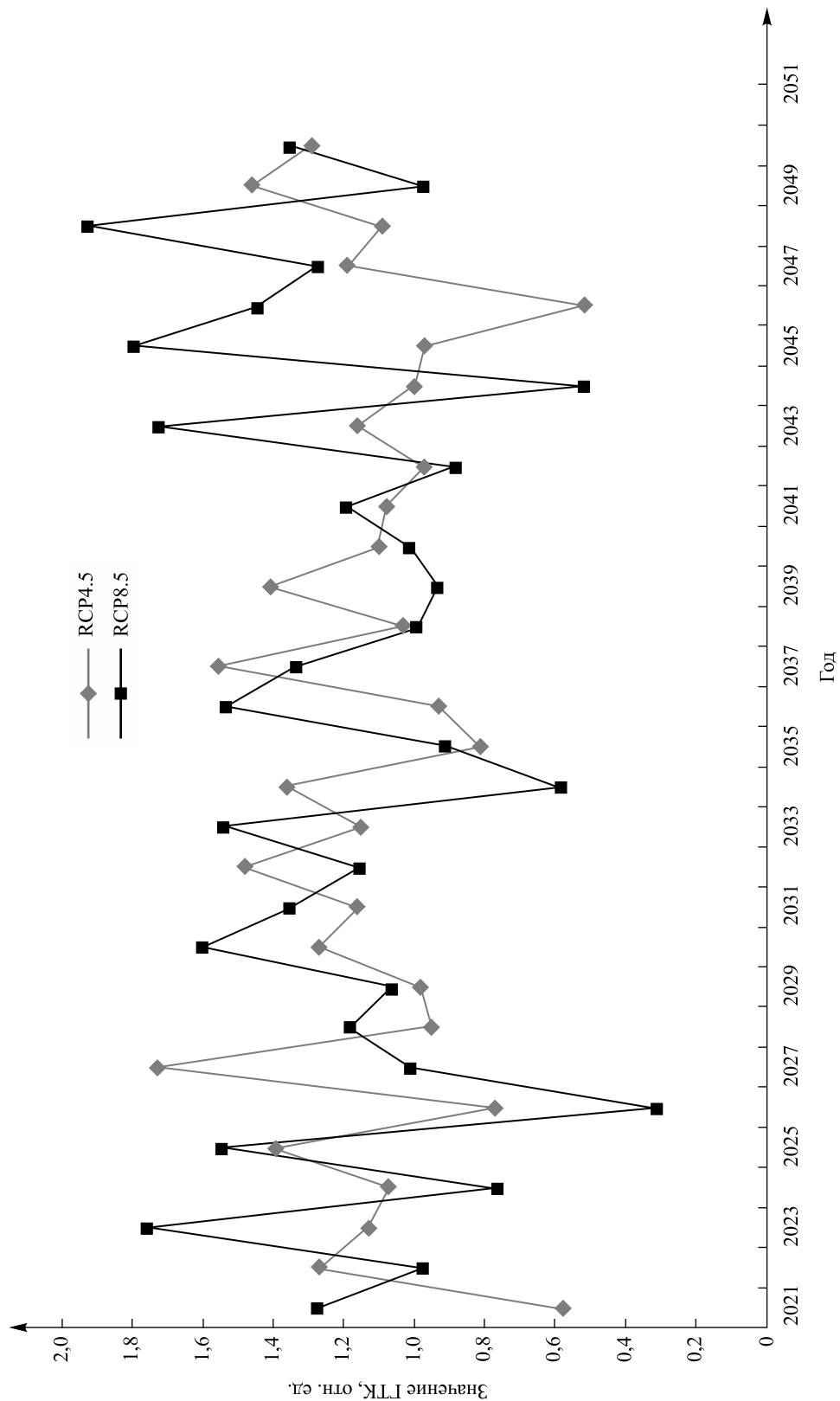


Рис. 3. Динамика ожидаемых значений ГТК по климатическим сценариям RCP4.5 и RCP8.5

Fig. 3. Dynamics of the expected values of Selyaninov's hydrotal coefficient of moistening on the climatic scenarios of RCP4.5 and RCP8.5

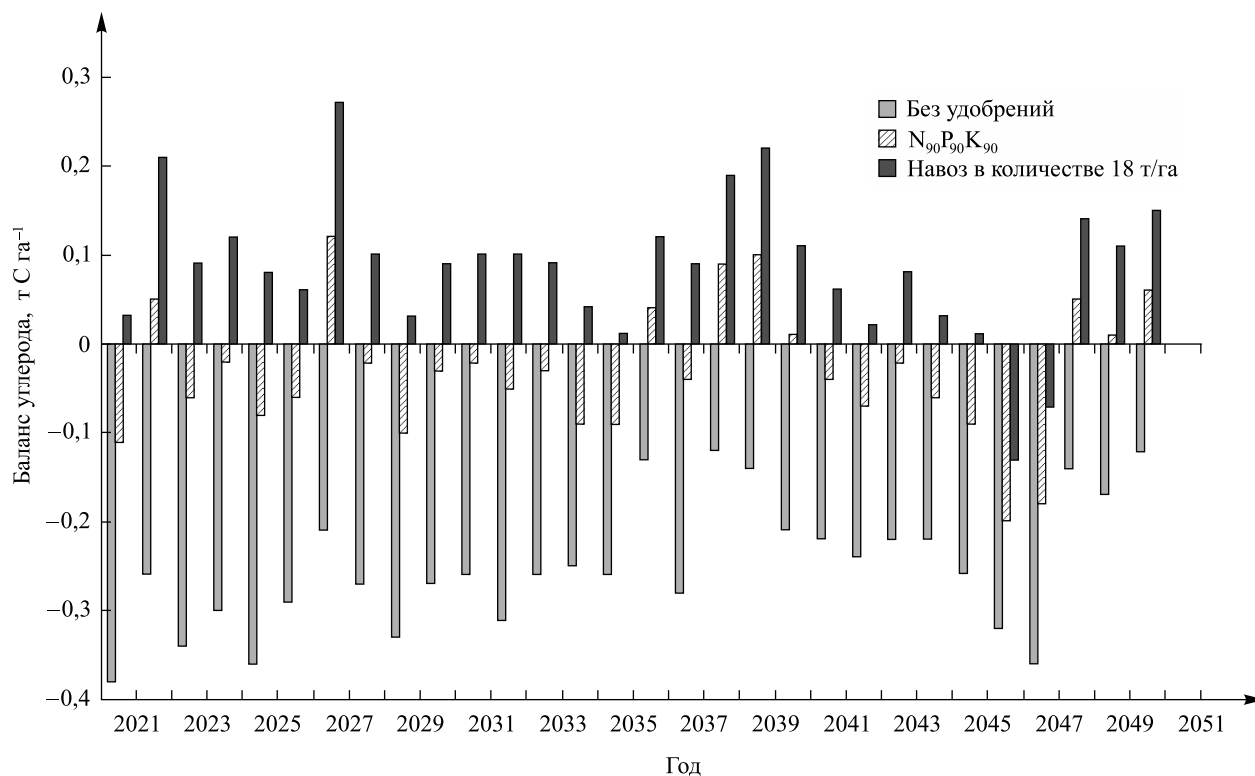


Рис. 4. Динамика среднегодовых значений баланса углерода в почве при разных вариантах внесения удобрений в десятипольном севообороте (климатический сценарий RCP4.5)

Fig. 4. Dynamics of average annual values of balance of carbon in soil at the different variants of top-dressing in a ten field crop rotation (climatic scenario of RCP4.5)

Режим увлажнения существенно влияет и на выделения углерода $\text{CO}_2\text{-C}$ из почвы. Комплексным показателем оценки условий увлажнения является ГТК. Результат сопоставления ожидаемых по климатическому сценарию RCP4.5 (вариант без внесения удобрений) годовых сумм выделения углерода $\text{CO}_2\text{-C}$ из почвы на поле с озимой пшеницей в десятипольном севообороте с условиями увлажнения представлен на рис. 5.

Как видно из данных рис. 5, наблюдается прямая зависимость годовых сумм выделения углерода $\text{CO}_2\text{-C}$ из почвы от условий увлажнения вегетационного периода. С известной степенью осторожности можно отметить, что при значениях ГТК за вегетационный период 0,5–0,8 отн. ед. выделение углерода $\text{CO}_2\text{-C}$ из почвы составляет 0,50–0,55 тонны выделений углерода $\text{CO}_2\text{-C}$ на гектар (далее – т $\text{CO}_2\text{-C}$ га⁻¹), повышение ГТК способствует увеличению выделений углерода, а при ГТК, равном 1,4–1,6 отн. ед., выделение углерода $\text{CO}_2\text{-C}$ из почвы на поле с озимой пшеницей возрастает до 0,70–0,75 т $\text{CO}_2\text{-C}$ га⁻¹.

Также был рассчитан ожидаемый баланс углерода на одном конкретном поле севооборота по десятилетиям (2021–2030, 2031–2040, 2041–2050) для трех вариантов опыта: 1) без внесения удобрений; 2) с внесением минеральных удобрений в дозах $\text{N}_{45}\text{P}_{45}\text{K}_{45}$ и $\text{N}_{90}\text{P}_{90}\text{K}_{90}$; 3) с внесением навоза порядка 9 и 18 т/га. Ожидаемые по климатическим сценариям осредненные по десятилетиям метеорологические условия приведены в таблице.

Метеорологические условия десятилетий по климатическим сценариям RCP4.5 и RCP8.5 отличаются температурным режимом и режимом увлажнения. Данные таблицы показывают, что температура воздуха по обоим сценариям ожидается ниже базовой величины. Здесь нет парадокса. Это объясняется тем, что интенсивное потепление климата началось в конце 1980-х гг., т. е. 1986–2005 гг., которые вошли в расчет базовой величины, пришлось на период потепления.

Меньшее по сравнению с базовой величиной количество осадков прогнозируется по сценарию RCP4.5 и для первых двух десятилетий по сценарию RCP8.5, несколько большим будет лишь среднегодовое значение в третьем десятилетии (2041–2050) по климатическому сценарию RCP8.5. Необходимо отметить, что по величине ГТК все три десятилетия по климатическому сценарию RCP4.5 ожидаются более засушливыми, чем по сценарию RCP8.5.

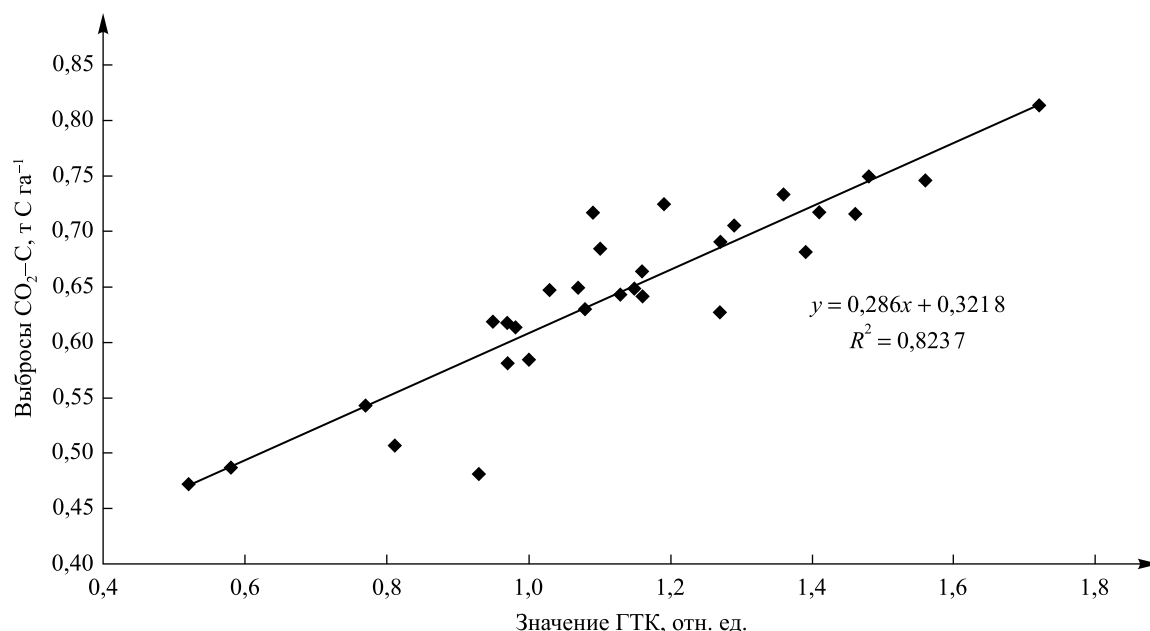


Рис. 5. Зависимость выбросов углерода $\text{CO}_2\text{-C}$ на поле с озимой пшеницей в десятипольном севообороте от средних за вегетационный период значений GTK (вариант без внесения удобрений, климатический сценарий RCP4.5)

Fig. 5. Dependence of extrass of carbon of $\text{CO}_2\text{-C}$ on the field with a winter wheat in a ten field crop rotation from the mean for vegetation period values of coefficient of moistening of GTK (variant without top-dressing, climatic scenario of RCP4.5)

**Ожидаемые по климатическим сценариям RCP4.5
и RCP8.5 метеорологические условия по десятилетиям**
Expected on climatic scenarios RCP4.5 and RCP8.5 meteorological terms on decades

Годы	Средняя за десятилетие температура воздуха, °С		Среднее за десятилетие количество осадков, мм		Средний за десятилетие ГТК за вегетационный период, отн. ед.
	За июнь – август	За год	За июнь – август	За год	
Базовая величина					
1986–2005	18,8	8,0	250	611	1,30
Климатический сценарий RCP4.5					
2021–2030	17,8	7,4	157	505	1,11
2031–2040	17,8	7,0	188	579	1,05
2041–2050	18,3	7,5	166	522	1,07
Климатический сценарий RCP8.5					
2021–2030	17,5	7,5	181	544	1,14
2031–2040	18,1	7,4	192	547	1,13
2041–2050	17,9	7,7	198	632	1,30

Таким образом, на фоне этих метеорологических условий рассматривались динамика ожидаемых усредненных за десятилетия годовых значений баланса углерода в почве и выделение $\text{CO}_2\text{-C}$ на конкретном поле севооборота.

Динамика прогнозируемых по сценариям RCP4.5 и RCP8.5 средних значений баланса углерода на одном конкретном поле представлена на рис. 6 и 7. При этом следует иметь в виду, что на этом поле в течение десятилетия чередуются все сельскохозяйственные культуры: клевер (сено) – озимая пшеница – сахарная свекла – кукуруза – горох – озимая пшеница – кукуруза – озимая пшеница – сахарная свекла – яровой ячмень. Предполагается, что они возделываются при разных вариантах внесения удобрений. Вполне закономерно, что годовой баланс углерода в почве и выбросы углерода на отдельном поле севооборота будут изменяться от десятилетия к десятилетию.

Наибольшие изменения годового баланса углерода в почве ожидаются в варианте без внесения удобрений. При этом его величина будет отрицательной и достаточно значительной (до $-0,29 \dots -0,44$ т С га⁻¹). Общей закономерностью является увеличение годового баланса углерода почвы и выделения $\text{CO}_2\text{--C}$ при переходе от одного варианта к другому (см. рис. 6 и 7): 1) без внесения удобрений; 2) с внесением минеральных удобрений в дозах $\text{N}_{45}\text{P}_{45}\text{K}_{45}$ и $\text{N}_{90}\text{P}_{90}\text{K}_{90}$; 3) с внесением органических удобрений в количестве 9 и 18 т/га.

В большинстве рассматриваемых вариантов годовой баланс углерода ожидается отрицательным, и только при внесении навоза порядка 18 т/га он будет положительным.

При реализации климатического сценария RCP8.5 наблюдается увеличение годового баланса углерода от первого к третьему десятилетию. Для климатического сценария RCP4.5 годового баланс углерода в почве от периода 2021–2030 гг. к периоду 2041–2050 гг. тоже увеличивается. Для других вариантов расчета это прослеживается слабо.

Годовые значения выделения $\text{CO}_2\text{--C}$ на отдельном поле севооборота (см. рис. 6 и 7) будут наименьшими в варианте без внесения удобрений ($0,59\text{--}0,69$ т $\text{CO}_2\text{--C}$ га⁻¹). При внесении минеральных удобрений годовые значения выделения $\text{CO}_2\text{--C}$ возрастают. Так, по климатическому сценарию RCP4.5 при внесении минеральных удобрений в дозе $\text{N}_{45}\text{P}_{45}\text{K}_{45}$ годовые значения выделений $\text{CO}_2\text{--C}$ увеличиваются на 10–12 %, а в дозе $\text{N}_{90}\text{P}_{90}\text{K}_{90}$ – на 14–22 %.

Внесение органических удобрений значительно повышает интенсивность выделения $\text{CO}_2\text{--C}$ с поля севооборота. При внесении навоза порядка 18 т/га ожидается наибольшая величина годовых выделений $\text{CO}_2\text{--C}$ с поля севооборота, которая в 2,3–2,4 раза превысит выделения $\text{CO}_2\text{--C}$ с неободренного поля, что свидетельствует о высокой интенсивности минерализации органического вещества почвы.

Экспериментальные измерения баланса углерода в почве и эмиссии CO_2 , выполненные в различных почвенно-климатических условиях, позволяют сопоставить полученные нами результаты моделирования с результатами других авторов.

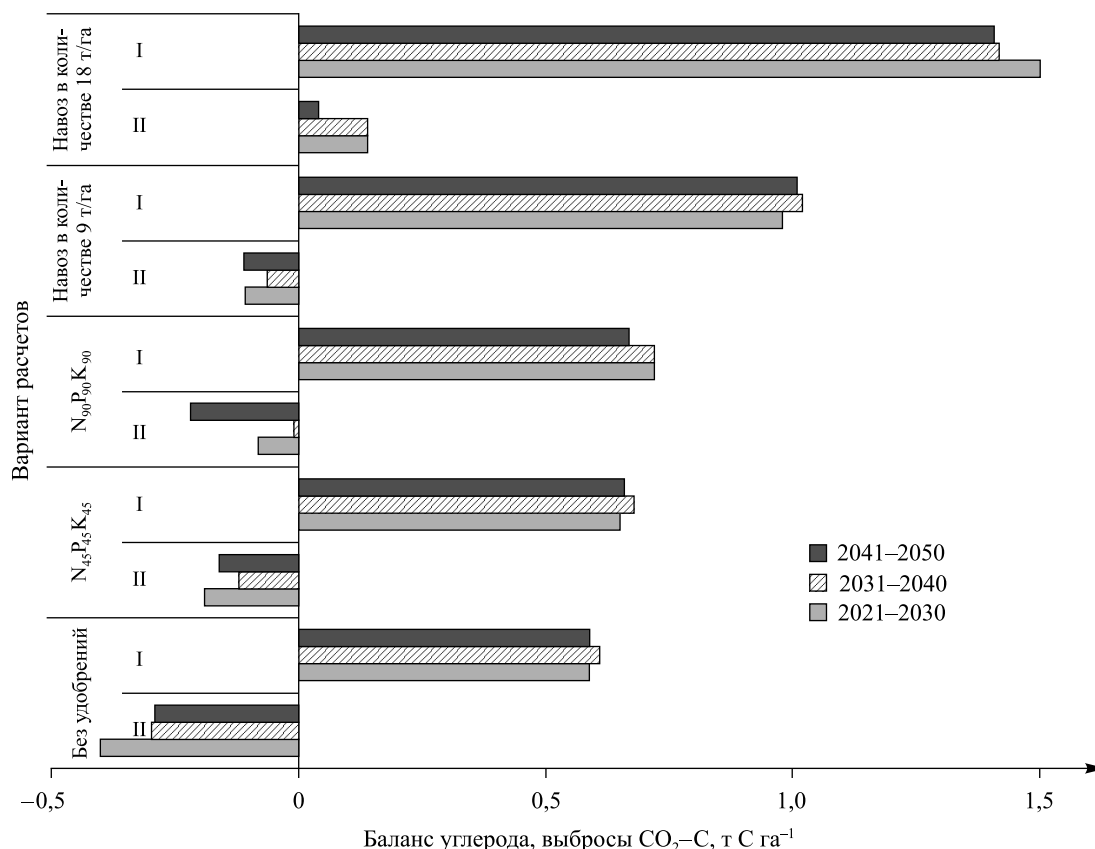


Рис. 6. Динамика ожидаемых средних по десятилетиям годовых значений баланса углерода и выбросов углерода $\text{CO}_2\text{--C}$ на отдельном поле севооборота при разных вариантах внесения удобрений (климатический сценарий RCP4.5): I – выбросы $\text{CO}_2\text{--C}$; II – баланс углерода

Fig. 6. Dynamics of the expected mean on decades annual values balance of carbon and extrass of carbon of $\text{CO}_2\text{--C}$ on the separate field of crop rotation at the different variants of top-dressing (climatic scenario of RCP4.5): I – extrass of $\text{CO}_2\text{--C}$; II – balance of carbon

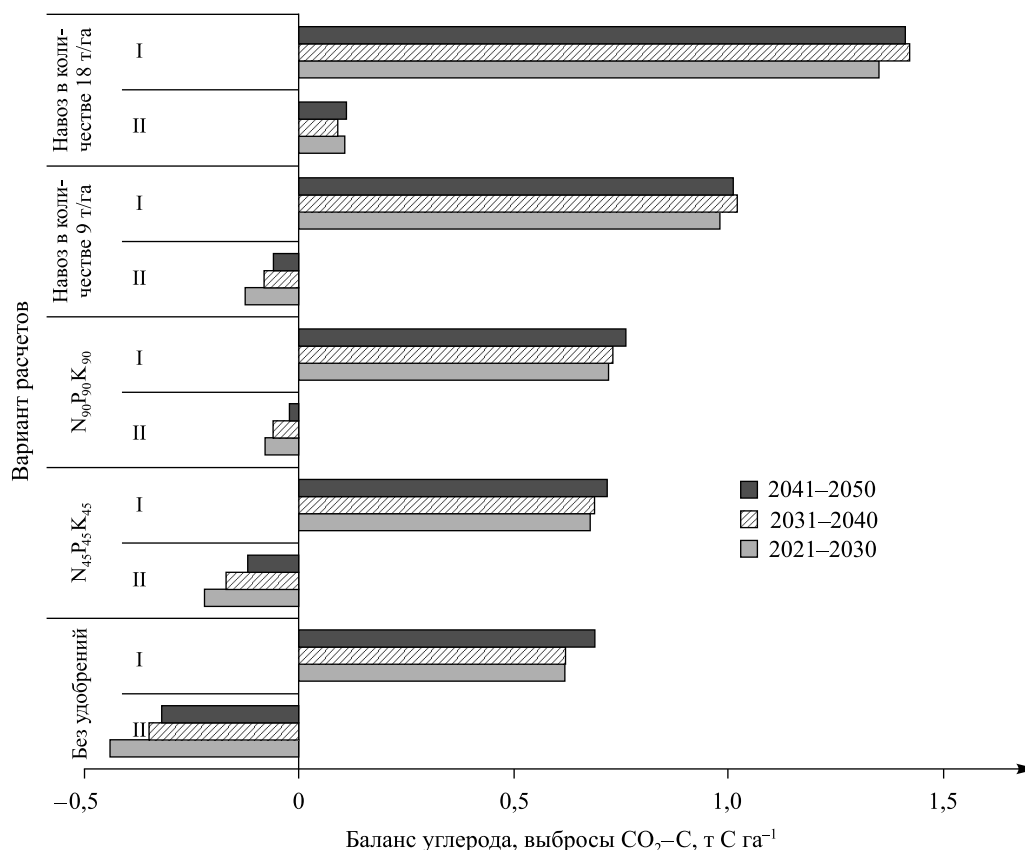


Рис. 7. Динамика ожидаемых средних по десятилетиям годовых значений баланса углерода и выбросов углерода $\text{CO}_2\text{--C}$ на отдельном поле севооборота при разных вариантах внесения удобрений (климатический сценарий RCP8.5): I – выбросы $\text{CO}_2\text{--C}$; II – баланс углерода

Fig. 7. Dynamics of the expected mean on decades annual values of balance of carbon and extrass of carbon of $\text{CO}_2\text{--C}$ on the separate field of crop rotation at the different variants of top-dressing (climatic scenario of RCP8.5): I – extrass of $\text{CO}_2\text{--C}$; II – balance of carbon

На основе огромного массива экспериментальных данных проводимых в США исследований в работе [14, р. 802] делается вывод о снижении содержания органического углерода в почве при повышении среднегодовой температуры воздуха от 5 до 17 °C, а также о положительном влиянии на баланс углерода в почве увеличения количества осадков от 200 до 1000 мм. Нами рассмотрены сценарные изменения среднегодовой температуры воздуха от 6 до 9 °C, при этом ожидается, что максимальный отрицательный баланс углерода будет наблюдаться в годы с наиболее высоким уровнем среднегодовых температур воздуха. Рост годовой суммы осадков от 300 до 800 мм обуславливает положительный баланс углерода в почве. Приведенные данные хорошо согласуются с результатами работы [14, р. 802].

В исследовании [23, р. 522] в условиях Европы поток эмиссии CO_2 из почвы под травянистой растительностью (пастбища) оценивается количеством 0,52 т $\text{CO}_2\text{--C}$ га⁻¹ за год. Для пахотных земель наблюдается более высокое значение эмиссии CO_2 (0,84 т $\text{CO}_2\text{--C}$ га⁻¹ за год). Близкие к приведенным оценки были получены и в наших расчетах. Однако они несколько отличаются в вариантах с внесением высокой дозы органических удобрений.

Выполненные в [24, с. 142] на черноземах Левобережной Украины многолетние измерения баланса углерода и эмиссии CO_2 из черноземной почвы под однолетними травами демонстрируют средние значения баланса углерода, равные -0,10... -0,13 т C га⁻¹, и величины потоков CO_2 , равные 0,524–0,525 т $\text{CO}_2\text{--C}$ га⁻¹ за год. Многолетние исследования [25, с. 110], проведенные во Владимирской области, показали, что продуцирование углекислого газа одной и той же культурой в разные годы варьирует в зависимости от гидротермических условий. Колебания между минимальным и максимальным выделением $\text{CO}_2\text{--C}$ составляют 111–467 кг $\text{CO}_2\text{--C}$ га⁻¹ для ячменя, 429–1356 кг/га для люпина, 141–1033 кг/га для пара, 792–1259 кг/га для озимой пшеницы, 521–883 кг/га для картофеля, 521–2321 кг/га для залежи. Для условий Литвы [26, р. 40] приводятся нелинейные зависимости выбросов CO_2 из почвы от температуры воздуха и влажности почвы, отмечается повышение эмиссии CO_2 с внесением удобрений.

В выполненных нами модельных расчетах годовые значения баланса углерода в почве и суммарных потоков эмиссии CO_2 меняются от года к году в зависимости от метеорологических условий и внесения удобрений и составляют от $-0,4$ до $+0,2$ т С га⁻¹ и от $0,6$ до $1,5$ т CO_2 –С га⁻¹ за год соответственно. Они соотносятся с результатами экспериментальных измерений приведенных выше литературных источников.

Заключение

В целом за 2021–2050 гг. ожидается изменение показателей термического режима и условий увлажнения. По обоим сценариям предполагается 9–10 засушливых лет за рассматриваемый период.

Определены особенности влияния влаготемпературного режима на динамику органического углерода чернозема оподзоленного и выделений CO_2 –С при различном внесении минеральных и органических удобрений под сельскохозяйственные культуры.

Показано, что улучшение режима увлажнения приведет к увеличению значения баланса углерода. Зависимость годового баланса углерода на поле с озимой пшеницей в десятипольном севообороте от количества осадков за лето (вариант без внесения удобрений) характеризуется коэффициентом корреляции 0,349. При сумме осадков от 50 до 100 мм баланс углерода будет отрицательным и составит $-0,10 \dots -0,15$ т С га⁻¹. При суммарном количестве осадков за лето более 200 мм баланс ожидается положительный – в пределах $0-0,05$ т С га⁻¹. В годы, когда сумма летних осадков превысит 220 мм, а средняя температура при этом снизится до $17,0-17,5$ °С, годовой баланс углерода достигнет $0,12-0,13$ т С га⁻¹.

Установлена прямая зависимость годовых сумм выделения углерода CO_2 –С из почвы от условий увлажнения вегетационного периода. При значениях ГТК за вегетационный период $0,5-0,8$ отн. ед. эмиссия углерода CO_2 –С из почвы составит $0,50-0,55$ т CO_2 –С га⁻¹, при ухудшении условий увлажнения повышение ГТК способствует увеличению выделений углерода, а при ГТК, равном $1,4-1,6$ отн. ед., выделение углерода CO_2 –С из почвы на поле с озимой пшеницей возрастет до $0,70-0,75$ т CO_2 –С га⁻¹.

Отмечено, что наибольшие изменения годового баланса углерода в почве ожидаются в варианте без внесения удобрений. При этом его величина будет отрицательной и достаточно значительной (до $-0,29 \dots -0,44$ т С га⁻¹). Общей закономерностью является увеличение годового баланса углерода почвы и выделения CO_2 –С при переходе от одного варианта внесения удобрений к другому и наращивании дозы (от минеральных удобрений $\text{N}_{45}\text{P}_{45}\text{K}_{45}$ к органическим порядка 18 т/га). В большинстве рассматриваемых вариантов годовой баланс углерода ожидается отрицательным, и только в варианте внесения органических удобрений в количестве 18 т/га он будет положительным.

В условиях изменения климата прослеживается увеличение годового баланса углерода и годовых сумм выделения углерода CO_2 –С из почвы от первого (2021–2030) ко второму (2031–2040) и третьему (2041–2050) десятилетиям рассматриваемого периода.

Приведенные материалы показывают, что под влиянием погодных условий баланс углерода и эмиссия CO_2 –С изменяются ежегодно на современном этапе и продолжают изменяться в будущем. При этом значение баланса углерода и выделения CO_2 –С будут находиться в гораздо большей зависимости от условий увлажнения, чем от температуры воздуха и почвы. Улучшение условий увлажнения приводит к значительному повышению выделения CO_2 –С с полей севооборота. Длительное применение различных систем удобрений оказывает значительное положительное влияние на баланс углерода и выделения CO_2 –С.

Библиографические ссылки

1. Трус ОМ, Господаренко ГМ, Прокопчук ІВ. *Гумус чернозему опідзоленого та його відтворення*. Умань: Сочінський М. М.; 2016. 227 с.
2. Brock C, Franko U, Oberholzer H-R, Kuka K, Leithold G, Kolbe H, et al. Humus balancing in Central Europe – concepts, state of the art, and further challenges. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 2013;176(1):3–11. DOI: 10.1002/jpln.201200137.
3. Karmakar R, Das I, Dutta D, Rakshit A. Potential effects of climate change on soil properties: a review. *Science International*. 2016;4(2):51–73. DOI: 10.17311/sciintl.2016.51.73.
4. Parton WJ, Scurlock JMO, Ojima DS, Schimel DS, Hall DO. Scopegram group members. Impact of climate change on grassland production and soil carbon worldwide. *Global Change Biology*. 1995;1(1):13–22. DOI: 10.1111/j.1365-2486.1995.tb00002.x.
5. Grace PR, Post WM, Hennessy K. The potential impact of climate change on Australia's soil organic carbon resources. *Carbon Balance and Management*. 2006;10:1–14. DOI: 10.1186/1750-0680-1-14.
6. Davidson EA, Janssens IA. Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change. *Nature*. 2006; 440:165–173. DOI: 10.1038/nature04514.
7. Smith J, Smith P, Wattenbach M, Zaehle S, Hiederer R, Jones RJA, et al. Projected changes in mineral soil carbon of European croplands and grasslands, 1990–2080. *Global Change Biology*. 2005;11(12):2141–2152. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2005.001075.x.

8. Zaehle S, Bondeau A, Carter TR, Cramer W, Erhard M, Prentice IC, et al. Projected changes in terrestrial carbon storage in Europe under climate and land-use change, 1990–2100. *Ecosystems*. 2007;10(3):380–401. DOI: 10.1007/s10021-007-9028-9.
9. Muñoz-Rojas M, Jordán A, Zavala LM, González-Peñaloza FA, De la Rosa D, Pino-Mejias R, et al. Modelling soil organic carbon stocks in global change scenarios: a CarboSOIL application. *Biogeosciences*. 2013;10(12):8253–8268. DOI: 10.5194/bg-10-8253-2013.
10. *Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin*. Berlin: Springer-Verlag; 2008. 474 p. (Regional Climate Studies).
11. Ozturk I, Sharif B, Baby S, Jabloun M, Olesen JE. Long-term simulation of temporal change of soil organic carbon in Denmark: comparison of three model performances under climate change. *The Journal of Agricultural Science*. 2018;156(2):139–150. DOI: 10.1017/S0021859617000971.
12. Petersen BM, Knudsen MT, Hermansen JE, Halberg N. An approach to include soil carbon changes in life cycle assessments. *Journal of Cleaner Production*. 2013;52:217–224. DOI: 10.1016/j.jclepro.2013.03.007.
13. Van Veen JA, Paul EA. Organic carbon dynamics in grassland soils. I. Background information and computer simulation. *Canadian Journal of Soil Science*. 1981;61(2):185–201. DOI: 10.4141/cjss81-024.
14. Burke IC, Yonker CM, Parton WJ, Cole CV, Schimel DS, Flach K. Texture, climate, and cultivation effects on soil organic matter content in U. S. grassland soils. *Soil Science Society of America Journal*. 1989;53(3):800–805. DOI: 10.2136/sssaj1989.03615995005300030029x.
15. Leite LFC, Doraiswamy PC, Causarano HJ, Gollany HT, Milak S, Mendonca ES. Modeling organic carbon dynamics under no-tillage and plowed systems in tropical soils of Brazil using CQESTR. *Soil & Tillage Research*. 2009;102(1):118–125. DOI: 10.1016/j.still.2008.08.003.
16. Fayiga AO, Saha AK. Effect of climate change on soil productivity in developing countries. *Asian Journal of Environment & Ecology*. 2017;4(1):1–22. DOI: 10.9734/AJEE/2017/35485.
17. Abberton M, Conant R, Batello C, editors. *Grassland carbon sequestration: management, policy and economics. Proceedings of the Workshop on the role of grassland carbon sequestration in the mitigation of climate change; 2019 April; Rome, Italy*. Rome: FAO; 2010. 338 p. (Integrated Crop Management; volume 11–2010).
18. Степаненко СМ, Польовий АМ, редактори. *Кліматичні ризики функціонування галузей економіки України в умовах зміни клімату*. Одеса: TEC; 2018. 548 с.
19. Coleman K, Jenkinson DS. RothC-26.3 – a model for the turnover of carbon in soil. In: Powlson DS, Smith P, Smith JU, editors. *Evaluation of soil organic matter models: using existing long-term datasets*. Berlin: Springer-Verlag; 1996. p. 237–246. (NATO ASI Series I; volume 38).
20. Полевой АН. Теория и расчет продуктивности сельскохозяйственных культур. Ленинград: Гидрометеоиздат; 1983. 175 с.
21. Господаренко ГМ, Трус ОМ, Прокопчук ІВ. Умови збереження вмісту гумусу в ґрунті польової сівозміни. *Біологічні системи*. 2012;4(1):31–34.
22. Новиков АА, Кисаров ОП. Обоснование роли корневых и пожнивных остатков в агроценозах. *Научный журнал Кубанского государственного аграрного университета* [Интернет]. 2012 [процитировано 1 февраля 2019 г.];78(04). Доступно по: <http://ej.kubagro.ru/2012/04/pdf/36.pdf>.
23. Vleeshouwers LM, Verhagen A. Carbon emission and sequestration by agricultural land use: a model study for Europe. *Global Change Biology*. 2002;8(6):519–530. DOI: 10.1046/j.1365-2486.2002.00485.x.
24. Сябрук ОП. Оцінка втрат вуглецю з чорнозему типового за різних способів обробітку та систем удобрення. У: *Агрохімія і ґрунтознавство. Випуск 80*. Харків: ІГА імені О. Н. Соколовського; 2013. с. 140–146.
25. Шилова НА. Динамика выделения CO₂ в посевах полевых культур на дерново-подзолистых и торфяных почвах. *Почвоведение и агрохимия*. 2014;1:104–113.
26. Feizienė D, Kadžienė G. The influence of soil organic carbon, moisture and temperature on soil surface CO₂ emission in the 10th year of different tillage-fertilisation management. *Zemdirbyste-Agriculture*. 2008;95(4):29–45.

References

1. Trus OM, Gospodarenko GM, Prokopchuk IV. *Gumus chornozemu opidzolenogo ta jogo vidtvorennja* [Humus of black soils and his recreation]. Uman: Sochins'kyj M. M.; 2016. 227 p. Ukrainian.
2. Brock C, Franko U, Oberholzer H-R, Kuka K, Leithold G, Kolbe H, et al. Humus balancing in Central Europe – concepts, state of the art, and further challenges. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 2013;176(1):3–11. DOI: 10.1002/jpln.201200137.
3. Karmakar R, Das I, Dutta D, Rakshit A. Potential effects of climate change on soil properties: a review. *Science International*. 2016;4(2):51–73. DOI: 10.17311/sciintl.2016.51.73.
4. Parton WJ, Scurlock JMO, Ojima DS, Schimel DS, Hall DO. Scopegram group members. Impact of climate change on grassland production and soil carbon worldwide. *Global Change Biology*. 1995;1(1):13–22. DOI: 10.1111/j.1365-2486.1995.tb00002.x.
5. Grace PR, Post WM, Hennessy K. The potential impact of climate change on Australia's soil organic carbon resources. *Carbon Balance and Management*. 2006;10:1–14. DOI: 10.1186/1750-0680-1-14.
6. Davidson EA, Janssens IA. Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change. *Nature*. 2006;440:165–173. DOI: 10.1038/nature04514.
7. Smith J, Smith P, Wattenbach M, Zaehle S, Hiederer R, Jones RJA, et al. Projected changes in mineral soil carbon of European croplands and grasslands, 1990–2080. *Global Change Biology*. 2005;11(12):2141–2152. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2005.001075.x.
8. Zaehle S, Bondeau A, Carter TR, Cramer W, Erhard M, Prentice IC, et al. Projected changes in terrestrial carbon storage in Europe under climate and land-use change, 1990–2100. *Ecosystems*. 2007;10(3):380–401. DOI: 10.1007/s10021-007-9028-9.
9. Muñoz-Rojas M, Jordán A, Zavala LM, González-Peñaloza FA, De la Rosa D, Pino-Mejias R, et al. Modelling soil organic carbon stocks in global change scenarios: a CarboSOIL application. *Biogeosciences*. 2013;10(12):8253–8268. DOI: 10.5194/bg-10-8253-2013.
10. *Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin*. Berlin: Springer-Verlag; 2008. 474 p. (Regional Climate Studies).
11. Ozturk I, Sharif B, Baby S, Jabloun M, Olesen JE. Long-term simulation of temporal change of soil organic carbon in Denmark: comparison of three model performances under climate change. *The Journal of Agricultural Science*. 2018;156(2):139–150. DOI: 10.1017/S0021859617000971.

12. Petersen BM, Knudsen MT, Hermansen JE, Halberg N. An approach to include soil carbon changes in life cycle assessments. *Journal of Cleaner Production*. 2013;52:217–224. DOI: 10.1016/j.jclepro.2013.03.007.
13. Van Veen JA, Paul EA. Organic carbon dynamics in grassland soils. I. Background information and computer simulation. *Canadian Journal of Soil Science*. 1981;61(2):185–201. DOI: 10.4141/cjss81-024.
14. Burke IC, Yonker CM, Parton WJ, Cole CV, Schimel DS, Flach K. Texture, climate, and cultivation effects on soil organic matter content in U. S. grassland soils. *Soil Science Society of America Journal*. 1989;53(3):800–805. DOI: 10.2136/sssaj1989.03615995005300030029x.
15. Leite LFC, Doraiswamy PC, Causarano HJ, Gollany HT, Milak S, Mendonca ES. Modeling organic carbon dynamics under no-tillage and plowed systems in tropical soils of Brazil using CQESTR. *Soil & Tillage Research*. 2009;102(1):118–125. DOI: 10.1016/j.still.2008.08.003.
16. Fayiga AO, Saha UK. Effect of climate change on soil productivity in developing countries. *Asian Journal of Environment & Ecology*. 2017;4(1):1–22. DOI: 10.9734/AJEE/2017/35485.
17. Abberton M, Conant R, Batello C, editors. *Grassland carbon sequestration: management, policy and economics. Proceedings of the Workshop on the role of grassland carbon sequestration in the mitigation of climate change; 2019 April; Rome, Italy*. Rome: FAO; 2010. 338 p. (Integrated Crop Management; volume 11–2010).
18. Stepanenko SM, Polevoy AN, editors. *Klimatichni ryzyky funkcionuvannya galuzej ekonomiky Ukrainy v umovah zminy klimatu* [Climatic risks of functioning of industries of economy of Ukraine in the conditions of change of climate]. Odessa: TES; 2018. 548 p. Ukrainian.
19. Coleman K, Jenkinson DS. RothC-26.3 – a model for the turnover of carbon in soil. In: Powlson DS, Smith P, Smith JU, editors. *Evaluation of soil organic matter models: using existing long-term datasets*. Berlin: Springer-Verlag; 1996. p. 237–246. (NATO ASI Series I; volume 38).
20. Polevoy AN. *Teoriya i raschet produktivnosti sel'skokhozyaistvennykh kul'tur* [Theory and calculation of the productivity of agricultural cultures]. Leningrad: Gidrometeoizdat; 1983. 175 p. Russian.
21. Hospodarenko HM, Trus OM, Prokopchuk IV. Conditions of conservation of humus content in a field crop rotation. *Biologichni systemy*. 2012;4(1):31–34. Ukrainian.
22. Novikov AA, Kisarov OP. Statements for the role of root and aftermath residues in agrocenoses. *Nauchnyi zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Internet]. 2012 [cited 2019 February 1];78(04). Available from: <http://ej.kubagro.ru/2012/04/pdf/36.pdf>. Russian.
23. Vleeshouwers LM, Verhagen A. Carbon emission and sequestration by agricultural land use: a model study for Europe. *Global Change Biology*. 2002;8(6):519–530. DOI: 10.1046/j.1365-2486.2002.00485.x.
24. Syabruk OP. Estimation of carbon losses from chernozem typical under different soil tillage and fertilization systems. In: *Agrochemistry and Soil Science. Issue 80*. Kharkiv: Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O. N. Sokolovsky; 2013. p. 140–146. Ukrainian.
25. Shilova NA. Dynamics of allocation CO₂ in crops of field cultures on sod-podzolic and peat soils. *Pochvovedenie i agrokhimiya*. 2014;1:104–113. Russian.
26. Feizienė D, Kadžienė G. The influence of soil organic carbon, moisture and temperature on soil surface CO₂ emission in the 10th year of different tillage-fertilisation management. *Zemdirbyste-Agriculture*. 2008;95(4):29–45.

Статья поступила в редколлегию 24.02.2019.
Received by editorial board 24.02.2019.

ЦИКЛОНИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ И ПОВТОРЯЕМОСТЬ
ОПАСНЫХ ЯВЛЕНИЙ ПОГОДЫ НАД ТЕРРИТОРИЕЙ БЕЛАРУСИЕ. Н. СУМАК¹⁾, И. Г. СЕМЁНОВА²⁾¹⁾Белгидромет, пр. Независимости, 110, 220114, г. Минск, Беларусь²⁾Одесский государственный экологический университет,
ул. Львовская, 15, 65016, г. Одесса, Украина

В последние десятилетия во всем мире и в Республике Беларусь в частности остро встал вопрос о влиянии погоды на развитие отраслей народного хозяйства и жизнедеятельность населения. Резкие изменения погодных условий могут приводить к возникновению неблагоприятных и опасных метеорологических явлений, наносящих значительный ущерб экономике страны. В статье рассмотрена повторяемость опасных явлений погоды в циклонах различных траекторий, которые перемещались через территорию Республики Беларусь в 1995–2015 гг. Установлено, что опасные явления погоды вызваны южными и западными барическими образованиями. Проанализирована межгодовая и сезонная повторяемость этих циклонов и показано, что максимальное их количество было характерно в основном для летнего периода, а также переходных сезонов года. Следовательно, опасные явления погоды прежде всего обуславливались развитием интенсивной конвекции на атмосферных фронтах. Наибольшую повторяемость в циклонах как южных, так и западных траекторий имели очень сильные дожди, снегопады и ветры. На долю крупного града и сильного налипания мокрого снега пришлось единичные случаи, которые фиксировались локально по территории страны.

Ключевые слова: циклоническая циркуляция; траектории циклонов; опасные явления погоды.

THE CYCLONIC ACTIVITY AND FREQUENCY
OF DANGEROUS WEATHER PHENOMENA
OVER THE TERRITORY OF BELARUSK. M. SUMAK^a, I. G. SEMENOVA^b^aBelhydromet, 110 Niezaliežnasci Avenue, Minsk 220114, Belarus^bOdessa State Environmental University, 15 Lvivska Street, Odessa 65016, Ukraine

Corresponding author: K. M. Sumak (katyasbelarus@gmail.com)

In recent decades in the world, and in the Republic of Belarus in particular, the question of the impact of weather conditions on the development of sectors of the economy and life of the population has become acute. The sudden changes in weather conditions can lead to adverse and dangerous weather phenomena that cause significant damage to the country's

Образец цитирования:

Сумак ЕН, Семёнова ИГ. Циклоническая активность и повторяемость опасных явлений погоды над территорией Беларуси. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология*. 2019;2:79–93.
<https://doi.org/10.33581/2521-6740-2019-2-79-93>

For citation:

Sumak KM, Semenova IG. The cyclonic activity and frequency of dangerous weather phenomena over the territory of Belarus. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology*. 2019;2:79–93. Russian.
<https://doi.org/10.33581/2521-6740-2019-2-79-93>

Авторы:

Екатерина Николаевна Сумак – ведущий инженер-синоптик отдела краткосрочных прогнозов погоды, неблагоприятных и опасных явлений службы метеорологических прогнозов.

Инна Георгиевна Семёнова – доктор географических наук; профессор кафедры агрометеорологии и агроэкологии Гидрометеорологического института.

Authors:

Katsiaryna M. Sumak, leading weather forecaster at the department of short-term weather forecasts, adverse and dangerous phenomena, weather forecasting service.

katyasbelarus@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-5762-5501>

Inna G. Semenova, doctor of science (geography); professor at the department of agrometeorology and agroecology, Hydrometeorological Institute.

innas.od@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-3383-4848>

economy. This paper examines the frequency of dangerous weather phenomena in cyclones of different trajectories that moved through the territory of the Republic of Belarus during the period of 1995–2015. It is identified that southern and western cyclones caused dangerous weather events over the territory of Belarus. The interannual and seasonal frequency of cyclones causing dangerous weather phenomena in Belarus was analyzed. It is shown that the largest number of southern and western cyclones was characteristic mainly for the summer period, as well as the transitional seasons of the year, therefore the dangerous weather phenomena were associated mainly with the development of severe convection on atmospheric fronts. Such phenomena as very heavy rain, snowfall and wind had the highest frequency in cyclones, as in southern as western trajectories. The share of strong sticking of wet snow and large hail were isolated cases and these phenomena were recorded locally over the territory of country.

Keywords: cyclonic circulation; trajectories of cyclones; dangerous weather phenomena.

Введение

Практически вся хозяйственная деятельность и повседневная жизнь людей связаны с погодными условиями. Они могут быть благоприятными, а могут представлять определенные трудности, нанести ущерб, вызывать разрушения, создавать угрозу жизни и здоровью человечества. На территории Беларуси ежегодно регистрируются опасные явления погоды (ОЯП) – природные процессы и явления, возникающие под влиянием различных природных факторов или их сочетаний и оказывающие поражающее воздействие на людей, сельское хозяйство, объекты экономики и окружающую среду [1]. В среднем ОЯП ежегодно наносят Республике Беларусь ущерб в размере 2,18 млн долл. [2], наибольшая доля которого приходится на очень сильные дожди и ливни, а также очень сильные ветры (в том числе шквалы) – 67,3 и 27,5 % соответственно. Значительные последствия для экономики государства имели засухи 1992, 1994–1997, 1999, 2001 и 2002 гг., сильные наводнения и паводки в южных районах страны в 1974, 1979, 1993 и 1999 гг. [3]. В последние годы в связи с участвовавшими случаями ОЯП экономические потери страны возросли еще больше, выявлена полная зависимость объектов экономики от воздействия природных факторов. Так, в результате возникновения разрушительных шквалов на территориях сельхозпредприятий наблюдается полегание культур, в лесных хозяйствах гибнет лес, а в жилищно-коммунальных происходит обрушение кровель, повреждение линий электропередач и, как следствие, обесточивание населенных пунктов. Ввиду увеличения повторяемости оттепелей и заморозков ухудшаются условия эксплуатации зданий, уменьшается их долговечность. Рост количества дней с сильной жарой отрицательно сказывается на функционировании систем поглощения тепла на электростанциях, приводит к увеличению затрат на поддержание оптимальной температуры воздуха в помещениях. Изменения снеговых, ледовых, гололедных нагрузок отражаются на устойчивости электроснабжения. Поэтому установление пространственно-временных закономерностей формирования ОЯП приобретает особую актуальность и имеет большое практическое значение.

