

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ГЕОСИСТЕМЫ

REGIONAL GEOSYSTEMS

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

2022. Том 46, № 2

16+

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ГЕОСИСТЕМЫ

2022. Том 46, № 2

До 2020 г. журнал издавался под названием «Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки».

Основан в 1995 г.

Журнал включен в Перечень ВАК