Как известно [4–6], большинство ОЯП, наносящих серьезный материальный ущерб, возникают в области циклонической циркуляции. В связи с этим необходимо проведение исследований по анализу циклонических образований, оказывающих влияние на территорию изучаемого региона. Интенсивность циклонической активности в Европе зависит от динамики центров действия атмосферы в Северной Атлантике и положения ведущего потока в тропосфере [7–9]. Поэтому текущие климатические изменения могут влиять на траектории и глубину циклонов, а следовательно, и на возникновение ОЯП.

В зарубежной литературе достаточно много работ посвящено воздействию разных типов циклонов на формирование ОЯП. Так, в одном из первых исследований [10] проведена классификация циклонов над северо-западной частью Атлантики, было выделено восемь типов в зависимости от районов зарождения, траекторий передвижения и влияния на возникновение штормовых явлений в прибрежной зоне. В работах [11; 12] анализируются смещающиеся из южных широт циклоны и вызываемые ими ОЯП над территорией Восточной Европы. Новую классификацию циклонических траекторий над Европой, включающую девять типов, предложили австрийские ученые [13]. Ими также был определен вклад разных типов циклонов в формирование экстремальных осадков над континентом. Выявлено, что риск выпадения интенсивных осадков над Центральной Европой в значительной степени зависит от траектории циклона. Так, в юго-западной части Польши, Чехии и на западе Словакии 7 из 10 случаев сильных осадков связаны с циклонами, передвигающимися с севера Италии в сторону Польши правее Альпийских гор.

Республика Беларусь расположена в центре Восточной Европы, поэтому большинство циклонов, смещающихся в эту часть континента, проходят через ее территорию. Для данного региона характерными являются следующие типы траекторий циклонов: западные, северо-западные (ныряющие) и южные [14].

Исследования циклонической деятельности и ее влияния на погодные условия Беларуси, в том числе на возникновение ОЯП, приходится в основном на 1950–80-е гг. Анализом траекторий циклонов различных направленностей занимались такие ученые, как В. Н. Лепешко, С. З. Барская, О. И. Юбонникова, Л. И. Матвеева, А. В. Амелеченко и др. Было выявлено [15; 16], что ныряющие циклоны несут значительные изменения в погоде страны. При этом при смещении циклона через республику осадки в виде дождя или снега ухудшают видимость на дорогах до 1 км и менее, т. е. являются достаточно интенсивными, особенно вблизи приземного центра циклона. А в случае передвижения циклона восточнее Беларуси, когда основное влияние на погоду оказывают его атмосферные фронты, при значительных изменениях атмосферного давления (8–10 гПа за 3 ч) ветер по стране может усиливаться до 25 м/с и более. Самые сильные ветры, скорость которых достигала 25–28 м/с, а иногда 32–34 м/с, отмечались при перемещении ныряющих циклонов с Норвежского моря через Ботнический залив на европейскую территорию России (ЕТР), когда через Беларусь проходили их холодные фронтальные разделы.

Южные циклоны, зарождаясь над теплой морской поверхностью, несут в теплых секторах тропический средиземноморский воздух, отличающийся повышенным влагосодержанием, что является одной из причин выпадения интенсивных осадков в системе таких циклонов. Количество осадков достигает своего пика к моменту максимального развития циклона и резко уменьшается в стадии его заполнения [17; 18]. В зимний период южные циклоны приносят обильные снегопады: суточное количество осадков может доходить до 15–19 мм, в отдельных случаях достигая критерия опасных – 20 мм и более [19]. В сочетании с сильным ветром это приводит к образованию метелей, снежных буранов, что вызывает обрывы линий электропередач и снежные заносы на дорогах. В теплый сезон с южными циклонами связаны интенсивные ливневые дожди, грозы, град, шквалы и ураганы.

По данным [20], очень сильные осадки в одном южном циклоне могут отмечаться на одной-двух станциях метеорологической сети Беларуси. В ночное время они обусловлены влиянием теплого фронта и выпадают вблизи центра циклона, а днем определяются воздействием холодного фронтального раздела с волнами и наблюдаются у вершин волновых возмущений. В теплый период года при развитии конвекции на фронтах количество осадков может достигать 30–60 мм за 1 ч. В 5 % случаев скорость ветра, обусловленная выходом южного циклона, составляет 25–29 м/с.

О. И. Юбонникова [21] анализировала осадки в Беларуси, вызванные влиянием южных циклонов. Результаты показали, что наиболее интенсивные осадки (50–120 мм) выпадали при смещении циклонов с севера Италии через Венгерскую низменность, Карпаты, северо-западные районы Украины на центральную часть Беларуси. При траектории южного циклона, проходящей через центр Украины на северо-восток ЕТР, сильные осадки отмечаются в основном на юго-востоке Беларуси, а при условии, что они сопровождаются грозами в теплое время года, их количество может достигать критерия ОЯП.

Черноморские циклоны, выходящие на республику, также вызывают интенсивные опасные осадки, особенно при развитии циклона по высоте и замедлении его хода над территорией Беларуси [22].

Западные атлантические циклоны в целом дают немного осадков по стране (11–17 % от годового количества) [23]. Наибольшая их часть выпадает в западных и северо-западных районах (до 22 мм в виде снега в холодный период года). Как углубляющиеся, так и заполняющиеся циклоны могут сопровождаться интенсивными осадками, в среднем они выпадают два-три раза в год, а на юге и местами по востоку Беларуси – раз в полугодие. В теплый период западные вихри в 80 % случаев вызывают значительные осадки. Чаще всего циклоны являются углубляющимися. Максимальное количество осадков в таких циклонах (40–50 мм) наблюдается два раза в полугодие.

На современном этапе можно отметить исследования В. Ф. Логинова, И. Н. Шпока и др. В работах [3; 24; 25] ими изучались пространственные закономерности ОЯП и зависимость их повторяемости от особенностей подстилающей поверхности и изменений климата. В [26] рассматривалась взаимосвязь между различными типами циркуляции по Б. Л. Дзердзеевскому и повторяемостью ОЯП. Проанализировав число дней с меридиональной северной и меридиональной южной циркуляциями атмосферы в разные сезоны и в течение года, авторы пришли к выводу, что наметившаяся тенденция сокращения количества дней с данными типами циркуляций может привести к уменьшению повторяемости ОЯП на большей части европейской территории СНГ, включая Беларусь.

Целью данного исследования является анализ повторяемости ОЯП в циклонах различных траекторий, которые перемещались через территорию Беларуси в 1995–2015 гг.

Материалы и методы исследования

В предыдущей работе авторов [27] были рассмотрены особенности передвижения циклонов типовых траекторий через Беларусь в 1995–2015 гг. Исходными данными для анализа циклонической активности послужили приземные синоптические карты (00, 06, 12, 18 и 21 UTC) мировых прогностических

центров *Met Office* (UKMO) и *Deutscher Wetterdienst* (DWD), а также карты барической топографии АТ-500, обработанные программным комплексом «ГИС Метео» в Белгидромете.

Определение циклонических характеристик проводилось с использованием мануального метода, заключающегося в последовательном анализе 6-часовых приземных синоптических карт. Положение циклона выявлялось визуально по конфигурации первой замкнутой изобары и минимальному давлению в центре. В расчет брались только те циклоны, которые в любой момент времени попадали в пределы территории страны, и при этом период их существования был не менее трех суток от момента зарождения до стадии заполнения. Для того чтобы безошибочно определить путь барических образований и их эволюцию, на картах барической топографии АТ-500 устанавливалось направление ведущего потока.

В соответствии с существующими классификациями [14] к западным циклонам были отнесены зарождавшиеся в широтной полосе 48–60° с. ш. и перемещавшиеся с запада на восток через Беларусь; к южным – формировавшиеся над районами Средиземноморья, Балканского полуострова и Черного моря и впоследствии выходившие на территорию Беларуси; к ныряющим – циклонические образования, зарождавшиеся в высоких широтах и смещавшиеся через республику к югу и юго-востоку.

По результатам исследования была создана база данных основных характеристик циклонов, включая географические координаты начала и конца траекторий, положения приземного центра циклона над территорией Беларуси, дату и соответствующее значение минимального давления. Для визуализации траекторий циклонов применялся графический пакет *Generic Mapping Tools* (GMT).

В каждой стране, в зависимости от ее физико-географического положения, существуют свои критерии ОЯП. В Республике Беларусь согласно ТКП 17.10-06-2008 [28] приняты следующие значения, при которых метеорологические явления считаются опасными (табл. 1).

Таблица 1

Перечень ОЯП для территории Беларуси

Table 1

List of dangerous weather phenomena for the territory of Belarus

Название ОЯП	Характеристики и критерии или определения ОЯП
Очень сильный ветер (в том числе шквал и смерч)	Максимальная скорость ветра (включая порывы) 25 м/с и более
Очень сильный дождь (мокрый снег, дождь со снегом)	Количество атмосферных осадков не менее 50 мм за период не более 12 ч
Очень сильный ливень (очень сильный ливневый дождь)	Количество атмосферных осадков не менее 30 мм за период не более 1 ч
Очень сильный снег	Количество атмосферных осадков не менее 20 мм за период не более 12 ч
Продолжительный очень сильный дождь	Количество атмосферных осадков не менее 100 мм за период более 12 ч, но менее 48 ч
Крупный град	Град диаметром не менее 20 мм
Сильная метель	Перенос снега при значениях средней скорости ветра 15 м/с и более продолжительностью не менее 12 ч при видимости менее 500 м
Сильный гололед	Диаметр отложения слоя льда на проводах гололедного станка 20 мм и более
Сильное налипание мокрого снега	Диаметр отложения мокрого снега на проводах гололедного станка 35 мм и более
Сильное сложное отложение (слой льда, изморози и мокрого снега)	Диаметр сложного отложения на проводах гололедного станка 35 мм и более
Сильный туман	Туман при значении видимости 50 м и менее продолжительностью не менее 12 ч
Очень сильный мороз	Значение минимальной температуры воздуха –35 °С и ниже
Очень сильная жара	Значение максимальной температуры воздуха +35 °С и выше

Источник: [28].

Исходными материалами при анализе повторяемости ОЯП в Беларуси послужили данные по метеостанциям государственного климатического кадастра Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь за период с 1995 по 2015 г. [29].

В настоящем исследовании по каждому отобранному случаю ОЯП было определено, каким синоптическим процессом обусловлена погода в момент возникновения ОЯП в данном районе. В дальнейшем рассматривались только те случаи, в которых ОЯП было связано с циклонической циркуляцией. В результате выделена группа циклонов, вызвавших возникновение ОЯП на территории Беларуси.

Основные методы, использованные в исследовании, – статистический, картографический и синоптический. Пространственные особенности ОЯП визуализировались с помощью графического пакета GMT.

Результаты исследования

Циклоническая активность над Беларусью. В ходе проведенного ранее авторами исследования [27] было выявлено, что через территорию Беларуси за рассматриваемый период переместилось 323 циклона разных типов траекторий, т. е. в среднем их было 15–16 в год. На долю южных циклонов пришлось 184 случая (57 % от общего количества), западные и ныряющие составили 70 и 69 случаев соответственно (около 20 % каждый тип). Наибольшее количество циклонов всех типов (21–23 случая в год) наблюдалось в 1998, 2004, 2008 и 2009 гг., при этом преобладающими были южные циклоны (в среднем 9 случаев в год). Минимальное количество циклонов всех типов (около 10 случаев) было отмечено в 2014–2015 гг., что косвенно может свидетельствовать об усилении антициклонического характера региональной циркуляции атмосферы в конце исследуемого периода.

Практически все западные циклоны, которые выходили на территорию Беларуси, образовались в полосе широт 50–60° с. ш. над Западной Атлантикой, Великобританией, Северным морем и югом Балтийского. Основной особенностью этих циклонов являлось изменение траекторий после пересечения Беларуси: большинство из них поворачивали к северо-востоку, некоторые – к югу. Южные циклоны перемещались на территорию страны из всех районов Средиземноморья, Балканского полуострова и Черного моря. Ныряющие циклоны чаще всего зарождались над Норвежским морем и проходили через Скандинавский полуостров, а над республикой поворачивали к северо-востоку.

За рассматриваемый период среднее давление в центрах циклонов над Беларусью составило 990–991 гПа для ныряющих и западных, 997 гПа для южных. Непосредственно на территорию страны южные циклоны выходили с давлением около 1001 гПа, западные – 997 гПа, ныряющие – 995 гПа. В большинстве случаев (58–64 %) циклоны всех траекторий углублялись над республикой.

Циклоны, обусловившие ОЯП в Беларуси. На долю циклонов, вызвавших ОЯП, пришлось 84 случая, т. е. 26 % от общего количества циклонов, вышедших на территорию Беларуси приземным центром. Из них южные составили 74 случая, западные – 10, ныряющие барические образования ОЯП не вызвали.

Наибольшее количество южных циклонов, обусловивших ОЯП, отмечалось в 1996–1998, 2008, 2009 и 2013 гг. (по 5–7 случаев), наименьшее – в 2001, 2003, 2011 и 2015 гг. (по 2 случая). При общем небольшом количестве западных циклонов, вызвавших ОЯП, в 1998 и 2004 гг. на их долю пришлось по 2 случая, а в остальные годы – по 1 случаю (рис. 1).

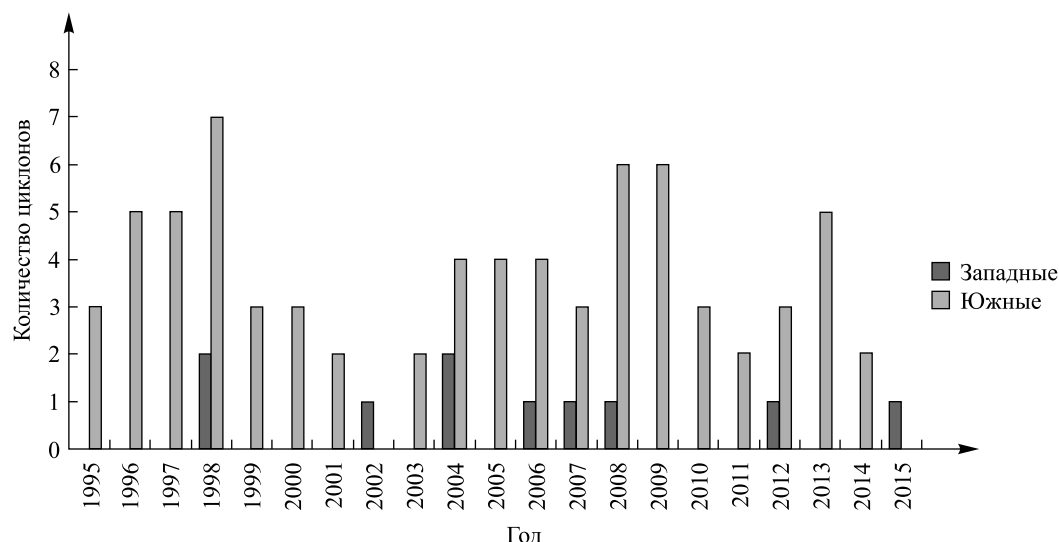


Рис. 1. Повторяемость циклонов, обусловивших ОЯП в Беларуси за период 1995–2015 гг.

Fig. 1. Frequency of cyclones, causing dangerous weather phenomena over Belarus during the period of 1995–2015

Большинство южных циклонов, под влиянием которых возникали ОЯП, образовались над Западным Средиземноморьем и Генуэзским заливом – 14 случаев, а также Венгерской и Дунайской низменностями – 12 случаев (рис. 2). Наименьшее количество циклонов, вызвавших ОЯП, пришло из районов Эгейского моря и о. Крит – лишь 2 случая. Южные циклонические образования, обусловившие наибольшее количество ОЯП в одном циклоне, зародились над Западным Средиземноморьем и Генуэзским заливом, а также Италией и Адриатическим морем. Циклоны западных траекторий, которые вызвали ОЯП в Беларуси за исследуемый период, возникли в основном над Атлантикой и Великобританией.

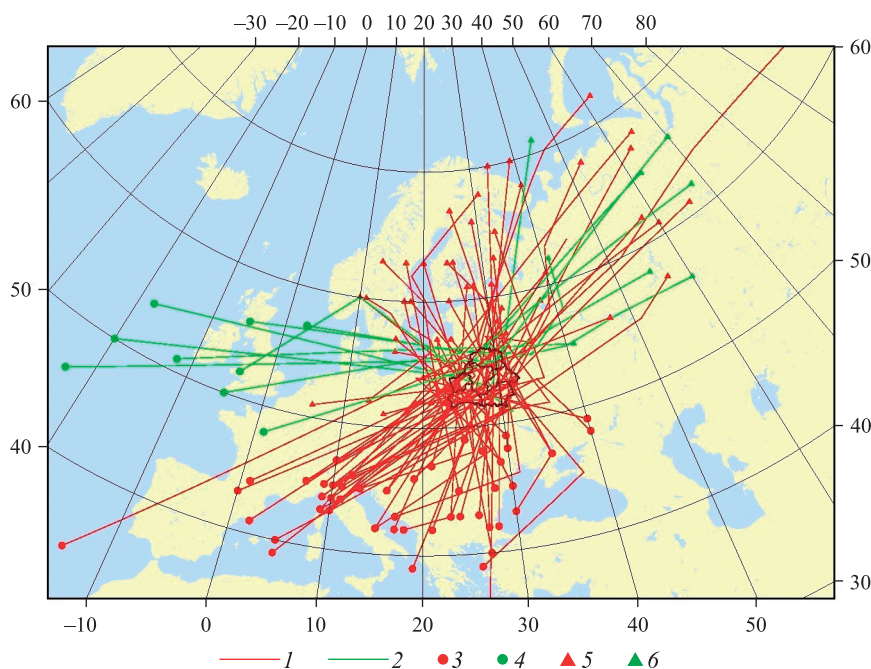


Рис. 2. Карта-схема траекторий перемещения циклонов, обусловивших ОЯП в Беларуси за период 1995–2015 гг.:
1 – южные; 2 – западные; 3 – район зарождения южных;
4 – район зарождения западных;

5 – район заполнения южных; 6 – район заполнения западных

Fig. 2. Schematic map of cyclone trajectories, causing dangerous weather phenomena over Belarus during the period of 1995–2015:

1 – southern; 2 – western; 3 – region of origin of southern;

4 – region of origin of western; 5 – region of filling of southern; 6 – region of filling of western

Максимальная повторяемость южных циклонов, с которыми связаны ОЯП, отмечалась в теплый период (с мая по август) – около 12–14 случаев, т. е. каждый второй год существует вероятность выхода «погодоопасных» южных циклонов. В остальные месяцы повторяемость южных циклонов с ОЯП была невелика и колебалась от 1 до 5 случаев, т. е. в среднем каждый пятый-шестой год. Это можно объяснить снижением интенсивности циклонов и уменьшением контрастности на атмосферных фронтах в результате влияния термического фактора, особенно в переходные периоды года.

Почти половина западных циклонов (40–50 %), обусловивших ОЯП, наблюдалась в июле и августе. В зимние месяцы циклоны западных траекторий ОЯП не вызывали, а в переходные сезоны года их повторяемость была невелика – по одному циклону в каждый месяц с ОЯП.

Повторяемость ОЯП в южных циклонах. Распределение по сезонам (табл. 2) за исследуемый период показало, что наибольшая повторяемость очень сильных дождей в южных циклонах была характерна для июля и августа – 72 и 46 случаев соответственно, что составляет в среднем от 2 до 4 случаев в месяц ежегодно. Наименьшее количество очень сильных дождей наблюдалось в сентябре и октябре, а также мае – по 5 случаев. Очень сильный снег чаще всего выпадал в марте – 22 случая, т. е. каждый год с выходом южного циклона в этом весеннем месяце был связан случай очень сильного снегопада. В остальные месяцы холодного периода года отмечалось от 1 до 7 очень сильных снегопадов, т. е. вероятность возникновения этого ОЯП небольшая. Шквалы в южных циклонах наблюдались в основном в теплое полугодие, максимальная повторяемость пришлась на июнь и июль – 15 и 14 случаев, а наименьшая отмечалась в переходный сезон – в апреле и октябре. В холодное время года вероятность возникновения очень сильных ветров, включая шквалы, в южных циклонах минимальна. Крупный град выпадал в конце мая, а также в июне и июле.

Таблица 2

Повторяемость ОЯП в циклонах различных траекторий
над территорией Беларуси за период 1995–2015 гг.

Table 2

Frequency of dangerous weather phenomena
for the territory of Belarus during the period of 1995–2015

Вид ОЯП	Южные циклоны					Западные циклоны				
	Осень	Зима	Весна	Лето	В целом за период	Осень	Зима	Весна	Лето	В целом за период
Очень сильный ветер, в том числе шквал	7	–	11	41	59	1	–	2	1	4
Очень сильный дождь, в том числе ливневый и продолжительный	7	–	11	150	168	–	–	–	6	6
Очень сильный снег	9	9	22	–	40	6	–	–	–	6
Крупный град	–	–	2	8	10	–	–	–	1	1
Сильное налипание мокрого снега	2	3	–	–	5	–	–	–	–	–
Всего	25	12	46	199	282	7	–	2	8	17

Анализ пространственного распределения ОЯП показал, что наибольшая повторяемость очень сильных дождей была характерна в основном для крайних южных районов Брестской области – от 10 до 16 случаев (рис. 3, а). Очень сильные ветры и снегопады наблюдались преимущественно в восточной части страны – от 4 до 9 и от 3 до 6 случаев соответственно (рис. 3, б, в). Сильное налипание мокрого снега и крупный град – достаточно редкие явления для Беларуси, однако они наносят значительный ущерб как населению, так и отраслям народного хозяйства. Среднее за год число дней с градом на территории Беларуси колеблется от 1 до 2, возрастая от низин к возвышенностям [25]. За период исследования с небольшой повторяемостью 1–2 случая сильное налипание мокрого снега и крупный град фиксировались локально по стране (рис. 3, г).

Основная доля ОЯП в южных циклонах за исследуемый период пришлось на очень сильные дожди ливневого и продолжительного характера (168 случаев, т. е. 60 % от общего количества ОЯП). Сумма выпавших осадков колебалась от 50 до 112 мм за 3–12 ч (154 случая) и от 120 до 199 мм за 2–3 сут (13 случаев). Был также отмечен 1 случай кратковременного очень сильного ливня на территории Гомельской области в ночь на 1 июля 2011 г., когда выпало 32 мм за 52 мин. Синоптическая ситуация во всех случаях определялась воздействием приземных центров циклонов или их атмосферных фронтов.

Очень сильные снегопады по республике составили 40 случаев (14 % от общего числа ОЯП). В основном они были вызваны влиянием активных южных циклонов или малоподвижных фронтальных разделов с волнами. Количество осадков колебалось от 20 до 29 мм за период 7–12 ч. Большинство циклонов, обусловивших максимальное число очень сильных снегопадов по стране, были глубокими барическими образованиями с давлением в центре от 976 до 986 гПа. Выходя на территорию Беларуси, они углублялись и существенно замедлялись. Здесь стоит отметить сложные погодные условия, которые наблюдались в республике 15 марта 2013 г. в связи с перемещением очень активного циклона (давление в центре 978 гПа) с Украины на юго-восточные районы Беларуси (рис. 4). На большей части страны прошли сильные осадки в основном в виде снега, по юго-востоку – дождя, переходящего в мокрый снег. В южных и центральных районах отмечались очень сильные снегопады – от 20 до 26 мм за 12 ч (рис. 5). Осадки сопровождались сильным порывистым ветром (15–24 м/с), наблюдалась очень сильная метель, на дорогах ситуация осложнялась снежными заносами. По юго-востоку республики отмечались налипание мокрого снега, гололед, во второй половине дня на дорогах образовалась гололедица. За период влияния циклона, несмотря на сильный порывистый ветер и метель, во многих районах страны прирост снега составил 5–15 см, местами достигал 16–32 см [30].

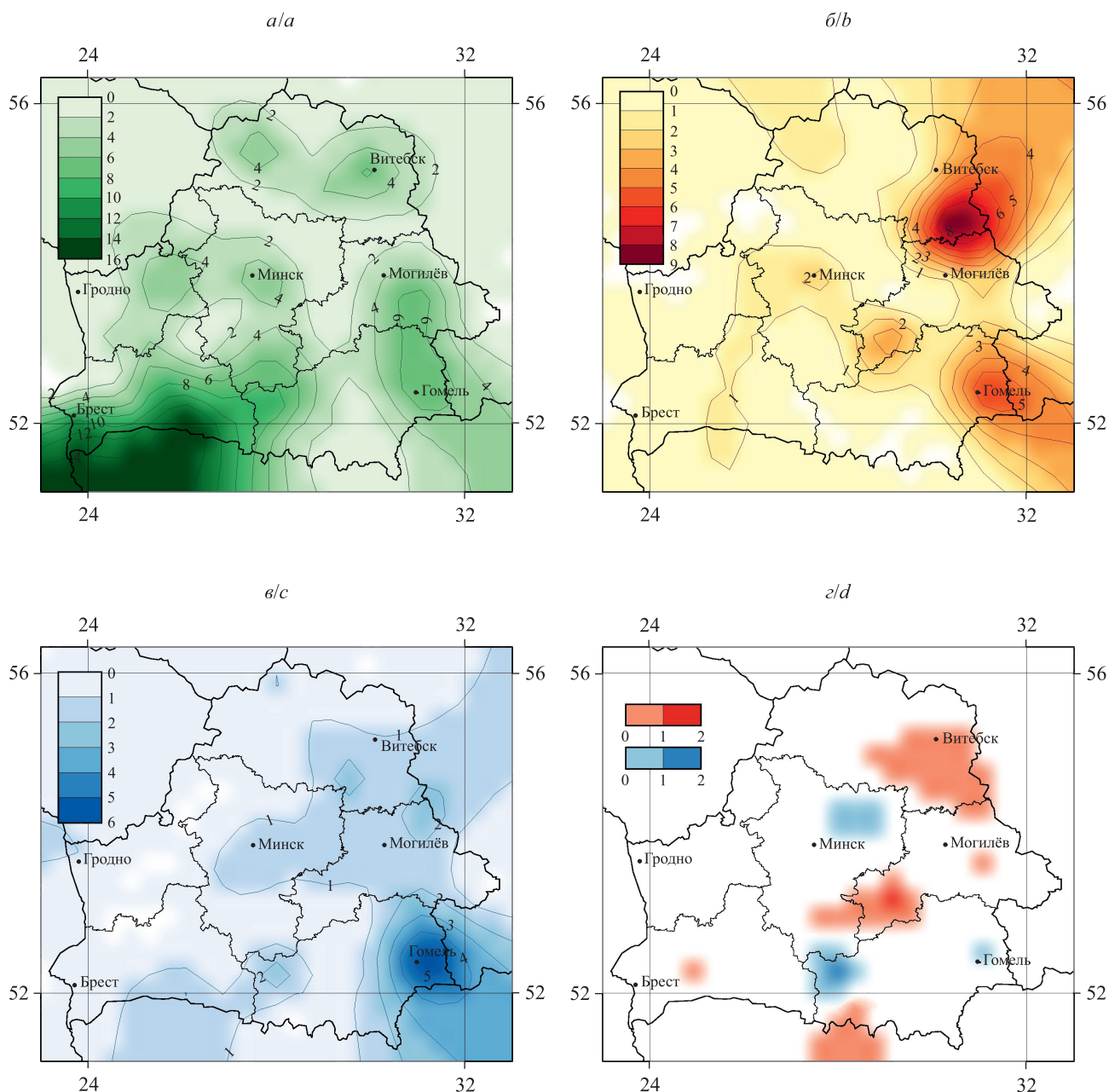


Рис. 3. Повторяемость ОЯП, вызванных южными циклонами за период 1995–2015 гг.:

a – очень сильный дождь; *б* – очень сильный ветер; *в* – очень сильный снегопад;
г – сильное налипание мокрого снега (синий цвет) и крупный град (красный цвет)

Fig. 3. Frequency of dangerous weather phenomena, caused by southern cyclones, period 1995–2015:

a – very heavy rain; *b* – very heavy wind; *c* – very heavy snowfall;
d – heavy sleet sticking (blue colour) and big hail (red colour)

Отметим, что 23–24 февраля 1999 г. погоду в стране определял активный циклон, который образовался над районами Апеннинского полуострова и под юго-западными потоками смещался на территорию Беларуси, углубившись над республикой до 976 гПа и замедлив свой ход. В результате на большей части страны прошли интенсивные снегопады (10–19 мм), а по восточной половине они достигли критерия опасных (20–23 мм). Местами наблюдалось сильное налипание мокрого снега (45 мм – на метеостанции Житковичи).

Очень сильное налипание мокрого снега (57 мм за 13 ч) отмечалось также 11 ноября 2007 г. по юго-востоку Беларуси, когда на территорию республики вышел активный южный циклон, смещавшийся с районов Черного моря через восточную часть Украины и Беларуси на страны Балтии. Интенсивные снегопады и сильное налипание мокрого снега наблюдались на северной периферии углубляющегося циклона.

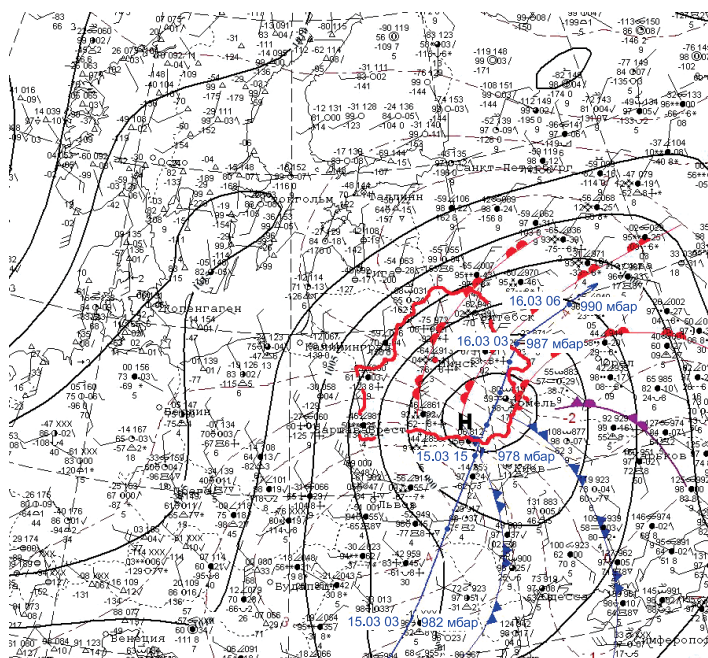


Рис. 4. Приземная карта за 15 марта 2013 г. (15 UTC) – выход южного циклона, сопровождавшегося сильными снегопадами (указана траектория циклона за период 15–16 марта 2013 г.)

Fig. 4. Surface pressure analysis, 15 March 2013 (15 UTC) – movement of southern cyclone, which was accompanied by heavy snowfall (it is shown the trajectory of cyclone for the period 15–16 March 2013)

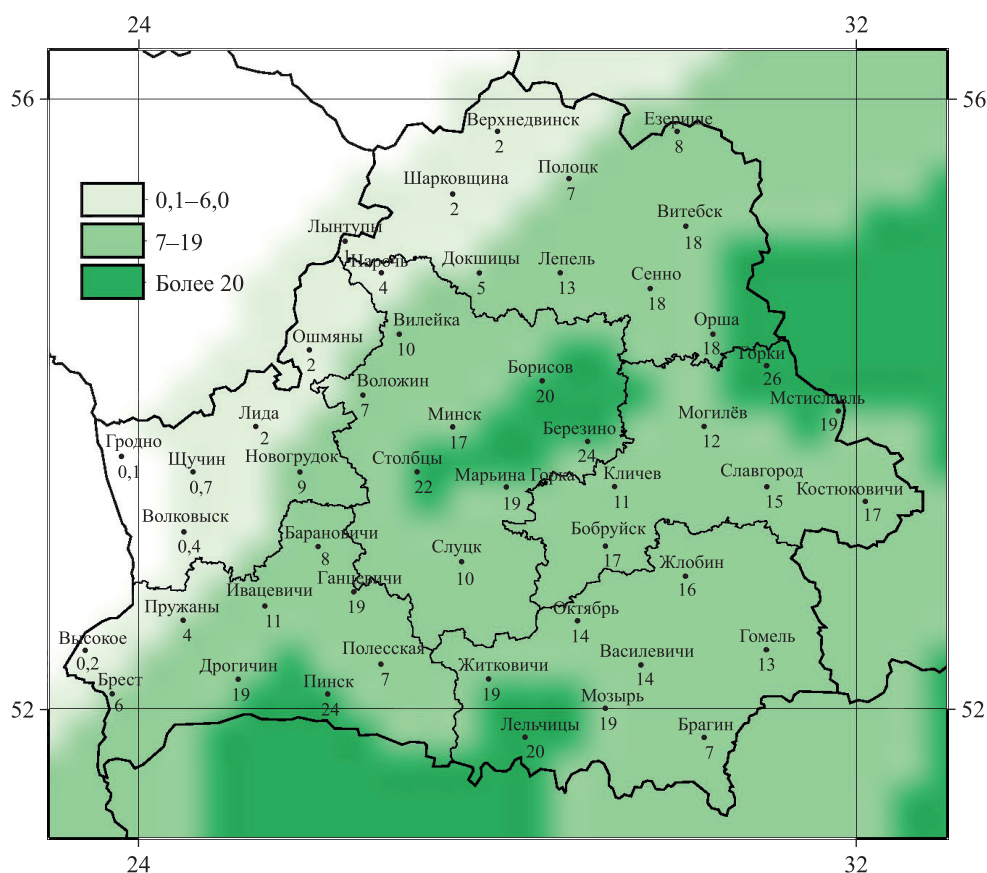


Рис. 5. Распределение количества осадков (мм) с 9:00 до 21:00 15 марта 2013 г.

Fig. 5. The distribution of precipitation (mm) for the period 9:00 a. m. – 9:00 p. m. (15 March 2013)

Очень сильные ветры (59 случаев, включая шквалы) в республике возникали в основном под влиянием медленно движущихся фронтальных разделов, вдоль которых образовывались волновые возмущения, преимущественно в дневное время при больших температурных контрастах по обе стороны атмосферного фронта. В ночные часы очень сильный ветер наблюдался редко (6 случаев) в тыловых частях циклонов при значительных барических градиентах, когда изменения атмосферного давления достигали 8–10 гПа за 3 ч. Максимальные порывы ветра составили 25–32 м/с.

За период исследования крупный град диаметром от 20 до 60 мм выпадал в дневное время в теплый период года, когда для этого создаются наиболее благоприятные условия – высокие температуры воздуха у земной поверхности, большая влажность облаков. Как и в случае со шквалами, синоптическая ситуация определялась влиянием контрастных фронтальных разделов с волнами. Так, 14 июля 2000 г. территория Беларуси находилась под воздействием южного циклона и его активных атмосферных фронтов (рис. 6). Во второй половине дня на холодном фронте начала развиваться мощная кучево-дождевая облачность, что свидетельствовало о сильной конвекции в системе циклона. Местами по республике прошли сильные ливни, сопровождавшиеся грозами, выпадением мелкого и крупного града. В результате были частично разрушены и повреждены производственные помещения и дома частного сектора, подтоплены сотни гектаров сельхозугодий, обесточены десятки населенных пунктов из-за обрывов линий электропередач. В лесах образовались завалы деревьев площадью до 10 га. Крупным градом повреждено большое количество автомобилей, разбиты стекла и кровля жилых домов и учреждений.

Повторяемость ОЯП в западных циклонах. Как уже упоминалось, лишь 10 атлантических циклонов (14 % от общего количества) вызвали ОЯП в Беларуси. Наибольшая повторяемость ОЯП пришлось на очень сильные снегопады и дожди – по 6 случаев (35 % от общего количества), а также очень сильные ветры, в том числе шквалы, – 4 случая. Крупный град выпал лишь один раз.

Очень сильные дожди и ливни, связанные в Беларуси с западными циклонами, наблюдались летом – с июня по август (1–3 случая в месяц) (см. табл. 2). Очень сильные снегопады – только в ноябре (6 случаев за весь период исследования). По 1 случаю очень сильных ветров фиксировалось в марте, мае, августе и октябре. Крупный град отмечался в июле.

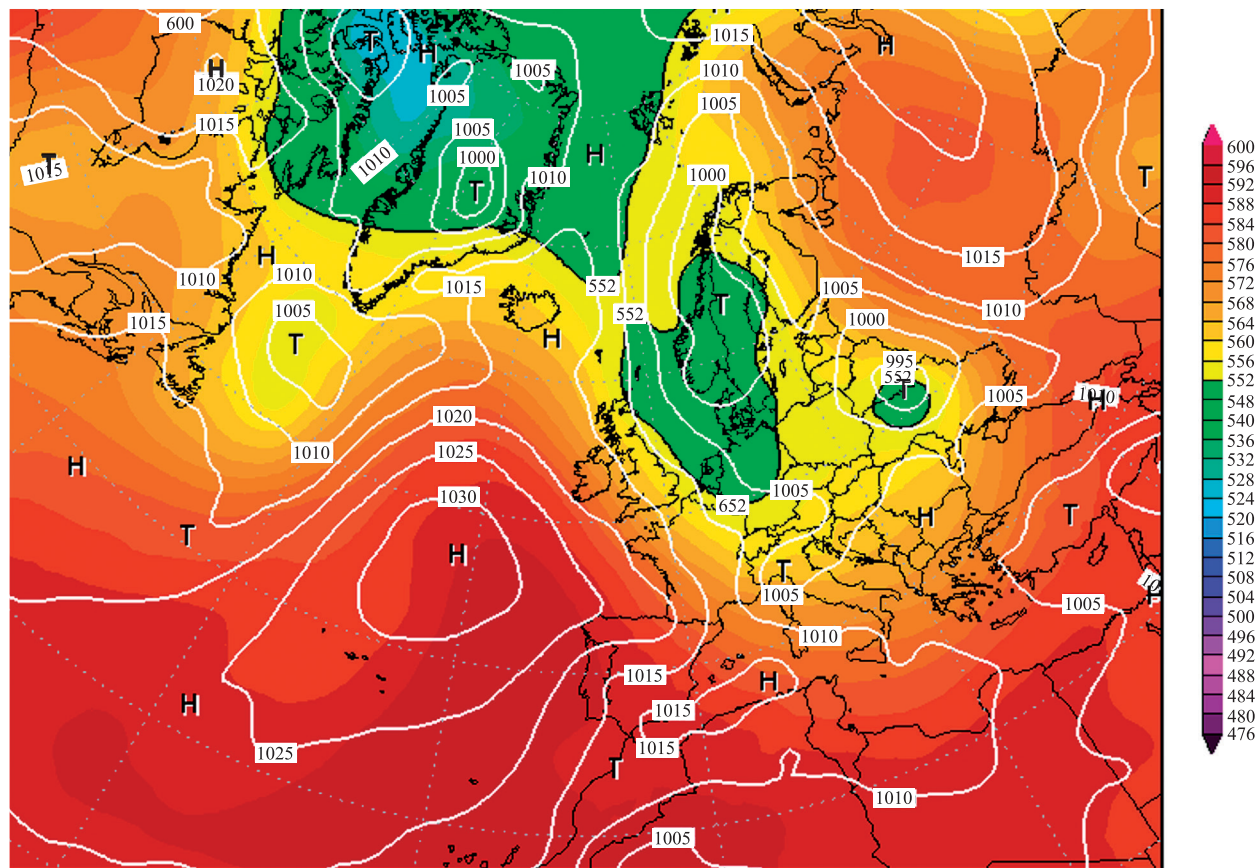


Рис. 6. Приземная карта (изобары белого цвета) и карта АТ-500 (цветная шкала) за 14 июля 2000 г. (18 UTC)
Fig. 6. Surface pressure analysis (white isobars) and geopotential height at 500 (color scale), 14 July 2000 (18 UTC)

Анализ пространственного распределения показал, что ОЯП имели локальный характер (рис. 7). Очень сильные дожди прошли в северо-западных регионах страны, а также местами по югу. Очень сильные снегопады были свойственны Могилёвской, а также западу Гомельской области. Очень сильные ветры отмечались на метеостанциях Щучин, Полоцк и Октябрь, а крупный град – на метеостанции Орша.

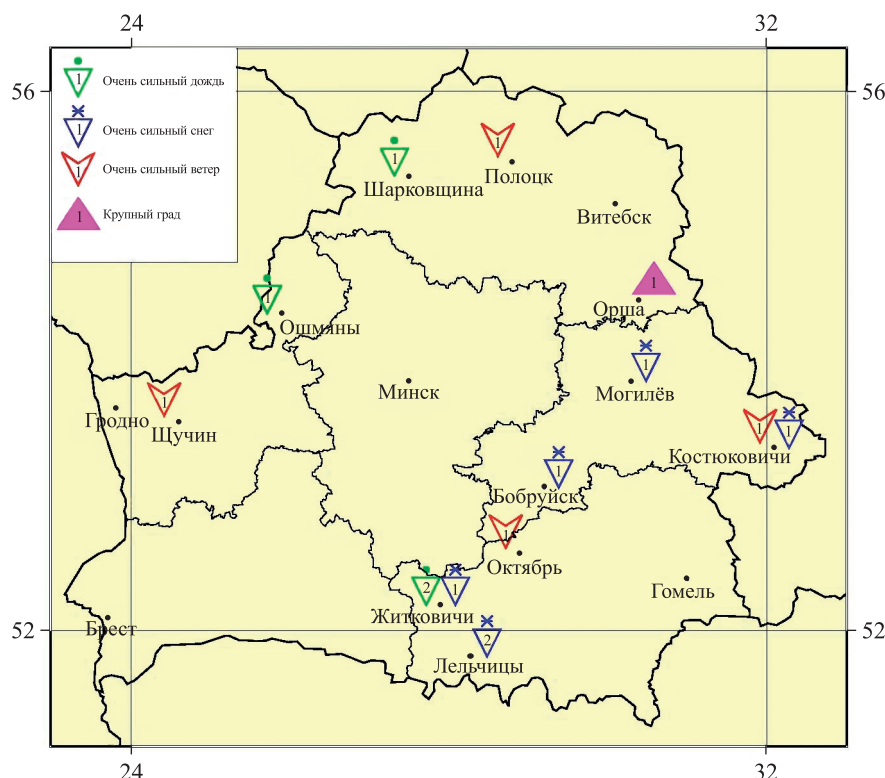


Рис. 7. Повторяемость ОЯП, вызванных западными циклонами за период 1995–2015 гг.

Fig. 7. Frequency of dangerous weather phenomena, caused by western cyclones, period 1995–2015

Характерной особенностью атлантических циклонов, обусловивших очень сильные дожди как ливневого (в дневное время), так и обложного характера (в ночные часы), было их медленное перемещение через Беларусь. Минимальное давление в центре циклонов над республикой колебалось от 980 до 1005 гПа, при этом, выходя на территорию страны, западные циклоны продолжали углубляться. Количество выпавших опасных осадков составляло от 35 до 38 мм за период 35–45 мин и достигало 51–65 мм за полсуток.

Очень сильные снегопады с количеством осадков 21–30 мм, ветер порывами до 19–24 м/с, метели и снежные заносы на дорогах наблюдались по юго-востоку республики при смещении с Западной Европы активного волнового циклона 20–21 ноября 2004 г. (рис. 8). Циклонический вихрь проходил через южные районы страны, значительно уменьшив скорость, но продолжая углубляться до 982,5 гПа (падение давления над Беларусью составило 5 гПа за 3 ч). Переместившись за пределы страны на Смоленскую область России, циклон достиг максимальной стадии своего развития (975 гПа), интенсивность снегопадов над Беларусью ослабела.

Шквалистое усиление ветра до 26–28 м/с в западных циклонах в теплый период года, сопровождавшееся интенсивными ливнями и грозами, отмечалось в момент максимального прогрева воздуха при смещении вершин волновых возмущений на холодных атмосферных фронтах, разделяющих контрастные воздушные массы, через пункт наблюдений. В переходные сезоны года максимальные порывы ветра 28–30 м/с фиксировались в утренние и вечерние часы в тыловых частях уходящих глубоких циклонов (давление в центре 983–995 гПа), когда рост атмосферного давления за холодным фронтальным разделом составлял 9–11 гПа за 3 ч.

Крупный град диаметром 20 мм (1 случай) в западных циклонах выпал в дневные часы 1 июля 1998 г. на фронте окклюзии в неустойчивой воздушной массе, вблизи приземного центра циклона.

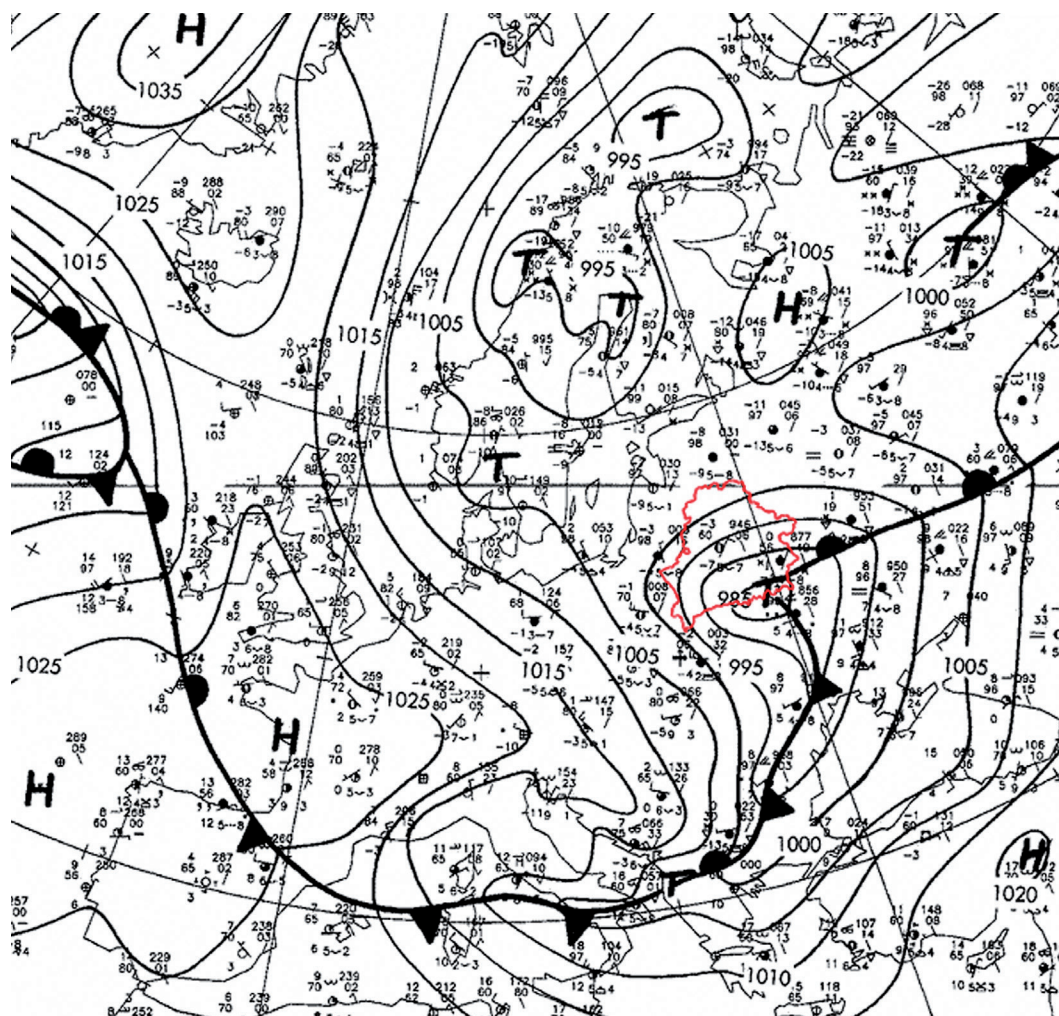


Рис. 8. Приземная карта за 20 ноября 2004 г. (00 UTC) – перемещение западного циклона, вызвавшего сильные снегопады

Fig. 8. Surface pressure analysis, 20 November 2004 (00 UTC) – movement of the western cyclone, which caused heavy snowfall

Заключение

Циклоническая активность в течение исследуемого периода (1995–2015) характеризовалась высокой повторяемостью циклонов всех типов траекторий над территорией Беларуси. Однако ОЯП вызвали лишь циклонические вихри южных и западных траекторий. Главным образом с этими циклонами были связаны очень сильные дожди и шквалы, снегопады.

Основными районами формирования южных циклонов, вызвавших ОЯП в Беларуси, были Западное Средиземноморье, Генуэзский залив, а также Венгерская и Дунайская низменности. Большинство южных циклонов, повлиявших на возникновение ОЯП в республике, смещались в теплый период года, следовательно, ОЯП прежде всего были связаны с развитием на атмосферных фронтах интенсивной конвекции, обуславливающей очень сильные ливни, выпадение крупного града, образование мощных гроз, шквалов и смерчей.

Западные циклоны, вызвавшие ОЯП в Беларуси, образовывались в основном над Атлантическим океаном. Характерной особенностью данных циклонов было быстрое смещение над Западной Европой и существенное замедление хода над Беларусью, что приводило к возникновению очень сильных дождей как ливневого, так и продолжительного характера в летний период года. И лишь очень сильные ветры, в том числе шквалы, были обусловлены глубокими циклонами, перемещающимися с большими скоростями при значительных барических градиентах.

Отличительной особенностью как южных, так и западных циклонов, вызвавших большинство ОЯП в Беларуси, стало их углубление над территорией страны, т. е. они выходили на республику интенсивными и активными, преимущественно здесь достигая максимальной стадии своего развития.

Библиографические ссылки

1. Гольберг МА, редактор. *Стихийные гидрометеорологические явления на территории Беларуси*. Минск: БелНИЦ «Экология»; 2002. 131 с.
2. Гледко ЮА, Гончар АГ. Региональное распределение ущерба последствий опасных метеорологических явлений на территории Беларуси. В: *Актуальные научно-технические и экологические проблемы сохранения среды обитания: сборник научных статей Международной научно-практической конференции; 23–25 апреля 2014 г.; Брест, Беларусь. Часть 2*. Брест: БрГТУ; 2014. с. 107–112.
3. Логинов ВФ, Сачок ГИ, Микуцкий ВС, Мельник ВИ, Коляда ВВ. *Изменения климата Беларуси и их последствия*. Логинов ВФ, редактор. Минск: Тонпик; 2003. 330 с.
4. *Руководство по краткосрочным прогнозам погоды. Часть 1*. 3-е издание, переработанное и дополненное. Ленинград: Гидрометеиздат; 1986. 702 с.
5. Семка ВВ, Расторгуев ИП. Исследование синоптических объектов в целях прогноза опасных явлений и неблагоприятных погодных условий. В: *Совершенствование наземного обеспечения авиации: материалы Всероссийской научно-практической конференции; 22–23 октября 2003 г.; Воронеж, Россия. Часть 2*. Воронеж: ВВАИИ; 2003. с. 40–41.
6. Балабух ВО. Траекторії циклонів, що зумовлюють небезпечну і стихійну кількість опадів в Україні у теплий період року [Интернет]. У: *Наукові праці Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту. Випуск 253*. Київ: Ніка-Центр; 2004 [прочитовано 17 травня 2017 р.]. с. 103–119. Режим доступу: https://uhmi.org.ua/pub/np/253/9_Balabuch.pdf.
7. Полонский АБ, Кибальнич ИА. Циркуляционные индексы и температурный режим Восточной Европы в зимний период. *Метеорология и гидрология*. 2015;1:5–17.
8. Вязилова НА. Циклоническая активность и колебания циркуляции в Северной Атлантике. *Метеорология и гидрология*. 2012;7:5–14.
9. Rogers JC. North Atlantic storm track variability and its association to the North Atlantic Oscillation and climate variability of Northern Europe. *Journal of Climate*. 1997;10(7):1635–1647. DOI: 10.1175/1520-0442(1997)010<1635:NASTVA>2.0.CO;2.
10. Davis RE, Demme G, Dolan R. Synoptic climatology of Atlantic coast North-Easterners. *International Journal of Climatology*. 1993;13(2):171–189. DOI: 10.1002/joc.3370130204.
11. Mändla K, Enno S-E, Sepp M. Thunderstorms caused by southern cyclones in Estonia. *Estonian Journal of Earth Sciences*. 2014;63(2):108–117. DOI: 10.3176/earth.2014.10.
12. Degirmendžić J, Kozuchowski K. Mediterranean cyclones, the atmospheric moisture content and precipitation in Poland. *Geographia Polonica* [Internet]. 2017 [cited 2018 July 20];90(1):5–20. Available from: http://rcin.org.pl/Content/61907/WA51_81548_r2017-t90-no1_G-Polonica-Degirmend.pdf.
13. Hofstätter M, Chimani B, Lexer A, Blöschl G. A new classification scheme of European cyclone tracks with relevance to precipitation. *Water Resources Research*. 2016;52(9):7086–7104. DOI: 10.1002/2016WR019146.
14. Хандожко ЛА. *Региональные синоптические процессы*. Ленинград: Ленинградский гидрометеорологический институт; 1988. 103 с.
15. Барская СЗ. Влияние ныряющих циклонов на погодные условия Белоруссии. В: *Сборник работ Минской гидрометеорологической обсерватории. Выход 6*. Минск: Издательство Академии наук Белорусской ССР; 1967. с. 11–18.
16. Лепешко ВН, составитель. *Рекомендации к прогнозу ныряющих циклонов, оказывающих влияние на погоду Белоруссии*. Минск: Белгидромет; 1989. 33 с.
17. Бугаева ВВ. Анализ южного циклона. *Труды Гидрометцентра СССР*. 1972;107:139–161.
18. Хохлов ВН. Особенности распределения кинетической энергии и влагосодержания в южных циклонах. В: *Метеорология, климатология и гидрология: межведомственный научный сборник Украины. Выход 34*. Одесса: Одесский гидрометеорологический институт; 1997. с. 13–20.
19. Лаврова АА, Глебова ЕС, Тросников ИВ, Казначеева ВД. Моделирование эволюции серии средиземноморских циклонов с помощью региональной модели атмосферы. *Метеорология и гидрология*. 2010;6:5–15.
20. Лепешко ВН. Южные циклоны, условия их развития и перемещения на территорию БССР. Минск: Белгидромет; 1983. 97 с.
21. Юбочникова ОИ. Осадки в Беларуси, связанные с перемещением циклонов с юга. В: *Сборник работ Минской гидрометеорологической обсерватории. Выход 4*. Минск: Издательство Академии наук Белорусской ССР; 1962. с. 43–52.
22. Sumak K. Intensive prolonged rains in Belarus and Baltic States 22–24 August 2017 [Internet]. In: *Proceedings for the 2018 EUMETSAT Meteorological Satellite Conference; 2018 September 17–21; Tallinn, Estonia*. [S. l.]: [s. n.]; 2018 [cited 2019 February 1]. p. 1–4. Available from: https://www.eumetsat.int/website/wcm/idc/idcplg?IdcService=GET_FILE&dDocName=PDF_CONF_2018_S4_SUMAK_P&RevisionSelectionMethod=LatestReleased&Rendition=Web.
23. Амеленко АВ, Николаева ВИ. Осадки в БССР, связанные с перемещением циклонов с северо-запада и запада. В: *Сборник работ Минской гидрометеорологической обсерватории. Выход 3*. Минск: Издательство Академии наук Белорусской ССР; 1961. с. 158–166.
24. Логинов ВФ, Волчек АА, Шпока ИН. *Опасные метеорологические явления на территории Беларуси*. Минск: Беларуская навука; 2010. 129 с.
25. Логинов ВФ, Волчек АА, Валуев ВЕ. *Атлас опасных метеорологических явлений на территории Беларуси*. Москва: Мешерский филиал ВНИИГиМ имени А. Н. Костякова; 2016. 57 с.
26. 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. Дзердзеевскому. В: *Природопользование. Выход 24*. Минск: Минсктиппроект; 2013. с. 5–10.
27. Сумак ЕН, Семенова ИГ. Особенности перемещения циклонов над Беларусью в современный климатический период. *Природные ресурсы*. 2017;2:101–109.
28. *Охрана окружающей среды и природопользование. Гидрометеорология. Правила составления краткосрочных прогнозов погоды общего назначения, ТКП 17.10-06-2008 (02120) (01.01.2009)*. Минск: БелНИЦ «Экология»; 2008. 30 с.

29. Обзор климатических особенностей и опасных гидрометеорологических явлений на территории Республики Беларусь. Минск: Белгидромет; 1996–2016.
30. Полищук АИ, Парашук ЛН. Особенности погодных условий в Беларуси 15 марта 2013 года, обусловленные южным циклоном «Хавьер». *Экологический вестник*. 2014;4:84–87.

References

1. Golberg MA. *Stikhiinye gidrometeorologicheskie yavleniya na territorii Belarusi* [Dangerous hydrometeorological phenomena on the territory of Belarus]. Minsk: BelNITs «Ekologiya»; 2002. 131 p. Russian.
2. Gledko YuA, Gonchar AG. [Regional distribution of damage of consequences of dangerous meteorological phenomena on the territory of Belarus]. In: *Aktual'nye nauchno-tehnicheskie i ekologicheskie problemy sokhraneniya sredy obitaniya: sbornik nauchnykh statei Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii; 23–25 aprelya 2014 g.; Brest, Belarus'. Chast' 2* [Actual scientific, technical and ecological problems of habitat preservation: collection scientific articles of the International scientific and practical conference; 2014 April 23–25; Brest, Belarus. Part 2]. Brest: Brest State Technical University; 2014. p. 107–112. Russian.
3. Loginov VF, Sachok GI, Mikutskii VS, Mel'nik VI, Kolyada VV. *Izmeneniya klimata Belarusi i ikh posledstviya* [Climate change in Belarus and its consequences]. Loginov VF, editor. Minsk: Tonpik; 2003. 330 p. Russian.
4. *Rukovodstvo po kratkosrochnym prognozam pogody. Chast' 1* [Short-term forecast guide. Part 1]. 3rd edition, revised and supplemented. Leningrad: Gidrometeoizdat; 1986. 702 p. Russian.
5. Semka VV, Rastorguev IP. [Survey of synoptic objects in order to forecast hazardous events and adverse weather conditions]. In: *Sovershenstvovanie nazemnogo obespecheniya aviatsii: materialy Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii; 22–23 oktyabrya 2003 g.; Voronezh, Rossiya. Chast' 2* [Improving ground support for aviation: materials of the All-Russian scientific and practical conference; 2003 October 22–23; Voronezh, Russia. Part 2]. Voronezh: Voronezh Military Aviation Engineering Institute; 2003. p. 40–41. Russian.
6. Balabuh VO. [Trajectories of cyclones, causing dangerous amount of precipitation in the warm period of the year in Ukraine] [Internet]. In: *Naukovi praci Ukrai'ns'kogo naukovo-doslidnogo gidrometeorologichnogo instytutu. Vypusk 253* [Scientific works of the Ukrainian Hydrometeorological Research Institute. Issue 253]. Kyiv: Nika-Centr; 2004 [cited 2017 May 17]. p. 103–119. Available from: https://uhmi.org.ua/pub/np/253/9_Balabuch.pdf. Ukrainian.
7. Polonskii AB, Kibal'chik IA. [Circulation indices and temperature regime of Eastern Europe in winter]. *Meteorologiya i gidrologiya*. 2015;1:5–17. Russian.
8. Vyazilova NA. [Cyclonic activity and circulation fluctuations in the North Atlantic]. *Meteorologiya i gidrologiya*. 2012;7:5–14. Russian.
9. Rogers JC. North Atlantic storm track variability and its association to the North Atlantic Oscillation and climate variability of Northern Europe. *Journal of Climate*. 1997;10(7):1635–1647. DOI: 10.1175/1520-0442(1997)010<1635:NASTVA>2.0.CO;2.
10. Davis RE, Demme G, Dolan R. Synoptic climatology of Atlantic coast North-Easters. *International Journal of Climatology*. 1993;13(2):171–189. DOI: 10.1002/joc.3370130204.
11. Mändla K, Enno S-E, Sepp M. Thunderstorms caused by southern cyclones in Estonia. *Estonian Journal of Earth Sciences*. 2014;63(2):108–117. DOI: 10.3176/earth.2014.10.
12. Degirmendžić J, Kozuchowski K. Mediterranean cyclones, the atmospheric moisture content and precipitation in Poland. *Geographia Polonica* [Internet]. 2017 [cited 2018 July 20];90(1):5–20. Available from: http://rcin.org.pl/Content/61907/WA51_81548_r2017-t90-no1_G-Polonica-Degirmend.pdf.
13. Hofstätter M, Chimani B, Lexer A, Blöschl G. A new classification scheme of European cyclone tracks with relevance to precipitation. *Water Resources Research*. 2016;52(9):7086–7104. DOI: 10.1002/2016WR019146.
14. Khandozhko LA. *Regional'nye sinopticheskie protsessy* [Regional synoptic processes]. Leningrad: Gidrometeoizdat; 1988. 103 p. Russian.
15. Barskaya SZ. [Influence of diving cyclones on weather conditions in Belarus]. In: *Sbornik rabot Minskoi gidrometeorologicheskoi observatorii. Vypusk 6* [Collection of works of the Minsk Hydrometeorological Observatory. Issue 6]. Minsk: Izdatel'stvo Akademii nauk Belorusskoi SSR; 1967. p. 11–18. Russian.
16. Lepeshko VM, compiler. *Rekomendatsii k prognozu nyryayushchikh tsiklonov, okazyvayushchikh vliyanie na pogodu Belorussii* [Recommendations for the forecast of diving cyclones that affect the weather in Belarus]. Minsk: Belhydromet; 1989. 33 p. Russian.
17. Bugaeva VV. [Analysis of southern cyclone]. *Trudy Gidromettsentra SSSR*. 1972;107:139–161. Russian.
18. Khokhlov VM. [Features of distribution of kinetic energy and moisture content in southern cyclones]. In: *Meteorologiya, klimatologiya i gidrologiya: mezhvedomstvennyi nauchnyi sbornik Ukrainy. Vypusk 34* [Meteorology, climatology and hydrology: interdepartmental scientific collection of Ukraine. Issue 34]. Odessa: Odessa Hydrometeorological Institute; 1997. p. 13–20. Russian.
19. Lavrova AA, Glebova ES, Trosnikov IV, Kaznacheeva VD. [Modelling the evolution of a series of Mediterranean cyclones using a regional atmospheric model]. *Meteorologiya i gidrologiya*. 2010;6:5–15. Russian.
20. Lepeshko VM. *Yuzhnye tsiklony, usloviya ikh razvitiya i peremeshcheniya na territoriyu BSSR* [Southern cyclones, conditions of their development and movement to the territory of the BSSR]. Minsk: Belhydromet; 1983. 97 p. Russian.
21. Yubochnikova OI. [Precipitation in Belarus associated with the movement of cyclones from the south]. In: *Sbornik rabot Minskoi gidrometeorologicheskoi observatorii. Vypusk 4* [Collection of works of the Minsk Hydrometeorological Observatory. Issue 4]. Minsk: Izdatel'stvo Akademii nauk Belorusskoi SSR; 1962. p. 43–52. Russian.
22. Sumak K. Intensive prolonged rains in Belarus and Baltic States 22–24 August 2017 [Internet]. In: *Proceedings for the 2018 EUMETSAT Meteorological Satellite Conference; 2018 September 17–21; Tallinn, Estonia*. [S. l.]: [s. n.]; 2018 [cited 2019 February 1]. p. 1–4. Available from: https://www.eumetsat.int/website/wcm/idc/idcplg?IdcService=GET_FILE&dDocName=PDF_CONF_2018_S4_SUMAK_P&RevisionSelectionMethod=LatestReleased&Rendition=Web.
23. Amel'chenko AV, Nikolaeva VI. [Precipitation in the BSSR associated with the movement of cyclones from the North-West and West]. In: *Sbornik rabot Minskoi gidrometeorologicheskoi observatorii. Vypusk 3* [Collection of works of the Minsk Hydrometeorological Observatory. Issue 3]. Minsk: Izdatel'stvo Akademii nauk Belorusskoi SSR; 1961. p. 158–166. Russian.

24. Loginov VF, Volchek AA, Shpoka IM. *Opasnye meteorologicheskie yavleniya na territorii Belarusi* [Dangerous meteorological phenomena on the territory of Belarus]. Minsk: Belaruskaja navuka; 2010. 129 p. Russian.
25. Loginov VF, Volchek AA, Valuev VE. *Atlas opasnykh meteorologicheskikh yavlenii na territorii Belarusi* [Atlas of dangerous meteorological phenomena on the territory of Belarus]. Moscow: Meshcherskii filial VNIIGiM imeni A. N. Kostyakova; 2016. 57 p. Russian.
26. Loginov VF, 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. In: *Prirodopol'zovanie. Vypusk 24* [Nature management. Issue 24]. Minsk: Minsktipprom; 2013. p. 5–10. Russian.
27. Sumak KM, Semenova IG. The features moving of cyclones over Belarus under current climate conditions. *Prirodnye resursy*. 2017;2:101–109. Russian.
28. *Environmental Protection and Nature Use. Hydrometeorology. Rules for the compilation of short term general-purpose weather forecasts, TKP 17.10-06-2008 (02120) (01.01.2009)*. Minsk: BelNITs «Ekologiya»; 2008. 30 p. Russian.
29. *Obzor klimaticheskikh osobennostei i opasnykh gidrometeorologicheskikh yavlenii na territorii Respubliki Belarus'* [Review of climatic features and dangerous hydrometeorological phenomena on the territory of the Republic of Belarus]. Minsk: Belhydromet; 1996–2016. Russian.
30. Polishchuk AI, Parashchuk LN. The characteristics of the weather conditions in Belarus due to the southern cyclone «Xavier» on 15 March 2013. *Ekologicheskii vestnik*. 2014;4:84–87. Russian.

Статья поступила в редколлегию 02.02.2019.
Received by editorial board 02.02.2019.

ДОЛГОПЕРИОДНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В ТАТАРСТАНЕ И ИХ СЦЕНАРИИ В ТЕКУЩЕМ СТОЛЕТИИ

Ю. П. ПЕРЕВЕДЕНЦЕВ¹⁾, К. М. ШАНТАЛИНСКИЙ¹⁾,
Б. Г. ШЕРСТЮКОВ²⁾, А. А. НИКОЛАЕВ¹⁾

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

²⁾Всероссийский научно-исследовательский институт
гидрометеорологической информации – Мировой центр данных,
ул. Королева, 6, 249035, г. Обнинск, Калужская обл., Россия

Рассмотрены долгопериодные колебания температуры воздуха на территории Республики Татарстан в XX–XXI вв. Определены периоды однозначного изменения приземной температуры воздуха. Установлено, что с 1970-х гг. по 2017 г. средняя зимняя температура в Приказанском регионе выросла более чем на 3 °С, а средняя летняя температура увеличилась приблизительно на 2 °С. Показан вклад процессов глобального масштаба в изменчивость температуры Приказанского региона: зимой он составил 37 %, летом – 23 %. Выполнен корреляционный анализ аномалий среднегодовой температуры воздуха в Казани и рядов аномалий температуры воздуха над континентами, а также температуры поверхности океана в каждом узле координат на земном шаре за 1880–2017 гг. Обнаружены дальние связи в поле температуры между Казанью и удаленными регионами Земли. Отмечено, что долгопериодные колебания климата в Казани происходят синхронно с колебаниями температуры воздуха в высоких широтах Азии и Северной Америки, на Дальнем Востоке и юге Австралии, а также с изменениями температуры поверхностных вод в Северном Ледовитом, Индийском и Тихом океанах. Высказано предположение о наличии глобального механизма, регулирующего долгопериодные колебания климата на всей Земле в течение рассмотренного 200-летнего интервала наблюдений. По данным проекта CMIP5 построены климатические сценарии для Казани до конца XXI в.

Ключевые слова: температура воздуха; изменения климата; линейный тренд; климатические модели; климатические сценарии.

Благодарность. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты № 18-05-00721 и № 18-45-160006).

Образец цитирования:

Переведенцев ЮП, Шанталинский КМ, Шерстюков БГ, Николаев АА. Долгопериодные изменения температуры воздуха в Татарстане и их сценарии в текущем столетии. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология.* 2019;2:94–107.
<https://doi.org/10.33581/2521-6740-2019-2-94-107>

For citation:

Perevedentsev YuP, Shantalinskii KM, Sherstukov BG, Nikolaev AA. Long-period changes of the air temperature in Tatarstan and their forecast till the end of the 21st century. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology.* 2019; 2:94–107. Russian.
<https://doi.org/10.33581/2521-6740-2019-2-94-107>

Авторы:

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

Константин Михайлович Шанталинский – кандидат географических наук, доцент; доцент кафедры метеорологии, климатологии и экологии атмосферы Института экологии и природопользования.

Борис Георгиевич Шерстюков – доктор географических наук; заведующий лабораторией исследования последствий изменения климата.

Александр Анатольевич Николаев – кандидат географических наук, доцент; доцент кафедры метеорологии, климатологии и экологии атмосферы Института экологии и природопользования.

Authors:

Yuri P. Perevedentsev, doctor of science (geography), full professor; head of the department of meteorology, climatology and atmospheric environment, Institute of environmental sciences. ypereved@kpfu.ru

Konstantin M. Shantalinskii, PhD (geography), docent; associate professor at the department of meteorology, climatology and atmospheric environment, Institute of environmental sciences. kshantal@kpfu.ru

Boris G. Sherstukov, doctor of science (geography); head of the laboratory of climate change impact. boris@meteo.ru

Alexander A. Nikolaev, PhD (geography), docent; associate professor at the department of meteorology, climatology and atmospheric environment, Institute of environmental sciences. aleksandr.nikolaev@kpfu.ru

LONG-PERIOD CHANGES OF THE AIR TEMPERATURE
IN TATARSTAN AND THEIR FORECAST
TILL THE END OF THE 21st CENTURY

*Yu. P. PEREVEDENTSEV^a, K. M. SHANTALINSKII^a,
B. G. SHERSTUKOV^b, A. A. NIKOLAEV^a*

^aKazan Federal University, 18 Kremlyovskaya Street, Kazan 420008, Russia

^bRussian Research Institute of Hydrometeorological Information – World Data Center,
6 Koroleva Street, Obninsk 249035, Kaluga region, Russia

Corresponding author: Yu. P. Perevedentsev (ypereved@kpfu.ru)

Long-term changes in air temperature on the territory of the Republic of Tatarstan in the 20th–21st centuries are considered. The periods of unambiguous changes in the surface air temperature are determined. It is established that the average winter temperature from the 1970s to 2017, increased in the Kazan region by more than 3 °C and the average summer temperature increased by about 2 °C over the same period. The contribution of global scale processes to the variability of the temperature of the Kazan region is shown: it was 37 % in winter, 23 % in summer. The correlation analysis of the anomalies of average annual air temperature in Kazan and the series of air temperature anomalies in each node over the continents, as well as the ocean surface temperature in each coordinate node on Earth for 1880–2017, was performed. Long-distance communications were detected in the temperature field between Kazan and remote regions of the Earth. It is noted that long-period climate fluctuations in Kazan occur synchronously with fluctuations in the high latitudes of Asia and North America, with fluctuations in ocean surface temperature in the Arctic ocean, with fluctuations in air temperature in the Far East, and with fluctuations in ocean surface temperature in the Southern hemisphere in the Indian and Pacific oceans, as well as air temperature in southern Australia. It is suggested that there is a global mechanism that regulates long-term climate fluctuations throughout the Earth in the considered interval of 200 years of observations. According to the CMIP5 project, climatic scenarios were built for Kazan until the end of the 21st century.

Keywords: air temperature; climate change; linear trend; climate models; climatic scenarios.

Acknowledgements. This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (grants No. 18-05-00721 and No. 18-45-160006).

Введение

Современное состояние исследований в области климата отражено в оценочных докладах Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) [1] и Росгидромета [2]. В 2011 г. на XVI Всемирном метеорологическом конгрессе утверждена глобальная рамочная основа для климатического обслуживания (ГРОКО), включающая в себя системы гидрометеорологических наблюдений и моделирования климата, информационную климатическую систему и систему обеспечения климатической информацией пользователей секторов экономики и социальной сферы. Все это должно способствовать адаптации к происходящим климатическим изменениям, управлению возникающими рисками. В разных регионах России ведутся исследования по изучению изменчивости климата и динамики показателей его экстремальности. Так, в 2008 г. коллективом кафедры метеорологии, климатологии и экологии атмосферы Казанского федерального университета была опубликована монография «Климатические условия и ресурсы Республики Татарстан» [3], в которой дана оценка изменениям климата и климатических ресурсов по результатам метеорологических наблюдений за 1966–2004 гг. Вместе с тем необходимо отметить, что за последние 14 лет произошли заметные изменения регионального климата: в зимний период возникла тенденция к понижению температуры, а в летний – к ее повышению. Достаточно упомянуть длительную засуху летом 2010 г., когда температура в Татарстане достигала 39 °C, что привело к снижению урожайности сельскохозяйственных культур на 51–65 % по сравнению со средней урожайностью за предшествующие 5 лет. Кроме того, в июле – августе 2010 г. резко возросла смертность среди пожилых людей из-за крайне неблагоприятных экстремальных условий [4].

Республика Татарстан по своим экономическим показателям и развитию социальной сферы входит в число лидеров Российской Федерации. Тем не менее ряд ее отраслей, и прежде всего сельское, лесное и жилищно-коммунальное хозяйство, рекреационно-туристский комплекс, зависят как от экстремальных явлений погоды, так и от долговременных климатических изменений. Пример тому – интенсивные

засухи 1995, 1998, 1999, 2010 и 2016 гг., принесшие значительный ущерб сельскому и лесному хозяйству. Поэтому изучение настоящих и будущих распределений показателей климата, оценка климатического потенциала региона (тепло- и влагообеспеченности, радиационного баланса, продолжительности периодов с экстремальными значениями температуры воздуха и атмосферных осадков) в интересах экономики и населения представляются актуальными.

Целью работы является анализ долгопериодных изменений температуры воздуха в Татарстане в XX и XXI вв.

Материалы и методы исследования

В качестве исходного материала исследования были использованы средние месячные значения температуры воздуха за период с 1928 по 2017 г. на метеорологических станциях Казань-университет, Вязовые и Арск. Станция Казань-университет находится в центре города, станция Вязовые располагается в 40 км к западу от Казани, а станция Арск – в 60 км к северо-востоку (рис. 1).

По средним месячным данным рассчитаны средние годовые (январь – декабрь), зимние (декабрь – февраль) и летние (июнь – август) значения температуры воздуха.

В целях выявления наиболее крупномасштабных изменений были использованы временные ряды аномалий приповерхностной температуры воздуха, осредненной по территории Северного полушария (1928–2017), которые подготовлены в отделе исследования климата Университета Восточной Англии (далее – данные CRU) [5].

Для обнаружения дальних связей в поле температуры между Казанью и удаленными регионами Земли использовались материалы наблюдений за температурой воздуха (ТВ) на метеорологической станции Казань-университет за 1828–2017 гг., а также сведения о температуре поверхности океана (ТПО) в узлах географической сетки с шагом $2 \times 2^\circ$ широты и долготы за 1854–2017 гг. [6–8] и данные CRU о температуре воздуха над континентами в узлах географической сетки с шагом $5 \times 5^\circ$ широты и долготы за 1880–2017 гг.

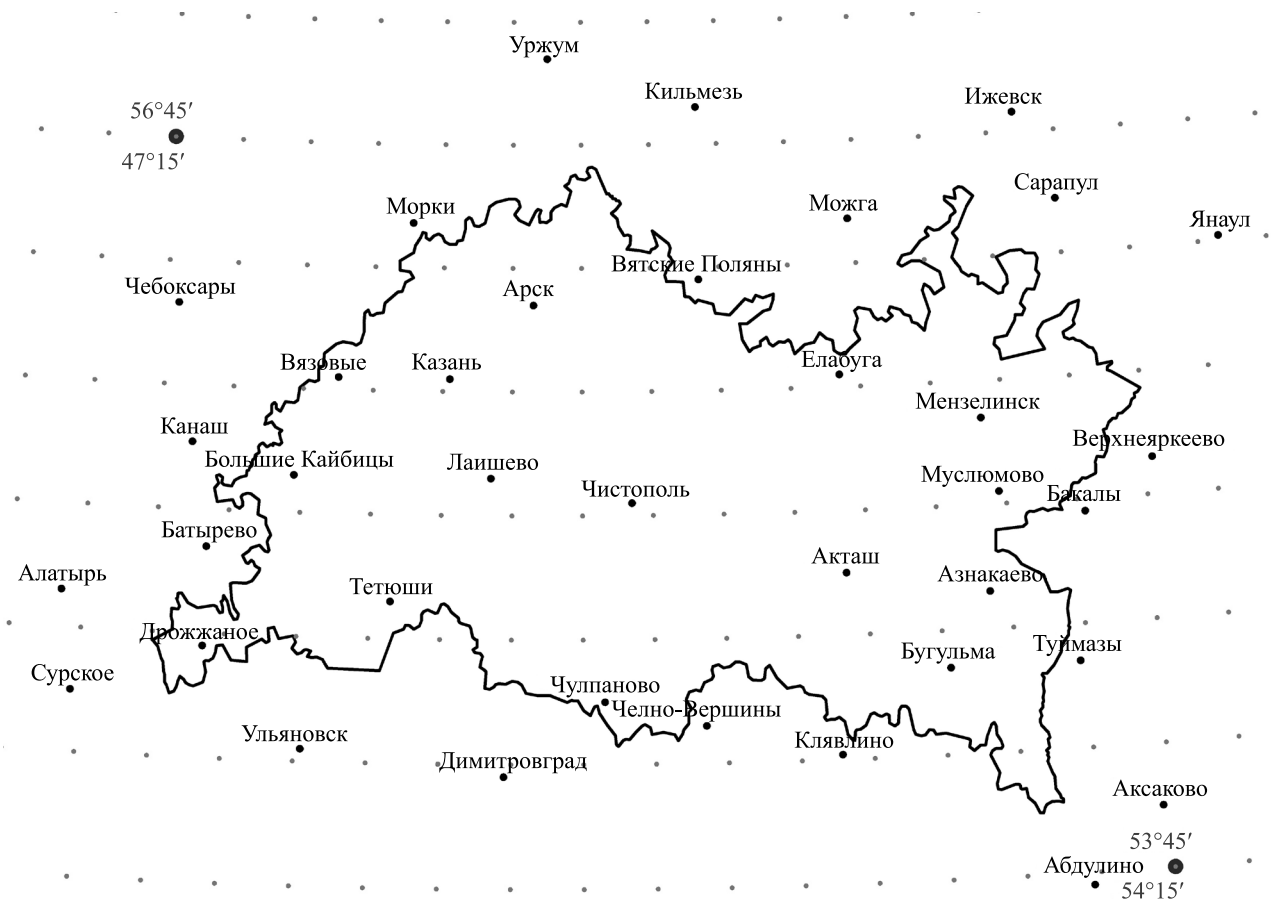


Рис. 1. Расположение метеорологических станций в Татарстане и на сопредельных территориях
Fig. 1. Location of meteorological stations in Tatarstan and in adjacent territories

Массив данных о ТПО ERSST v3b представляет собой восстановленные ряды месячных аномалий температуры поверхности океана относительно норм за 1971–2000 гг. Заполнение пропусков статистическими методами выполнено авторами массива. В отличие от версии ERSST v3 новая версия ERSST v3b не включает спутниковые данные, которые, как было установлено, вызывают слишком сильное смещение.

Массив данных о ТВ над континентами содержит аномалии месячной температуры в узлах географической сетки с шагом $5 \times 5^\circ$ широты и долготы относительно норм за 1961–1990 гг. [5].

Для исследования долгопериодных изменений температурного режима применялись сглаживание временных рядов 7-летним скользящим осреднением, низкочастотная цифровая фильтрация (НЧ фильтр Поттера), метод корреляционного анализа.

Нами было проведено тестирование 38 климатических моделей последнего поколения CMIP5 (*coupled model intercomparison project*) по ряду критериев, таких как коэффициент наклона линейного тренда (КНЛТ), разность климатических норм, коэффициент парной корреляции между смоделированными температурами воздуха и результатами наблюдений, среднее абсолютное отклонение (δ), среднеквадратическая ошибка прогноза (σ).

По итогам комплексного анализа результатов тестирования были отобраны 7 наиболее эффективных моделей – BNU-ESM, CMCC-CM, MPI-ESM-LR, MPI-ESM-MR, GISS-E2-H, EC-EARTH, FIO-ESM, которые использовались для получения климатических проекций в Казани на период 2005–2100 гг.

Прогностические расчеты базировались на результатах ансамблевых расчетов отобранных 7 климатических моделей из проекта CMIP5. Модельные данные по реконструкции температурного ряда в период 1850–2005 гг. сравнивались с данными метеонаблюдений на метеостанции Казань-университет.

Результаты и их обсуждение

Современные изменения климата, сопровождающиеся все более частыми и интенсивными природными катаклизмами, оказываются наиболее чувствительными для природы, экономики и населения конкретных регионов. Становится актуальной задача оценить роль естественных (тепловое состояние поверхности Атлантического океана, циркуляция атмосферы, солнечная и геомагнитная активность) и антропогенных факторов (рост концентрации парниковых газов) в формировании погодных и климатических аномалий, включая экстремальные, на территории Татарстана, исследовать динамику климатических ресурсов и спрогнозировать будущие изменения климата в интересах экономики и населения [3; 9; 10].

Изменения приземной температуры в Приказанском регионе. Рассмотрим температурный режим в Приказанском регионе в целях определения степени влияния на него факторов различного масштаба и оценки возможных изменений температуры в будущем (табл. 1).

Таблица 1

Средние квадратические отклонения, средние многолетние, максимальные и минимальные значения приземной температуры воздуха ($^\circ\text{C}$) в Приказанском регионе за различные периоды осреднения

Table 1

Mean square deviations, average long-term, maximum and minimum values of surface air temperature ($^\circ\text{C}$) in the Kazan region for different periods of averaging

Характеристики температуры воздуха	Год (январь – декабрь)			Зима (декабрь – февраль)			Лето (июнь – август)		
	Казань	Вязовые	Арск	Казань	Вязовые	Арск	Казань	Вязовые	Арск
1928–2017 гг.									
Норма	4,57	3,77	3,17	–10,41	–11,11	–11,89	19,10	18,20	17,83
СКО	1,19	1,17	1,18	2,76	2,77	2,75	1,40	1,35	1,39
Макс.	6,91	6,13	5,68	–5,33	–6,20	–6,84	24,03	22,90	22,63
Мин.	1,42	0,63	0,12	–17,50	–18,17	–18,80	16,30	15,20	14,73
1928–1957 гг.									
Норма	3,85	3,12	2,52	–11,91	–12,43	–13,21	18,99	18,12	17,77
СКО	0,99	0,97	0,96	2,65	2,68	2,62	1,27	1,21	1,26
Макс.	5,50	4,73	4,03	–6,80	–7,30	–8,23	21,23	20,31	20,13
Мин.	1,42	0,63	0,12	–17,50	–18,17	–18,80	16,30	15,20	14,73

Окончание табл. 1
Ending table 1

Характеристики температуры воздуха	Год (январь – декабрь)			Зима (декабрь – февраль)			Лето (июнь – август)		
	Казань	Вязовые	Арск	Казань	Вязовые	Арск	Казань	Вязовые	Арск
1958–1987 гг.									
Норма	4,28	3,43	2,80	–10,47	–11,33	–12,07	18,55	17,66	17,27
СКО	1,00	1,03	1,02	2,61	2,67	2,66	1,26	1,31	1,32
Макс.	6,23	5,48	4,92	–5,33	–6,20	–7,03	22,03	21,43	21,23
Мин.	1,80	0,93	0,27	–16,77	–17,47	–18,40	16,67	15,50	15,10
1988–2017 гг.									
Норма	5,59	4,77	4,20	–8,87	–9,58	–10,38	19,75	18,81	18,44
СКО	1,12	1,12	1,14	2,51	2,59	2,59	1,46	1,43	1,46
Макс.	5,00	4,18	3,72	–10,43	–11,27	–11,97	21,43	20,80	20,63
Мин.	3,96	3,18	2,66	–13,13	–13,97	–14,67	16,67	15,93	15,80

Примечание. Норма – средние многолетние значения; СКО – средние квадратические отклонения; макс. и мин. – максимальные и минимальные величины соответственно.

Многолетний ход температуры на станциях региона практически аналогичен. Коэффициенты корреляции во все сезоны года превосходят величину 0,95. Однако связи во второй половине исследуемого периода, когда наблюдается современный этап глобального потепления, выше (коэффициент корреляции не менее 0,98). Особенности изменений термического режима в Казани связаны со специфическими условиями крупного города.

Выполненное сглаживание временных рядов аномалий температуры относительно норм 1961–1990 гг. при помощи низкочастотной фильтрации с полосой пропускания более 20 лет также обнаруживает существенный рост температуры как на территории всего Северного полушария, так и в Приказанском регионе (рис. 2).

Кроме того, сглаживание позволило более детально определить периоды однозначного изменения приземной температуры воздуха. Так, зимой с 1928 по 1957 г. температура в исследуемом регионе повышалась со скоростью порядка 0,6–0,8 °C за 10 лет, далее до 1970 г. отмечалось некоторое понижение температуры на величину около 0,8 °C. Затем с начала 1970-х гг. происходило интенсивное потепление климата Приказанского региона, которое с конца XX в. существенно ослабло и сменилось незначительным похолоданием, а в конце первого десятилетия XXI в. зимняя температура вновь стала увеличиваться. В результате по кривой низкочастотной компоненты средняя зимняя температура с 1928 по 2017 г. в Казани выросла на 4,7 °C, в Вязовых – на 4,2 °C, в Арске – на 4,1 °C.

Иначе изменялась средняя летняя температура воздуха. В начале исследуемого интервала примерно до второй половины 1970-х гг. температура в общем понижалась, испытывая колебания с периодом около 20 лет. За это время снижение составило примерно 1,3 °C за городом и приблизительно 0,7 °C в Казани, что явилось следствием отепляющего влияния городских условий. С середины 1970-х гг. в Приказанском регионе, как и в целом по полушарию, началось интенсивное потепление, в результате которого средняя летняя температура увеличилась на 1,9 °C за городом и на 2,2 °C в Казани.

Изменения средней годовой температуры воздуха носили более равномерный характер. Рост средней годовой температуры начался с середины 1940-х гг., и до 1990 г. его скорость в Казани была 0,17 °C за 10 лет, а за городом составляла 0,11–0,12 °C за 10 лет. Далее потепление происходило более высокими темпами: в Казани скорость повышения средней годовой температуры в этот промежуток времени достигла 0,6 °C за 10 лет, а в сельской местности – 0,5 °C за 10 лет. В результате в Казани с 1945 по 2017 г. средняя годовая температура увеличилась на 2,7 °C, а в Вязовых и Арске – на 2,1 °C. Таким образом, как уже указывалось ранее, повышение средней годовой температуры за весь исследуемый период определялось в основном увеличением средней зимней температуры.

Как видно из рис. 2, изменения температуры в Приказанском регионе хотя и носили более резкий характер, тем не менее протекали достаточно согласованно с изменениями температуры всего Северного полушария как зимой, так и летом. Особенно это относится к последнему этапу потепления, начавшемуся в середине 1970-х гг. Указанные колебания температуры воздуха являются результатом действия глобальных, региональных и локальных факторов. Для оценки вклада глобальных факторов в изменчивость температур Приказанского региона вычислялись коэффициенты корреляции аномалий

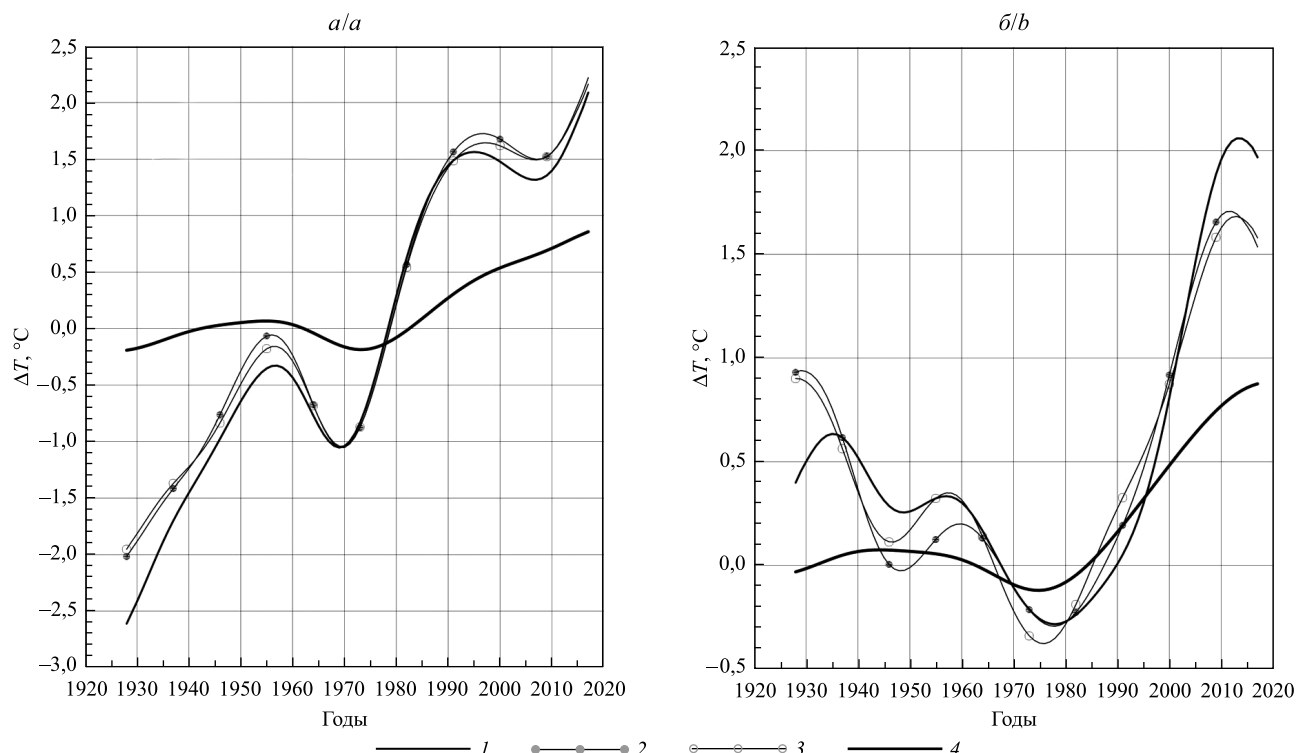


Рис. 2. Низкочастотная компонента с периодом более 20 лет аномалий приземной температуры воздуха (°C) в Приказанском регионе и Северном полушарии зимой (декабрь – февраль) (а) и летом (июнь – август) (б):
1 – Казань-университет; 2 – Вязовые; 3 – Арск; 4 – Северное полушарие (по данным CRU)

Fig. 2. Low-frequency component with a period of more than 20 years of anomalies of surface air temperature (°C) in the Kazan region and the Northern hemisphere in winter (December – February) (a) and in summer (June – August) (b):
1 – Kazan-university; 2 – Vyazovye; 3 – Arsk; 4 – Northern hemisphere (according to CRU)

температур региона и Северного полушария в целом, причем не только за весь исследуемый период, но и за два подпериода, первый из которых представляет собой промежуток времени, предшествовавший последнему потеплению (1928–1976), второй – собственно наиболее выраженную часть этого потепления (с 1977 по 2017 г.).

Значения коэффициентов корреляции за весь период исследования зимой составили около 0,61, а летом – 0,48. В 1928–1976 гг. они равнялись 0,52 и 0,40 соответственно, а в 1977–2017 гг. – 0,52 и 0,53. Увеличение коэффициента в летний сезон последнего периода связано с более равномерным повышением летней температуры в этот промежуток времени. Поскольку квадрат коэффициента корреляции характеризует вклад факториального признака в изменчивость результативного признака, а колебания температуры всего Северного полушария определяются влиянием процессов глобального масштаба, можно оценить вклад последних в изменчивость температуры Приказанского региона. Этот вклад не остается постоянным в течение года. За весь же исследуемый период зимой он составил 37 %, а летом – 23 %.

Дальние связи в поле температуры между Казанью и удаленными регионами Земли. В проблеме колебаний климата важное место занимают климатические вариации в масштабах времени от нескольких лет до нескольких веков. Изменения температуры в соседних пунктах обычно взаимозависимы. Корреляция колебаний метеорологических параметров возможна как на близких метеостанциях в пределах замкнутой территории, так и в удаленных друг от друга районах. Для удаленных взаимодействий применяется термин «дальние связи».

Пространственные масштабы очагов однородных колебаний климата связаны с их временными масштабами. При этом механизмы формирования хорошей корреляции изменений температуры во времени на близких расстояниях и в удаленных районах могут быть разными, поэтому пространственные корреляции долгопериодных колебаний рассматриваются в данной работе отдельно от короткопериодных.

В целях поиска приповерхностных долговременных дальних связей между Казанью и удаленными точками земного шара проведено следующее исследование.

За 200-летнюю историю метеорологических наблюдений в Казани можно выделить составляющие колебаний климата с разными частотами. На рис. 3 показан многолетний ход среднегодовой температуры воздуха в Казани и ее сглаженные по 7 годам значения.

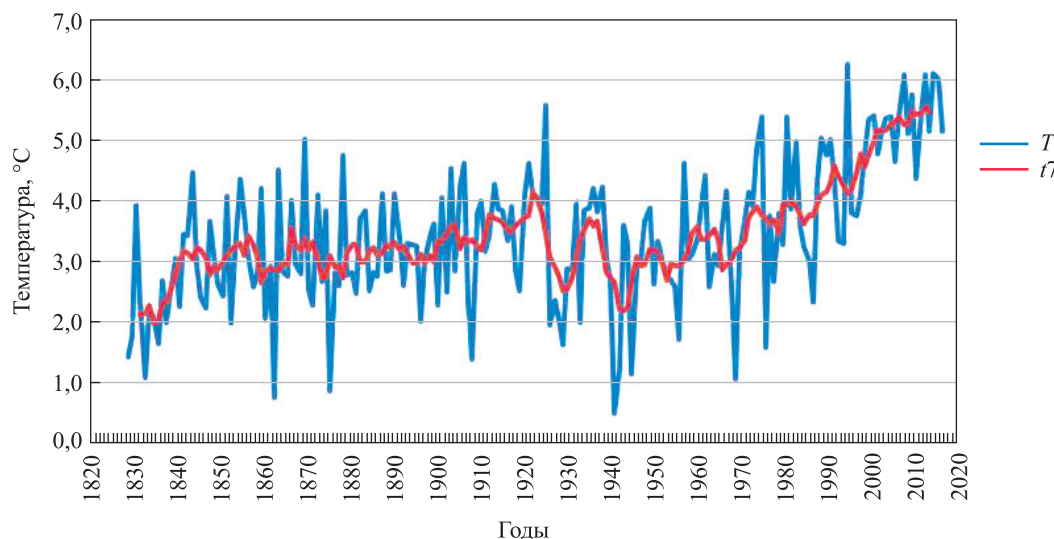


Рис. 3. Среднегодовая температура воздуха (T) и ее сглаженные по 7 годам значения (t_7) в Казани

Fig. 3. Average annual air temperature (T) and its 7-year smoothed values (t_7) in Kazan

Известно, что в XX в. на Земле наблюдались два глобальных потепления климата: первое происходило в 1930–40-х гг., второе началось с середины 1970-х гг. По версии МГЭИК, первое потепление вызвано природными причинами, а второе является следствием усиления парникового эффекта за счет антропогенного увеличения концентрации углекислого газа в атмосфере [1].

В Казани подобные изменения климата происходили на 20–30 лет раньше, чем на всем земном шаре. Так, в эпоху первого глобального потепления наивысшая среднегодовая температура воздуха в Казани наблюдалась в 1925 г. Затем она понижалась до минимума в 1941 г., а начиная с 1942 г. и до настоящего времени повышается.

За последние 200 лет, кроме указанных двух потеплений, на рис. 3 видны межгодовые колебания температуры с периодами от нескольких лет до двух-трех десятилетий. Предметом исследований были колебания с периодами более 7 лет.

Далее рассмотрим многолетние колебания аномалий среднегодовой температуры в Казани после исключения линейного тренда и сглаживания короткопериодных колебаний температуры методом скользящих средних по 7-летиям. Тренд исключался на интервале 1880–2017 гг. Аналогично тренды были исключены из среднегодовых сглаженных по 7-летиям значений температуры воздуха над континентами в узлах $5 \times 5^\circ$ географической сетки и из среднегодовых сглаженных таким же образом значений температуры поверхности Мирового океана в узлах $2 \times 2^\circ$.

Вычислялись коэффициенты корреляции между рядом полученных аномалий среднегодовой температуры воздуха в Казани и рядами аномалий температуры воздуха над континентами и температуры поверхности океана в каждом узле географической сетки на Земле за 1880–2017 гг. Пространственное распределение полученных коэффициентов корреляции показано на карте (рис. 4).

Из рис. 4 видно, что тесные связи с коэффициентами корреляции выше 0,6 наблюдаются в обширном районе на географических широтах, близких к Казани, и на долготах от Центрального региона России до Урала и даже в прилегающей части Западной Сибири. Данный район однотипных колебаний температуры находится в зоне основного западно-восточного переноса воздушных масс, который способствует распространению пространственных связей вдоль географической широты. Далее, во все стороны от Казани и указанного прилегающего региона пространственные связи ослабевают.

Однако на некотором удалении коэффициенты корреляции опять возрастают (см. рис. 4), показывая дальние связи колебаний температуры в Казани и других районах Северного и Южного полушарий Земли. Судя по большим коэффициентам корреляции (свыше 0,5), долгопериодные колебания климата в Казани происходят синхронно с колебаниями температуры воздуха в высоких широтах Азии и Северной Америки, на Дальнем Востоке и юге Австралии, а также с изменениями температуры поверхностных вод в Северном Ледовитом, Индийском и Тихом океанах.

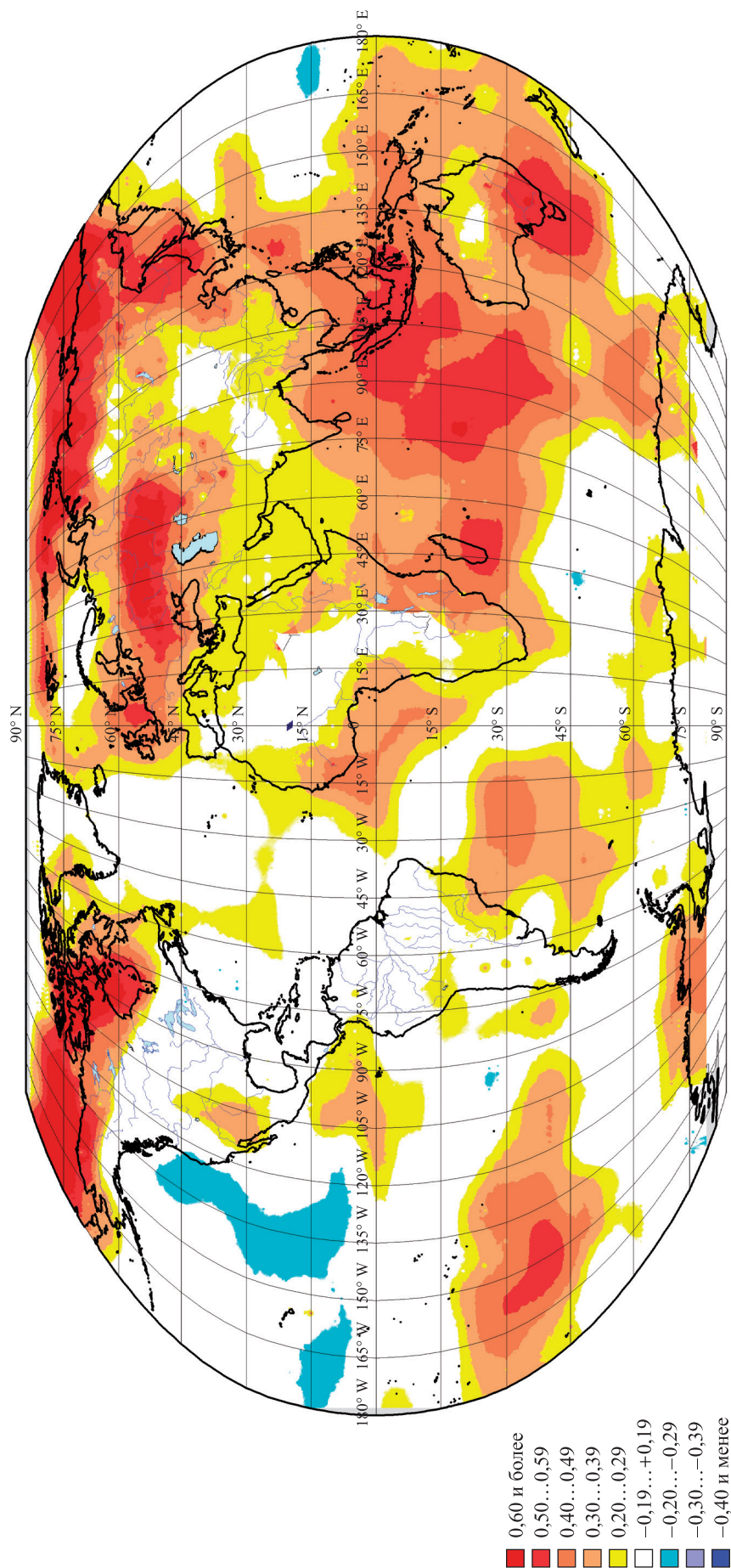


Рис. 4. Коэффициенты корреляции среднегодовой температуры в Казани с температурой воздуха над континентами в узлах через 5° широты и долготы, а также с температурой поверхности океана в узлах через 2° широты и долготы за 1880–2017 гг. (температура сглажена по 7-летиям, линейный тренд исключен)

Fig. 4. Correlation coefficients of average annual temperature in Kazan with air temperature over continents in nodes of 5° grid and ocean surface temperature in nodes of 2° grid for 1880–2017 (temperature is smoothed on 7 years, the linear trend is excluded)

На рис. 5 показаны колебания климата в Казани и на юге Австралии.

Коэффициент корреляции между колебаниями ТВ в Казани и на юге Австралии оказался равным 0,78. Если пространственные связи в районах, непосредственно прилегающих к Казани, можно объяснить адвекцией и перемешиванием воздушных масс, то связи с удаленными областями адвекцией объяснить нельзя.

Каждый из отмеченных районов дальних связей имеет свои особенности, заслуживающие дополнительного изучения. В приполярной части Северного полушария области высоких корреляций охватывают регион северного магнитного полюса и авроральную зону, в которую попадают заряженные частицы при магнитных бурях в годы повышенной солнечной активности. Пространственная структура магнитного поля Земли создает в высоких широтах наиболее благоприятные условия для вторжения заряженных солнечных частиц в верхнюю атмосферу. В этой же части Северного Ледовитого океана вдоль побережья проходит океаническое течение и идет интенсивный теплообмен в системе океан – атмосфера в теплый сезон.

На Дальнем Востоке вдоль всего побережья районы повышенной корреляции аномалий температуры в Казани с температурой в узлах сетки охватывают области мощных течений Тихого океана. И на территории Австралии наиболее вероятным источником колебаний климата являются колебания характеристик самого мощного океанического течения западных ветров.

В Индийском океане области высоких корреляций колебаний ТПО с температурой в Казани совпадают с зонами пассатных течений в районе Австралии и Океании и особенно в Южно-Китайском море.

На основе приведенных фактов возникает предположение о наличии глобального механизма, регулирующего долгопериодные колебания климата на всей Земле на протяжении 200-летней истории метеорологических наблюдений. Очевидно, что работа этого природного механизма началась задолго до исследуемого временного интервала наблюдений и продолжается до сих пор. Если первое глобальное потепление в Казани и на Земле являлось очередной волной мультидекадных природных колебаний, то подобные колебания климата должны повторяться. В Казани второе потепление началось в 1942 г., в других областях – позднее или раньше в зависимости от региональных условий.

Сторонники антропогенной гипотезы современного потепления климата его началом считают середину 1970-х гг., именно в эти годы человечество вошло в эпоху интенсивного сжигания ископаемого топлива и ускоренного повышения концентрации углекислого газа в атмосфере. Если в последней четверти XX в. добавился антропогенный фактор, то нельзя все потепление в эти годы считать антропогенным. Основу изменений климата, как и раньше, составляют природные колебания с неизменным механизмом на протяжении всей истории человечества. Подтверждением этого являются дальние связи на долгопериодных колебаниях климата, установившиеся гораздо раньше антропогенного усиления парникового эффекта.

Для сравнения проведен анализ дальних связей на короткопериодных (не более 7 лет) колебаниях климата (рис. 6).

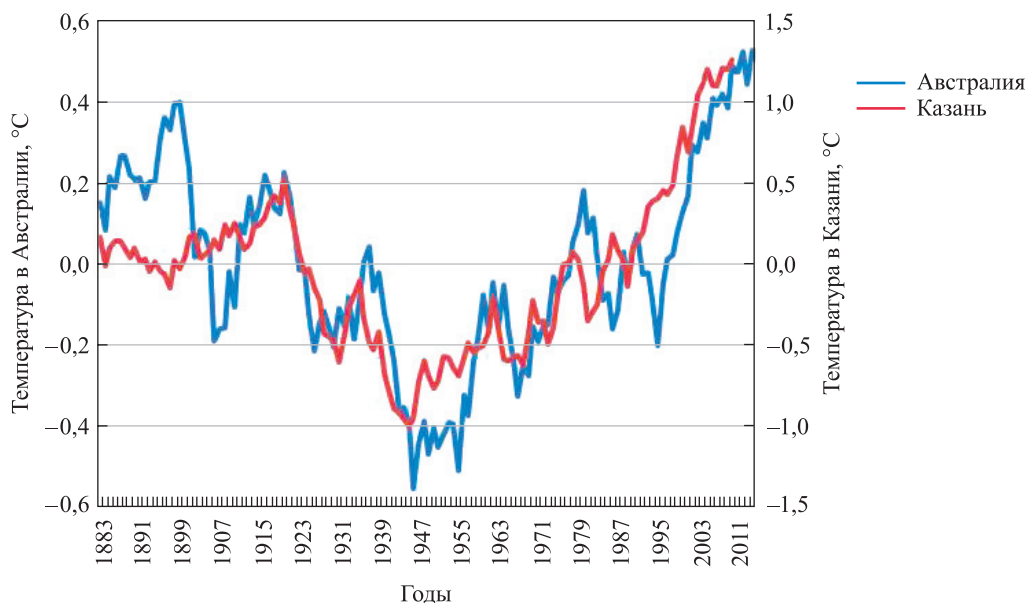


Рис. 5. Сглаженная температура (без тренда) в Казани и на юге Австралии (140° в. д., 35° ю. ш.)

Fig. 5. Smoothed temperature (without trend) in Kazan and South Australia (140° E, 35° S)

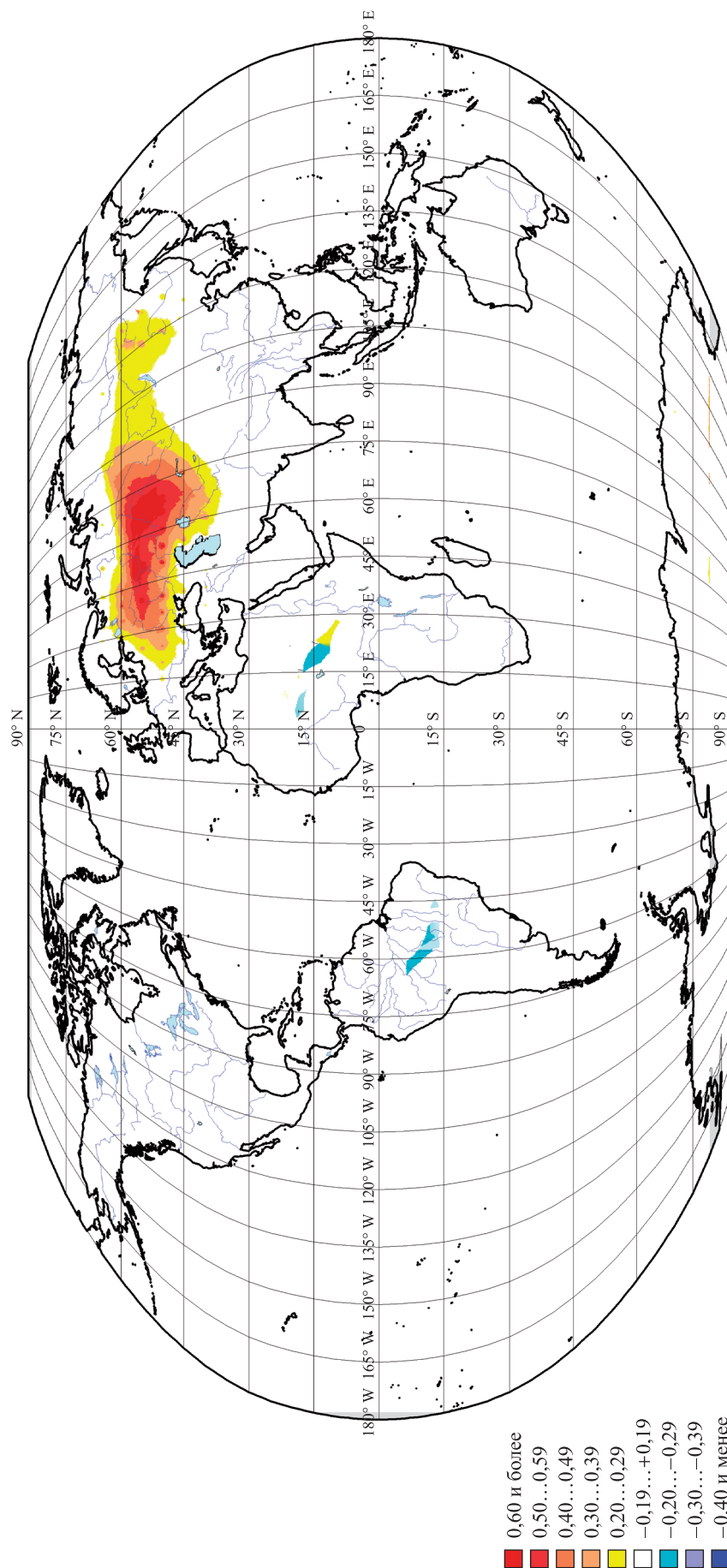


Рис. 6. Коэффициенты корреляций короткопериодных колебаний климата в Казани с колебаниями температуры в узлах

Fig. 6. Correlation coefficients of short-period climate fluctuations in Kazan with temperature fluctuations in the grid nodes

Из исходных среднегодовых значений были вычтены скользящие средние по 7-летиям. В результате в рядах отклонений остались колебания с периодами менее 7 лет. Аналогично получены ряды отклонений температуры в узлах. Вычислены коэффициенты корреляции между отклонениями температуры в Казани и аналогичными отклонениями температуры по всем узлам. На карту нанесены значения коэффициентов в узлах.

По короткопериодным колебаниям не выявлено дальних связей. Существенные корреляции обнаружены только в соседних с Казанью Центральном, Средневолжском регионах и в Западной Сибири на тех же широтах.

Показанные на рис. 4 дальние связи на долгопериодных колебаниях климата можно объяснить единым механизмом поддержания колебаний глобальной атмосферной и океанической циркуляции с участием теплообмена между океаном и атмосферой. А пространственные связи на короткопериодных колебаниях (см. рис. 6) – явление локальное, зависящее в большей мере от западно-восточного переноса воздушных масс и от региональных физико-географических условий.

Сценарии изменения температуры в Казани до конца XXI в. В последнее время большое количество исследований в мире посвящено изучению настоящих и будущих изменений климата Земли. Наиболее обширный анализ текущего состояния климата, его колебаний и их последствий представлен в оценочных докладах Всемирной метеорологической организации (ВМО), выпускаемых МГЭИК. Мировыми метеорологическими центрами и национальными службами регулярно издаются многочисленные обзоры мониторинга климата. В частности, информация об изменениях климата на территории России представлена в оценочных докладах Росгидромета [2] и ежегодных докладах о состоянии климата.

Следует заметить, что основным инструментом прогнозирования будущих изменений климата являются глобальные климатические модели общей циркуляции атмосферы и океана. В основе их лежит моделирование взаимодействия между различными компонентами климатической системы Земли и внешними факторами естественного и антропогенного характера. В этой связи наибольшую важность приобретает вопрос о соответствии модельных расчетов и фактических данных наблюдений, оценка которого применительно к России выполнялась в [11; 12]. Актуальность этого вопроса вызвана необходимостью принятия важных экономических и политических решений по адаптации к изменениям климата. Такая адаптация возможна, если неопределенность оценок соответствующих последствий не слишком велика. Иначе могут быть выбраны ошибочные стратегии, которые приведут к более значительному ущербу, чем потери, связанные с самими климатическими воздействиями. Принято считать, что достоверность расчетов изменений климата определяется способностью моделей воспроизводить его прошлое состояние. Для того чтобы убедиться, что модели правильно воспроизводят современный климат, нужно проводить их всестороннее тестирование относительно материалов наблюдений и проверять реакцию на различные внешние воздействия.

В настоящем исследовании в качестве исходных данных использовались результаты исторических расчетов температуры воздуха по 38 моделям проекта CMIP5 и наблюдения за температурой воздуха, проводившиеся в метеорологической обсерватории Казанского федерального университета в период 1861–2012 гг.

В работе рассматривались следующие модели CMIP5:

1) ACCESS1.3; 2) ACCESS1.0; 3) BCC-CSM1.1; 4) BCC-CSM1.1-m; 5) BNU-ESM; 6) CanESM2; 7) CCSM4; 8) CESM1-BGC; 9) CESM1-CAM5; 10) CMCC-CM; 11) CMCC-CMS; 12) CNRM-CM5; 13) CSIRO-Mk3-6-0; 14) EC-EARTH; 15) FGOALS_g2; 16) FIO-ESM; 17) GFDL-CM3; 18) GFDL-ESM2G; 19) GFDL-ESM2M; 20) GISS-E2-H; 21) GISS-E2-H-CC; 22) GISS-E2-R; 23) GISS-E2-R-CC; 24) HadGEM2-AO; 25) HadGEM2-CC; 26) HadGEM2-ES; 27) INMCM4; 28) IPSL-CM5A-LR; 29) IPSL-CM5A-MR; 30) IPSL-CM5B-LR; 31) MIROC5; 32) MIROC-ESM; 33) MIROC-ESM-CHEM; 34) MPI-ESM-LR; 35) MPI-ESM-MR; 36) MRI-CGCM3; 37) NorESM1-M; 38) NorESM1-ME.

Для уменьшения неопределенности климатических проекций, связанной со случайными ошибками отдельных моделей, широко применяется ансамблевый метод, состоящий в том, что результаты некоторого числа моделей усредняются. До недавнего времени считалось, что чем больше моделей входит в ансамбль, тем более точным является результат. При сравнении ансамблевых исторических расчетов, выполненных по 38 моделям проекта CMIP5, с фактическими данными температуры воздуха на территории Республики Татарстан было установлено, что эти результаты несколько завышены по сравнению с наблюдениями. Это показывает целесообразность проводить тестирование и исключать из ансамбля модели, которые воспроизводят изменения климата в рассматриваемом регионе с существенной ошибкой.

Согласно анализу данных рис. 7, где представлены результаты ансамблевых расчетов для сценариев RCP2.6, RCP4.5 и RCP8.5, в рассматриваемый период ожидается повышение температуры воздуха

в Казани как в январе, так и в июле. При этом величина изменения варьируется по сезонам и в зависимости от сценария концентрации парниковых газов. Наибольшие значения увеличения температуры воздуха по сезонам получены для сценария RCP8.5. В среднем по ансамблю ожидается рост средне-январской температуры воздуха на 8,2 °С, среднеиюльской – на 5,2 °С.

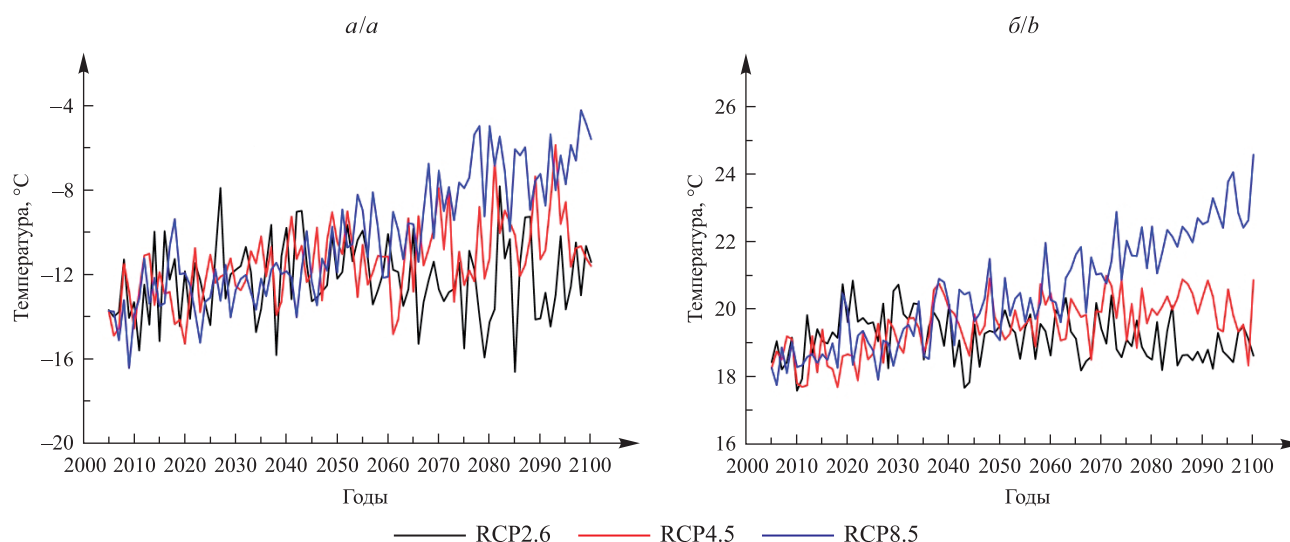


Рис. 7. Проекция среднемесячных значений температуры воздуха в январе (а) и июле (б) по ансамблю моделей за период 2005–2100 гг. для различных сценариев

Fig. 7. Projections of average monthly air temperature values in January (a) and July (b) for an ensemble of models for the period 2005–2100 for different scenarios

Выполненные расчеты по ансамблю моделей показали наличие значимых изменений температуры воздуха в Казани, а также параметров и климатических индексов, зависящих от исследуемых метеорологических величин. Прогнозируемые величины тесно связаны с положительными трендами температуры воздуха (табл. 2). Расчетные данные сезонных и годовых колебаний температуры воздуха варьируют в зависимости от типа модели. Величина разброса в некоторых случаях оказывалась значительной, но направленность процессов оставалась согласованной по большинству моделей.

Таблица 2

Коэффициент наклона линейного тренда температуры воздуха (градусов Цельсия за 10 лет) для ансамбля из 7 моделей CMIP5 для различных сценариев

Table 2

Linear trend inclination coefficient (degrees Celsius for 10 years) of air temperature for an ensemble of 7 CMIP5 models for different scenarios

Сценарий	Годы	Зима	Весна	Лето	Осень
RCP2.6	2005–2100	0,010	–0,004	–0,004	–0,019
	2005–2033	0,438	0,566	0,496	0,440
	2034–2066	–0,194	–0,172	0,035	–0,127
	2066–2100	–0,070	–0,100	–0,102	–0,048
RCP4.5	2005–2100	0,312	0,199	0,153	0,168
	2005–2033	0,642	0,505	0,430	0,499
	2034–2066	0,397	0,194	0,092	0,281
	2066–2100	0,241	0,125	0,027	–0,012
RCP8.5	2005–2100	0,804	0,545	0,534	0,591
	2005–2033	0,452	0,422	0,254	0,268
	2034–2066	0,736	0,390	0,380	0,530
	2066–2100	0,865	0,705	0,742	0,730

Величина температуры воздуха в большинстве случаев зависела от сценария изменения концентрации парниковых газов. Наименьшие изменения температуры были характерны для самого благоприятного сценария RCP2.6, а наибольшие – для агрессивного сценария RCP8.5, при котором ожидается самое значительное увеличение концентрации парниковых газов. Многолетние тренды температуры воздуха подтверждают идентичные тенденции изменения климатических характеристик и индексов. Как видно из табл. 2, при сценариях RCP4.5 и RCP8.5 во все месяцы 2005–2100 гг. имеет место рост температуры, причем наиболее велик он в зимний период, что может привести к существенным изменениям климата региона. Полученные расчетные значения температуры воздуха для рассматриваемой территории хорошо согласуются с результатами аналогичных исследований, выполняемых зарубежными и российскими учеными, и могут быть использованы при долгосрочных приближенных оценках климатических изменений в городе.

Заключение

По результатам исследования можно сделать следующие выводы.

1. Изменения приземной температуры воздуха в Приказанском регионе имеют неравномерный колебательный характер: в период с 1828 по 1957 г. зимой температура повышалась со скоростью 0,6–0,8 °C за 10 лет, а затем понизилась на 0,8 °C к 1970 г. С начала 1970-х гг. вновь происходило ее активное повышение, ослабевшее в конце XX в. (незначительное похолодание), в конце первого десятилетия XXI в. зимняя температура вновь стала возрастать. В целом для Казани средняя зимняя температура выросла на 4,7 °C, что на 0,5–0,6 °C больше, чем на сельских станциях.

2. Летняя температура в регионе, достигнув минимального значения в начале 1970-х гг., как и в зимний период, с середины 1970-х гг. интенсивно возрастает. Это привело к повышению средней летней температуры в Казани на 2,2 °C, за городом – на 1,9 °C. Вклад глобального фактора в изменчивость температуры Приказанского региона зимой составил 37 %, летом – 23 %.

3. Корреляционный анализ рядов аномалий среднегодовой температуры воздуха в Казани и рядов аномалий температуры в узлах регулярной сетки над континентами и океанами, полученных в результате исключения линейного тренда и сглаживания короткопериодных колебаний температуры методом скользящих 7-летних средних, показал, что наиболее тесные связи (коэффициенты корреляции свыше 0,6) наблюдаются между Казанью и прилегающими регионами европейской части России и Западной Сибири.

4. Долгопериодные колебания температуры в Казани происходят почти синхронно с изменениями температуры воздуха и поверхности океана в удаленных районах Северного и Южного полушарий Земли. Так, коэффициент корреляции между температурами воздуха в Казани и на юге Австралии достигает значения 0,78. Колебания температуры воздуха в Казани в разных временных масштабах имеют неодинаковую природу. Короткопериодные колебания (до 7 лет) вызваны локальными факторами. Связи обнаруживаются лишь с соседними регионами. Долгопериодные синхронные колебания температуры воздуха и температуры поверхности океана в разных частях Земли являются следствием некоторого общего глобального механизма поддержания колебаний глобальной атмосферной и океанической циркуляции с участием теплообмена в системе океан – атмосфера.

5. Наиболее тесные дальние связи колебаний температуры в Казани обнаружены с колебаниями в районах течений в Тихом, Индийском и Северном Ледовитом океанах, а также в области северного магнитного полюса и в зоне высоких широт, в которых магнитное поле Земли создало наиболее благоприятные условия для вторжения в верхнюю атмосферу заряженных частиц из космоса.

6. По данным ансамбля климатических моделей CMIP5 получены оценки долгопериодных изменений температуры воздуха в Казани до конца XXI в. за счет антропогенного фактора. В частности, по наиболее «жесткому» сценарию RCP8.5 к концу столетия ожидается повышение среднеянварской температуры приблизительно на 8 °C, а среднеиюльской – примерно на 4 °C. Безусловно, данная оценка завышена, поскольку не учитывает влияние естественных факторов и преувеличивает роль антропогенного воздействия.

Библиографические ссылки

1. Stocker TF, Qin D, Plattner G-K, Tignor M, Allen SK, Boschung J, et al., editors. *Climate change 2013: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press; 2013. 1535 p.

2. *Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации*. Москва: Росгидромет; 2014. 1008 с.

3. Переведенцев ЮП, Шерстюков БГ, Наумов ЭП, Верещагин МА, Шанталинский КМ. *Климатические условия и ресурсы Республики Татарстан*. Казань: Издательство Казанского государственного университета; 2008. 288 с.
4. Perevedentsev YuP, Malkhazova SM, Aukhadeev TR, Shantalinsky KM. Medical and demographic consequences of climate change and the assessment of comfort level of weather-climatic conditions in the Volga Federal District. *Geography, environmental, sustainability*. 2016;9(4):63–76.
5. Global Historical Climatology Network-Monthly Version 3.2.0 [Internet; cited 2019 February 1]. Available from: <https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/land-based-station-data/land-based-datasets/global-historical-climatology-network-monthly-version-3>.
6. Smith TM, Reynolds RW, Peterson TC, Lawrimore J. Improvements to NOAA's historical merged land-ocean surface temperature analysis (1880–2006). *Journal of Climate*. 2008;21(10):2283–2296. DOI: 10.1175/2007JCLI2100.
7. Extended Reconstructed Sea Surface Temperature (ERSST) v3b [Internet; cited 2019 February 1]. Available from: <https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/marineocean-data/extended-reconstructed-sea-surface-temperature-ersst-v3b>.
8. Xue Y, Smith TM, Reynolds RW. Interdecadal changes of 30-yr SST normals during 1871–2000. *Journal of Climate*. 2003; 16(10):1601–1612.
9. Переведенцев ЮП, Хабутдинов ЮГ, Гизатуллин РД, Алтухова АВ. Агрометеорологические условия Приволжского федерального округа. *Российский журнал прикладной экологии*. 2017;1:3–8.
10. Переведенцев ЮП, Шанталинский КМ, Важнова НА. Пространственно-временные изменения основных показателей температурно-влажностного режима в Приволжском федеральном округе. *Метеорология и гидрология*. 2014;4:32–48.
11. Багров АН. Сравнительная оценка успешности прогнозов элементов погоды на основе ряда отечественных и зарубежных моделей атмосферы различного масштаба. В: Веселова ГК, редактор. *Информационный сборник № 35. Результаты испытания новых и усовершенствованных технологий, моделей и методов гидрометеорологических прогнозов*. Москва: ГМЦ РФ; 2008. с. 3–20.
12. Говоркова ВА, Катцов ВМ, Мелешко ВП, Павлова ТВ, Школьник ИМ. Климат России в XXI веке. Часть 2. Оценка пригодности моделей общей циркуляции атмосферы и океана CMIP3 для расчетов будущих изменений климата России. *Метеорология и гидрология*. 2008;8:5–19.

References

1. Stocker TF, Qin D, Plattner G-K, Tignor M, Allen SK, Boschung J, et al., editors. *Climate change 2013: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press; 2013. 1535 p.
2. Vtoroi otsenochnyi doklad Rosgidrometa ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossiiskoi Federatsii [The second assessment report of Roshydromet on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation]. Moscow: Rosgidromet; 2014. 1008 p. Russian.
3. Perevedentsev YuP, Sherstyukov BG, Naumov EP, Vereshchagin MA, Shantalinskii KM. *Klimaticheskie usloviya i resursy Respubliki Tatarstan* [Climatic conditions and resources of the Republic of Tatarstan]. Kazan: Izdatel'stvo Kazanskogo gosudarstvennogo universiteta; 2008. 288 p. Russian.
4. Perevedentsev YuP, Malkhazova SM, Aukhadeev TR, Shantalinsky KM. Medical and demographic consequences of climate change and the assessment of comfort level of weather-climatic conditions in the Volga Federal District. *Geography, environmental, sustainability*. 2016;9(4):63–76.
5. Global Historical Climatology Network-Monthly Version 3.2.0 [Internet; cited 2019 February 1]. Available from: <https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/land-based-station-data/land-based-datasets/global-historical-climatology-network-monthly-version-3>.
6. Smith TM, Reynolds RW, Peterson TC, Lawrimore J. Improvements to NOAA's historical merged land-ocean surface temperature analysis (1880–2006). *Journal of Climate*. 2008;21(10):2283–2296. DOI: 10.1175/2007JCLI2100.
7. Extended Reconstructed Sea Surface Temperature (ERSST) v3b [Internet; cited 2019 February 1]. Available from: <https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/marineocean-data/extended-reconstructed-sea-surface-temperature-ersst-v3b>.
8. Xue Y, Smith TM, Reynolds RW. Interdecadal changes of 30-yr SST normals during 1871–2000. *Journal of Climate*. 2003; 16(10):1601–1612.
9. Perevedentsev YuP, Khabutdinov YuG, Gizatullin RD, Altukhova AV. Agrometeorological conditions of the Volga Federal District. *Rossiiskii zhurnal prikladnoi ekologii*. 2017;1:3–8. Russian.
10. Perevedentsev YuP, Shantalinskii KM, Vazhnova NA. [Spatio-temporal changes in the main indicators of temperature and humidity in the Volga Federal District]. *Meteorologiya i gidrologiya*. 2014;4:32–48. Russian.
11. Bagrov AN. [Comparative evaluation of the success of weather forecasts based on a number of domestic and foreign atmospheric models of various sizes]. In: Veselova GK, editor. *Informatsionnyi sbornik № 35. Rezul'taty ispytaniya novykh i usovershenstvovannykh tekhnologii, modelei i metodov gidrometeorologicheskikh prognozov* [Information collection No. 35. Test results of new and improved technologies, models and methods of hydrometeorological forecasts]. Moscow: Hydrometcenter of Russia; 2008. p. 3–20. Russian.
12. Govorkova VA, Kattsov VM, Meleshko VP, Pavlova TV, Shkol'nik IM. [The climate of Russia in the XXI century. Part 2. Assessing the suitability of the CMIP3 atmospheric general circulation models for ocean calculations of future climate changes]. *Meteorologiya i gidrologiya*. 2008;8:5–19. Russian.

Статья поступила в редакцию 22.02.2019.
Received by editorial board 22.02.2019.

УДК 551.546

ТИПЫ РЕЧНЫХ ДОЛИН *UNDERFIT STREAMS* НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

Т. КАЛИЦКИЙ¹⁾, А. Ф. САНЬКО²⁾, Ю. Ю. ТРИФОНОВ²⁾

¹⁾Институт географии Университета Яна Кухановского в Кельце,
ул. Стефана Жеромского, 5, 25-369, г. Кельце, Польша

²⁾Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь

По материалам геолого-геоморфологических исследований и результатам анализа данных дистанционного зондирования выделены несколько типов речных долин *underfit streams* на территории Беларуси. Они различаются между собой по рельефу, особенностям аккумуляции отложений и этапам постгляциальной эволюции. Их участки расположены как в ложбинах стока талых ледниковых вод, так и в пределах зандровых равнин. Выявлены следующие типы: днепровский (один активный и один мертвый рукав долины), друтский (узкая флювиальная и широкая нефлювиальная зоны в пределах одной долины, изгибы поймы могут напоминать меандры палеоруслу), западно-березинский, включающий эрозионный и неэрозионный варианты (представлены все этапы развития реки: много-рукавные русла – большие меандры – малые меандры), праислочский (мертвые речные русла, в том числе меандрирующие на зандровых равнинах).

Ключевые слова: геоморфология; *underfit streams*; эволюция долин; типизация долин; дистанционное зондирование Земли.

Образец цитирования:

Калицкий Т, Санько АФ, Трифонов ЮЮ. Типы речных долин *underfit streams* на территории Беларуси. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология*. 2019;2:108–120.
<https://doi.org/10.33581/2521-6740-2019-2-108-120>

For citation:

Kalicki T, Sanko AF, Trifonov YuYu. Types of *underfit stream* valleys on the territory of Belarus. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology*. 2019;2:108–120. Russian.
<https://doi.org/10.33581/2521-6740-2019-2-108-120>

Авторы:

Томаш Калицкий – доктор наук, профессор; заведующий отделом геоморфологии, геоархеологии и менеджмента окружающей среды.

Александр Федорович Санько – доктор геолого-минералогических наук, доцент; профессор кафедры региональной геологии факультета географии и геоинформатики.

Юрий Юрьевич Трифонов – аспирант кафедры региональной геологии факультета географии и геоинформатики. Научный руководитель – А. Ф. Санько.

Authors:

Tomasz Kalicki, doctor of science, full professor; head of the department of geomorphology, geoarchaeology and environmental management.

tomaszkalicki@ymail.com

Aleksander F. Sanko, doctor of science (geology and mineralogy), docent; professor at the department of regional geology, faculty of geography and geoinformatics.

sankoaf@tut.by

Yury Yu. Trifonov, postgraduate student at the department of regional geology, faculty of geography and geoinformatics.
yurytrifon@gmail.com

TYPES OF *UNDERFIT* STREAM VALLEYS
ON THE TERRITORY OF BELARUST. KALICKI^a, A. F. SANKO^b, Yu. Yu. TRIFONOV^b^a*Institute of Geography of the Jan Kochanowski University in Kielce,
5 Stefana Zheromskogo Street, Kielce 25-369, Poland*^b*Belarusian State University, 4 Niezaliežnasci Avenue, Minsk 220030, Belarus**Corresponding author: Yu. Yu. Trifonov (yurytrifon@gmail.com)*

According to the materials of geological and geomorphological mapping and the results of the analysis of remote sensing data (ERS), the authors identify several types of valleys of *underfit* rivers in Belarus. They differ from each other according to their relief, features of sediment accumulation and stages of postglacial evolution of river valleys. Their sections are located in the section of the meltwater valleys and within outwash plains. Authors distinguish: Dnieperian type (one active and one dead channel of the valley), Drutian type (narrow fluvial and wide non-fluvial zones within one valley, the valley bends may resemble the channel bends of the palaeo-river that formed the valley), West Berezinian type with erosion and non-erosion variant (all stages of river development are presented – from braided channels through large meanders to small meanders), the Palaeo-Islochian type (dead river channels, including meandering on the outwash plains).

Keywords: geomorphology; *underfit streams*; valley evolution; valley typing; Earth remote sensing.

Введение

Термин *underfit streams* как модель развития речных потоков и террас был обоснован Г. Х. Дьюри [1]. На территории Беларуси участки таких речных долин встречаются как в зоне последнего (поозерского) оледенения, так и в зонах развития более древних ледниковых покровов [2]. Река считается *underfit*, если она протекает в долине, выработанной более крупным водотоком, который функционировал на раннем этапе эволюции реки и характеризовался большой эрозионной способностью и, соответственно, ускоренным темпом аккумуляции отложений. На текущий момент авторами установлены и в различной мере изучены около полутора десятков участков речных долин *underfit streams* на территории Беларуси (рис. 1).

Фактический материал по эволюции речных долин на территории Беларуси собирался авторами с 1990-х гг. [2–4]. Целью настоящей работы является обобщение накопленных данных по развитию речных долин, рассматриваемому в рамках концепции *underfit streams*, а также типизация участков таких речных долин, выявленных на территории Беларуси.

Материалы и методы исследования

Использовались следующие полевые и лабораторные методы: геоморфологический, палеонтологический (спорово-пыльцевой, палеокарпологический, малакофаунистический), геохронологический (радиоуглеродный). Кроме того, в ходе исследований выполнялось геоморфологическое и геологическое картографирование с применением данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) – снимков Белорусского космического аппарата (БКА), а также ортофотопланов и цифровых моделей рельефа (ЦМР), составленных по результатам фотограмметрической обработки материалов крупномасштабных геодезических съемок и аэрофотосъемок (АФС). Последние осуществлялись на территории Республики Беларусь государственным предприятием «БелПСХАГИ». Представленные в работе растровые матрицы высот исследуемых участков сформированы на основе ЦМР, полученных путем фотограмметрического сгущения планово-высотного обоснования в стереоскопическом режиме.

Условия формирования долин *underfit streams*

Реки Черноморского бассейна (Днепр, Березина, Адров, Оршица, Сож и др.) в течение максимального распространения поозерского ледника и до момента его быстрой деградации питались перигляциальными водами [5; 6]. В настоящее время они являются *underfit streams*. Количество поступающей в них воды стало несоизмеримо меньше. Развитие долин этих рек было результатом регрессивного движения источников питания вслед за ледниковым покровом. Однако этот процесс закончился быстро, сразу после отступления ледника от границы максимального распространения [7].

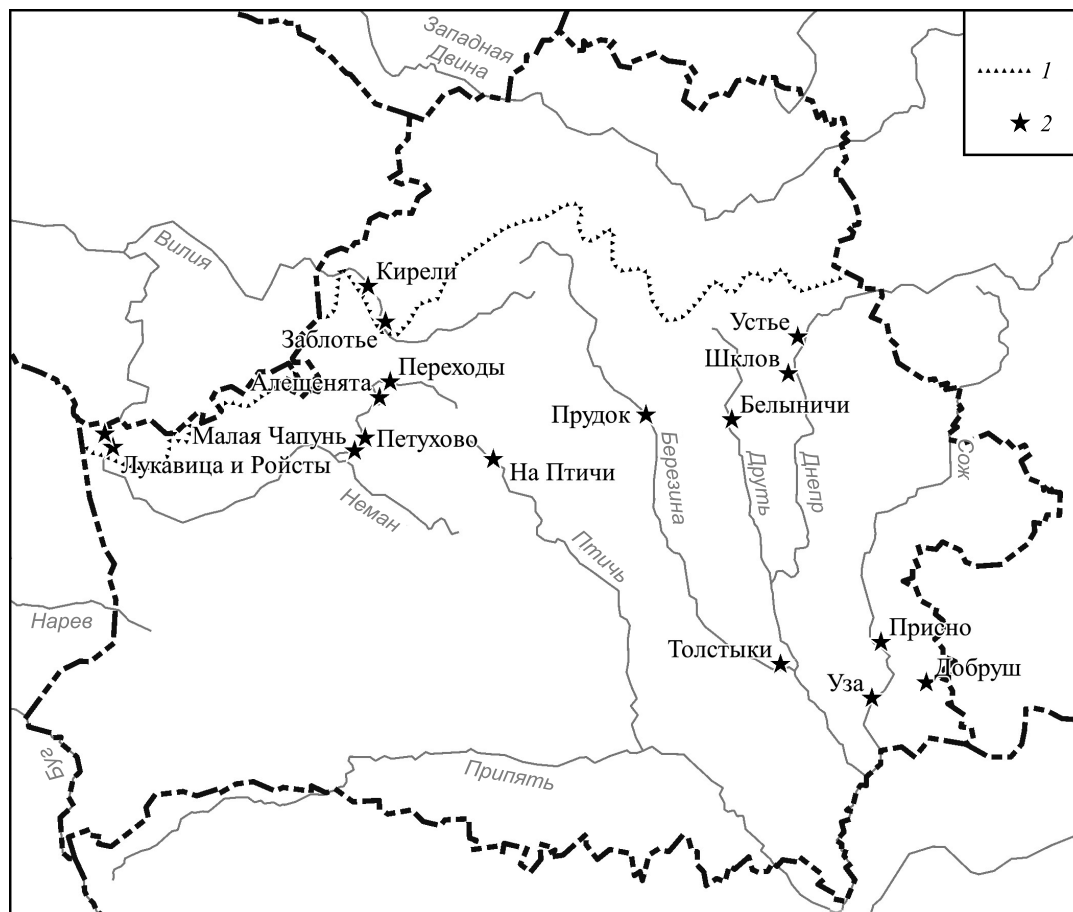


Рис. 1. Участки речных долин *underfit streams* на территории Беларуси:
1 – граница максимального распространения поозерского оледенения;
2 – исследуемые участки долин *underfit streams*

Fig. 1. *Underfit stream* river valleys sections in Belarus:
1 – last glaciation maximum boundary;
2 – investigated sections of *underfit stream* valleys

Увеличение потоков воды, связанных со сбросом перигляциальных вод из приледниковых водоемов на юг, вызвало боковую эрозию в долинах. Более древние террасы на участках долин, расположенных в непосредственной близости от ледяного покрова, были разрушены. Так, в 100 км от фронта ледника практически исчезла раннепоозерская 13-метровая терраса р. Березины (у д. Мураво), где аллювий перекрывал муравинские межледниковые отложения. В долине р. Днепр приблизительно в 200 км от фронта ледника в районе г. Рогачева почти полностью был размыт аллювий среднепоозерского возраста, датированный 36–40 тыс. лет назад [2]. Ближе к фронту ледника древний аллювий сохранился локально в ископаемом виде, часто он отделен от вышележающих более молодых уровней аллювия мерзлотными структурами, например в районе населенных пунктов Дубровно и Митьковщина на 10-метровой террасе р. Днепр [3] и близ д. Гливин на 8-метровой террасе р. Березины [8].

Боковая эрозия привела к расширению долины р. Березины и появлению эрозионных сегментов позднепоозерских террас, встречающихся при пересечении рекой борисовских гряд. Долина р. Днепр выше г. Орши приобрела в это время слегка извилистые плановые очертания с изогнутыми меандрами (варианты с-1 и частично с-3 согласно классификации Дьюри [1]).

Примеры участков речных долин *underfit streams*

Долина р. Днепр между г. Оршей и г. Шкловом. Участок делится дважды на два рукава, которые функционировали одновременно в периоды высоких паводков (рис. 2). После уменьшения паводков активным оставался только один рукав. Это позволило ввести в классификацию долин *underfit streams* тип, названный днепровским [3; 4].

Этот тип недостаточного питания реки проявился в рельефе долины в качестве брошенных рукавов. В интервале поздний плейстоцен – голоцен только один рукав функционировал как речная долина.

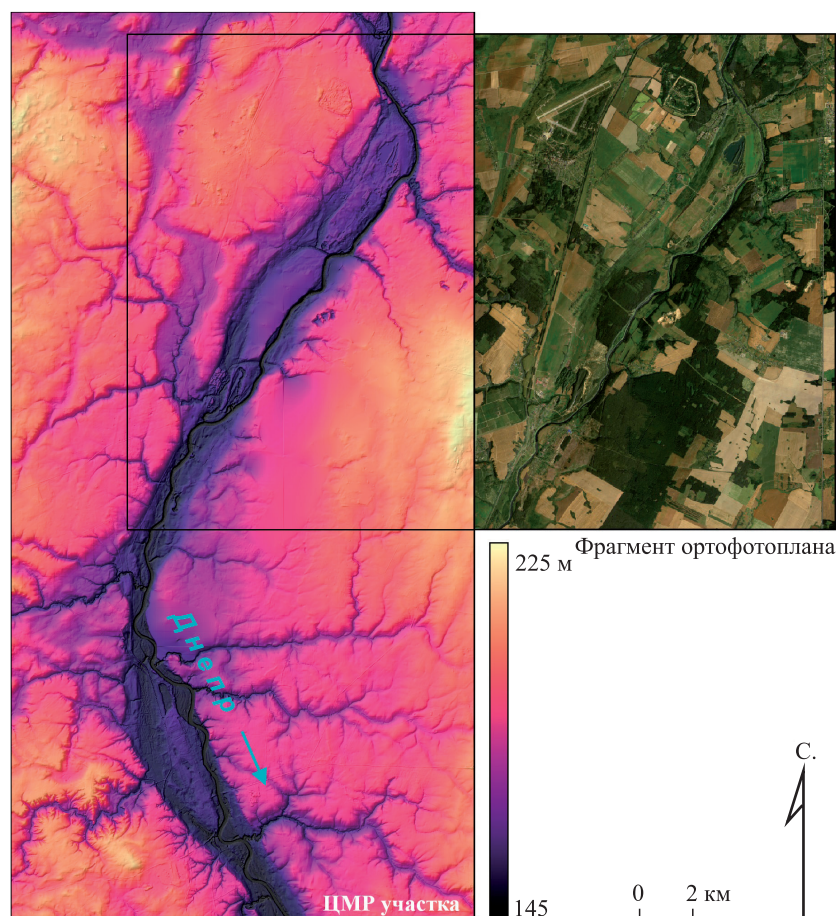


Рис. 2. Фрагмент ортофотоплана и матрица высот (ЦМР) участка долины р. Днепр между г. Оршей и г. Шкловом, составленные по материалам АФС

Fig. 2. Orthophotomap fragment and digital elevation model (DEM) of the Dnieper valley section between Orsha and Shklov based on aerial photography data

Естественное канализирование реки привело к тому, что ее развитие было ограничено вертикальным нарастанием аллювия из-за его избыточного накопления в узкой пойме вдоль канализированного русла. Фазы повышения и снижения флювиальной активности зафиксированы в строении поймы в виде ископаемых почв. Вторые рукава имеют спрямленные очертания. Они параллельны главной долине. Такие своеобразные мертвые долины длиной 9–14 км и шириной около 1 км прослеживаются на уровне 10-метровой террасы, почти полностью занятой торфяником (рис. 3).

Долина р. Березины близ устья р. Уши. Прямолинейные очертания уступов коренных склонов косвенно указывают на многорукавность ледниковой реки, сформировавшей высокие террасы долины. Эти террасы подрезаются рядом больших палеомеандров. Пойма занимает центральную часть долины. Она сформирована различными генерациями малых голоценовых меандров (рис. 4).

Послеледниковая эволюция долин рек Днепр и Березина происходила по-разному, что может быть связано с различным проявлением гляциоизостатических движений. Река Днепр протекала в зоне с характерными вертикальными движениями [3], тогда как в долине р. Березины такие движения если и происходили, то были намного слабее [8]. Это нашло свое отражение в строении пойм обеих рек, где фазы паводков регистрируются по-разному в каждой из долин. Река Днепр врезалась в подстилающие отложения, и поэтому ее долина очень узкая с отдельными сегментами надпойменных террас и пойм. Высокая стабильность врезающегося русла ограничивала наращивание обоих уровней поймы только вертикальным ростом внеусловных отложений, а увеличение скорости седиментации на пойме вызвало формирование ископаемых почв. В отличие от р. Днепр свою долину в голоцене явно расширила р. Березина, подрезая и разрушая молодые поозерские террасы, что привело к созданию очень широкой поймы с многочисленными озерами-старичами: во многих местах она занимает почти всю ширину долины. Поэтому на пойме р. Березины можно обнаружить линзы осадков из разновозрастных серий пойменного аллювия. В периоды повышенной активности река срезала меандры и меняла тип осадко-накопления в пойменных озерах. Последнее также могло быть вызвано перемещением русла.

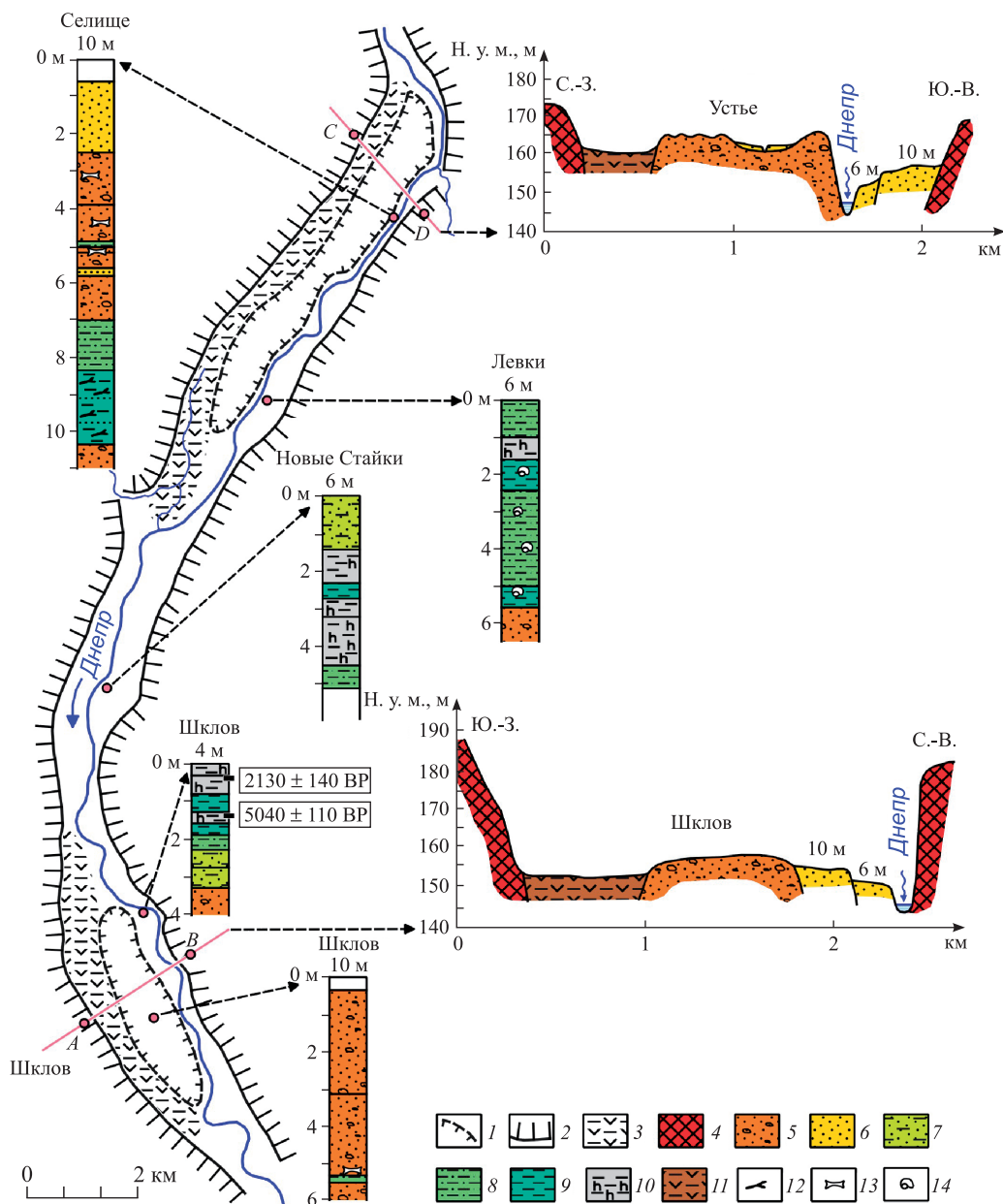


Рис. 3. Схема строения участка долины р. Днепр между г. Оршей и г. Шкловом:
1 – склон долины; 2 – склоны останцов; 3 – брошенные заторфованные рукава долины;
4 – моренные отложения; 5 – песок и гравий; 6 – песок; 7 – глинистый песок;
8 – супесь; 9 – суглинок; 10 – органогенная супесь/суглинок; 11 – торфянистая супесь;
12 – органогенный детрит; 13 – кости млекопитающих; 14 – раковины моллюсков.

Источник: [4]

Fig. 3. The scheme of the structure of the Dnieper valley section between Orsha and Shklov:
1 – valley side; 2 – the slopes of the outcrops; 3 – abandoned peaty valley branches;
4 – till; 5 – sand and gravel; 6 – sand; 7 – silty sand;
8 – sandy silt; 9 – silt; 10 – organic silt; 11 – peaty silt;
12 – organic detritus; 13 – mammalian bones; 14 – mollusk shells.

Source: [4]

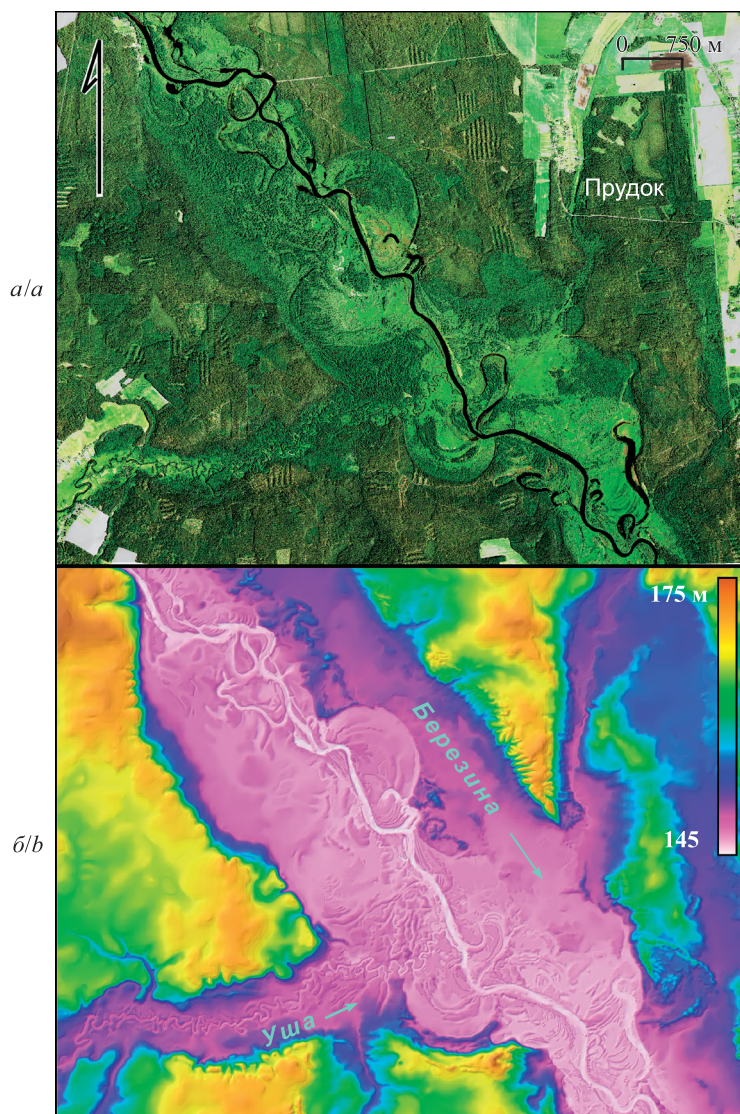


Рис. 4. Участок долины р. Березины близ устья р. Уши по материалам АФС:
а – фрагмент ортофотоплана; б – матрица высот

Fig. 4. A section of the Berezina valley near the mouth of the Usha River based on aerial photography data: а – orthophotomap fragment; б – DEM

Также, вероятно, ледниковые воды из района г. Смоленска стекали к югу по долине р. Сож. Далее от границы последнего оледенения река унаследовала ранее существовавшие ледниковые ложбины, а в районе деревень Присно и Однополье она имеет признаки *underfit stream* [9; 10] (рис. 5). Голоценовая пойма со следами бокового врезания русла реки занимает практически все дно долины.

В то же время внутри нее есть мертвая долина, которая находится на высоте около 2 м над уровнем реки и отделена от зоны меандрирования изолированными и вытянутыми по ходу долины песчаными (с палеогеновым цоколем) останцами, поднимающимися на высоту 7–8 м над поймой. Отсутствие здесь следов меандрирования указывает на то, что мертвая долина в позднем плейстоцене и голоцене функционировала в значительной степени независимо от реки. В позднем дриасе и раннем голоцене в небольших водоемах, расположенных на пойме, накапливались озерный мергель и карбонатные супеси с многочисленными раковинами пресноводных моллюсков [11–13].

Ниже по течению в районе г. Гомеля правосторонняя часть долины р. Сож подрезана сериями больших палеомеандров, на порядок более крупных по сравнению с голоценовыми излучинами (рис. 6).

Долина р. Друти в районе г. Бельничей. Иной тип долин *underfit streams* встречается в местах распространения более древних аллювиальных отложений, чем поозерские. Такие реки, как Птичь [14], Друть, Неропля [15], текут по древним перигляциальным ложбинам и трансформируют только узкие пояса вдоль русла [2]. Например, р. Друть в районе г. Бельничей (отрезок Гута – Пильшичи) использует старую ледниковую ложбину сожского оледенения, прорезающую Центральноберезинскую флювиогляциальную

равнину (рис. 7). Ширина долины колеблется от 1,5 до 2,5 км. На дне долины сохранилась позднепоозерская песчаная терраса высотой 5–6 м в виде узких сегментов и эрозионных останцов. В долине шириной 0,5–1,5 км можно выделить два уровня, соответствующие двум основным этапам развития поймы.

Первый уровень (около 2/3 ширины дна) без следов протекающей реки занят торфяником, нарастающим с конца аллереда. Флювиальный уровень является относительно узким и состоит из ряда разновозрастных голоценовых линз [15]. Это похоже на строение прадолины р. Бебжи в бассейне р. Вижны в Польше [16].

Долина р. Западной Березины у д. Алещенята Воложинского района. Следующие участки речных долин *underfit streams* встречаются в прадолинах (ложбинах стока талых ледниковых вод), расположенных на предполье последнего оледенения. Типичным примером является долина р. Западной Березины у д. Алещенята Воложинского района (рис. 8). Это тип маргинальных ложбин стока талых ледниковых вод (маргинальных прадолин).

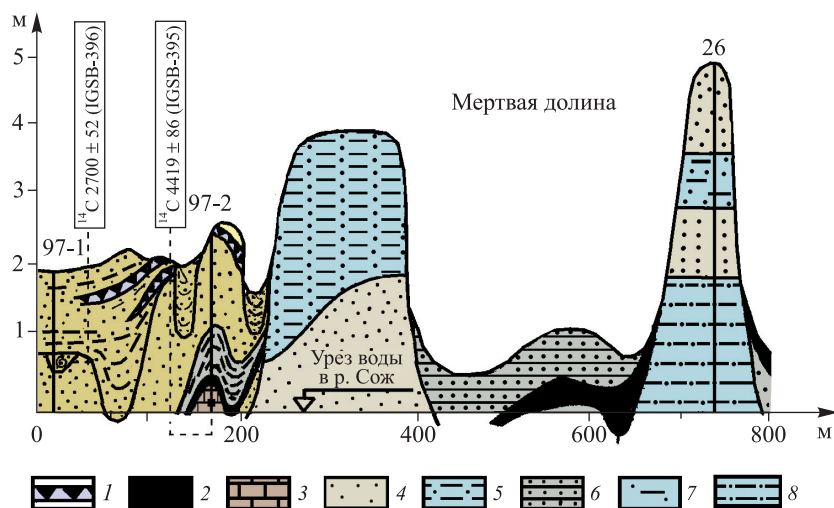


Рис. 5. Строение левого берега р. Сож близ д. Однополье:
1 – погребенная почва; 2 – гумусированные отложения и торф; 3 – луговой мергель;
4 – песок; 5 – песок, супесь и суглинок; 6 – песок и супесь; 7 – заиленный песок;
8 – песок и супесь озерно-ледникового типа

Fig. 5. The structure of the left bank of the Sozh River near Odnopolie village:
1 – buried soil; 2 – organogenic deposits and peat; 3 – meadow marl;
4 – sand; 5 – sand, silty sand and sandy silts; 6 – sand and silty sand;
7 – silty sand; 8 – sand and silty sand of a lake-glacial type



Рис. 6. Большие палеомеандры в долине р. Сож ниже г. Гомеля на панхроматическом снимке БКА

Fig. 6. Large palaeomeanders in the Sozh River valley below Gomel on the panchromatic image of the BKA

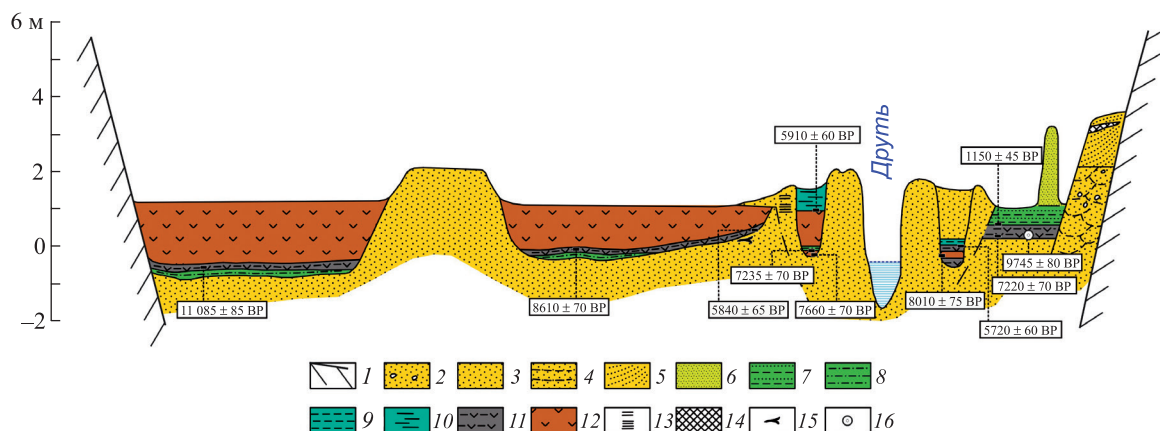


Рис. 7. Схематические геологические разрезы в долинах рек Неропля и Друти:
1 – коренная порода; 2 – гравий с песком; 3 – песок; 4 – песок с прослойками суглинка;
5 – делювиальный песок; 6 – эоловый песок (дюна); 7 – переслоения песка и суглинка;
8 – супесь; 9 – суглинок; 10 – ил (алеврит); 11 – торфяной ил; 12 – торф;
13 – луговая железная руда; 14 – археологические артефакты;
15 – детрит; 16 – субфоссильные древесные остатки.

Источник: [15]

Fig. 7. Schematic geological profiles in the valleys of the Neroplya and Drut rivers:
1 – bedrock; 2 – gravel with sand; 3 – sand; 4 – sands with intercalation of silts;
5 – sandy delluvia; 6 – aeolian sand (dune); 7 – sand and silt layering;
8 – silty sand; 9 – sandy silt; 10 – silt; 11 – peaty silt; 12 – peat; 13 – meadow ores;
14 – archaeological artifacts; 15 – detritus; 16 – subfossil trees.

Source: [15]

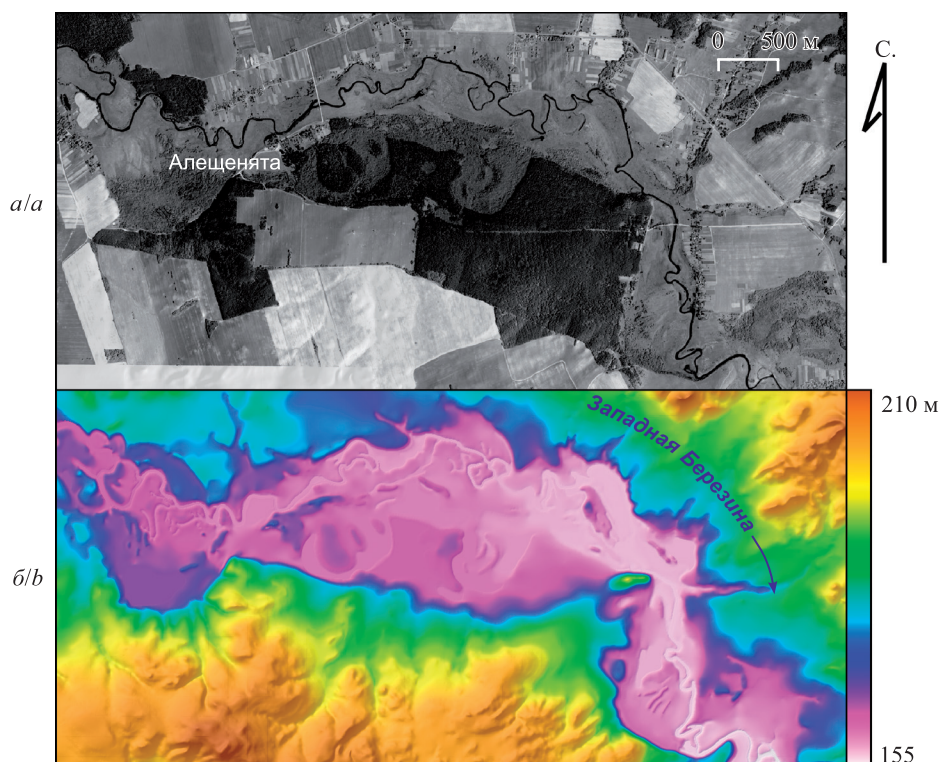


Рис. 8. Участок долины р. Западной Березины у д. Алещенята Воложинского района по материалам АФС: а – фрагмент ортофотоплана; б – матрица высот

Fig. 8. A section of the Western Berezina River valley near the Aleshchenyata village (Vолоzhin district) based on aerial photography data: а – orthophotomap fragment; б – DEM

Реки этого типа вытекали из приледниковых водоемов, в частности из покрытого льдом водоема в районе нынешнего оз. Нарочь, на запад по долине р. Вилии. На участках исследований этого типа рек были обнаружены такие изменения в структуре русла: многорукавное – большие меандры – малые меандры [2]. С периодом максимального поступления талых вод и последующими рецессивными фазами дегляциации связано образование высоких (10- и 5-метровой) флювиогляциальных террас, наблюдаемых в разрезах между деревнями Углы и Калдыки. В районе д. Алещенята высокая терраса подрезана двумя палеомеандрами с большими радиусом (около 200 м) и шириной (более 100 м), еще два из них врезаны в склоны долины. Мощность торфа в пределах этих палеомеандров достигает нескольких метров. Подошва торфа в разрезе «Алещенята» датирована 5840 ± 120 BP (4836–4547 cal. BC). Образование торфа началось существенно позднее образования палеомеандров (рис. 9). Заторфовыванию предшествовал длительный период накопления кластического материала.

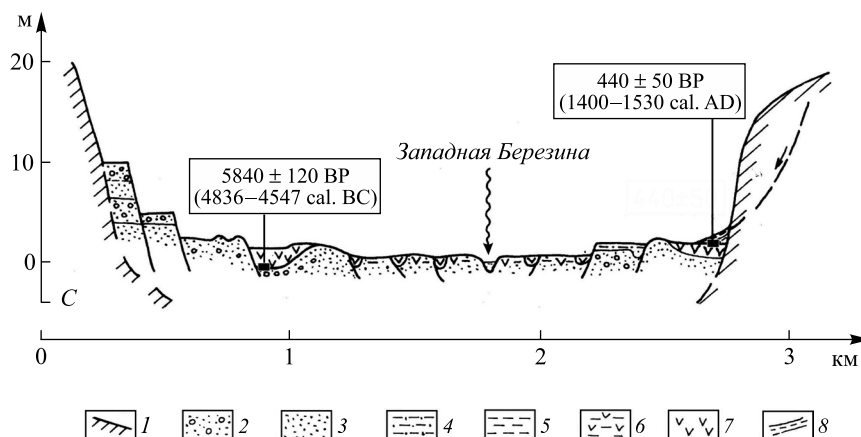


Рис. 9. Схематический геологический профиль через долину р. Западной Березины в пределах Ошмянской конечной моренной гряды:
1 – отложения коренных склонов; 2 – песок с гравием; 3 – песок; 4 – пылеватый песок и супесь;
5 – суглинок; 6 – торфяной ил; 7 – торф; 8 – отложения делювиальных конусов выноса.
Источник: [8]

Fig. 9. Schematic geological cross-section of the Western Berezina valley within the Oshmyany end moraine ridge:
1 – bedrock; 2 – sand with gravel; 3 – sand; 4 – silty sand;
5 – sandy silt; 6 – peaty silt; 7 – peat; 8 – deposits of deluvial fans.
Source: [8]

Слабые вертикальные поднятия [17] и быстрое снижение расхода стока привели к тому, что р. Западная Березина в голоцене имела очень слабую эрозионную силу и лишь незначительно врезалась в подстилающие отложения, сохраняя при этом большие палеомеандры. В пойме выражены небольшие излучины и палеомеандры с радиусами не более 30–40 м и шириной 15–20 м, которые функционировали в голоцене. Плохой дренаж привел к значительному развитию болот и торфяников на дне всей долины.

Долина р. Западной Березины южнее Ошмянских краевых ледниковых гряд. Руслу рек бассейна р. Западной Березины развивались здесь на зандровом конусе выноса (Любчанская водно-ледниковая низина). Они претерпели существенные плановые переформирования ввиду отсутствия латеральных преград. Брошенные рукава и мертвые участки долин разного возраста рассредоточены хаотично по значительной территории (рис. 10, а). Меандрирующее русло одной из таких мертвых долин, предположительно пра-Исlochи, имеет протяженность более 20 км (рис. 10, з). Траектории современной р. Исlochи и прадолины расходятся возле д. Яцково-Пески Воложинского района. Далее они пролегают параллельно друг другу на расстоянии около 4 км. Пра-Исlochь, как и современная р. Исlochь, «впадает» в р. Западную Березину около д. Петухово Ивьевского района. Подошва торфа из разреза «Петухово» датирована 3430 ± 100 BP (1880–1630 cal. BC). Образование торфа началось значительно позднее образования прадолины.

Долина р. Неман близ литовско-белорусской границы. В этой местности долина также выходит на зандровую равнину (Озерская водно-ледниковая низина) (рис. 11). Узкие участки террасы ТП и ТП, относящиеся к раннему и среднему дриасу [18], были сформированы еще многорукавной рекой. Позже произошла смена в развитии реки, и с правой стороны долины ниже д. Гожи на уровне террасы ТП (13–14 м) сохранились большие палеомеандры Лукавица и Ройсте [19–21]. В поперечном разрезе этих палеомеандров (шириной 400–1000 м) обращает внимание узкая зона тальвега (до 200 м) и очень широкое ложе реки, что указывает на начальную стадию концентрации русла и чрезвычайно сильную изменчивость стока [20]. Аналогичные русла встречаются в настоящее время в районах распространения многолетней мерзлоты [22].

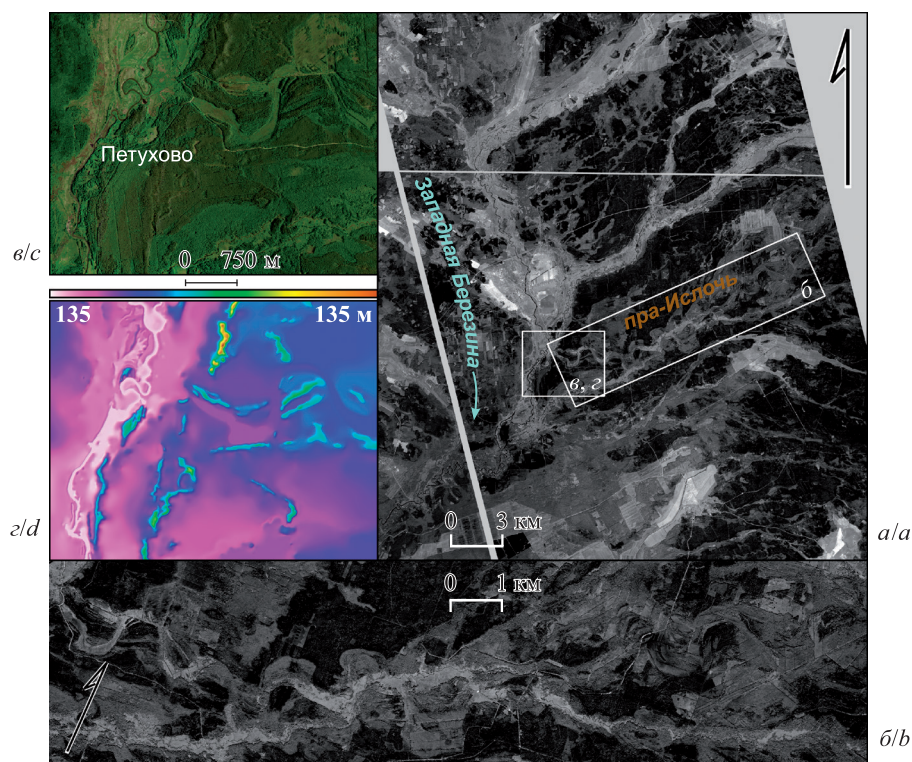


Рис. 10. Бассейн р. Западной Березины южнее Ошмянской конечно-моренной гряды:

- a* – брошенные рукава и мертвые участки долин (снимок БКА);
- б* – мертвая долина пра-Исloch (БКА); *в* – участок исследований у д. Петухово Ивьевского района (ортофотоплан по АФС);
- г* – участок д. Петухово (матрица высот)

Fig. 10. The Western Berezina Basin south of the Oshmyany end moraine ridge:

- a* – abandoned branches and sections of dead valleys (BKA image);
- b* – the dead valley of palaeo-Isloch (BKA); *c* – a research site near the Petukhovo village, Ivie district (orthophotomap based on aerial photography data);
- d* – Petukhovo site (DEM)

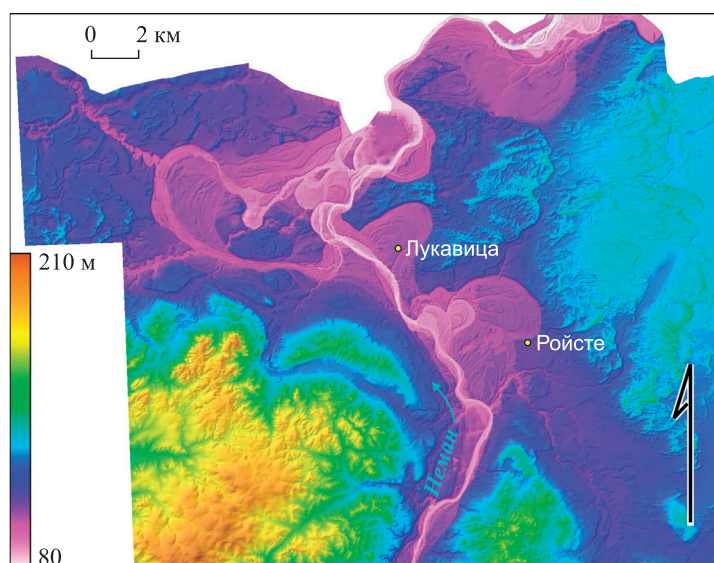


Рис. 11. Матрица высот участка долины р. Неман близ литовско-белорусской границы

Fig. 11. DEM of the Neman valley section near the Lithuanian-Belarusian border

Малакофаунистический анализ [23] и палеоботанические исследования карбонатных супесей из подошвы линз обоих палеомеандров указывают на то, что русло близ д. Лукавицы начало формироваться в конце беллинга [20], а в разрезе «Ройсте» – в конце аллереда [21]. Это вполне согласуется с более ранними датировками (11 080–11 050 ВР) заполнения органикой термокарстово-староречной западины в разрезе «Гожа» [18]. Большие палеомеандры функционировали на этом отрезке р. Неман на протяжении всего позднеледниковья, а темпы врезания р. Неман были относительно небольшими почти до аллереда. Впоследствии развитие долины привело к тому, что оба палеомеандра существовали автономно, без контакта с рекой, вначале как озера (Лукавица до предбореала, а Ройсте – до средней атлантики), а позже как торфяники [21]. В торфянике Лукавица был выявлен период сильной изменчивости гидрологических условий к концу атлантики, что могло быть вызвано значительными колебаниями и нестабильностью климата этого времени [2].

Выводы

По типу унаследованных флювиальных форм речных долин *underfit streams* рассматриваемые участки рек можно разделить на унаследовавшие ложбины стока ледниковых вод и сформировавшиеся на зандровых равнинах. Сохранившиеся аллювиальные формы с предыдущих этапов эволюции рек позволяют подразделить речные долины *underfit streams* на следующие типы.

1. Днепровский тип, ранее называемый типом Днепра [4], – это мертвая и активная части долины. Они разделяются эрозионными останцами. К днепровскому типу относятся участки долины р. Днепр между г. Оршей и г. Шкловом и долины р. Сож у д. Присно Ветковского района.

2. Друтский тип – одна широкая долина, большая часть которой заторфована. Выделяются флювиальная и нефлювиальная части. Широкая нефлювиальная часть долины занята торфяниками и не имеет следов флювиальной активности с позднего гляциала и в голоцене. Узкая часть сформирована флювиальными процессами в голоцене. Изгибы долины могут напоминать изгибы русла образовавшей ее прареки. Друтский тип характерен для р. Друти ниже г. Бельничей, а также для рек, расположенных на северо-востоке Польши (таких как Бебжа, Нарев).

3. Западноберезинский тип – прослеживаются все этапы развития русла: многорукавность – большие (позднеледниковые) меандры – малые (голоценовые) меандры. Прежде всего к данному типу относится р. Западная Березина возле г. Воложина. Уровень с большими меандрами расположен только незначительно выше голоценовой поймы. В этом типе долин *underfit streams* выделяются неэрозионные и эрозионные варианты. Неэрозионному варианту соответствует долина р. Западной Березины у г. Воложина и долина р. Березины возле устья р. Уши. Эрозионный вариант – это долина р. Неман у д. Гожи, где позднегляциальные меандры находятся на уровне 10 м выше уреза воды в реке.

4. Праислочский тип – это мертвые речные русла, в том числе меандрирующие, расположенные в пределах зандровых равнин. Они слабо врезаны в зандр и плохо выражены в рельефе, но дешифрируются по материалам ДДЗ по характерным плановым очертаниям смены растительных ассоциаций.

Типизация речных долин *underfit streams* Беларуси в будущем может быть дополнена и уточнена.

Библиографические ссылки

1. Dury GH. General theory of meandering valleys and underfit streams. In: Dury GH, editor. *Rivers and river terraces*. London: Macmillan; 1970. p. 264–275.
2. Kalicki T. *Zapis zmian klimatu oraz działalności człowieka i ich rola w holocénskiej ewolucji dolin środkowoeuropejskich*. Warszawa: IGI PAN; 2006. 348 s. (Prace geograficzne; 204).
3. Kalicki T, Sanko AF. Genesis and age of the terraces of the Dnieper River between Orsha and Shklov, Byelorussia. *Geographia Polonica*. 1992;60:151–174.
4. Kalicki T, Sanko AF. Palaeohydrological changes in the upper Dneper valley during the last 20 000 years (Belarus). In: Benito G, Baker VR, Gregory KJ, editors. *Palaeohydrology and environmental change*. Chichester: Wiley; 1998. p. 125–135.
5. Квасов ДД. Палеогидрология Восточной Европы в валдайское время. В: *Проблемы палеогидрологии*. Москва: Наука; 1976. с. 260–266.
6. Санько АФ. *Неоплейстоцен северо-восточной Белоруссии и смежных районов РСФСР*. Минск: Наука и техника; 1987. 178 с.
7. Вальчик МА. Развитие долинно-речной сети Белоруссии и Прибалтики в связи с деградацией валдайского ледникового покрова. В: *Гидрографическая сеть Белоруссии и регулирование речного стока*. Минск: Университетское; 1992. с. 3–10.
8. Kalicki T. Budowa teras i wiek równiny zalewowej Berezyny koło Borysowa (Białoruś). *Przegląd geologiczny*. 1991;63(3–4): 363–377.
9. Санько АФ, Зярніцкая ВП, Аношка МП, Каліцкі Т, Лучына ГІ. Будова і ўзрост поплава Сожа ў наваколлі в. Прысна Веткаўскага раёна Гомельскай вобласці. У: *Проблемы палеагеаграфіі позняга плейстацэну і галацэну: матэрыялы беларуска-польскага семінара*; 26–29 верасня 2000 г.; Гродна, Беларусь. Гродна: [s. n.]; 2000. с. 86–89.

10. Зерницкая ВП, Михайлов НД, Симакова ГИ, Колковский ВМ, Лучина ГИ. Радиоуглеродное датирование и палиностратиграфия осадков позднеледниковья и голоцена Беларуси. В: *Стратиграфия и палеонтология геологических формаций Беларуси: материалы Международной научной конференции, посвященной 100-летию со дня рождения известного палеонтолога и стратиграфа члена-корреспондента А. В. Фурсенко; 30–31 января 2003 г.; Минск, Беларусь*. Минск: Институт геологических наук НАН Беларуси; 2003. с. 129–134.
11. Кузнецов ВА, Санько АФ, Еловичева ЯК, Генералова ВА. Малакофауна и геохимическая среда позднего голоцена в долине р. Сож. *Лімасфера*. 1998;9:73–79.
12. Кузнецов ВА, Рябова ЛН, Еловичева ЯК, Симакова ГИ. Соотношение педогенеза и седиментогенеза в пойме р. Припяти (по геохимическим и палинологическим данным). *Лімасфера*. 2000;12:133–140.
13. Верамчук СМ. Геохімічная характарыстыка пахаваных глебаў галацэну ў пойме р. Сож. *Лімасфера*. 2001;2(15):148–151.
14. Kalicki T, San'ko AF, Litvinjuk GI. Zapis późnoglacialnych i holocenijskich zmian klimatu i działalności człowieka w osadach dna i zboczy doliny Pityczy koło Mińska. W: Kalicki T, redaktor. *Badania ewolucji dolin rzecznych na Białorusi – I*. Wrocław: Continuo; 1997. s. 83–104. (Dokumentacja geograficzna; 6).
15. Kalicki T, Sauchy S, Calderoni G, Simakova G. Climatic versus human impact on the Holocene sedimentation in river valleys of different order: examples from the upper Dnieper basin, Belarus. *Quaternary International*. 2008;189(1):91–105. DOI: 10.1016/j.quaint.2007.09.028.
16. Wawrusiewicz A, Kalicki T, Przeździecki M, Frączek M, Manasterski D. *Grądy-Woniecko. Ostatni łowcy-zbieracze znad środkowej Narwi*. Białystok: Muzeum Podlaskie w Białymstoku; 2017. 320 s.
17. Мещеряков ЮА. Молодые тектонические движения и эрозионно-аккумулятивные процессы северо-западной части Русской равнины. Москва: Издательство АН СССР; 1961. 88 с.
18. Вознячук ЛН, Вальчик МА. Морфология, строение и история развития долины Немана в неоплейстоцене и голоцене. Минск: Наука и техника; 1978. 211 с.
19. Каліцкі Т, Зярніцкая ВП, Петухова НН, Санько АФ, Ліцвінчук ГІ, Будэк А і інш. Постгляццэальная эвалюцыя даліны Нёмана ніжэй Гродна: першыя вынікі. У: Каліцкі Т, рэдактар. *Палеагеаграфія верхняга плейстацэну і галацэну Усходняй Польшчы і Беларусі: тэзісы дакладаў і даведнік экскурсіі; 5–7 кастрычніка 1998 г.; Кракаў, Польшча*. Кракаў: [s. n.]; 1998. с. 19–20.
20. Каліцкі Т, Зярніцкая ВП. Даліна Нёмана на адрэзку Сярэднянёманскай нізіны. У: *Праблемы палеагеаграфіі позняга плейстацэну і галацэну: матэрыялы беларуска-польскага семінара; 26–29 верасня 2000 г.; Гродна, Беларусь*. Гродна: [s. n.]; 2000. с. 123–127.
21. Kalicki T, Zernitskaya VP, Simakova GI. Late Glacial – Early Holocene development of the Niemen valley near Goza (Belarus). In: *Field Symposium on Quaternary Geology and Geodynamics in Belarus: abstract volume; 2002 May 20–25; Grodno, Belarus*. Minsk: Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Belarus; 2002. p. 22–24.
22. Vandenberghe J. A typology of Pleistocene cold-based rivers. *Quaternary International*. 2001;79(1):111–121. DOI: 10.1016/S1040-6182(00)00127-0.
23. Kalicki T, Sanko A. Changes of the Niemen pattern downstream of Grodno during the Late Vistulian and the Holocene (Belarus). In: *The Late Pleistocene in Eastern Europe: stratigraphy, palaeoenvironment and climate: abstract volume and excursion guide of the INQUA-SEQS Symposium; 1997 September 14–19; Vilnius, Lithuania*. Vilnius: Geological Survey of Lithuania; 1997. p. 29.

References

1. Dury GH. General theory of meandering valleys and underfit streams. In: Dury GH, editor. *Rivers and river terraces*. London: Macmillan; 1970. p. 264–275.
2. Kalicki T. Zapis zmian klimatu oraz działalności człowieka i ich rola w holocenijskiej ewolucji dolin środkowoeuropejskich. Warszawa: IGI PAN; 2006. 348 s. (Prace geograficzne; 204).
3. Kalicki T, Sanko AF. Genesis and age of the terraces of the Dnieper River between Orsha and Shklov, Byelorussia. *Geographia Polonica*. 1992;60:151–174.
4. Kalicki T, Sanko AF. Palaeohydrological changes in the upper Dnieper valley during the last 20 000 years (Belarus). In: Benito G, Baker VR, Gregory KJ, editors. *Palaeohydrology and environmental change*. Chichester: Wiley; 1998. p. 125–135.
5. Kvasov DD. [Paleohydrology of Eastern Europe in the Valdai period]. In: *Problemy paleogidrologii* [Problems of Paleohydrology]. Moscow: Nauka; 1976. p. 260–266. Russian.
6. Sanko AF. *Neopleistocen severo-vostochnoi Belorussii i smezhnykh raionov RSFSR* [Neopleistocene of north-eastern Belarus and adjacent regions of the RSFSR]. Minsk: Nauka i tekhnika; 1987. 178 p. Russian.
7. Valchik MA. [The development of the valley-river network of Belarus and the Baltic States in connection with the degradation of the Valdai ice sheet]. In: *Gidrograficheskaya set' Belorussii i regulirovanie rechnogo stoka* [Hydrographic network of Belarus and the regulation of river flow]. Minsk: Universitetskoe; 1992. p. 3–10. Russian.
8. Kalicki T. Budowa teras i wiek równiny zalewowej Berezyny koło Borysowa (Białoruś). *Przegląd geologiczny*. 1991;63(3–4): 363–377.
9. San'ko AF, Zjarnickaja VP, Anoshka MP, Kalicki T, Luchyna GI. [Structure and age of the Sozh floodplain in the vicinity of the Prisno village of the Vetka district of the Gomel region]. In: *Problemy paleaageografii poznjaga plejstacjenu i galacjenu: matjeryjaly belarуска-polskaga seminar; 26–29 verasnja 2000 g.; Grodna, Belarus* [Problems of the Late Pleistocene and Holocene paleogeography: materials of the Belarusian-Polish seminar; 2000 September 26–29; Grodno, Belarus]. Grodno: [s. n.]; 2000. p. 86–89. Belarusian.
10. Zernitskaya VP, Mikhailov ND, Simakova GI, Kolkovskii VM, Luchina GI. [Radiocarbon dating and palynostratigraphy of Late Glacial and Holocene sediments of Belarus]. In: *Stratigrafiya i paleontologiya geologicheskikh formatsii Belarusi: materialy Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii, posvyashchennoi 100-letiyu so dnya rozhdeniya izvestnogo paleontologa i stratigrafa chlena-korrespondenta A. V. Fursenka; 30–31 yanvarya 2003 g.; Minsk, Belarus* [Stratigraphy and palaeontology of geological formations of Belarus: proceedings of the International conference dedicated to the 100th anniversary of Alexandr Vasilievich Fursenko, noted palaeontologist and stratigrapher, associate member of the Academy of Sciences of Belarus; 2003 January 30–31; Minsk, Belarus]. Minsk: Institute of Geological Sciences, National Academy of Sciences of Belarus; 2003. p. 129–134. Russian.

11. Kuznetsov VA, Sanko AF, Yelovicheva YK, Generalova VA. Malakofauna and the geochemical environment in the Late Holocene within the Sozh River valley. *Litasfera*. 1998;9:73–79. Russian.
12. Kuznetsov VA, Ryabova LN, Elovicheva YaK, Simakova GI. Correlation of pedogenesis and sedimentogenesis in flood-plain of the Pripyat River (geochemical and palinological data). *Litasfera*. 2000;12:133–140. Russian.
13. Veremchuk SN. [Geochemical characteristics of the buried soils of the Holocene in the floodplain of the r. Sozh]. *Litasfera*. 2001;2(15):148–151. Belarusian.
14. Kalicki T, San'ko AF, Litvinjuk GI. Zapis późnoglacialnych i holocenijskich zmian klimatu i działalności człowieka w osadach dna i zboczy doliny Płoczy koło Mińska. W: Kalicki T, redaktor. *Badania ewolucji dolin rzecznych na Białorusi – I*. Wrocław: Continuo; 1997. s. 83–104. (Dokumentacja geograficzna; 6).
15. Kalicki T, Sauchyk S, Calderoni G, Simakova G. Climatic versus human impact on the Holocene sedimentation in river valleys of different order: examples from the upper Dnieper Basin, Belarus. *Quaternary International*. 2008;189(1):91–105. DOI: 10.1016/j.quaint.2007.09.028.
16. Wawrusiewicz A, Kalicki T, Przeździecki M, Frączek M, Manasterski D. *Grądy-Woniecko. Ostatni łowcy-zbieracze z nad środkowej Narwi*. Białystok: Muzeum Podlaskie w Białymstoku; 2017. 320 s.
17. Meshcheryakov YuA. *Molodye tektonicheskie dvizheniya i erozionno-akkumulativnye protsessy severo-zapadnoi chasti Russkoi ravniny* [Young tectonic movements and erosion-accumulation processes of the north-western part of the Russian Plain]. Moscow: Izdatel'stvo AN SSSR; 1961. 88 p. Russian.
18. Voznyachuk LN, Val'chik MA. *Morfologiya, stroenie i istoriya razvitiya doliny Nemana v neopleistotsene i golotsene* [Morphology, structure and history of the development of the Neman valley in the Neopleistocene and Holocene]. Minsk: Nauka i tekhnika; 1978. 211 p. Russian.
19. Kalicki T, Zjarnickaja VP, Pietuchowa NN, Sanko AF, Litwinjuk GI, Budjek A, et al. [Postglacial evolution of the Nemunas valley below Grodno: the first results]. In: Kalicki T, editor. *Paleogeografija verhnjaga plejstacjenu i galacjenu Ushodnjaj Pol'shchy i Belarusi: tjezisy dakladaw i davednik jekskursii; 5–7 kastrychnika 1998 g.; Krakaw, Pol'shcha* [Paleogeography of the upper Pleistocene and Holocene of eastern Poland and Belarus: summaries of papers, posters and tour guide; 1998 October 5–7; Krakow, Poland]. Krakow: [s. n.]; 1998. p. 19–20. Belarusian.
20. Kalicki T, Zjarnickaja VP. [The Nemunas valley in the Middle Neman lowland]. In: *Problemy paleogeografii poznjaga plejstacjenu i galacjenu: matjeryjaly belarуска-pol'skaga seminara; 26–29 verasnja 2000 g.; Grodna, Belarus'* [Problems of the Late Pleistocene and Holocene paleogeography: materials of the Belarusian-Polish seminar; 2000 September 26–29; Grodno, Belarus]. Grodno: [s. n.]; 2000. p. 123–127. Belarusian.
21. Kalicki T, Zernitskaya VP, Simakova GI. Late Glacial – Early Holocene development of the Niemen valley near Goza (Belarus). In: *Field Symposium on Quaternary Geology and Geodynamics in Belarus: abstract volume; 2002 May 20–25; Grodno, Belarus*. Minsk: Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Belarus; 2002. p. 22–24.
22. Vandenberghe J. A typology of Pleistocene cold-based rivers. *Quaternary International*. 2001;79(1):111–121. DOI: 10.1016/S1040-6182(00)00127-0.
23. Kalicki T, Sanko A. Changes of the Niemen pattern downstream of Grodno during the Late Vistulian and the Holocene (Belarus). In: *The Late Pleistocene in Eastern Europe: stratigraphy, palaeoenvironment and climate: abstract volume and excursion guide of the INQUA-SEQS Symposium; 1997 September 14–19; Vilnius, Lithuania*. Vilnius: Geological Survey of Lithuania; 1997. p. 29.

Статья поступила в редколлегию 22.04.2019.
Received by editorial board 22.04.2019.

ИТОГИ ИЗУЧЕНИЯ ТЕПЛОВОГО ПОТОКА В НИГЕРИИ

Л. АКИНЫЕМИ¹⁾, В. И. ЗУЙ²⁾¹⁾Университет Олабисди Онабанджо, Аго-Ивойе, Огун, Нигерия²⁾Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь

Традиционный подход к измерению теплового потока включает два параметра: геотермический градиент и теплопроводность горных пород, слагающих рассматриваемый интервал глубины. Геотермический градиент определяют из термограммы, зарегистрированной в скважине, а теплопроводность – путем лабораторных измерений отобранных образцов горных пород. Известны вариации этого подхода относительно геотермического градиента и значений теплопроводности. Однако на многих площадях отсутствуют скважины для регистрации термограмм или по крайней мере для получения нескольких замеров температуры на промежуточных забоях, в результате чего традиционный метод нельзя применить. В Нигерии, в районах, где нет глубоких скважин, был широко использован новый метод определения теплового потока, базирующийся на оценке глубины кровли и подошвы магнитоактивного тела при анализе карт магнитного поля. Подошва магнитоактивного тела соответствует температуре поверхности Кюри, ниже которой горные породы теряют магнитные свойства. Известно, что это происходит при температуре около 580 °С, которая несколько варьируется в зависимости от содержания магнетита в магнитоактивном теле. Тепловой поток вычисляют путем умножения геотермического градиента в этом интервале глубины на теплопроводность горных пород. Имеется ряд разрозненных значений теплового потока в Нигерии, рассчитанного обоими методами. Составлена предварительная карта теплового потока, основанная на доступных данных. Сравнение величин теплового потока, определенных двумя методами, для нескольких регионов страны позволило выявить их соответствие.

Ключевые слова: геотермия; тепловой поток; магнитное поле; изотерма Кюри; Нигерия.

SUMMARY OF HEAT FLOW STUDIES IN NIGERIA

L. AKINYEMI^a, V. I. ZUI^b^aOlabisi Onabanjo University, Ago-Iwoye, Ogun State, Nigeria^bBelarusian State University, 4 Niezaliežnasci Avenue, Minsk 220030, Belarus

Corresponding author: V. I. Zui (zui@bsu.by)

A traditional approach for heat flow determination requires two parameters. They are a geothermal gradient and heat conductivity of rocks comprising the considered depth interval. The geothermal gradient is determined from a thermogram recorded in a wellbore and the heat conductivity is obtained from the laboratory measurements of selected rock samples. There are some variations of this approach to both get the gradient and heat conductivity values. However, there are many areas without boreholes to register their thermograms, or at least to have several temperature readings at intermediate positions of bottom holes and traditional methods of heat flow determinations cannot be used. Recently another method was proposed to estimate heat flow. It was derived from spectral analysis of magnetic field. During last years it

Образец цитирования:

Акиныеми Л, Зуй ВИ. Итоги изучения теплового потока в Нигерии. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология*. 2019;2:121–132 (на англ.). <https://doi.org/10.33581/2521-6740-2019-2-121-132>

For citation:

Akinyemi L, Zui VI. Summary of heat flow studies in Nigeria. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology*. 2019;2:121–132. <https://doi.org/10.33581/2521-6740-2019-2-121-132>

Авторы:

Лукман Акиныеми – научный сотрудник.
Владимир Игнатьевич Зуй – доктор геолого-минералогических наук, доцент; профессор кафедры региональной геологии факультета географии и геоинформатики.

Authors:

Lukman Akinyemi, researcher.
olaakinyemi83@gmail.com
Vladimir I. Zui, doctor of science (geology and mineralogy), docent; professor at the department of regional geology, faculty of geography and geoinformatics.
zui@bsu.by

was widely used in Nigeria for areas where deep boreholes are absent. It uses estimates of depths to the base and bottom of the causative body derived from analysis of the magnetic field maps. The base of the causative body corresponds to the depth of the Curie surface at which rocks lose their magnetic properties. It is known that it happens at the temperature around 580 °C that slightly varies depending on the content of magnetite within the causative body. The temperature at the top of this body is estimated. The heat flow density can be calculated knowing the geothermal gradient within this depth interval and heat conductivity of rocks. A preliminary heat flow density map was compiled based on all accessible heat flow data. A comparison of heat flow data from several regions of the country, determined using both methods provides rather good agreement.

Keywords: geothermics; heat flow; magnetic field; Curie isotherm; Nigeria.

Introduction

Nigeria has a poor production of electricity and its distribution. Electricity generation is on a thermal plant (up 66.7 %) and hydro power plant – 33 % of the total power production. Of 170 million of population, about 45 % have access to electricity, which is easier within urban areas. During last decades, using of renewables, including geothermal energy, was spreading worldwide, and the awareness of energy sector, as well as federal and local authorities, on such energy raised in Nigeria. Investigations of terrestrial temperature were carried out in hundreds of exploration wells drilled for oil and gas.

The geothermal gradient and heat flow are frequently used parameters in geology as important indicators of the thermal state of the crust and its sedimentary cover. They are useful for estimating geothermal resources, prospecting for oil and gas fields, considering the regional tectonics, geodynamics, etc. The temperature is one of factors controlling the hydrocarbon generation. Temperature-depth curves are recorded by logging in open wellbores in a few hours or days after the interruption of drilling.

They reflect transient phenomena caused by the drilling mud circulation. The steady state diagrams are seldom for oil wells of Nigeria. In most of publications, researchers analyzed these curves when the thermal regime was not restored, or sometimes they use several temperature readings at intermediate bottom hole positions during drilling of the well (BHT), which permit to determine the geothermal gradient.

Exploratory and development wells have been drilled in the Niger Delta since 1956, when first oil was first discovered in the country [1]. Since that time, a number of temperature-depth logs were recorded in these, or measurements of individual temperature values, fulfilled at a number of intermediate positions of bottom holes in a course of oil wells drilling. Later these temperature data were used to determine heat flow density.

However, until now the territory of the country was geothermally studied mainly within deep sedimentary basins. Such measurements were fulfilled as a rule within crustal blocks promising for oil exploration. No direct temperature measurements are available in other parts of the region. Nigerian researchers have done a number of heat flow estimates derived from the magnetic field analysis. Such data comprise for today around 50 % of available heat flow determinations. The article summarizes the existing heat flow information for the whole territory of the country.

Traditional methods for heat flow determination

Traditional approach to calculate heat flow density assumes a separate determination of geothermal gradient and a heat conductivity of rocks from the considered depth interval. In result multiplying the gradient by heat conductivity of rocks from the same depth interval, results in its heat flow value [2]. The geothermal gradient is a well-known result of the division the temperature at the base of the considered depth interval T_2 minus the temperature at its top T_1 by the interval length $z_2 - z_1 = L$ (fig. 1).

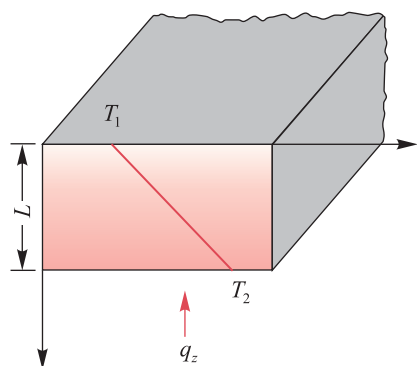


Fig. 1. Temperature profile and heat flow q_z within rocks with uniform heat conductivity

$$\text{grad } T = \Delta T / \Delta h = (T_2 - T_1) / (z_2 - z_1).$$

Two temperature values T_2 and T_1 could be used as readings from a thermogram at two depths z_2 and z_1 or two temperatures at two intermediate positions of a bottom hole in the same well could be used. The heat conductivity of selected rock samples from a drill core, taken from the considered depth interval, is determined by laboratory measurements. When the thermogram was not recorded, these two temperature values could be taken as temperatures recorded at two different bottom hole positions within drilled deep wells.

It is assumed that the considered depth interval is represented by uniform type of rocks, otherwise it could be accepted as, for instance, the arithmetic mean from results obtained after measurements of several samples from the same interval. There are several modifications of this method. This simple method is used also when porous or cracked rocks comprise the considered depth interval. However, besides pure heat conduction, a convective component of heat transfer takes place here and heat flow calculations require corrections to be applied [2]. In other situations observed heat flow values are subjected to corrections, e. g. for topography, ground water circulations or climatic perturbations. The most reliable data are included into heat flow catalogues.

The distribution of available onshore heat flow data within different crustal blocks are rather uneven. There are many boreholes drilled within deposits of mineral resources, for instance within oil and gas fields and they are rather sparse within territories without such mineral deposits. Some exclusion represent wells for water supply for settlements or industrial enterprises. However, they are rather shallow and geothermal regime within their vicinity is subjected noticeably to groundwater circulation, which influences observed heat flow values within studied intervals. Moreover, the thermal logging within new finished deep wells are frequently fulfilled only after a few days and the time elapsed after their drilling was finished and recording of thermograms was undertaking is not enough for their field disturbed by the drilling to return to the steady state condition. Usually such thermograms reflect transient features and are not acceptable for accurate heat flow determinations without considerable corrections.

Method to heat flow estimate from the magnetic field analysis

There are many crustal blocks where heat flow determination could not be fulfilled using the described and traditional approach. One of indirect approaches to estimate heat flow density frequently used during last decades is the method to derive heat flow from processing and analysis of maps of the magnetic field. The method is aimed to determine the depths to the top and base of the magnetic causative body within the earth's crust. It is well known that magnetic properties of rocks disappear when they reach the Curie temperature, which many authors consider to be around 550–580 °C.

When temperature of rocks exceeds the Curie point, magnetic materials lose their magnetisation. At the same time, it is considered that for temperature exceeding 580 °C, those materials begin encountering the ductile deformation [3]. The Curie point determination was considered in a number of publications [4–10]. It was shown that spectral analytical method could be regarded to estimate of the Curie point depth (CPD).

The spectral method of analysis was developed by [11; 12]. Later it has been used in the analysis of magnetic anomalies in particular for the determination of average depth to the top of magnetic basement and for the computation of crustal thickness, the Curie point isotherm, etc. [6; 13; 14].

The Fourier transformation of the aeromagnetic data to estimate the energy (or amplitude) spectrum by transforming the spatial data into frequency domain is used in most cases and the spectrum analysis techniques is applied for CPD determination. The method of Spector and Grant [12] allows estimating the average depth to the top of the magnetized layer from a slope of the log power spectrum. The method of Bhattacharyya and Leu [15] gives a possibility to estimate the depth to the centroid of the causative body by means of a single anomaly interpretation. Later Okubo and his colleagues [16] combined both methods, developed an algorithm for regional geomagnetic interpretation, and applied it to the geothermal exploration.

There are several applications of described approach to calculate the depths to the top of the causative body and base of the Curie point. If the magnetization of a set of two-dimensional bodies is completely random and uncorrelated, the radial average of the power density spectra of the total field anomaly, $P(k)$, could be simplified as follows [17; 18]:

$$P(k) = A_1 \exp\left(-2|k|Z_t\left(1 - \exp\left[-|k|(Z_b - Z_t)\right]^2\right)\right),$$

where A_1 is a constant; Z_t and Z_b represent the depths to the top and bottom of the magnetic body; respectively k denotes the wave number of the magnetic field.

Two steps are necessary to evaluate CPD, the first step to estimate the depth to centroid h_0 , of a magnetic source from the slope of the longest wavelength part of the spectrum, using equation [6; 16; 19]. The centroid depth of magnetic sources can be calculated from the low-wavenumber portion of the wavenumber-scaled power spectrum as [20]

$$\ln\left[\frac{\sqrt{P(k)}}{|k|}\right] = \ln A - 2\pi|k|h_0,$$

where A is a constant.

The second step permits estimating the depth to the top boundary h_1 from the slope of the second longest wavelength part of the spectrum [6; 16; 19].

$$\ln \sqrt{P(k)} = \ln B - 2\pi |k| h_1,$$

where B is the sum of constant independent of $|k|$.

The basal depth h_b is calculated from the equation [6; 16; 21].

$$h_b = 2h_0 - h_1,$$

where h_0 denotes centroid depth; h_1 represents to the top boundary. An example is shown in fig. 2.

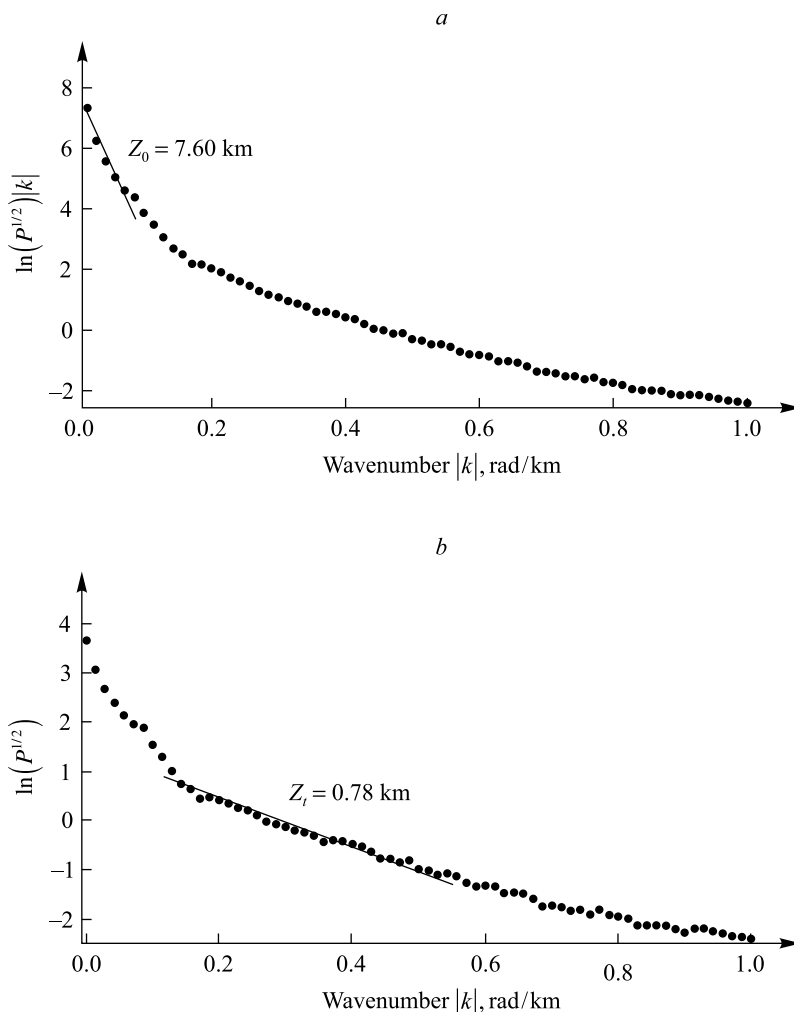


Fig. 2. An example of radially average power for estimation of CPD using the two-dimensional magnetic anomaly data for the block 5 of the model considered for the Ikogosi warm spring:

a – an example to estimate the Z_0 depth and b – an example to estimate the Z_t depth.

Source: [22], modified

Depths of 7.60 and 0.78 are obtained as the centroid and top bound using the gradient of spectra defined as $\ln \sqrt{P(k)}|s|$ and $\ln \sqrt{P}$, where $|k|$ is the wavenumber and $P(k)$ is the radially average power spectrum.

Different researchers point out that the Curie temperature depends on magnetic mineralogy. The Curie temperature of magnetite (Fe_3O_4), the most common magnetic material in igneous rocks, is around 580 °C, however, an increase in titanium (Ti) content of titanomagnetite ($\text{Fe}_{2-x}\text{Ti}_x\text{O}_3$) causes a reduction in Curie temperature. It is believed that in most cases it is (550 ± 30) °C [6]. The Curie point temperature is strongly influenced by the amount of titanium. The estimated value of 580 °C [23] is considered as the case in this study. Using this Curie point temperature of 580 °C and the derived CPD, it is possible to calculate the geothermal gradient within the considered area. The thermal conductivity is usually accepted to be $2.5 \text{ Wm}^{-1}\text{°C}^{-1}$ [24; 25].

Geology of the region

Nigeria lies between latitudes 4° and 14° N, and longitudes 2° and 15° E. Rocks, comprising the crust within the country, have different age and origin. The Precambrian basement spread over almost 48 % of this region (fig. 3). Deep basins exist within the remaining 52 % of the country, where sediments have Cretaceous to the younger age [22]. Over 80 volcanoes exist within both the Biu and Jos plateaus with basaltic lava flows [26]. The Niger River with its Benue tributary is the principal river of West Africa and runs its waters to the Atlantic Ocean.

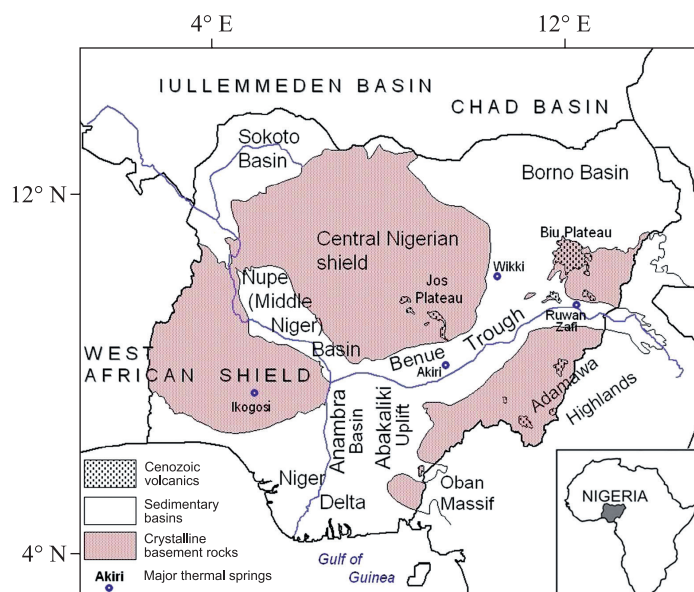


Fig. 3. Geological subdivision and the main crustal blocks in Nigeria.
Four circles indicate positions of warm springs: Akiri (53.5 °C), Wikki (32 °C)
and Ruwan Zafi (54 °C), as well as Ikogosi (37 °C).
Source: [27]

Sedimentary basins originated when the Gondwana started to split, opening Atlantic Ocean, in the early Cretaceous time and formed the Pan African Rift system in the West African terrain. These basins are filled with sediments of different thickness, subjected later to tectonic deformations through Cretaceous to Neogene time. Their deepest parts are more than 9–12 km [28] and the widest spread corresponds to the Niger Delta [29].

The Benue Trough is subdivided into the Upper, Middle and Lower Benue troughs. The latter one includes the Anambra Basin, Abakaliki Uplift with the maximal thickness of sediments up to 6 km. Sedimentary cover thickness is around 4 and 1 km in the Borno and Sokoto basins, respectively.

An important rifting event within the West Africa happened during the Cretaceous time in result the equatorial Atlantic opening led to the generation of intraplate rifts, including the Benue Rift and a series of Cretaceous elongate basins in West Africa.

The Central Nigerian Shield with the Jos Plateau in the centre of the country and the West African Shield occupy the central and northwestern parts of the area. The latter one extends through the border into the Benin territory. The Nupe (Middle Niger) and Sokoto basins in their northern part and the Borno Basin within eastern Nigeria, as a part of the Chad Basin, separate both shields. The Chad Lake is in the extreme north-east of the country, which Nigeria shares with Niger, Chad and Cameroon. The Sokoto Basin is a part of the vast Iullemmeden Basin, which extends through the border into the Niger territory. The Iullemmeden, Chad, Taoudeni and Sinegal-Mauritanian basins belong to the main sedimentary basins of the West Africa. The latter two are outside frames of the fig. 3 to the north.

The Adamawa Highlands (monocline) is extended along the southeastern border of the country and continues into Cameroon area. The Niger Delta region, which is, home of the large oil industry, where Nigeria has a total around 160 oil fields, is sitting directly on the Gulf of Guinea on the Atlantic Ocean. The Biu Plateau in the eastern part of the country is located in between the Borno Basin and the Benue Trough.

Available heat flow data

The available heat flow data could be subdivided into three categories. The first category of heat flow values is based on thermograms of wells, or temperature readings done at intermediate positions of bottom holes during drilling deep wells. The second category represents estimated heat flow values derived from processing

of the aeromagnetic data (indirect approach) for a number of localities. Finally, new heat flow density (HFD) estimates based on published positions of CPD are included into the third group.

First wells, drilled until depths usually less than 3500 m within the Niger Delta in the middle of fifties, discovered oil. Since those time terrestrial temperatures and geothermal gradients were based on thermograms or bottom hole temperature data in the Niger Delta [30], Anambra, Sokoto [9; 31] and Borno [32] basins. Sokoto Basin extends into territories of Niger, Chad, Central African Republic and Cameroon. The information on geothermal field of the Nupe, Borno and Sokoto basins was published also by [24; 32; 33].

Indirect heat flow estimates are based on CPD positions at which the dominant magnetic mineral in the crust becomes paramagnetic due to the effect of increasing temperature above 580 °C [34; 35]. As it was mentioned, to estimate heat flow density we need the geothermal gradient and thermal conductivity. The gradient is calculated from the Curie isothermal depth and then heat flow is estimating using this geothermal gradient and the averaged heat conductivity of rocks ($2.5 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$). In most of publications the surface temperature is accepted to be 0 °C [36], though the annual average temperature at the Niger Delta is around 20 °C [25; 37]. Preliminary estimates show that when accepting the temperature at the top of causative body to be 0 °C, instead of its real value, it will result in an error in heat flow calculation, which usually does not exceed 5 mW/m^2 .

Methods for estimating the CPD are classified into two categories: based on examination of isolated magnetic anomalies and those that examine patterns of these anomalies. Both methods provide the relationship between the spectrum of magnetic anomalies and the depth of a magnetic source by transforming spatial data into frequency domain [38].

In addition to published data in mentioned above articles, new heat flow estimates were fulfilled based on printed CPD positions. They are included into the table.

New heat flow density estimates

Longitude	Latitude	Z_i	Z_b	Reference	Heat flow density, mW/m^2
9.25	9.25	2.04	17.04	34	85.1
9.75	9.25	2.50	24.1	34	60.2
9.25	8.75	2.14	20.66	34	70.2
9.75	8.75	1.98	19.66	34	73.8
9.25	8.25	1.20	17.92	34	80.9
9.75	8.25	1.40	17.32	34	83.7
9.5	9.25	2.0	19.20	34	75.5
9.50	8.75	3.20	27.40	34	52.9
9.50	8.25	1.70	19.18	34	75.6
9.50	9.00	1.50	20.58	34	70.5
9.50	8.00	1.84	24.12	34	60.1
9.25	8.25	2.08	27.32	34	53.1
9.75	8.25	1.86	20.78	34	69.8
9.50	8.25	1.65	23.19	34	62.5
10.35	9.75	2.94	10.00	22	119.59
10.55	9.75	2.97	9.05	22	168.39
10.25	9.70	2.62	11.56	22	134.22
10.75	9.65	1.61	8.21	22	144.76
10.55	9.65	4.47	10.30	22	125.00
10.25	9.50	3.67	9.55	22	147.23
10.50	9.50	3.35	11.06	22	91.92
10.75	9.50	1.15	9.39	22	135.94
10.25	9.30	3.75	15.04	22	144.76
10.70	9.40	2.94	10.17	22	111.94

Ending table

Longitude	Latitude	Z_i	Z_b	Reference	Heat flow density, mW/m ²
10.55	9.60	4.32	9.55	22	139.36
10.45	9.25	3.24	12.35	22	89.71
10.75	9.25	1.21	9.92	22	149.95
10.40	9.60	2.11	15.41	22	94.1
10.34	9.25	3.98	9.22	22	157.3
4.46	7.48	0.852	21.91	40	66.2 (63.10)
5.10	7.48	0.945	13.40	40	108.2
5.70	7.48	0.878	13.46	40	107.7
5.12	7.38	0.727	12.35	40	117.4
5.16	7.43	0.780	14.42	40	100.6
5.17	7.30	0.645	12.37	40	117.2
5.50	7.24	0.646	14.94	40	97.1
5.17	7.16	0.666	11.48	40	126.3
5.90	7.16	0.626	16.68	40	86.9
4.46	7.16	0.713	20.11	40	72.1
4.46	7.24	0.766	13.24	40	109.5
4.77	7.40	–	–	40	104.42
4.46	7.36	0.807	20.16	40	71.9
4.58	7.46	0.791	17.83	40	81.3
5.60	7.40	1.025	15.33	40	94.6
4.59	7.20	0.735	18.61	40	77.9
5.50	7.37	0.901	13.52	40	107.24
5.83	7.62	–	–	40	102.26
4.60	7.35	0.812	11.77	40	123.2
5.17	7.48	0.827	13.70	40	105.8
5.12	7.48	0.827	13.86	40	104.6
4.58	7.22	0.646	15.01	40	96.6
4.46	7.33	0.922	14.35	40	101.0
5.11	7.48	1.000	13.89	40	104.4

Heat flow density map

All accessible heat flow data, determined using thermograms of deep boreholes and bottom hole temperature readings at intermediate positions of wells in drilling, as well as heat flow values determined from the spectral analysis of available magnetic field maps were used to compile a preliminary heat flow map for the whole territory of Nigeria (fig. 4). The number of individual heat flow values approaches to 360. Small squares (studied deep wells) and circles (estimates derived from the magnetic field analysis) show positions of individual localities with available HFD data.

Discussion

Available heat flow data are nonuniformly distributed within the territory of the country, where sedimentary basins studied much better. Only its single estimates were reported for the Central Nigerian and West-African (Benin-Nigeria) shields. No data exists from the Oban Massif, Jos and Biu plateaus, with relatively young volcanism.

Profiles A – A and B – B through best studied crustal blocks are shown in fig. 5 and 6.

Along the A – A profile, crossing the whole of Nigeria from Atlantic shore to the Chad Lake, there are many observations. Heat flow varies considerably along the profile from around 25 in the Niger Delta till 150 mW/m² in the Benue Trough near the Wikki and Ruwan Zafi hot springs in the northeast of the country. The general tendency of gradual increase of heat flow from southwest to northeast is obvious. Several peaks in this curve could be interpreted as an influence of the geologic structure of individual crustal blocks. But it is necessary to keep in mind, that heat flow curve along this profile was based both on traditional approach (thermograms recorded in oil wells) and on its indirect estimates, obtained by different researchers at different time.

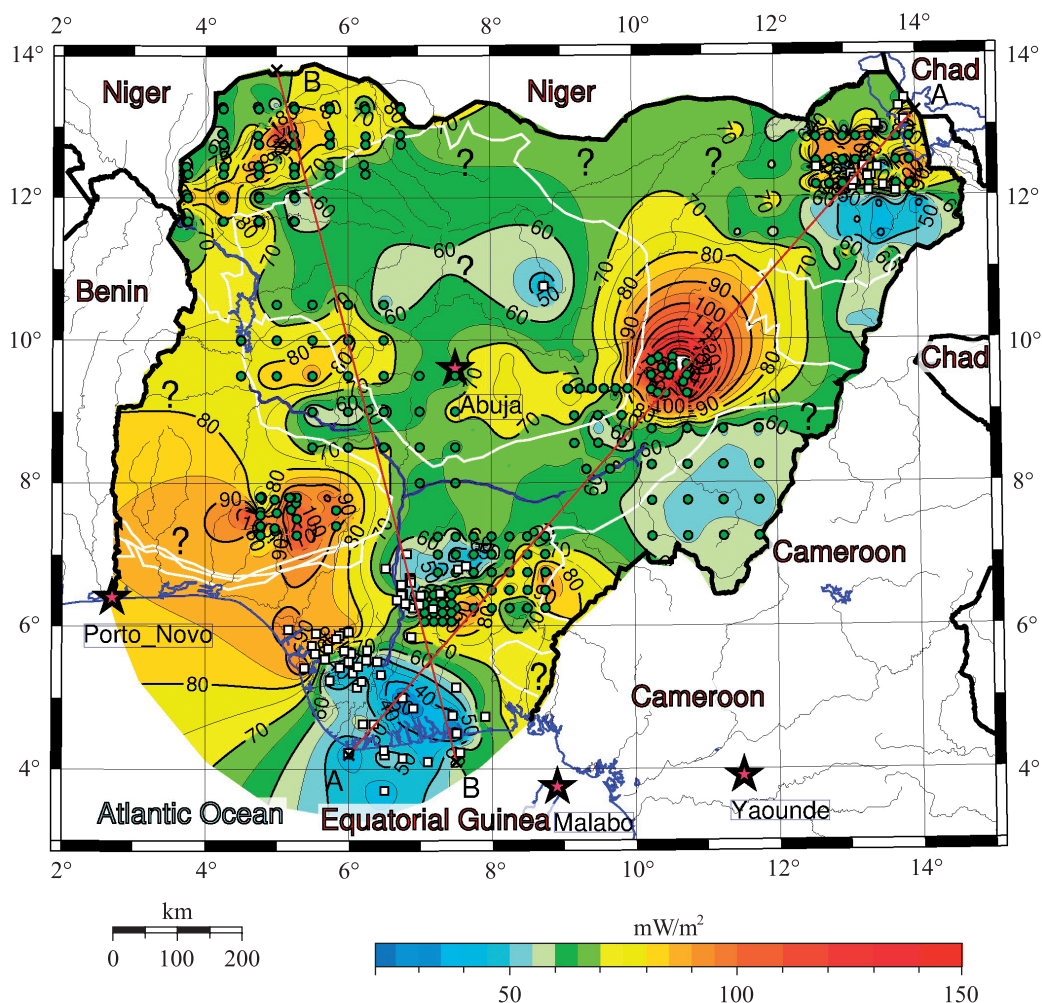


Fig. 4. Preliminary map of the heat flow density in Nigeria.
White squares show positions of geothermally studied wells;
green circles show available indirect heat flow density estimates derived
from the magnetic field analysis. Areas with absent heat flow data shown by the symbol «?». The A – A and B – B profiles cross the main geologic structures (shown by red lines) of the country with a wide range of heat flow variations from 35–40 until 140–150 mW/m²

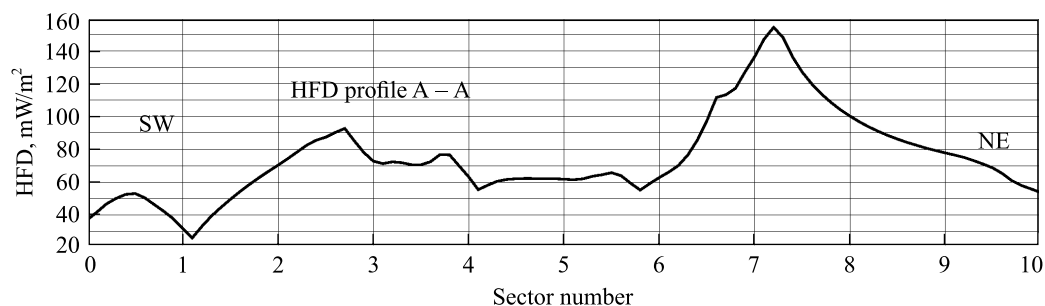


Fig. 5. Heat flow density profile A – A

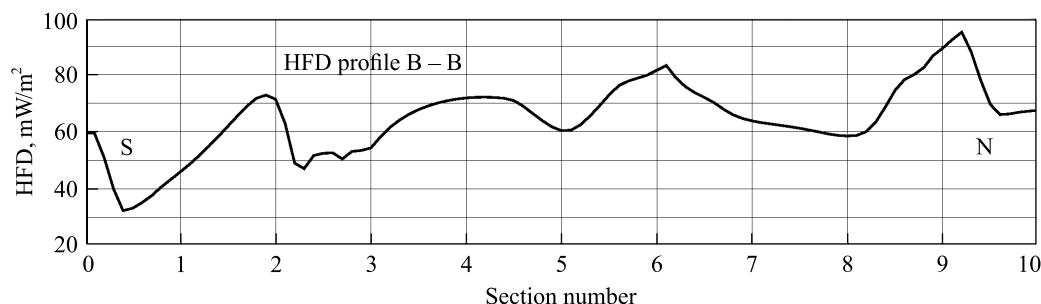


Fig. 6. Heat flow density profile B – B

The meridional profile B – B shows that the heat flow ranges from 30 until 90 mW/m². It reflects rapid heat flow changes in the meridional direction and a general tendency of its increase from south to north. This profile crosses geologic units of different age.

Heat flow values range within the country approximately from 35 to 140–145 mW/m². A low heat flow anomaly of 40–50 mW/m² is traced in the central part of the Niger Delta. It increases in all directions outwards of this cold zone to 70–80 mW/m².

A high heat flow anomaly above 100 mW/m² exists within the studied parts of Borno Basin. It joins with another anomaly around the Wikki warm spring and they both form a vast positive anomaly in the eastern part of Nigeria. A high heat flow above 80–100 mW/m² revealed around the Ikogosi warm spring. The Sokoto Basin in the north of the country is shown by increased heat flow to 70–80 mW/m². Its similar range is typical for the central part of the Nupe Basin.

Rather differentiated heat flow pattern is in the Anambra Basin. Heat flow values change from 50–60 mW/m² in its northern part to 80 mW/m² southward. Heat flow density of the Nigerian part of the Adamava highlands and the central part of the Benue Trough varies in limits of 55–60 mW/m² increasing to 70 mW/m² to the Wikki spring.

Geothermal observations in the southern part of Nigeria (Niger Delta and Anambra Basin) were studied by [31; 39–42]. Studies of geothermal field in this structure were actively conducted recently [43–49]. Results of heat flow studies in the Niger Delta were also published [50–52]. Heat flow density here varies within the Niger Delta from 38.9 to 89.6 mW/m² [46]. In the eastern part of the structure, it ranges from 29 to 55 mW/m² with an average value of 42.5 mW/m². Lower heat flow (less 35 mW/m²) was observed for the central parts of the Niger Delta within the central swamp near Atlantic shore [1]. Within Anambra Basin it varies from 48 to 76 mW/m² [31].

It was reported that geothermal gradients in deep wells within the Niger Delta, show a continuous and non-linear relationship with depth, it increases with diminishing sand percentages. As sand percentages decrease eastwards and seawards, thermal gradient increases. A number of thermograms here have a concaved shape to depth axis [48]. It was reported that the movement of fluids in the Niger Delta influence the thermal field pattern and heat flow distribution within the Basin. This concerns both the effects of upward and downward groundwater movements within aquifers, petroleum, connate and juvenile water [1].

Only one locality for Precambrian crustal blocks geothermally studied in Nigeria, is the Ririwai Ring Complex (heat flow is 38.5 mW/m²). Measurements were fulfilled there in available boreholes [53]. This value is close to data for other Precambrian shields of the world.

For the Nigerian part of the Chad Basin the heat flow derived from the magnetic field analysis ranges from 63.8 to 141.9 mW/m² [54]. Its similar values, determined by this method, in the Sokoto Basin [8; 38; 55; 56] range from 52.4 to 98.6 mW/m².

For the Anambra Basin, the estimated heat flow density varies from 38 to 99 mW/m² [57]. For the lower part of the Benue Trough and the adjoining Anambra Basin, it ranges according to Bello and his colleagues [58] from 64.4 to 97.3 mW/m² with an average value of 80.1 mW/m².

Analysis fulfilled for the Nupe Basin shows that the HFD varies from 30 to 120 mW/m² [36]. In the south-eastern and southwestern parts of this basin, it is less than 60 mW/m², and increases to more than 100 mW/m² in its northeastern and northwestern parts. For the Jalingo and environs in the northeastern Nigeria the heat flow is estimated between 53 and 61 mW/m² [14; 37].

Heat flow density estimates by this approach fulfilled also for several warm springs of Nigeria. The Ikogosi spring in southwestern part of the country within the Precambrian fractured terrain, where fractured/faulted quartzite may have acted as a conduit for warm groundwater outflow to the surface [59]. Aeromagnetic maps processed on this basis give the heat flow density around 91 mW/m². Probably such high heat flow does not concern other parts of the West African Shield, which are at present without HFD determinations within Nigeria. Within the area adjoining the Atlantic shore to the west of Nigeria in the Leo Rise and Dahomeides, the heat flow is 31–33 mW/m², which similar to other observations within Precambrian crustal blocks of the world [60].

Conclusions

The heat flow is the most important parameter. It gives the information for studies of lithospheric and crustal dynamics, estimates of promising areas for geothermal energy, understanding of the thermal regime from the point of the hydrocarbons maturity, etc.

A preliminary map of heat flow density for Nigeria was compiled based on accessible determinations in boreholes and estimates derived from analysis of aeromagnetic maps. It varies in a wide range with a contrast pattern in the territory of Nigeria. Activated areas due to rifting are indicated by high heat flow within the eastern part of the Borno Basin, eastern area of the Benue Trough, as well as within the northern part of the Niger Delta, the Sokoto Basin. A high heat flow derived from the spectral analysis of aeromagnetic maps in the vicinity of the Ikogosi hot spring, located in the West Nigerian Shield, require further refinement to trace its margins, as typically rather low heat flow is a specific feature of Precambrian shields.

The high heat flow anomalies (90–100 mW/m² and more) could be considered as the most promising parts in the country for detailed investigations as potential sources of geothermal energy, which is suitable to create electric plants mainly based on the binary technology for the production of «geothermal» electricity. Results of geothermal studies within the Niger Delta show that the temperature of 150 °C can be reached in a number of local parts of the area at depth less than 5 km [30] that is suitable to create electric plants based on the binary technology.

It is necessary to stress that high heat flow anomalies could be considered as the most promising parts in the country for detailed investigations as potential sources of geothermal energy [61].

References

1. Odumodu CFR, Mode AW. Geothermal gradients and heat flow variations in parts of the eastern Niger Delta, Nigeria. *Journal Geological Society of India*. 2016;88(1):107–118. DOI: 10.1007/s12594-016-0463-0.
2. Haenel R, Stegena L, Rybach L, editors. *Handbook of terrestrial heat-flow density determination: guidelines and recommendations of the International Heat Flow Commission*. Dordrecht: Springer; 1988. 486 p. (Solid Earth Sciences Library; volume 4). DOI: 10.1007/978-94-009-2847-3.
3. Nagata T. *Rock Magnetism*. Tokyo: Maruzen; 1961. 350 p.
4. Ross HE, Blakely RJ, Zoback MD. Testing the use of aeromagnetic data for the determination of Curie depth in California. *Geophysics*. 2006;71(5):51–59.
5. Nwankwo LI, Olasehinde PI, Akaosile CO. An attempt to estimate the Curie point isotherm depth in the Nupe Basin west central Nigeria. *Global Journal of Pure and Applied Science*. 2009;15(3–4):427–433.
6. Eletta BE, Udensi EE. Investigation of Curie point isotherm from the magnetic field of Eastern sector of central Nigeria. *Journal of Geosciences*. 2012;2:101–106. DOI: 10.5923/j.geo.20120204.05.
7. Kasidi S, Nur A. Curie depth isotherm deduced from spectral analysis of Magnetic data over sarti and environs of North-Eastern Nigeria. *Scholarly Journal of Biotechnology*. 2012;1(3):49–56.
8. Ofor NP, Udensi EE. Determination of the heat flow in the Sokoto basin, Nigeria using spectral analysis of aeromagnetic data. *Journal of Natural Sciences Research*. 2014;4(6):83–93.
9. Nwankwo LI. Estimation of depths to the bottom of magnetic sources and ensuing geothermal parameters from aeromagnetic data of Upper Sokoto Basin, Nigeria. *Geothermics*. 2015;54:76–81. DOI: 10.1016/j.geothermics.2014.12.001.
10. Nwankwo LI, Shehu AT. Evaluation of Curie-point depths, geothermal gradients and near-surface heat flow from high-resolution aeromagnetic (HRAM) data of the entire Sokoto Basin, Nigeria. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 2015;305:45–55. DOI: 10.1016/j.jvolgeores.2015.09.017.
11. Bhattacharyya BK. Continuous spectrum of the total magnetic field anomaly due to a rectangular prismatic body. *Geophysics*. 1966;31(1):97–121. DOI: 10.1190/1.1439767.
12. Spector A, Grant FS. Statistical models for interpreting aeromagnetic data. *Geophysics*. 1970;35:293–302. DOI: 10.1190/1.1486578.
13. Bhattacharyya BK, Leu L-K. Spectral analysis of gravity and magnetic anomalies due to two-dimensional structures. *Geophysics*. 1975;40:993–1013. DOI: 10.1190/1.1440593.
14. Kasidi S, Nur A. Spectral analysis of magnetic data over Jalingo and Environs North-Eastern Nigeria. *International Journal of Science and Research*. 2013;2(2):447–454.
15. Bhattacharyya BK, Leu L-K. Analysis of magnetic anomalies over Yellowstone National Park: Mapping of Curie point isothermal surface for geothermal reconnaissance. *Journal of Geophysical Research*. 1975;80:4461–4465. DOI: 10.1029/JB080i032p04461.
16. Okubo Y, Graf RJ, Hansen RO, Ogawa K, Tsu H. Curie point depths of the Island of Kyushu and surrounding areas, Japan. *Geophysics*. 1985;50(3):383–506. DOI: 10.1190/1.1441926.
17. Blakely RJ. *Potential theory in gravity and magnetic applications*. Cambridge: Cambridge University Press; 1995. 464 p. DOI: 10.1017/CBO9780511549816.
18. Stampolidis A, Kane I, Tsokas GN, Tsourlos P. Curie point depths of Albania inferred from ground total field magnetic data. *Surveys in Geophysics*. 2005;26:461–480. DOI: 10.1007/s10712-005-7886-2.
19. Dolmaz MN, Ustaomer T, Hisarli ZM, Orbay N. Curie point depth variations to infer thermal structure of the crust at the African-Eurasian convergence zone, SW Turkey. *Earth Planets Space*. 2005;57:373–383.
20. Tanaka AY, Okubo Y, Matsubayashi O. Curie point depth based on spectrum analysis of the magnetic anomaly data in East and Southeast Asia. *Tectonophysics*. 1999;306:461–470.

21. Okubo Y, Tsu H, Ogawa K. Estimation of Curie point temperature and geothermal structure of Island arc of Japan. *Tectonophysics*. 1989;159(3–4):279–290. DOI: 10.1016/0040-1951(89)90134-0.
22. Abraham EM, Obande EG, Chukwu M, Chukwu CG, Onwe MR. Estimating depth to the bottom of magnetic sources at Wikki Warm Spring region, northeastern Nigeria, using fractal distribution of sources approach. *Turkish Journal of Earth Sciences*. 2015; 24:494–512. DOI: 10.3906/yer-1407-12.
23. Stacey FD. *Physics of the earth*. 2nd edition. New York: John Wiley & Sons; 1977. 414 p.
24. Nwankwo CN, Ekine AS, Nwosu LI. Estimation of the heat flow variation in the Chad Basin Nigeria. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*. 2009;13(1):73–80.
25. Ayuba RA, Nur A. Determination of Curie Depth Isotherm and Geothermal Studies over Parts of Nasarawa and Environs, North Central Nigeria. *International Journal of Energy and Environmental Science*. 2018;3(4):69–81. DOI: 10.11648/j.ijees.20180304.11.
26. Turner DC. Volcanoes of the Biu Basalt, Northeastern Nigeria. *Journal of Mining and Geology*. 1978;15(2):49–63.
27. Sedara SO, Joshua EO. Evaluation of the Existing State of Geothermal Exploration and Development in Nigeria. *Journal of Advances in Physics*. 2013;2(2):118–123.
28. Orife JM, Aybovbo AA. Stratigraphic and unconformity traps in the Niger Delta. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*. 1982;65:251–265.
29. Mattick RE. *Assessment of the petroleum, coal, and geothermal resources of the Economic Community of West African States (ECOWAS) region*. Reston: U.S. Geological Survey; 1982. 87 p. DOI: 10.3133/ofr82714.
30. Akpabio IO, Ejedawe JE. Temperature Variations in the Niger Delta Subsurface from Continuous Temperature logs. *Global Journal of Pure and Applied Sciences*. 2001;7:137–142.
31. Onuoha KM, Ekine AS. Subsurface temperature variation and heat flow in the Anambra Basin, Nigeria. *Journal of African Earth Sciences*. 1999;28(3):641–652. DOI: 10.1016/S0899-5362(99)00036-6.
32. Emujakporue GO. Subsurface temperature distribution from heat flow conduction equation in part of Chad sedimentary basin, Nigeria. *Egyptian Journal of Petroleum*. 2017;26:519–524. DOI: 10.1016/j.ejpe.2016.07.003.
33. Nwankwo CN, Ekine AS. Geothermal gradients in the Chad Basin, Nigeria, from bottom hole temperature logs. *International Journal of Physical Sciences*. 2009;4(12):777–783.
34. Aliyu A, Salako KA, Adewumi T, Mohammed A. Interpretation of high resolution aeromagnetic data to estimate the Curie point depth isotherm of parts of middle benue trough, North-East, Nigeria. *Physical Science International Journal*. 2018;17(3):1–9. DOI: 10.9734/PSIJ/2018/38651.
35. Olorunsola K, Chukwu CG. Analysis of geothermal heat flow potentiality of Upper Bida Basin Nigeria using aeromagnetic data. *International Journal of Applied Science and Research*. 2018;5:9. DOI: 10.21767/2394-9988.100074.
36. Nwankwo LI, Olasehinde PI, Akoshile CO. Heat flow anomalies from the spectral analysis of airborne magnetic data of Nupe Basin, Nigeria. *Asian Journal of Earth Sciences*. 2011;4(1):20–28. DOI: 10.3923/ajes.2011.20.28.
37. Nwankwo LI, Sunday AJ. Regional estimation of Curie-point depths and succeeding geothermal parameters from recently acquired high-resolution aeromagnetic data of the entire Bida Basin, north-central Nigeria. *Geothermal Energy Science*. 2017;5:1–9. DOI: 10.5194/gtes-5-1-2017.
38. Kasidi S, Kamureyina E, Joshua PT. Estimation of Curie depths, heat flow and geothermal gradient of Mubi and Environs North Eastern Nigeria. *Journal of Geography, Environment and Earth Science International*. 2018;18(4):1–8. DOI: 10.9734/JGEE-SI/2018/46314.
39. Abraham EM, Lawal KM, Ekwe AC, Alile O, Murana KA, Lawal AA. Spectral analysis of aeromagnetic data for geothermal energy investigation of Ikogosi Warm Spring – Ekiti State, southwestern Nigeria. *Geothermal Energy*. 2014;2:6. DOI: 10.1186/s40517-014-0006-0.
40. Aybovbo AA. Geothermal Gradients in the Southern Nigerian Basin. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*. 1978;26(2): 268–274.
41. Evamy BD, Haremboure J, Kamerling P, Knaap WA, Molloy FA, Rowlands PH. Hydrocarbon habitat of the Tertiary Niger Delta. *AAPG Bulletin*. 1978;62:1–39.
42. Nwachukwu SO. Approximate geothermal gradients in Niger Delta sedimentary Basin. *The American Association of Petroleum Geology. Bulletin*. 1976;60(7):1073–1077.
43. Aigbogun C, Olorunsola K. Determination of the Curie point depth of Anambra Basin and using high resolution airborne magnetic data. *International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences*. 2018;34(2):47–54.
44. Adedapo JO, Kurowska E, Schoeneich K, Ikpokonte AE. Geothermal gradient of the Niger Delta from recent studies. *International Journal of Scientific and Engineering Research*. 2013;4(11):39–45.
45. Akpabio IO, Ejedawe JE, Ebeniro JO, Uko ED. Geothermal gradients in the Niger Delta Basin from continuous temperature logs. *Global Journal of Pure and Applied Sciences*. 2003;9(2):265–272. DOI: 10.4314/gjpas.v9i2.15967.
46. Akpabio I, Ejedawe J, Ebeniro J. Thermal state of the Niger Delta Basin. In: *Proceedings of 38th Workshop on geothermal reservoir engineering; 2013 February 11–13; Stanford, California, USA*. Stanford: Stanford University. p. 1135–1149.
47. Anomohanran O. Determination of geothermal gradient and heat flow distribution in Delta State, Nigeria. *International Journal of the Physical Sciences*. 2011;6(31):7106–7111. DOI: 10.5897/IJPS11.713.
48. Anomohanran O. Evaluation of Geothermal gradient and heat flow distribution in Delta State, Nigeria. *International Journal of Basic and Applied Sciences*. 2013;2(1):103–108.
49. Odumodu CFR, Mode AW. Present Day Geothermal Regime in parts of the Eastern Niger Delta. *Petroleum Technology Development Journal*. 2014;4(1):7–26.
50. Omokenu EG, Nwosu LI. Spatial variation modeling of geothermal gradient and heat flow in eastern parts of Niger Delta sedimentary basin, Nigeria. *Physical Science International Journal*. 2017;14(1):1–13. DOI: 10.9734/PSIJ/2017/31581.
51. Chukwueke C, Thomas G, Delfraud J. Sedimentary Processes, Eustatism, Subsidence and Heat flow in the distal parts of the Niger Delta. *Bulletin des Centres de Recherches Exploration – Production Elf-Aquitaine*. 1992;16(1):137–186.
52. Etim DU, Ofoegbu CO, Ebeniro JO, Chukwueke CC. Present day heat flow in the Niger Delta, Nigeria. *Nigerian Association of Petroleum Explorationist Bulletin*. 1996;4.
53. Ogagarue DO. Heat flow estimates in the Eastern Niger Delta Basin, Nigeria. *Pacific Journal of Science and Technology*. 2007; 8(2):261–266.

54. Verheijen PJT, Ajakaiye DE. Heat-flow measurements in the Ririwai ring complex, Nigeria. *Tectonophysics*. 1979;54(1–2): T27–T32. DOI: 10.1016/0040-1951(79)90108-2.
55. Nwobodo AN, Ezema PO, Ugwu GZ. Determination of the curie point depth, geothermal gradient and heat flow of Guzabure and its environs, Chad basin, Nigeria using Aeromagnetic data. *International Journal of Scientific and Engineering Research*. 2018; 9(3):1876–1890.
56. Lawal TO, Nwankwo LI. Evaluation of the depth to the bottom of magnetic sources and heat flow from high resolution aeromagnetic (HRAM) data of part of Nigeria sector of Chad Basin. *Arabian Journal of Geosciences*. 2017;10(17):378. DOI: 10.1007/s12517-017-3154-2.
57. Anakwuba EK, Chinwuko AI. One Dimensional Spectral Analysis and Curie Depth Isotherm of Eastern Chad Basin, Nigeria. *Journal of Natural Sciences Research*. 2015;5(19):14–22.
58. Aigbogun C, Olorunsola K. Determination of the Curie point depth of Anambra Basin and its environs using high resolution airborne magnetic data. *IJRRAS*. 2018;34(2):47–54.
59. Bello R, Ofoha CC, Wehiuzo N. Geothermal gradient, Curie point depth and heat flow determination of some parts of lower Benue trough and Anambra basin, Nigeria, Using High Resolution Aeromagnetic Data. *Physical Science International Journal*. 2017; 15(2):1–11. DOI: 10.9734/PSIJ/2017/34654.
60. Lucazeau F, Rolandone F. Heat-flow and subsurface temperature history at the site of Saraya (eastern Senegal). *Solid Earth*. 2012;3:213–224. DOI: 10.5194/se-3-213-2012.
61. Obaje NG. *Geology and Mineral Resources of Nigeria*. Dordrecht: Springer; 2009. 221 p. DOI: 10.1007/978-3-540-92685-6.

Received by editorial board 18.06.2019.

ГЕОТЕРМИЧЕСКОЕ ПОЛЕ ЗОНЫ ПЕРЕХОДА МЕЖДУ АНАТОЛИЙСКОЙ ПЛИТОЙ И ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМОЙ

СИАМАК МАНСУРИ ФАР¹⁾

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

В восточной части Средиземного моря выделяют обширную провинцию низкого теплового потока, простирающуюся во всем бассейне моря восточнее Крита (Левантинское море), включая Кипр и северный Египет. Геология территории восточной Анатолии сложна из-за недавней тектонической и вулканической активности. Этот регион включает главные тектонические блоки Понтийских гор, Анатолийско-Таврический пояс и сутурную зону Битлиса, Северо- и Восточно-Анатолийский разломы. Во многих частях Анатолии встречаются офиолиты и молодые вулканические породы. Черное море окружено Альпийско-Гималайским складчатым поясом (Крым, Большой Кавказ, Понтийские горы, Родопо-Странджский массив, восточное Среднегорье, Северная Добруджа) и древними тектоническими блоками различного происхождения и возраста, такими как Восточно-Европейский кратон, Мизийская платформа, Стамбульская зона и Аджаро-Триалетская складчатая система. В Черном море преобладает низкий тепловой поток. Наименьшие значения (менее 30 мВт/м²) зарегистрированы в центральных частях западного и восточного бассейнов Черного моря с максимальной мощностью осадочных отложений. Геотермические исследования на территории Украины ведутся в течение 45 лет. Многие особенности теплового поля остаются неизученными. Это относится, в частности, к Украинскому щиту и южной части региона Карпат. В целом территория альпийской складчатости в пределах Турции, Мраморного и Эгейского морей, Кавказа характеризуется высоким тепловым потоком. Аномалия его наибольших значений (более 100–150 мВт/м²) отмечается на западе Турции, где преобладают тектонические условия растяжения и ведется использование подземного пара для выработки электроэнергии. Построены карта и три профиля теплового потока, пересекающих изучаемый регион.

Ключевые слова: Средиземное море; Кипр; Турция; Черное море; Украина; геотермическое поле; тепловой поток; альпийский орогенез; Большой Кавказ.

GEOHERMAL FIELD OF THE TRANSITION AREA BETWEEN THE ANATOLIAN PLATE AND THE EAST EUROPEAN PLATFORM

SIAMAK MANSOURI FAR^a

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

Heat flow data from the Eastern Mediterranean region indicates an extensive province of low heat flow, spreading over the whole basin of the Mediterranean to the east of Crete (Levantine Sea), Cyprus, and Northern Egypt. Surface geology of East Anatolia is complex because of recent active tectonic and volcanic activity. The region is composed of major tectonic units of Pontides, the Anatolid-Tauride Belt and Bitlis Suture Zone, North and East Anatolian faults. Ophiolitic and young volcanic rocks can be observed in many parts of East Anatolia. The Black Sea is surrounded by the Alpine-Himalayan

Образец цитирования:

Сиамак Мансури Фар. Геотермическое поле зоны перехода между Анатолийской плитой и Восточно-Европейской платформой. *Журнал Белорусского государственного университета. География, Геология*. 2019;2:133–148. <https://doi.org/10.33581/2521-6740-2019-2-133-148>

For citation:

Siamak Mansouri Far. Geothermal field of the transition area between the Anatolian Plate and the East European Platform. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology*. 2019;2:133–148. Russian. <https://doi.org/10.33581/2521-6740-2019-2-133-148>

Автор:

Сиамак Мансури Фар – аспирант кафедры региональной геологии факультета географии и геоинформатики. Научный руководитель – доктор геолого-минералогических наук, доцент В. И. Зуй.

Author:

Siamak Mansouri Far, postgraduate student at the department of regional geology, faculty of geography and geoinformatics. siamak_mansourifar@yahoo.com

Orogenic Belt of Crimea, Greater Caucasus, Pontides, Rhodope-Stranja Massif, Eastern Srednegorie, North Dobrogea and older tectonic units of different origins and ages such as the Precambrian East European Craton, Moesian Platform, Istanbul Zone and Adzhar-Trialet Folded System. Low heat flow density dominates in the Black Sea. The lowest (less 30 mW/m²) values have been recorded in central parts of the Western and Eastern Black Sea basins with maximal sedimentary thickness. Geothermal studies within the territories of Ukraine have been under way since sixties. Many important features of the thermal field remain unstudied. This applies in particular to the Ukrainian Shield and to the southern part of the Carpathian region. In general, the territory of Alpine folding within Turkey, Marmara and Aegean seas, Caucasus is characterized by high heat flow. The anomaly of its highest values (above 100–150 mW/m²) exists within western Turkey, where tectonic conditions of extension prevail and underground steam is used to produce electricity. Three heat flow density profiles crossing the studied region and heat flow map were compiled.

Keywords: Mediterranean; Cyprus; Turkey; Black Sea; Ukraine; geothermal field; heat flow; Alpine orogeny; Greater Caucasus.

Introduction

The Anatolian Plate and the Black Sea Basin are the main tectonic units within the considered region. Given its location in the Alpine-Himalayan orogenic belt, and at the collisional boundary between Gondwana and Laurasia, the geological history of the Aegean region and Anatolia involves the Mesozoic-Cenozoic closure of several Neotethyan oceanic basins, continental collisions and subsequent post-orogenic processes [1–3]. The considered region has rather complex crustal structure.

The opening of oceanic branches of Neotethys commenced in the Triassic and closed during the Late Cretaceous to Eocene time interval. The closure of Neotethyan basins is recorded by several suture zones (e. g. Vardar, Izmir – Ankara – Erzincan, Bitlis – Zagros, Intrapontide, Antalya sutures), along which Jurassic-Cretaceous ophiolites and melanges exposed. The polarity of subduction, the timing of ocean basin opening and closure, and the location of Neotethyan suture zones remain somewhat controversial. The destruction of oceanic basins was also accompanied and followed by: 1) Cretaceous to Early Palaeocene arc magmatism (e. g. Pontide Arc [4–6]); 2) development of accretionary-type fore-arc basins (e. g. Haymana-Polatli Basin [7]; Tuz Gölü Basin [8]); 3) Late Palaeocene to Miocene and younger post-collisional magmatism [9–12]; 4) the development of several blue schist belts (e. g. Late Cretaceous Tavşanlı Zone in Turkey [13]; Çamlıca metamorphic belt in northwestern Turkey [14]; Eocene-Oligocene Cycladic blue schist belt in the central Aegean [15–17]; Lycian Nappes and Menderes Massif [18; 19]; Bolkar Mountains in the Central Taurides [20]; 5) high-grade to low-grade metamorphism affecting larger areas. The nappe translation and burial of large areas beneath advancing ophiolite nappes has resulted in regional metamorphism and consequent formation of crustal-scale metamorphic massifs, such as the Rhodope, Stranja, Cycladic, Menderes massifs and Central Anatolian Crystalline Complex [21–24] (fig. 1).

The Northern Central and East Anatolian faults split the considered region into different crustal blocks and their tectonic regime changes from compressional to a combination of extension and compression. High seismicity is observed within the country and a frequent hot springs related to these tectonic features are widely spread. According to estimates tectonic movements along the North Anatolian Fault, shearing Pontides from the Central Anatolian Plate can reach 20–25 millimetres per year. It results from the general movement of the Arabian and African plates and their pressure to Eurasia. Main directions of these movements are shown in fig. 1. It results in many earthquakes mainly within the Anatolian Plate, including hazardous ones, especially in the northwestern Turkey.

The Black Sea Basin. This basin is a deep depression belonging to the Alpine folded belt. The total thickness of Cretaceous-Quaternary sediments in the central part is estimated to be 14–18 km [25]. The Alpine orogenic belts: Crimea, Greater Caucasus, Pontides, Rhodope-Stranja Massif, Eastern Srednegorie, North Dobrogea and older tectonic units of different origins and ages such as the East European Craton, Moesian Platform, Istanbul Zone and Adzhar-Trialet folded system surround the Black Sea (fig. 2). The Black Sea geology plays its key role in understanding the tectonic evolution of the middle Tethyan Realm, as well as its hydrocarbon potential.

The Black Sea Basin includes two deep sub-basins (the Western Black Sea Basin and the Eastern Black Sea Basin) [26]. They are separated by the mid-Black Sea (Andrusov) Ridge, which is a northwestern stretched basement uplift. The Black Sea is widely recognized as a back-arc basin, but details of its origin and evolution are still a matter of debates [27–31]. Main questions on the history of this lithospheric block are the age of opening of the Black Sea and the configuration of the original Neotethyan fragments in relation to the tectonic development of the region. Concerning the relative age of the Western and Eastern Black Sea basins, there is a growing evidence in recent years of an earlier origin for the former one [31–34]. The present-day subsurface information of the Black Sea was based on tectonostratigraphic studies of the sedimentary infill, sparse

deep seismic sounding (DSS) surveys keeping in mind geologic observations in adjacent land areas [27; 28; 31; 35; 36]. Seismic and gravity data show that the crust shallows to 19 and 22 km depths in the Western and Eastern Black Sea basins, respectively [37]. Geologic subdivision of the Black Sea Basin including Crimea and southern part of the East European Craton is shown in fig. 2.

Mountains of Crimea are a part of the Alpine-Himalayan folding located in south of the plain part of the peninsula, which represents a part of the Scythian Platform. The southern slope of the mountain Crimea is traced below the Black Sea waters in result of young tectonic movements. It is composed of dislocated Triassic-Jurassic flysch deposits and Upper Jurassic carbonate sandy-clayish carboniferous, Paleogene and Neogene rocks. The recorded movements along faults result in earthquakes. The vast territory to the north of the Black Sea is the adjacent East European Craton. The folded system of Greater Caucasus and Adzhar-Trialet system adjoin the Black Sea in the east.

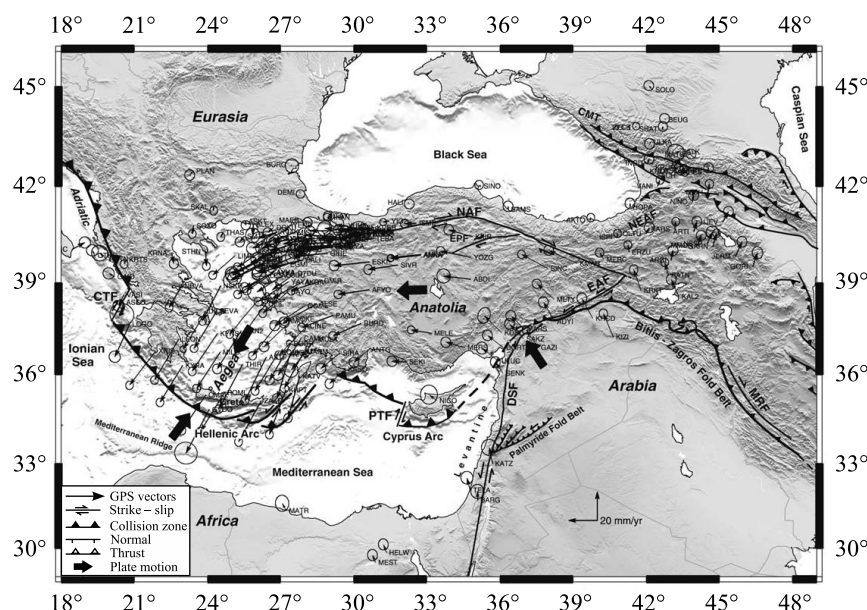


Fig. 1. GPS horizontal velocities and their 95 % confidence ellipses in the Eurasia-fixed reference frame for the period 1988–1997 superimposed on a shaded relief map derived from the GTOPO-30 Global Topography Data taken after the USGS. Bathymetry data are derived from GEBCO/97–BODC, provided by [38–40]. Large arrows designate generalized relative motions of plates with respect to Eurasia (in millimetres per year) (recompiled after [41]). Abbreviations: NAF – North Anatolian Fault; EAF – East Anatolian Fault; DSF – Dead Sea Fault; NEAF – North East Anatolian Fault; EPF – Ezinepazari Fault; CTF – Cephalonia Transform Fault; PTF – Paphos Transform Fault; CMT – Main Caucasus Thrust; MRF – Main Recent Fault

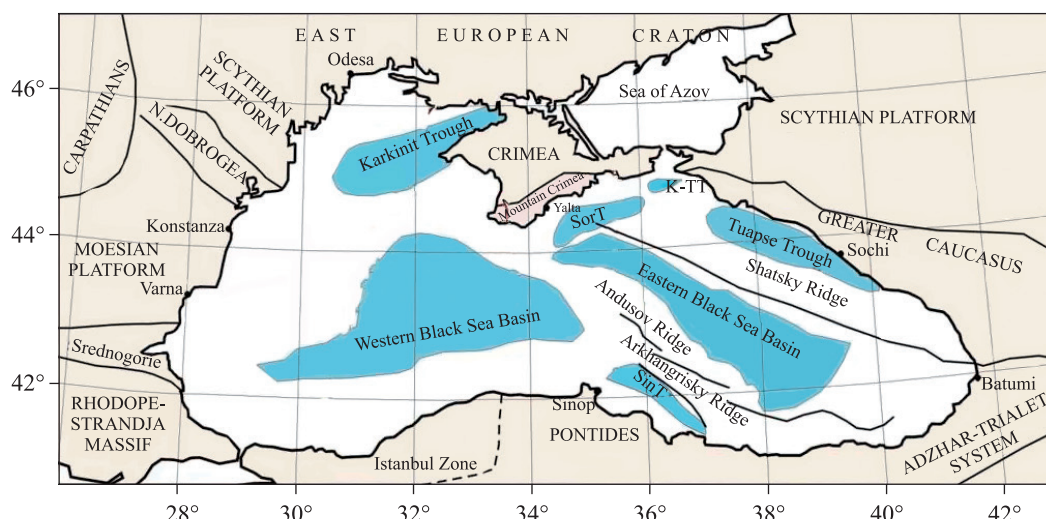


Fig. 2. Main tectonic elements of the Black Sea region and adjacent tectonic units [31]. Abbreviations: SorT – Sorokin Trough; K-TT – Kerch-Taman Trough; SinT – Sinop Trough

Available heat flow data within the region

Eastern Mediterranean Sea and Cyprus. Cyprus in the northeastern part of the Mediterranean Sea is located in between the Anatolian platform to the north and the African Shield to the south. P. Morgan published 33 individual values of heat flow for wells from Cyprus [42; 43]. Results are based on in-hole measurements of the temperature gradient, carried out with a thermistor probe in the conjunction with Wheatstone bridge. Thermal conductivity was obtained from measurements carried out on core- and rock-fragment specimens. The database ranges from as low as six till 46 mW/m^2 . After omitting of very low values, the average heat flow of remaining 18 observations was less than 30 mW/m^2 . They are comparable to heat flow data from the Eastern Mediterranean, where A. Erickson [44] also reported a vast area of rather low heat flow. Several approaches to explain such low values (rapid sedimentation, low content of radioactive isotopes in the crust, downward water circulation) were discussed. They still did not explain adequately the reason for the low heat flow within an extensive area, spreading over the whole basin of the Mediterranean east of Crete (Levantine Sea), Cyprus, and northern Egypt.

The average of the marine heat flow measurements in the Levantine Sea is $(25.7 \pm 8.4) \text{ mW/m}^2$ and according to [45] the average from 40 heat flow sites is (47 ± 27) and $(39 \pm 6) \text{ mW/m}^2$ near Cyprus. On Cyprus, it is $(28.0 \pm 8.0) \text{ mW/m}^2$. The estimated heat flow in northern Egypt ranges from (38.3 ± 7.0) to $(49.9 \pm 9.3) \text{ mW/m}^2$, apparently with no consistent trend. To the east, on the coast of Israel, heat flow values increase, ranging from (36.6 ± 22.4) to $(56.7 \pm 14.2) \text{ mW/m}^2$ along a SSE trend [46]. It apparently correlates with an increase in crustal thickness, which is about 23 km at the northwestern base of the Nile-Delta cone, and close to 40 km beneath Israel.

The marine heat flow data presented by [44] are shown in heat flow density histograms (fig. 3). Their locations are spaced rather uniformly throughout the Eastern Mediterranean. The thermal gradient data were obtained using the Ewing thermograd described in [47]. The penetrations achieved with the piston corer varied between 2.5 and 13.5 m. Thermal conductivity was measured on sediment samples obtained using the needle-probe technique [48] at the same locations as the thermal gradient measurements were fulfilled. The observed data were corrected for an estimated rate of sedimentation of 4.3 cm per 1000 years. The histogram of heat flow density for Cyprus is shown in fig. 4.

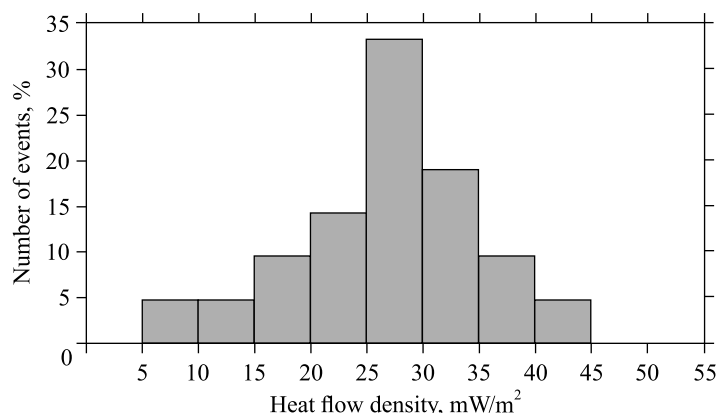


Fig. 3. Heat flow density histogram for the Eastern Mediterranean

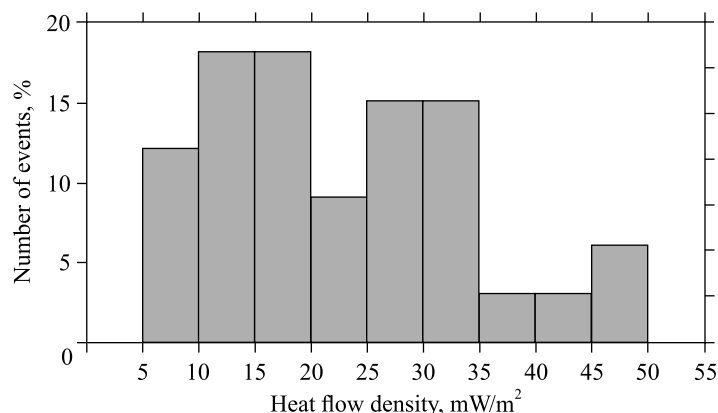


Fig. 4. Heat flow density histogram for Cyprus

Heat flow data from Turkey. The territory of Turkey belongs to the Alpine-Himalayan Belt of orogenesis with significant neotectonic activity, which influences the observable and contrast heat flow. Heat flow determinations were fulfilled on the basis of geothermally studied boreholes. Both temperature logs and rock heat conductivity measurements were used to determine its density. Many boreholes with recorded thermograms have depths not exceeding 200 m, and a ground water circulation, influencing the recorded thermal profiles, had to be taken into account. Conductive heat flow density was calculated considering possible convective effects due to vertical water movements.

A summary of available heat flow determinations for the territory of Turkey were published in [46]. Individual values have a wide range of their changeability from 10–12 until 200 and even 696 mW/m² (fig. 5). Very high heat flow was observed in the proximity of active deep faults and zones with extensional tectonic regime in the Marmara Sea, western and southwestern Turkey [49]. The maximum of heat flow observation falls into the interval of 55–75 mW/m². A long trailing tail with heat flow exceeding 100 mW/m² exists in the right part of the histogram.

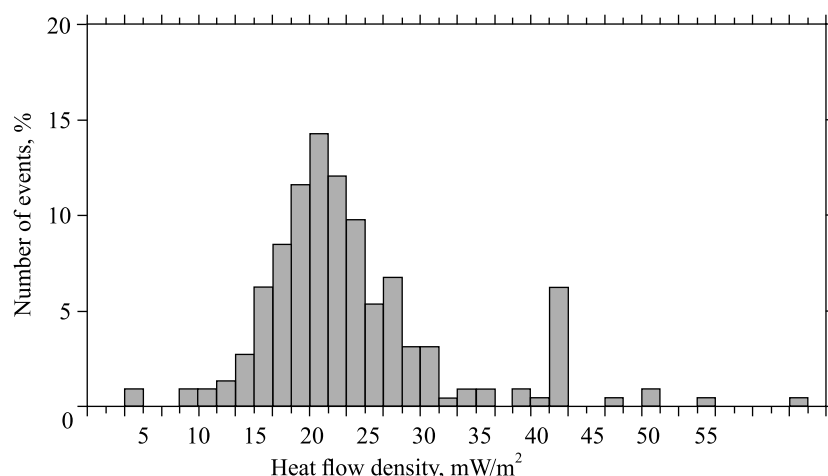


Fig. 5. Heat flow density histogram for Turkey

Heat flow data of the Black Sea. Heat flow studies within the Black Sea were undertaken since the end of sixties and beginning of seventies of the last century. The summary of the most detailed catalogue of available heat flow data exceeding 400 entries was published in 1991 [46]. Around 1/3 values were reported for the eastern Black Sea Basin. Areal distribution of available heat flow observations are shown in fig. 6.

Figure 6 shows that low heat flow density dominates in the Black Sea when comparing its onshore data from countries adjacent the Black Sea Basin. Histograms of its distribution for the Western Black Sea Basin (around 250 individual stations) is shown in fig. 7. The majority of observations exhibits heat flow density, which ranges from 25 until 50 mW/m². This diagram shows close to the normal heat flow distributions complicated by its right side with higher values above 60 mW/m², observed in the southwestern corner of the sea near shores of Bulgaria. Several heat flow stations within this sector show even higher heat flow up to 80–90 mW/m².

As it was mentioned, the number of heat flow stations studied within the Eastern Black Sea Basin is around 100 which is 1/3 of the whole observations fulfilled within the Black Sea. Figure 8 shows in general similar heat flow distribution, but the majority of values are here within the interval of 20–40 mW/m², which is lower than ones within the Western Black Sea Basin.

Heat flow map of the studied region

The considered region has a complex geological structure, shown in fig. 1 and 2, where the tectonic regime is changing from compression to extension. Such geologic situation has an imprint on the heat flow distribution within the studied region. Heat flow data reported by a number of researchers were used to compile the heat flow map (fig. 9). The Black Sea, representing a part of the extended Alpine-Himalayan folded belt, is better studied in heat flow, where more than 400 individual heat flow stations are available. On the contrary, the heat flow density information is absent for the time of compiling the map within parts of territories of Syria, Lebanon and Iraq in frames of the map. The heat flow within the whole area is changing in a wide range from as low as ca 20 mW/m², typical for the eastern Mediterranean and Cyprus, until more than 100–200 mW/m² within the western part of Turkey and adjoining Marmara and Aegean seas. Relatively dense net of heat flow observations exists within the Stavropol Uplift (Ciscaucasia), to the northern areas

of the Greater Caucasus and partly within the southern Ukraine. Many oil exploration wells were studied in heat flow within territories of Romania, Bulgaria and European part of Turkey.

The majority of heat flow data, especially within the Western Black Sea Basin, were received in the period of seventies – nineties of the last century by Soviet researchers [28; 50; 51], they used different marine heat flow probes. Typically, the heat conductivity was measured in situ after the probe penetrated into loose bottom sediments and the necessary time was elapsed to dissipate the friction heat, produced by its insertion.

Within its right lower corner, where heat flow data is absent, it was shown by the oval. This part of the map have to be revised in future after new heat flow data will be accumulated.

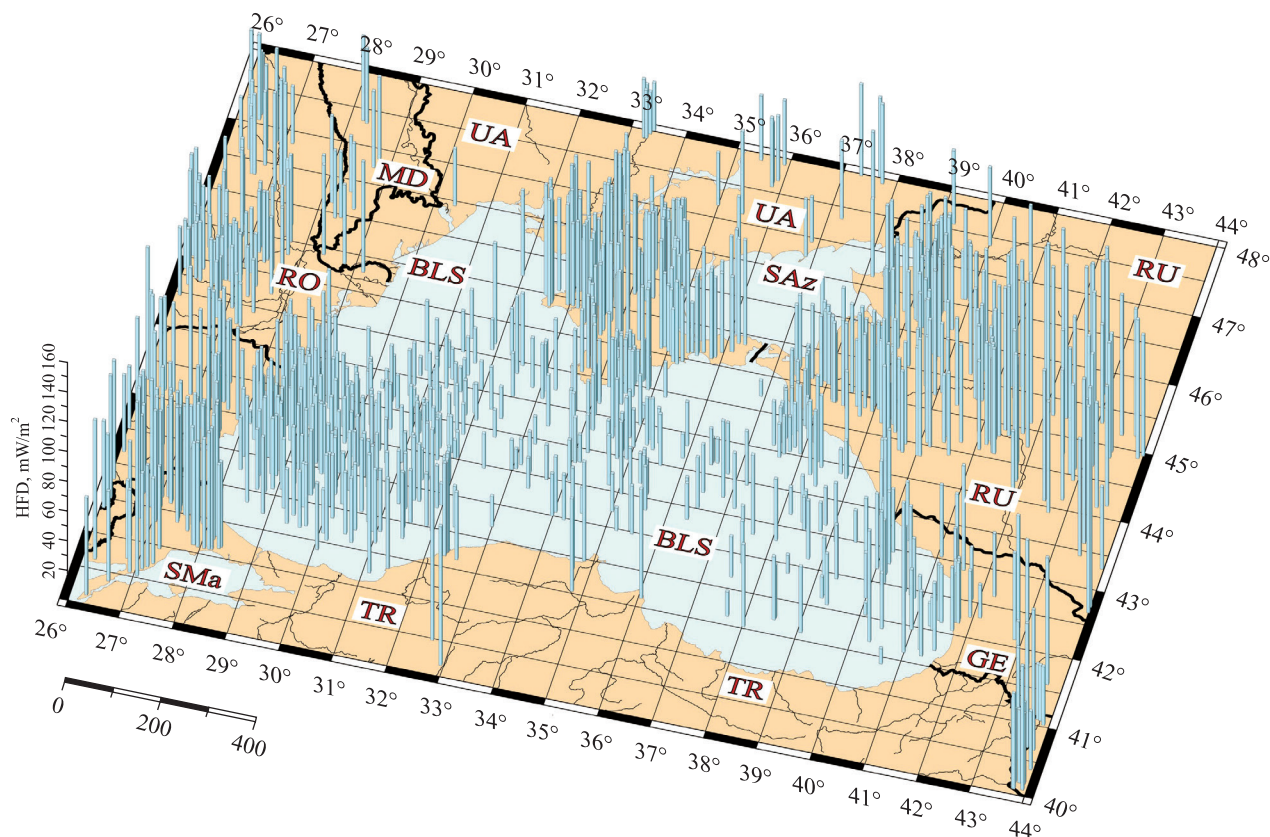


Fig. 6. Positions of marine heat flow stations and adjacent geothermally studied onshore boreholes.

Abbreviations: BLS – Black Sea; SAz – Sea of Azov; SMa – Sea of Marmara;
GE – Georgia; MD – Moldova; RO – Romania; RU – Russia; TR – Turkey; UA – Ukraine

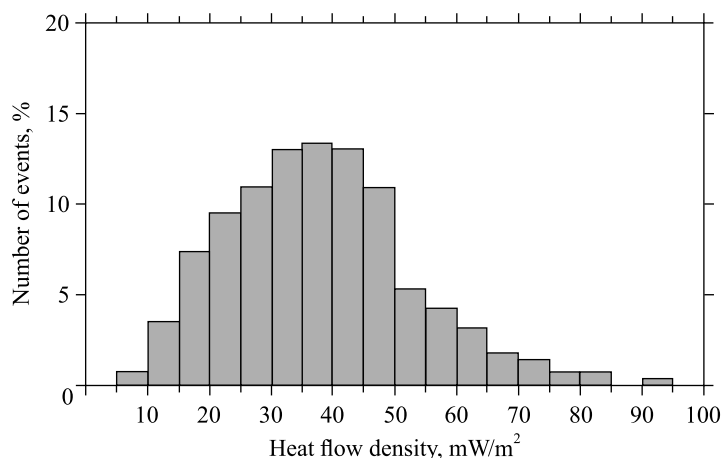


Fig. 7. Heat flow density histogram for the Western Black Sea Basin

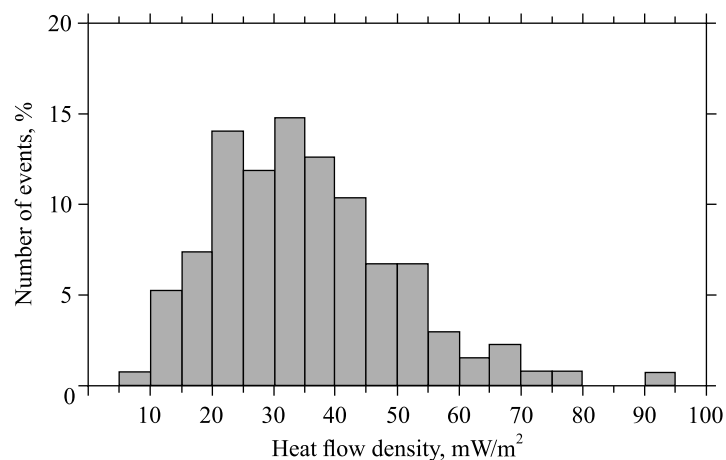


Fig. 8. Heat flow density histogram for the Eastern Black Sea Basin

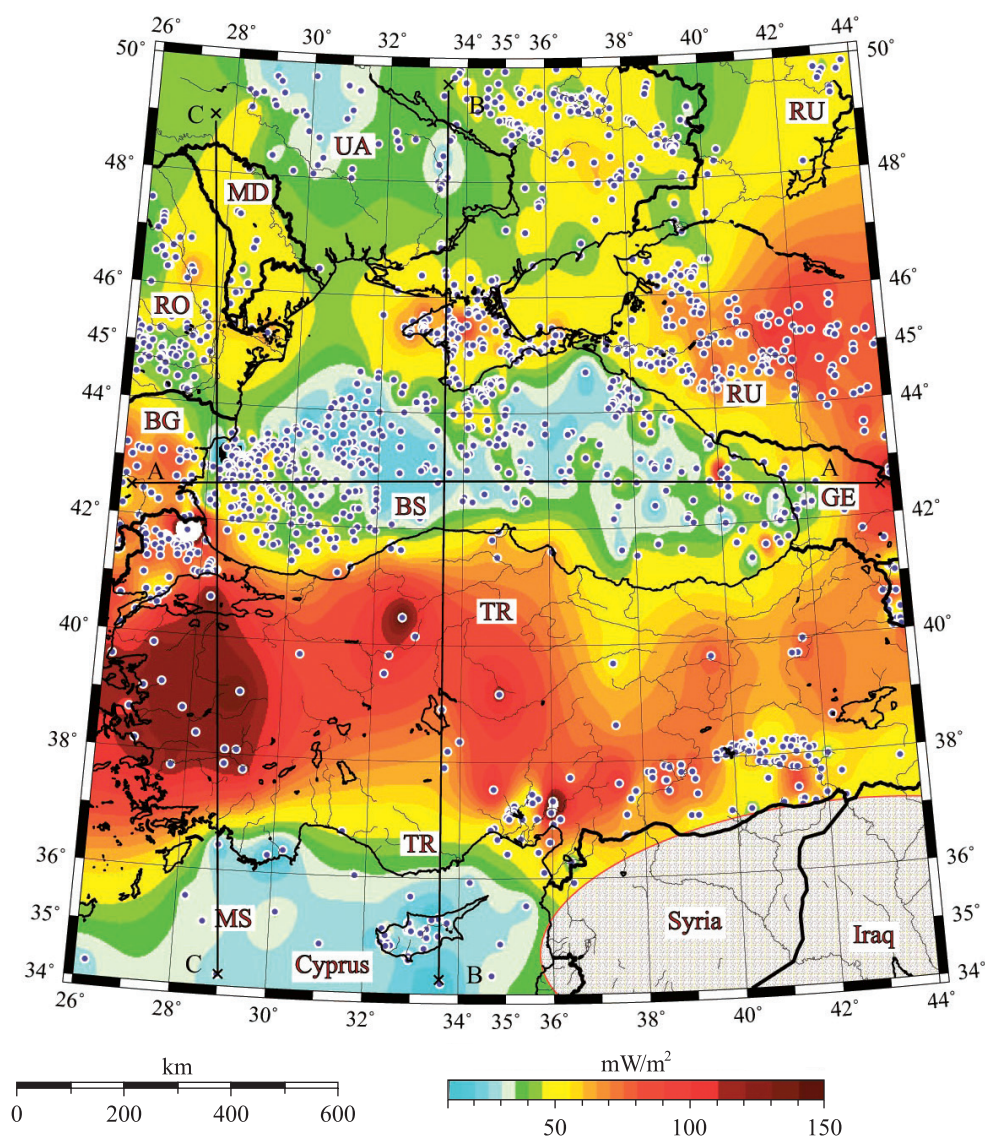


Fig. 9. Heat flow distribution map within the studied region.

Abbreviations: BS – Black Sea; MS – Mediterranean Sea; BG – Bulgaria; GE – Georgia; MD – Moldova; RO – Romania; RU – Russia; TR – Turkey; UA – Ukraine

Both the Eastern Mediterranean including Cyprus and the Black Sea are characterized in general by relatively low heat flow as it was shown in respective histograms (fig. 3, 4, 7 and 8). High heat flow areas correspond to the territories of Turkey, Greater Caucasus and Ciscaucasia (in particular the Stavropol Uplift, Russia). Geologic structures in the western Turkey exhibit the highest heat flow observed within the whole region.

The general tendency of its variations within the whole map could be noted as its gradual decrease from tectonic structures of the Alpine-Himalayan Belt to the old crustal blocks forming the East European Platform within southern Ukraine in frames of the map. The relatively young Black Sea Basin within this belt represents an exclusion from this general tendency.

Discussion

The Black Sea Basin is the best studied geologic structure in heat flow within the whole considered region. It represents a deep depression within the central part of the Alpine Folded Belt. It was believed that the total thickness of Cretaceous-Quaternary sediments within this basin reaches 14–18 km. At this background the crustal thickness here is reduced to 22–28 km [29; 52], which is typical for young crustal blocks with high heat flow, for instance oil-bearing Pannonian Basin [53].

As it was mentioned above, the Black Sea Depression has generally low heat flow, such heat flow values are observed in the parts of the basin within the maximal sedimentary thickness. The lowest (less 30 mW/m²) values have been recorded in central parts of the Western and Eastern Black Sea basins. They are separated by a relatively high (40–60 mW/m²) heat flow zone striking along the western flank of the Andrusov Ridge. The field morphology is different in the West and East Black Sea basins. Higher values are observed on the periphery. They are, as a rule, continuations of anomalous zones from the continent.

The West Basin field is more uniform. In the East Basin, the thermal field is more differentiated. Several high heat flow anomalies mainly of northeastern orientation are distinguished here. Some of them elongated northwestwards cut the main tectonic structures. A series of limited low (20–30 mW/m²) heat flow anomalies are observed along the Crimean and Caucasian shores. They coincide with zones of deep basement subduction in the offshore troughs (Sorokin and Kerch-Taman ones).

Observed heat flow values of sedimentary basins are influenced by many factors. The most significant one is the sedimentation. Many attempts have been made to calculate the sediment accumulation effect in the Black Sea [28; 51; 54–56].

An erosion from surrounded the Black Sea mountains resulted in delivering to the sea terrigenous material which created accumulating thick sediments at its bottom, blanketing the heat from below. In result, researches observe rather low geothermal gradient within upper parts of loose sediments, hence a low recorded heat flow. This sedimentary thickness is warming up gradually and in future geothermal gradients and heat flow density will become considerably higher. Results of computer modeling show that only the mantle heat flow within the central part of the depression is around 35–40 mW/m² [29].

The Crimean Peninsula is far outstanding into the Black Sea. Many heat flow determinations were fulfilled based on temperature-depth profiles of boreholes and heat conductivities of rocks measured in laboratory conditions. In the relatively small territory of the Crimean Peninsula, the interaction of tectonic regions of different origin, structure and evolution has been observed. Almost all major structures of the Earth's crust are represented here: the southern slope of the ancient East European Platform, a part of the Epipaleozoic Scythian Plate, a part of the Alpine-Himalayan Folded System. It is represented by the Crimean mega-anticline bordered by the Indolo-Kuban Edge Sag and a region of the bathypelagic depression of the Black Sea.

The southern part of the Ukraine within frames of the heat flow density map (see fig. 9) includes the Scythian Platform and the Ukrainian Shield, which belong to the Precambrian East European Craton. Geothermal studies on the territories of Ukraine have been under way for a number of years [57; 58]. Thermograms from oil and water wells, as well as ones from ore deposits were used for heat flow determinations. The heat flow values were largely calculated based on the average geothermal gradient and heat conductivity of rock samples. The geothermal gradient varies within this area from 17 (for shallow depth intervals) to 60 mK/m in deep depressions. In several sites within southern Ukraine, the heat flow was determined based on the results of high-precision temperature measurements in shallow boreholes including water wells.

The vast heat flow anomaly within the territory of Turkey was observed in the western and southwestern parts of the country. As it was mentioned above, the tectonic regime within the Anatolian Plate changes from compressional to extensional one in result of the Arabian Plate movement northward and its collision with Eurasia. Main directions of these movements are shown in fig. 10.

Terrestrial surface heat flow density varies regionally from 35 to 115 mW/m², with a mean value around 60–70 mW/m² (see fig. 5). The fig. 10 shows that the extensional tectonics of the region of western Turkey, south of the Marmara and Aegean seas is characterized by higher heat flow density. These areas are subjected to extensional tectonic regime with many active deep faults, which represent ways of heat supply from deep

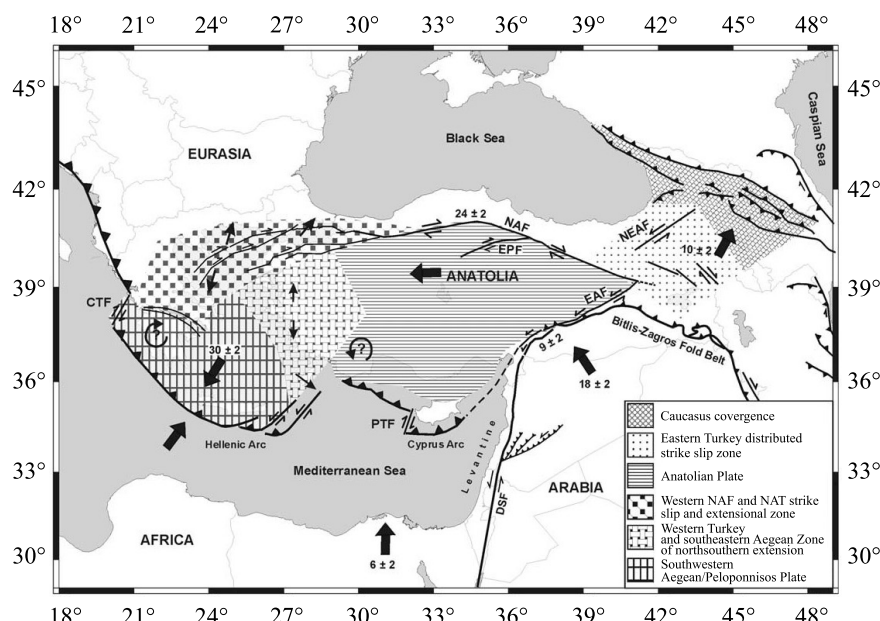


Fig. 10. Schematic map of the principal tectonic settings in the eastern Mediterranean.

Hatching shows areas of coherent motion and zones of distributed deformation.

Large arrows designate generalized regional motion (in millimeters per year) and errors (recompiled after [59; 60]).

Abbreviations: EAF – East Anatolia Fault; DSF – Dead Sea Fault; NAF – North Anatolian Fault;

NEAF – North East Anatolian Fault; CTF – Cephalonia Transform Fault;

PTF – Paphos Transform Fault; MRF – Main Recent Fault; EPF – East Pontides Fault

horizons to the surface. Hence, the high heat flow anomaly is partly caused by the convective mechanism of heat transfer. Fractures create paths for atmospheric water to penetrate to deep horizons where it is heated from hot rocks and forms water steam reservoirs (fig. 11). For instance, one of them the Balcova geothermal system is located at the active Izmir Fault where higher than normal heat flow (110 mW/m^2) was observed.

The natural water steam is used at a few power stations producing «geothermal» electricity, for instance in Kizildere. Regions with low tectonic activity such as parts of European Turkey or regions with compressional and translational tectonics have an average or slightly higher heat flow values.

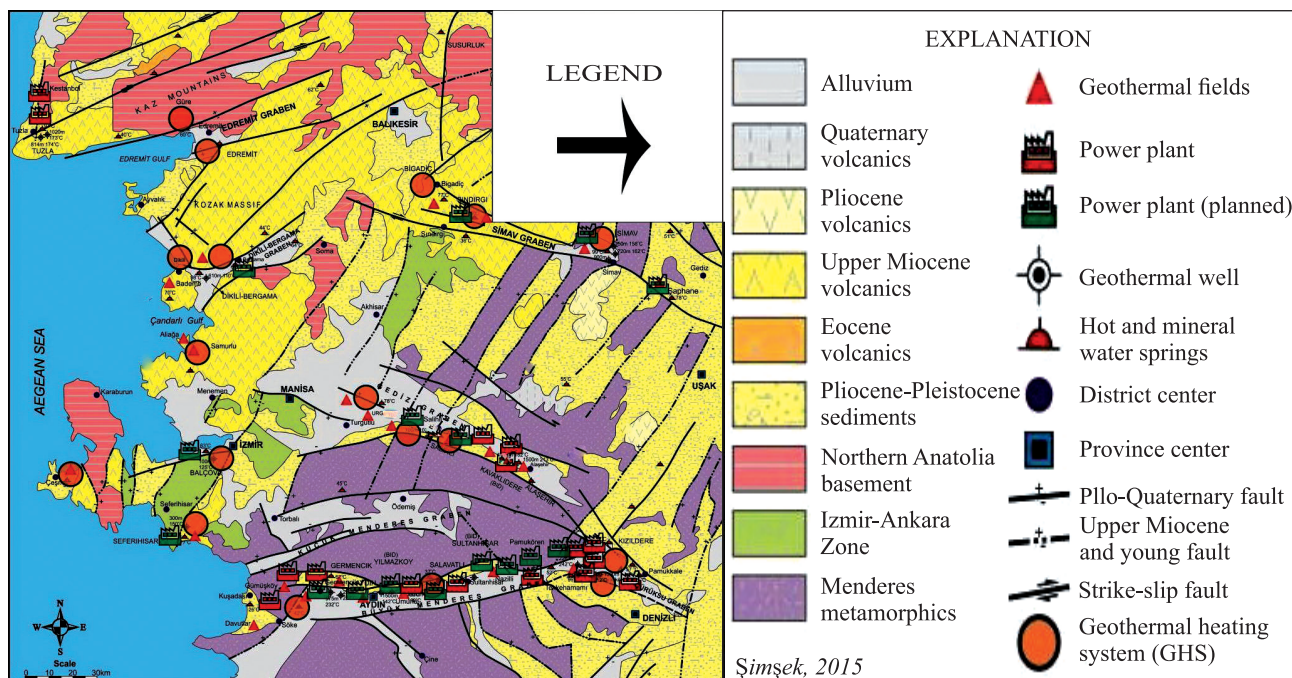


Fig. 11. Geothermal fields and heating systems are related to a number of active faults in the southwestern Turkey.

Source: [61; 62], modified

In Turkey more than 230 geothermal fields were identified by MTA (General Directorate of Mineral Research and Exploration of Turkey)¹, which can be useful at the economic scale and there are about 2000 hot and mineral water sources (springs, well discharges) with temperatures ranging from 20 to 287 °C. These manifestations are located mainly along the major grabens (such as Buyuk Menderes, Gediz, Dikili-Bergama, Kucuk Menderes, Edremit) along the northern Anatolian Fault Zone and in the Central and Western Anatolia volcanic regions (see fig. 11). Up to now, 1441 geothermal exploratory, production and reinjection wells have been drilled in Turkey in total by the MTA and the private sector [61; 62]. Until the end of 2015, MTA has tendered 142 geothermal fields (including wells) to private sector. The geothermal potential is estimated as 31 500 MW_t up to 2010. Moreover, the updated calculations regarding the geothermal heat capacity potential of Turkey is concentrated at 60 000 MW_t geothermal heat potential [63]. The total geothermal theoretical electricity potential of Turkey (hydrothermal, depth 0–3 km) has been calculated as 4500 MW_e [64].

The installed geothermal heat capacity is 3262.3 MW_t for direct use (including heat pumps) and 650 MW_e for power production in Turkey, where the liquid carbon dioxide and dry ice production factories are integrated to the Kizildere and Salavatli power plants with a production capacity of 240 000 tons/year. The total geothermal technical and economic electricity production potential (hydrothermal, depth 0–3 km) has been calculated as 2000 MW_e (16 billion kilowatt-hour per year) with the additional incentive for 15–20 years by 15 USD cents per kilowatt-hour.

The thermal regime of Cyprus, as mentioned above, is characterized by low heat flow less than 30 mW/m², at the same time comparable heat flow values were observed for the Eastern Mediterranean where A. Erickson [44] also reported a vast area of rather low heat flow.

Three profiles: latitudinal A – A, and longitudinal B – B and C – C of the heat flow density variation within the region are shown in fig. 12–14. Their positions are shown in fig. 9. Along the A – A profile, crossing the whole Black Sea Basin and adjacent on land territories there are many heat flow observations. Here the heat flow varies considerably along the whole profile from around 60 in the territory of Bulgaria until 20–30 mW/m² within the eastern Black Sea Basin. It clearly shows the increasing heat flow in the Western Black Sea Basin relatively to its eastern part.

Two meridional profiles B – B and C – C show more contrast heat flow variations from 20 until almost 90 mW/m² for the profile B – B with rather smooth heat flow increase from the Mediterranean Sea to the central Turkey followed by its decrease to 25 mW/m² within the southern part of the East European Craton, where exists a smoother pattern of HFD variations (fig. 13). Its shape depends partly on the observed heat flow within the Black Sea, western Crimea, and heat flow data within Precambrian crustal blocks of the southern Ukraine.

The profile C – C reflects rapid heat flow changes in the meridional direction. It crosses the Mediterranean Sea, the high heat flow anomaly within western Turkey, continues to the eastern Romania through the westernmost part of the Black Sea, and finishes in the western Ukraine (fig. 14).

The profile A – B reflects rapid heat flow changes in the western Turkey direction (fig. 15). Sharp heat flows increase up to 120–140 mW/m² is evident in its central part (the western Turkey) (fig. 16) and it crosses tectono-thermally activated crustal blocks, namely the Moesian Plate, North Dobrogea and foredeep of Carpathians, where the heat flow drops to 50–60 mW/m². It is even lower in the Western Black Sea Basin (around 20–40 mW/m²). In all four figures, broken lines show the general trend of heat flow variations along these profiles.

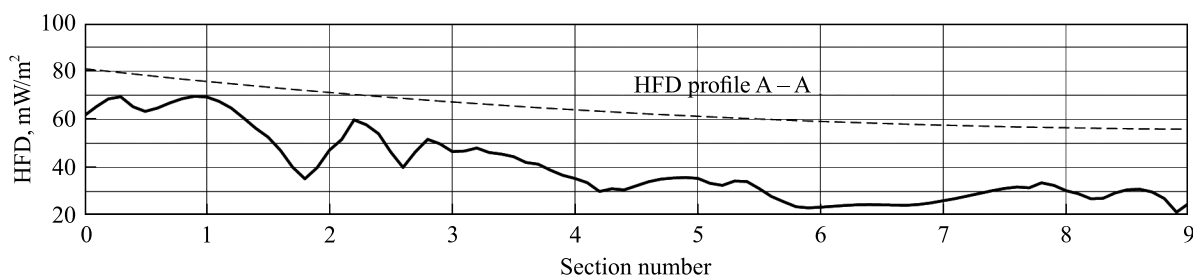


Fig. 12. Heat flow density profile A – A

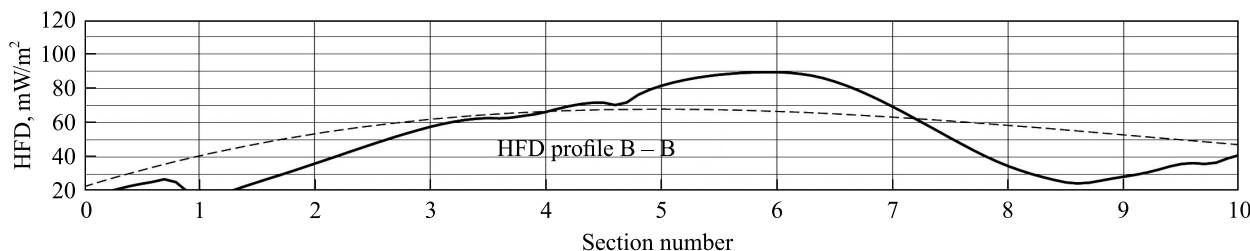


Fig. 13. Heat flow density profile B – B

¹Mineral Research and Exploration (MTA) of Turkey [Electronic resource]. URL: <http://www.mta.gov.tr/eng> (date of access: 28.05.2019).

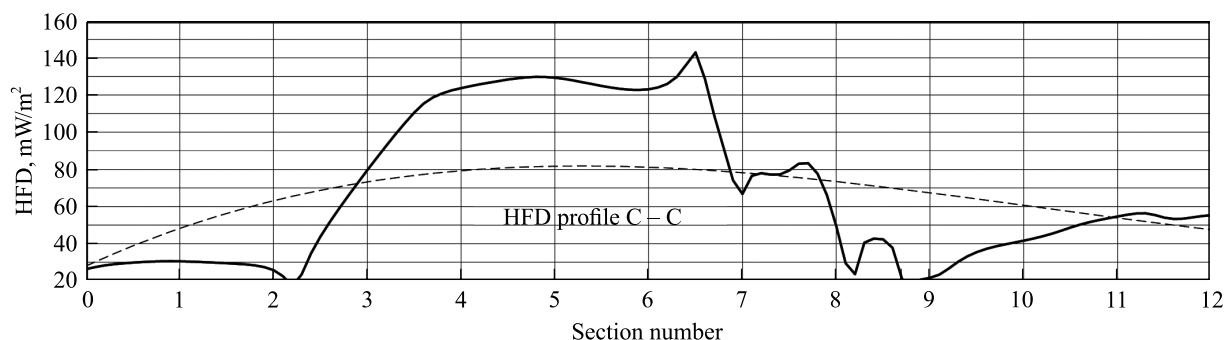


Fig. 14. Heat flow density profile C – C

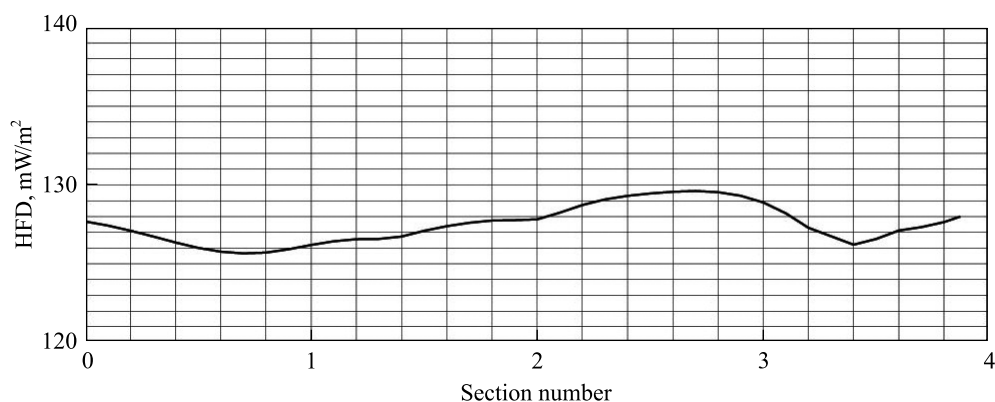


Fig. 15. Heat flow density profile A – B

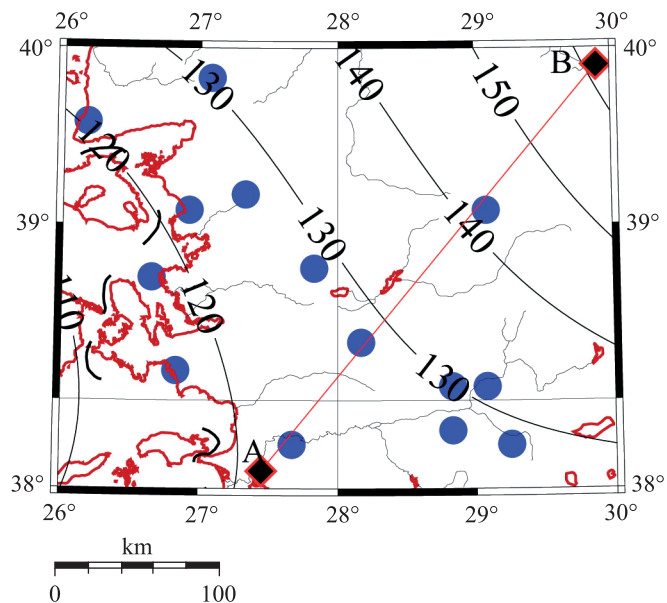


Fig. 16. Western Turkey trend of heat flow density variation:
blue closed circles show locations of boreholes with studied heat flow

Conclusion

A new map of heat flow density distribution was compiled both for the central part of the Alpine-Himalayan Belt including marine areas of the eastern Mediterranean and Black seas, Anatolian Plate, Crimea and adjoining onshore zones of the countries adjacent to the sea: eastern Bulgaria, Romania, Moldova, western Georgia, southern Ukraine, and Russia. The map shows a wide range of heat flow variations from as low as less than 30 and as high as more than 100–150 mW/m². The highest anomaly with individual HFD values exceeding

100–140 mW/m² exists within the western part of the Anatolian Plate, which belongs to the Alpine crustal folding and evidences the extensional tectonics. Lower values within the region of 20–40 mW/m² are typical for the Eastern Mediterranean, Cyprus and the Black Sea Basin. Heat flow data from the Eastern Mediterranean region indicates an extensive area of low heat flow, spreading over the whole basin of the Mediterranean east of Crete (Levantine Sea), Cyprus, and Northern Egypt. The trend apparently correlates with an increase in crustal thickness, which is about 23 km at the northwestern base of the Nile-Delta cone, and close to 40 km beneath Israel. The high heat flow anomaly, observed within the western Turkey, represents young tectono-thermal activated crustal blocks of the Alpine-Himalayan Mobile Belt.

The western Turkey is one of countries rich in geothermal potential within the high heat flow anomaly. Fractured rocks represent ways for deep penetration of atmospheric waters where they are heated by hot rocks and form water steam reservoirs along deep crustal faults. This natural resource of water steam is already used to produce «geothermal» electricity. In result, a significant progress was achieved in Turkey during last decades both in electricity production and in direct use of geothermal energy.

The Black Sea Basin is distinguished by an appreciable minimum in heat flow density (20–40 mW/m²) when compared to neighboring structures of the Alpine Belt. The observed heat flow decrease is mainly a result of the blanketing effect caused by rapid accumulation of young Pliocene-Quaternary sediments whose thickness reaches several kilometers here according to different estimates. This is clearly confirmed by the dependence of heat flow density on the thickness of sediments of different ages. The heat flow values corrected for the effect of sedimentation are 45–55 mW/m². The upper mantle contribution is 35–40 mW/m². Nearly the same Moho heat flow values are typical characteristic for the surrounding Alpine-type structures.

Библиографические ссылки

1. Göncüoğlu MC, Marroni M, Sayit K, Tekin UK, Ottria G, Pandolfi L, Ellero A. The Ayli Dağ ophiolite sequence (Central-Northern Turkey): a fragment of Middle Jurassic oceanic lithosphere within the Intra-Pontide suture zone. *Ophioliti*. 2012;37(2):77–92.
2. Okay AI, Tüysüz O. Tethyan sutures of northern Turkey. In: Durand B, Jolivet L, Horváth M, Séranne F, editors. *The Mediterranean basin: tertiary extension within the Alpine orogen*. London: Geological Society; 1999. p. 475–515. (Geological Society, London, Special Publications; volume 156).
3. Sengör AMC, Yılmaz Y. Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach. *Tectonophysics*. 1981;75:181–241.
4. Okay AI, Şahintürk Ö. Geology of the Eastern Pontides. In: Robinson AG, editor. *Regional and petroleum geology of the Black Sea and surrounding regions*. [S. l.]: Tulsa; 1997. p. 291–311. (AAPG Memoir; 68). DOI: 10.1306/M68612C15.
5. Görür N, Monod O, Okay AI, Sengör AMC, Tüysüz O, Yigitbas E, et al. Palaeogeographic and tectonic position of the Carboniferous rocks of the western Pontides (Turkey) in frame of the Variscan belt. *Bulletin de la Société Géologique de France*. 1997; 168(2):197–205.
6. Yılmaz Y, Serdar HS, Genc C, Yigitbas E, Gürer ÖF, Elmas A, et al. The geology and evolution of the Tokat Massif, south central Pontides, Turkey. *International Geology Review*. 1997;39(4):365–382. DOI: 10.1080/00206819709465278.
7. Koçyigit A. An example of an accretionary forearc basin from northern Central Anatolia and its implications for the history of subduction of Neo-Tethys in Turkey. *Geological Society of America Bulletin*. 1991;103(1):22–36. DOI: 10.1130/0016-7606(1991)103<0022:AEOAAF>2.3.CO;2.
8. Görür N, Tüysüz O, Sengör AMC. Tectonic evolution of the central Anatolian basins. *International Geology Review*. 1998; 40(9):831–850.
9. Aldanmaza E, Pearce JA, Thirlwall MF, Mitchell JG. Petrogenetic evolution of late Cenozoic, post-collision volcanism in western Anatolia, Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 2000;102:67–95.
10. Keskin M. Magma generation by slab steepening and breakoff beneath a subduction-accretion complex: an alternative model for collision-related volcanism in Eastern Anatolia, Turkey. *Geophysical Research Letters*. 2003;30(24):8046. DOI: 10.1029/2003GL018019.
11. Boztuğ D, Otlı N, Tatar S. Geological and petrological remarks revealing the differential tectonic uplift in the exhumation history of the collision-related central Anatolian intrusives, Turkey. In: Şengör AMC, editor. *Tectonic Evolution of the Tethyan Region*. Dordrecht: Kluwer Academic Publications; 1989. p. 109–116. (NATO ASI series; volume 259). DOI: https://doi.org/10.1007/978-94-009-2253-2_6.
12. Altunkaynak S, Dilek Y. Timing and nature of postcollisional volcanism in western Anatolia and geodynamic implications. In: Dilek Y, Pavlides S. *Postcollisional Tectonics and Magmatism in the Mediterranean Region and Asia*. [S. l.]: Geological Society of America; 2006. (Special Paper of the Geological Society of America; volume 409). DOI: 10.1130/2006.2409(17).
13. Okay AI. Tectonic units and sutures in the Pontides, northern Turkey. In: Şengör AMC, editor. *Tectonic Evolution of the Tethyan Region*. Dordrecht: Kluwer Academic Publications; 1989. p. 109–116. (NATO ASI series; volume 259). DOI: https://doi.org/10.1007/978-94-009-2253-2_6.
14. Okay AI, Satir M. Coeval plutonism and metamorphism in a latest Oligocene metamorphic core complex in northwest Turkey. *Geological Magazine*. 2000;137(5):495–516. DOI: 10.1017/S0016756800004532.
15. Altherr R, Schliestedt M, Okrusch M, Seidel E, Kreuzer H, Harre W. Geochronology of high pressure rocks on Sifnos (Cyclades, Greece). *Contributions to Mineralogy and Petrology*. 1979;70(3):245–255. DOI: 10.1007/BF00375354.
16. Avigad D, Garfunkel Z. Low-angle faults above and below a blueschist belt – Tinos Island, Cyclades, Greece. *Terra Nova*. 1989;1(2):182–187. DOI: 10.1111/j.1365-3121.1989.tb00350.x.
17. Avigad D, Garfunkel Z. Uplift and exhumation of high-pressure metamorphic terrains: the example of the Cycladic blueschist belt (Aegean Sea). *Tectonophysics*. 1991;188(3–4):357–372. DOI: 10.1016/0040-1951(91)90464-4.

18. Oberhänsli R, Partzsch JH, Candan O, Çetinkaplan M. First occurrence of Fe-Mg-carniolite documenting a high-pressure metamorphism of the Lycian Nappes, SW Turkey. *International Journal of Earth Sciences*. 2001;89(4):867–873. DOI: 10.1007/s005310000103.
19. Okay AI. Stratigraphic and metamorphic inversions in the central Menderes Massif: a new structural model. *International Journal of Earth Sciences*. 2001;89(4):709–727. DOI: 10.1007/s005310000098.
20. Dilek Y, Whitney DL. Counterclockwise P-T-t trajectory from the metamorphic sole of a Neo-Tethyan ophiolite (Turkey). *Tectonophysics*. 1997;280(3–4):295–310. DOI: 10.1016/S0040-1951(97)00038-3.
21. Şengör AMC, Satir M & Akkürk R. Timing of tectonic events in the Menderes Massif, western Turkey. Implications for tectonic evolution and evidence for Pan-African basement in Turkey. *Tectonics*. 1984;3(7):693–707. DOI: 10.1029/TC003i007p00693.
22. Whitney DL, Dilek Y. Core complex development in Central Anatolia, Turkey. *Geology*. 1997;25(11):1023–1026. DOI: 10.1130/0091-7613(1997)025<1023:CCDICA>2.3.CO;2.
23. Okay AI, Tansel I, Tüysüz O. Obduction, subduction, and collision as reflected in the Upper Cretaceous – Lower Eocene sedimentary record of western Turkey. *Geological Magazine*. 2001;138(2):117–142.
24. Bozkurt E. Extensional vs contractional origin for the Southern Menderes Shear Zone, southwest Turkey. Tectonic and metamorphic implications. *Geological Magazine*. 2007;144:191–210.
25. Kutas RI, Kobolev VP, Tsvyashchenko VA. Heat flow and geothermal model of the Black Sea depression. *Tectonophysics*. 1998;291(1–4):91–100. DOI: 10.1016/S0040-1951(98)00033-X.
26. Маловицкий ЮП, Непрочнов ЮП, редакторы. *Структура западной части Черноморского бассейна*. Москва: Наука; 1972. [244 с.].
27. Finetti I, Bricchi G, Del Ben A, Pipan M, Xuan Z. Geophysical study of the Black Sea area. *Bolletino di Geofisica Teorica ed Applicata*. 1988;30:197–324.
28. Okay AI, Şengör AMC, Görür N. Kinematic history of the opening of the Black Sea and its effect on the surrounding regions. *Geology*. 1994;22(3):267–270. DOI: 10.1130/0091-7613(1994)022<0267:KHOTOO>2.3.CO;2.
29. Ustaömer T, Robertson AHF. Tectonic sedimentary evolution of the North Tethyan margin in the central Pontides of Northern Turkey. In: Robinson AG, editor. *Regional and petroleum geology of the Black Sea and surrounding regions*. [S. l.]: Tulsa; 1997. p. 255–290. (AAPG Memoir; 68).
30. Tüysüz O. Geology of the cretaceous sedimentary basins of the Western Pontides. *Geology*. 1999;34(1–2):75–93. DOI: 10.1002/(SICI)1099-1034(199901/06)34:1/2<75::AID-GJ815>3.0.CO;2-S.
31. Hippolyte JC, Müller C, Kaymakci N, Sangu E. Dating of the Black Sea basin: new nannoplankton ages from its inverted margin in the Central Pontides (Turkey). In: Sosson M, Kaymakci N, Stephenson RA, Bergerat F, Starostenko V, editors. *Sedimentary basin tectonics from the Black Sea and Caucasus to the Arabian Platform*. [S. l.]: Geological Society of London; 2010. p. 113–136. (Geological Society, London, Special Publications; volume 340). DOI: <http://dx.doi.org/10.1144/SP340.7>.
32. Кутас РИ. Анализ термомеханических моделей эволюции осадка Черного моря. *Геофизический журнал*. 2003;25(2):36–47.
33. Khriachtchevskaya O, Stovba S, Stephenson R. Cretaceous – neogene tectonic evolution of the northern margin of the Black Sea from seismic reflection data and tectonic subsidence analysis. In: Sosson M, Kaymakci N, Stephenson RA, Bergerat F, Starostenko V, editors. *Sedimentary basin tectonics from the Black Sea and Caucasus to the Arabian Platform*. [S. l.]: Geological Society of London; 2010. p. 137–157. (Geological Society, London, Special Publications; volume 340). DOI: 10.1144/SP340.8.
34. Stephenson RA, Schellart WP. The Black Sea back-arc: insight to its origin from geodynamical models of modern analogues. In: Sosson M, Kaymakci N, Stephenson RA, Bergerat F, Starostenko V, editors. *Sedimentary basin tectonics from the Black Sea and Caucasus to the Arabian Platform*. [S. l.]: Geological Society of London; 2010. p. 11–21. (Geological Society, London, Special Publications; volume 340). DOI: 10.1144/SP340.2.
35. Neprochnov YP, Kosminskaya IP, Malovitsky YP. Structure of the crust and upper mantle of the Black and Caspian Seas. *Tectonophysics*. 1970;10:517–538.
36. Афанасенков АП, Никишин АМ, Обухов АВ. *Восточно-Черноморский бассейн: геологическое строение и углеводородный потенциал*. Москва: Научный мир; 2007. 172 с.
37. Starostenko V, Buryanov V, Makarenko I, Rusakov O, Stephenson R, Nikishin A, et al. Topography of the crust-mantle boundary beneath the Black Sea Basin. *Tectonophysics*. 2004;381(1–4):211–233.
38. Jones MT, Chairman F, GEBCO Sub-Committee on Digital Bathymetry, editors. User Guide to the GEBCO Digital Atlas and its data sets [Internet; cited 2019 June 14]. [S. l.]: Natural Environment Research Council; 1997. 179 p. Available from: https://www.bodc.ac.uk/projects/data_management/international/gebco/gebco_digital_atlas/gda_development/documents/manual.pdf.
39. Smith WHF, Sandwell DT. Measured and estimated seafloor topography (version 4.2). World Data Centre-A for Marine Geology and Geophysics Research Publication. 1997a. RP-1.
40. Smith WHF, Sandwell DT. Global sea floor topography from satellite altimetry and ship depth soundings. *Science*. 1997;277(5334):1957–1962. DOI: 10.1126/science.277.5334.1956.
41. Любимова ЕА, Никитина ВН, Томара ГА. *Термальные поля внутренних и окраинных морей СССР*. Москва: Наука; 1976. 214 с.
42. Morgan P. Cyprus heat flow with comments on the thermal regime of the Eastern Mediterranean. In: Čermák V, Rybach L, editors. *Terrestrial Heat Flow in Europe*. Berlin: Springer; 1979. p. 144–151. DOI: 10.1007/978-3-642-95357-6_13.
43. Morgan P. Porosity determinations and the thermal conductivity of rock fragments with application to heat flow on Cyprus. *Earth and Planetary Science Letters*. 1975;26:253–262.
44. Erickson AJ. *The measurement and interpretation of heat flow in the Mediterranean and Black Sea* [PhD thesis]. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology; 1970.
45. Ryan WBF. *The floor of the Mediterranean Sea* [PhD thesis]. New York: Columbia University; 1969. 196 p.
46. Hurtig E, Haenel R, Zui V, et al. *Geothermal Atlas of Europe*. Gotha: International Association for Seismology and Physics of the Earth's Interior. 1991. 156 p. 36 maps.
47. Langseth MG. Techniques of measuring heat flow through the ocean floor. In: Lee WHK, editor. *Terrestrial Heat Flow in Europe*. Washington: American Geophysical Union; 1965. p. 55–77.
48. Von Herzen RP, Maxwell AE. The measurement of thermal conductivity of deep-sea sediments by a needle-probe method. *Journal of Geophysical Research*. 1959;64:1557–1563.
49. Pfister M, Rybach L, Simsek S. Geothermal reconnaissance of the Marmara Sea region (NW Turkey). Surface heat flow density in an area of active continental extension. *Tectonophysics*. 1998;291(1–4):77–89. DOI: 10.1016/S0040-1951(98)00032-8.

50. Казанцев СА. Разработка и использование технико-методического комплекса: для геотермальных исследований [Интернет; процитировано 5 мая 2016 г.]. Доступно по: <http://dlib.rsl.ru/loader/view/01000092000?get=pdf>.
51. Кондюрин АВ, Сочельников ВВ. Геотермальное течение в западной части Черного моря. *Океанология*. 1983;23:622–627.
52. Кутас РИ. Геотермальные условия в бассейне Черного моря и его прилегающие районы. *Геофизический журнал*. 2010; 32(6):135–138.
53. Dolton GL. *Pannonian Basin Province, Central Europe (Province 4808) – Petroleum geology, total petroleum systems, and petroleum resource assessment. Bulletin 2204-B*. Reston, Virginia: U. S. Geological Survey; 2006. 47 p.
54. Erickson AJ, von Herzen RE. Downhole temperature measurements and heat flow data in the Black Sea – DSDP leg 42B. *DSDP Initial Reports*. 1978;42(part 2):1085–1103. DOI: 10.2973/dsdpr.proc.42-2.152.1978.
55. Голышток АЮ, Золотарев ВГ. Глубинный тепловой поток бассейна Черного моря. *Доклады Академии наук СССР*. 1980; 254:956–959.
56. Кобзарь ВМ. Тепловой поток и блочная структура литосферы Черноморской впадины. *Геофизический журнал*. 1987; 8:90–94.
57. Кутас РИ, Гордиенко ВВ. *Тепловое поле Украины*. Киев: Наукова думка; 1971. 140 с.
58. Гордиенко ВВ, Гордиенко ИВ, Завгородняя ОВ, Усенко ОВ. *Тепловое поле территории Украины*. Киев: Знання; 2002. 170 с.
59. McClusky S, Balassanian S, Barka A, Demir C, Ergintav S, Georgiev I, et al. Global Positioning System constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean and Caucasus. *Journal of Geophysical Research*. 2000;105(B3):5695–5719.
60. McClusky S, Reilinger R, Mahmoud S, Ben Sari D, Tealeb A. GPS constraints on Africa (Nubia) and Arabia plate motions. *Geophysical Journal International*. 2003;155:126–138. DOI: 10.1046/j.1365-246X.2003.02023.x.
61. Mertoglu O, Simsek S, Basarir N. Geothermal Country Update Report of Turkey (2010–2015). In: *Proceedings World Geothermal Congress; 2015 April 19–25; Melbourne, Australia*. No. 01046.
62. Simsek S. *Main Geothermal fields of Western Anatolia, Jeothermal Çalışmalar artıyor*. Istanbul: Yer Mühendisliği BİT; 2014.
63. Yilmazer S. *Bati Anadolu'nun Olası Jeothermal Potansiyelinin Belirlenmesi, Türkiye 11. Enerji Kongresi*. Izmir: Tepekule Kongre Merkezi; 2009.
64. TJD. *Geothermal Energy Development Report*. Ankara: Turkish Geothermal Association (TJD); 2013.

References

1. Göncüoğlu MC, Marroni M, Sayit K, Tekin UK, Ottria G, Pandolfi L, Ellero A. The Ayli Dağ ophiolite sequence (Central-Northern Turkey): a fragment of Middle Jurassic oceanic lithosphere within the Intra-Pontide suture zone. *Ofoliti*. 2012;37(2):77–92.
2. Okay AI, Tüysüz O. Tethyan sutures of northern Turkey. In: Durand B, Jolivet L, Horváth M, Séranne F, editors. *The Mediterranean basin: tertiary extension within the Alpine orogen*. London: Geological Society; 1999. p. 475–515. (Geological Society, London, Special Publications; volume 156).
3. Sengör AMC, Yilmaz Y. Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach. *Tectonophysics*. 1981;75:181–241.
4. Okay AI, Şahintürk Ö. Geology of the Eastern Pontides. In: Robinson AG, editor. *Regional and petroleum geology of the Black Sea and surrounding regions*. [S. l.]: Tulsa; 1997. p. 291–311. (AAPG Memoir; 68). DOI: 10.1306/M68612C15.
5. Görür N, Monod O, Okay AI, Sengör AMC, Tüysüz O, Yigitbas E, et al. Palaeogeographic and tectonic position of the Carboniferous rocks of the western Pontides (Turkey) in frame of the Variscan belt. *Bulletin de la Société Géologique de France*. 1997; 168(2):197–205.
6. Yilmaz Y, Serdar HS, Genc C, Yigitbas E, Gürer ÖF, Elmas A, et al. The geology and evolution of the Tokat Massif, south central Pontides, Turkey. *International Geology Review*. 1997;39(4):365–382. DOI: 10.1080/00206819709465278.
7. Koçyiğit A. An example of an accretionary forearc basin from northern Central Anatolia and its implications for the history of subduction of Neo-Tethys in Turkey. *Geological Society of America Bulletin*. 1991;103(1):22–36. DOI: 10.1130/0016-7606(1991)103<0022:AE0AAF>2.3.CO;2.
8. Görür N, Tüysüz O, Sengör AMC. Tectonic evolution of the central Anatolian basins. *International Geology Review*. 1998; 40(9):831–850.
9. Aldanmaza E, Pearce JA, Thirlwall MF, Mitchell JG. Petrogenetic evolution of late Cenozoic, post-collision volcanism in western Anatolia, Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 2000;102:67–95.
10. Keskin M. Magma generation by slab steepening and breakoff beneath a subduction-accretion complex: an alternative model for collision-related volcanism in Eastern Anatolia, Turkey. *Geophysical Research Letters*. 2003;30(24):8046. DOI: 10.1029/2003GL018019.
11. Boztuğ D, Otlu N, Tatar S. Geological and petrological remarks revealing the differential tectonic uplift in the exhumation history of the collision-related central Anatolian intrusives, Turkey. In: Chatzipetros AA, Pavlides SB, editors. *Proceedings of 5th International Symposium on Eastern Mediterranean Geology; 2004 April 14–20; Thessaloniki, Greece*. [S. l.]: International Symposium on Eastern Mediterranean Geology; 2004. p. 45–48.
12. Altunkaynak S., Dilek Y. Timing and nature of postcollisional volcanism in western Anatolia and geodynamic implications. In: Dilek Y, Pavlides S. *Postcollisional Tectonics and Magmatism in the Mediterranean Region and Asia*. [S. l.]: Geological Society of America; 2006. (Special Paper of the Geological Society of America; volume 409). DOI: 10.1130/2006.2409(17).
13. Okay AI. Tectonic units and sutures in the Pontides, northern Turkey. In: Sengör AMC, editor. *Tectonic Evolution of the Tethyan Region*. Dordrecht: Kluwer Academic Publications; 1989. p. 109–116. (NATO ASI series; volume 259). DOI: https://doi.org/10.1007/978-94-009-2253-2_6.
14. Okay AI, Satir M. Coeval plutonism and metamorphism in a latest Oligocene metamorphic core complex in northwest Turkey. *Geological Magazine*. 2000;137(5):495–516. DOI: 10.1017/S0016756800004532.
15. Altherr R, Schliestedt M, Okrusch M, Seidel E, Kreuzer H, Harre W. Geochronology of high pressure rocks on Sifnos (Cyclades, Greece). *Contributions to Mineralogy and Petrology*. 1979;70(3):245–255. DOI: 10.1007/BF00375354.
16. Avigad D, Garfunkel Z. Low-angle faults above and below a blueschist belt – Tinos Island, Cyclades, Greece. *Terra Nova*. 1989;1(2):182–187. DOI: 10.1111/j.1365-3121.1989.tb00350.x.
17. Avigad D, Garfunkel Z. Uplift and exhumation of high-pressure metamorphic terrains: the example of the Cycladic blueschist belt (Aegean Sea). *Tectonophysics*. 1991;188(3–4):357–372. DOI: 10.1016/0040-1951(91)90464-4.

18. Oberhänsli R, Partzsch JH, Candan O, Çetinkaplan M. First occurrence of Fe-Mg-capolite documenting a high-pressure metamorphism of the Lycian Nappes, SW Turkey. *International Journal of Earth Sciences*. 2001;89(4):867–873. DOI: 10.1007/s005310000103.
19. Okay AI. Stratigraphic and metamorphic inversions in the central Menderes Massif: a new structural model. *International Journal of Earth Sciences*. 2001;89(4):709–727. DOI: 10.1007/s005310000098.
20. Dilek Y, Whitney DL. Counterclockwise P-T-t trajectory from the metamorphic sole of a Neo-Tethyan ophiolite (Turkey). *Tectonophysics*. 1997;280(3–4):295–310. DOI: 10.1016/S0040-1951(97)00038-3.
21. Şengör AMC, Satir M & Akkürk R. Timing of tectonic events in the Menderes Massif, western Turkey. Implications for tectonic evolution and evidence for Pan-African basement in Turkey. *Tectonics*. 1984;3(7):693–707. DOI: 10.1029/TC003i007p00693.
22. Whitney DL, Dilek Y. Core complex development in Central Anatolia, Turkey. *Geology*. 1997;25(11):1023–1026. DOI: 10.1130/0091-7613(1997)025<1023:CCDICA>2.3.CO;2.
23. Okay AI, Tansel I, Tüysüz O. Obduction, subduction, and collision as reflected in the Upper Cretaceous – Lower Eocene sedimentary record of western Turkey. *Geological Magazine*. 2001;138(2):117–142.
24. Bozkurt E. Extensional vs contractional origin for the Southern Menderes Shear Zone, southwest Turkey. Tectonic and metamorphic implications. *Geological Magazine*. 2007;144:191–210.
25. Kutas RI, Kobolev VP, Tsvyashchenko VA. Heat flow and geothermal model of the Black Sea depression. *Tectonophysics*. 1998;291(1–4):91–100. DOI: 10.1016/S0040-1951(98)00033-X.
26. Malovitsky YP, Neprochnov YP, editors. *Struktura zapadnoi chasti Chernomorskogo basseina* [Structure of the western part of the Black Sea Basin]. Moscow: Nauka; 1972. [244 p.]. Russian.
27. Finetti I, Bricchi G, Del Ben A, Pipan M, Xuan Z. Geophysical study of the Black Sea area. *Bolletino di Geofisica Teorica ed Applicata*. 1988;30:197–324.
28. Okay AI, Sengör AMC, Görür N. Kinematic history of the opening of the Black Sea and its effect on the surrounding regions. *Geology*. 1994;22(3):267–270. DOI: 10.1130/0091-7613(1994)022<0267:KHOTOO>2.3.CO;2.
29. Ustaömer T, Robertson AHF. Tectonic sedimentary evolution of the North Tethyan margin in the central Pontides of Northern Turkey. In: Robinson AG, editor. *Regional and petroleum geology of the Black Sea and surrounding regions*. [S. l.]: Tulsa; 1997. p. 255–290. (AAPG Memoir; 68).
30. Tüysüz O. Geology of the cretaceous sedimentary basins of the Western Pontides. *Geology*. 1999;34(1–2):75–93. DOI: 10.1002/(SICI)1099-1034(199901/06)34:1/2<75::AID-GJ815>3.0.CO;2-S.
31. Hippolyte JC, Müller C, Kaymakci N, Sangu E. Dating of the Black Sea Basin: new nannoplankton ages from its inverted margin in the Central Pontides (Turkey). In: Sosson M, Kaymakci N, Stephenson RA, Bergerat F, Starostenko V, editors. *Sedimentary basin tectonics from the Black Sea and Caucasus to the Arabian Platform*. [S. l.]: Geological Society of London; 2010. p. 113–136. (Geological Society, London, Special Publications; volume 340). DOI: <http://dx.doi.org/10.1144/SP340.7>.
32. Kutas RI. [Analysis of thermo-mechanic models of the Black Sea sedimentary evolution]. *Geofizicheskii zhurnal*. 2003;25(2):36–47. Russian.
33. Khriachtchevskaya O, Stovba S, Stephenson R. Cretaceous – neogene tectonic evolution of the northern margin of the Black Sea from seismic reflection data and tectonic subsidence analysis. In: Sosson M, Kaymakci N, Stephenson RA, Bergerat F, Starostenko V, editors. *Sedimentary basin tectonics from the Black Sea and Caucasus to the Arabian Platform*. [S. l.]: Geological Society of London; 2010. p. 137–157. (Geological Society, London, Special Publications; volume 340). DOI: 10.1144/SP340.8.
34. Stephenson RA, Schellart WP. The Black Sea back-arc: insight to its origin from geodynamical models of modern analogues. In: Sosson M, Kaymakci N, Stephenson RA, Bergerat F, Starostenko V, editors. *Sedimentary basin tectonics from the Black Sea and Caucasus to the Arabian Platform*. [S. l.]: Geological Society of London; 2010. p. 11–21. (Geological Society, London, Special Publications; volume 340). DOI: 10.1144/SP340.2.
35. Neprochnov YP, Kosminskaya IP, Malovitsky YP. Structure of the crust and upper mantle of the Black and Caspian Seas. *Tectonophysics*. 1970;10:517–538.
36. Afanasenkov AP, Nikishin AM, Obukhov AV. *Vostochno-Chernomorskii bassein: geologicheskoe stroenie i uglevodorodnyi potential* [The eastern Black Sea Basin: geological structure and hydrocarbon potential]. Moscow: Nauchnyi mir; 2007. 172 p. Russian.
37. Starostenko V, Buryanov V, Makarenko I, Rusakov O, Stephenson R, Nikishin A, et al. Topography of the crust-mantle boundary beneath the Black Sea Basin. *Tectonophysics*. 2004;381(1–4):211–233.
38. Jones MT, Chairman F, GEBCO Sub-Committee on Digital Bathymetry, editors. User Guide to the GEBCO Digital Atlas and its data sets [Internet; cited 2019 June 14]. [S. l.]: Natural Environment Research Council; 1997. 179 p. Available from: https://www.bodc.ac.uk/projects/data_management/international/gebco/gebco_digital_atlas/gda_development/documents/manual.pdf.
39. Smith WHF, Sandwell DT. Measured and estimated seafloor topography (version 4.2). World Data Centre-A for Marine Geology and Geophysics Research Publication. 1997a. RP-1.
40. Smith WHF, Sandwell DT. Global sea floor topography from satellite altimetry and ship depth soundings. *Science*. 1997;277(5334):1957–1962. DOI: 10.1126/science.277.5334.1956.
41. Lubimova EA, Nikitina VN, Tomara GA. *Termal'nye polya vnutrennikh i okrainnykh morei SSSR* [Thermal fields of inner and marginal seas of the USSR]. Moscow: Nauka; 1976. 214 p. Russian.
42. Morgan P. Cyprus heat flow with comments on the thermal regime of the Eastern Mediterranean. In: Čermák V, Rybach L, editors. *Terrestrial Heat Flow in Europe*. Berlin: Springer; 1979. p. 144–151. DOI: 10.1007/978-3-642-95357-6_13.
43. Morgan P. Porosity determinations and the thermal conductivity of rock fragments with application to heat flow on Cyprus. *Earth and Planetary Science Letters*. 1975;26:253–262.
44. Erickson AJ. *The measurement and interpretation of heat flow in the Mediterranean and Black Sea* [PhD thesis]. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology; 1970.
45. Ryan WBF. *The floor of the Mediterranean Sea* [PhD thesis]. New York: Columbia University; 1969. 196 p.
46. Hurtig E, Haenel R, Zui V, et al. *Geothermal Atlas of Europe*. Gotha: International Association for Seismology and Physics of the Earth's Interior. 1991. 156 p. 36 maps.
47. Langseth MG. Techniques of measuring heat flow through the ocean floor. In: Lee WHK, editor. *Terrestrial Heat Flow in Europe*. Washington: American Geophysical Union; 1965. p. 55–77.
48. Von Herzen RP, Maxwell AE. The measurement of thermal conductivity of deep-sea sediments by a needle-probe method. *Journal of Geophysical Research*. 1959;64:1557–1563.

49. Pfister M, Rybach L, Simsek S. Geothermal reconnaissance of the Marmara Sea region (NW Turkey). Surface heat flow density in an area of active continental extension. *Tectonophysics*. 1998;291(1–4):77–89. DOI: 10.1016/S0040-1951(98)00032-8.
50. Kazantsev SA. [Development and utilization of equipment-methodical complex: for geothermal investigations] [Internet; cited 2016 May 5]. Available from: <http://dlib.rsl.ru/loader/view/01000092000?get=pdf>. Russian.
51. Kondiurin AB, Sochelnikov VV. [Geothermal flow in western part of the Black Sea]. *Okeanologiya*. 1983;23:622–627. Russian.
52. Kutas RI. Geothermal conditions of the Black Sea Basin and its surroundings. *Geofizicheskii zhurnal*. 2010;32(6):135–138. Russian.
53. Dolton GL. *Pannonian Basin Province, Central Europe (Province 4808) – Petroleum geology, total petroleum systems, and petroleum resource assessment. Bulletin 2204-B*. Reston, Virginia: U. S. Geological Survey; 2006. 47 p.
54. Erickson AJ, von Herzen RE. Downhole temperature measurements and heat flow data in the Black Sea – DSDP leg 42B. *DSDP Initial Reports*. 1978;42(part 2):1085–1103. DOI: 10.2973/dsdproc.42-2.152.1978.
55. Golmshtok AJ, Zolotarev VG. [Deep-seated heat flow of the Black Sea Basin]. *Doklady Akademii nauk SSSR*. 1980;254:956–959. Russian.
56. Kobzar VM. [Heat flow and block structure of the lithosphere of the Black Sea depression]. *Geofizicheskii zhurnal*. 1987;8:90–94. Russian.
57. Kutas RI, Gordienko VV. *Teplovoe pole Ukrainy* [Thermal field of Ukraine]. Kiev: Naukova dumka; 1971. 140 p. Russian.
58. Gordienko VV, Gordienko IV, Zavgorodnyaya OV, Usenko OV. *Teplovoe pole territorii Ukrainy* [Thermal field of the territory of Ukraine]. Kiev: Znannya; 2002. 170 p. Russian.
59. McClusky S, Balassanian S, Barka A, Demir C, Ergintav S, Georgiev I, et al. Global Positioning System constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean and Caucasus. *Journal of Geophysical Research*. 2000;105(B3):5695–5719.
60. McClusky S, Reilinger R, Mahmoud S, Ben Sari D, Tealeb A. GPS constraints on Africa (Nubia) and Arabia plate motions. *Geophysical Journal International*. 2003;155:126–138. DOI: 10.1046/j.1365-246X.2003.02023.x.
61. Mertoglu O, Simsek S, Basarir N. Geothermal Country Update Report of Turkey (2010–2015). In: *Proceedings World Geothermal Congress; 2015 April 19–25; Melbourne, Australia*. No. 01046.
62. Simsek S. *Main Geothermal fields of Western Anatolia, Jeotermal Çalışmalar artıyor*. Istanbul: Yer Mühendisliği BİT; 2014.
63. Yilmazer S. *Bati Anadolu'nun Olası Jeotermal Potansiyelinin Belirlenmesi, Türkiye 11. Enerji Kongresi*. Izmir: Tepekule Kongre Merkezi; 2009.
64. TJD. *Geothermal Energy Development Report*. Ankara: Turkish Geothermal Association (TJD); 2013.

Received by editorial board 18.06.2019.

НАУЧНЫЙ ФОРУМ МЕЖДУНАРОДНОЙ АССОЦИАЦИИ ЛАНДШАФТНОЙ ЭКОЛОГИИ SCIENTIFIC FORUM OF THE INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR LANDSCAPE ECOLOGY

С 1 по 5 июля 2019 г. в Милане, городе с богатым историческим наследием, одним из крупнейших промышленных и культурных центров и транспортных узлов современной Италии, проходил X Всемирный конгресс Международной ассоциации ландшафтной экологии (*International Association for Landscape Ecology*, IALE). Форум проводился в Миланском университете Бикокка (*Università degli Studi di Milano-Bicocca*) – многопрофильном высшем учебном заведении, занимающемся подготовкой специалистов в области естественных наук, экономики, экологического менеджмента, туризма и окружающей среды, а также научными исследованиями в этих отраслях знаний.

В работе конгресса приняли участие более 700 представителей 64 стран, что свидетельствует не только об актуальности, но и о практической значимости результатов ландшафтно-экологических исследований для достижения целей и задач устойчивого развития в различных регионах мира в условиях возрастающих экологических рисков, обусловленных природными и антропогенными факторами.

Отличительной особенностью ландшафтной экологии как научной отрасли знаний является изучение и анализ пространственных различий и структурно-функциональной организации природных систем и их антропогенно-преобразованных вариантов. При этом особое внимание уделяется определению биофизических, социальных и экономических причин и последствий ландшафтной неоднородности. Следует признать, что ландшафтная экология, несмотря на близость целей с классическим ландшафтоведением, получившим развитие в постсоветских странах, имеет ряд существенных концептуальных и методоло-

гических отличий. Прежде всего в ландшафтной экологии преобладает принцип биоцентричности, а применяемый при этом биоэкологический подход нацелен на выявление пространственного аспекта функционирования местообитаний и динамики экосистем. Существенное значение придается пространственным отношениям, а также взаимосвязям пространственной структуры и протекающих в ландшафте экологических процессов, влиянию последствий землепользования на динамику ландшафтов. При их изучении широко применяются современные методы и подходы, базирующиеся на геоинформационных технологиях, включая дистанционные методы исследований земной поверхности и протекающих в природной среде процессов.

В настоящее время в сфере ландшафтной экологии работают и тесно сотрудничают ученые и специалисты не только в области географии, биологии и экологии, но и территориального планирования, экономики природопользования, геоинформационных систем, природоохранного дела и др. Об этом свидетельствует программа научного конгресса, включавшая широкий спектр вопросов, обсуждение которых проходило в форме заказных пленарных и постерных докладов, симпозиумов, отдельных сессий, круглых столов. В рамках форума были рассмотрены более 20 тематических областей ландшафтно-экологических исследований. К наиболее значимым и широко обсуждаемым можно отнести вопросы, связанные с разработкой теоретико-методологических подходов ландшафтной экологии, оценкой и сохранением ландшафтного и биологического разнообразия, научным обоснованием мероприятий по управлению, планированию и пространственной организации ландшафтов, определением функций и предоставляемых ландшафтами экосистемных услуг, применением

ГИС-технологий для выявления, анализа и оптимального использования ландшафтных структур, экологическим обоснованием проектирования городских территорий, оценкой деградации ландшафтов и экосистем и их последствий.

Наиболее приоритетные направления современной ландшафтной экологии и сферы ее применения были отражены в обзорно-аналитических пленарных докладах, с которыми выступили известные ученые в области влияния климатических изменений на ландшафты (Г. Нагendra (H. Nagendra), Индия), глобальной трансформации ландшафтных структур (Э. Эллис (E. Ellis), США), динамики городских систем в изменяющемся мире (Г. Шане (G. Shane) и Э. Вэлл (E. Wall), Великобритания), мультидисциплинарного характера ландшафтной экологии и его применения при оценке хозяйственной деятельности (Дж. Пакчиони (G. Pacchioni), Италия).

В своем отчетном докладе за 2014–2019 гг. президент IALE профессор К. Фюрст (K. Fürst) из Германии наряду с общей характеристикой и анализом деятельности организации указала на намерение присоединить к IALE в качестве национальных отделений ландшафтно-экологические ассоциации Беларуси, России, Испании и Турции. В настоящее время в нашей республике проводятся внутригосударственные процедуры по созданию такой ассоциации. Одновременно были объявлены результаты выборов исполнительного комитета IALE на период 2020–2024 гг. и сообщено об избрании президентом организации профессора Университета штата Северная Каролина (США) Р. Счелла (R. Schell).

По заказу оргкомитета конгресса белорусские участники В. М. Яцухно (БГУ) и Н. Н. Цыбулько (БелНИИПА) выступили с докладом на тему «Пространственно-временной анализ трансформаций радионуклидного загрязнения агроэкосистем за постчернобыльский период».

Из всего разнообразия тем, рассмотренных на конгрессе, особого внимания заслуживают исследования по оценке предоставляемых ландшафтами экосистемных услуг. Последние вследствие существования различного типа ландшафтов выполняют ассимиляционную, защитную, рекреационную, буферную и компенсационную функции, обеспечивают эстетическую привлекательность ландшафтов, содействуют сохранению природного и культурного наследия и тем самым оказывают положительное воздействие на качество жизнедея-

тельности людей и сохранность самих экосистем. Это заключение существенно расширяет используемую до недавнего времени интерпретацию понятия «природный капитал», согласно которой он воспринимается только как ресурсная категория, обладающая стоимостью, приведенной к мировым ценам на природные ресурсы. Сегодня считается, что природный капитал включает в себя не только ресурсную составляющую, но и широкий спектр предоставляемых экосистемных услуг, необходимых как для самоподдержания природных ресурсов, так и для их рационального использования на разных уровнях организации окружающей среды. Применение ландшафтного подхода при реализации ресурсной концепции позволяет перейти от абсолютизации экономических ценностей к эколого-экономическим приоритетам устойчивого развития, в чем, собственно, и заключается экологический императив. К сожалению, в Республике Беларусь подобный подход еще не нашел широкого применения и находится на стадии обсуждения. Однако его практическая значимость очевидна и требует расширения и ускорения научно-поисковых и прикладных исследований в этой области.

Во время работы конгресса участники могли ознакомиться с библиографическими выставками издательств *Springer, Oxford University Press, Wiley* и др., специализирующихся на выпуске природо-ведческой литературы, в том числе по ландшафтоведению, а также заказать необходимые книги, буклеты, карты и другие виды изданий. Принимающей стороной были организованы весьма насыщенные, интересные и полезные однодневные научные экскурсии в разные регионы Северной Италии, в задачу которых входило ознакомление с практикой рационального использования и охраны ландшафтов различного функционального назначения.

В целом результаты работы X Всемирного конгресса Международной ассоциации ландшафтной экологии подтвердили, что ландшафтная экология сложилась как самостоятельная научная и образовательная дисциплина, имеющая практико-ориентированный характер и играющая ключевую роль в деле оптимизации природопользования, устойчивого развития регионов и конструктивного решения задач гармонических взаимоотношений в системе человек – природная среда.

В. М. Яцухно¹

¹Валентин Минович Яцухно – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, действительный член Международной ассоциации ландшафтной экологии; ведущий научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории экологии ландшафтов факультета географии и геоинформатики БГУ.

Valentin M. Yatsukhno, PhD (agricultural sciences), docent, full member of the International Association for Landscape Ecology; leading researcher at the research laboratory of landscape ecology, faculty of geography and geoinformatics, Belarusian State University.

E-mail: yatsukhno@bsu.by

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

УДК 502.172(476)(082)+008(476)(082)+502/504(476)(082)

Природные и культурные памятники и основные проблемы состояния окружающей среды Беларуси и сопредельных стран [Электронный ресурс] : межвуз. сб. науч. работ студентов, магистрантов, аспирантов и преподавателей геогр. фак. БГУ и БрГУ им. А. С. Пушкина, фак. экол. медицины МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, биол. фак. ВГУ им. П. М. Машерова : в 2 ч. / науч. ред. Я. К. Еловичева [и др.] ; БГУ. Электрон. текстовые дан. Минск : БГУ, 2019. 906 с. : ил. Библиогр. в тексте. Режим доступа: <http://elib.bsu.by/handle/123456789/226580>. Загл. с экрана. Деп. 08.08.2019, № 008408082019.

Данная работа вмещает 37 статей, в которых отражены наиболее актуальные вопросы курсовых, дипломных, магистерских работ студентов и научных исследований преподавателей, рассматривающих природные (геологические разрезы гляциоплейстоцена и голоцена) и культурные памятники региона, а также основные проблемы состояния окружающей среды Беларуси и сопредельных стран. Потребность их публикации в едином сборнике вызвана необходимостью наиболее полно представить взгляд авторов на решение проблем стратиграфии, палеогеографии, ландшафтных исследований, туристско-рекреационного потенциала и экологической оценки состояния компонентов природной среды региона и сопредельных территорий.

Сборник рекомендуется ученым в области палеогеографии, физической географии, экологии, туризма, четвертичной геологии, специалистам производственных геологических организаций при ведении крупномасштабной геологической съемки, а также для обширного круга специалистов-стратиграфов, палеонтологов, палеогеографов, климатологов, палеоэкологов научно-исследовательских и учебных учреждений.

СОДЕРЖАНИЕ

ГЕОГРАФИЯ

<i>Яцухно В. М., Цветнов Е. В.</i> От изучения свойств и функций земель и почв к оценке их экосистемных услуг: обзор	3
<i>Проватар Н. И., Мезенцев К. В., Пальчук М. В.</i> Социальная география публичных пространств: социальная среда vs периферийность	15
<i>Чабанюк В. С., Руденко Л. Г.</i> Программные решения в процессах создания и использования атласных интерактивных карт	25
<i>Жуковская Н. В., Ковальчик Н. В., Власов Б. П., Моленда Т.</i> Пространственная изменчивость содержания тяжелых металлов в макрофитах озер Беларуси	40
<i>Клапчук В. А., Лозинский Р. М.</i> Торговые сети Львовской области	52
<i>Полевой А. Н., Божко Л. Е.</i> Оценка динамики органического углерода чернозема оподзоленного в полевом севообороте при изменении климата	65
<i>Сумак Е. Н., Семёнова И. Г.</i> Циклоническая активность и повторяемость опасных явлений погоды над территорией Беларуси	79
<i>Переведенцев Ю. П., Шанталинский К. М., Шерстюков Б. Г., Николаев А. А.</i> Долгопериодные изменения температуры воздуха в Татарстане и их сценарии в текущем столетии	94

ГЕОЛОГИЯ

<i>Калицкий Т., Санько А. Ф., Трифонов Ю. Ю.</i> Типы речных долин <i>underfit streams</i> на территории Беларуси	108
<i>Акиньемы Л., Зуй В. И.</i> Итоги изучения теплового потока в Нигерии	121
<i>Сиамак Мансури Фар.</i> Геотермическое поле зоны перехода между Анатолийской плитой и Восточно-Европейской платформой	133

ХРОНИКА, ИНФОРМАЦИЯ

Научный форум Международной ассоциации ландшафтной экологии	149
Аннотации депонированных в БГУ работ	151

CONTENTS

GEOGRAPHY

<i>Yatsukhno V. M., Tsvetnov E. V.</i> From studying the properties and functions of land and soil to assessing their ecosystem services: a review	3
<i>Provotar N. I., Mezentssev K. V., Palchuk M. V.</i> Social geography of the public spaces: social environment vs peripherality	15
<i>Chabaniuk V. S., Rudenko L. G.</i> Software solutions in the processes of creating and using atlas interactive maps	25
<i>Zhukovskaya N. V., Kavalchuk N. V., Vlasov B. P., Molenda T.</i> Spatial variations of trace elements contents in macrophytes within Belarusian lakes	40
<i>Klapchuk V. A., Lozynskyy R. M.</i> Retailers of the Lviv region	52
<i>Polevoy A. N., Bozko L. E.</i> Assessment of organic carbon dynamics in podzolized chernozem soil in field crop rotation under the climate change	65
<i>Sumak K. M., Semenova I. G.</i> The cyclonic activity and frequency of dangerous weather phenomena over the territory of Belarus	79
<i>Perevedentsev Yu. P., Shantalinskii K. M., Sherstukov B. G., Nikolaev A. A.</i> Long-period changes of the air temperature in Tatarstan and their forecast till the end of the 21 st century	94

GEOLOGY

<i>Kalicki T., Sanko A. F., Trifonov Yu. Yu.</i> Types of <i>underfit stream</i> valleys on the territory of Belarus	108
<i>Akinyemi L., Zui V. I.</i> Summary of heat flow studies in Nigeria	121
<i>Siamak Mansouri Far.</i> Geothermal field of the transition area between the Anatolian Plate and the East European Platform	133

CHRONICLE, INFORMATION

Scientific forum of the International Association for Landscape Ecology	149
Indicative abstracts of the papers deposited in BSU	151

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. 2019**

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).

Редактор *О. А. Семенец*
Технический редактор *В. В. Пишкова*
Корректор *Л. А. Меркуль*

Подписано в печать 29.11.2019.
Тираж 100 экз. Заказ 470.

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

© БГУ, 2019

**Journal
of the Belarusian State University. Geography and Geology.
No. 2. 2019**

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).

Editor *O. A. Semenets*
Technical editor *V. V. Pishkova*
Proofreader *L. A. Merkul'*

Signed print 29.11.2019.
Edition 100 copies. Order number 470.

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, 2019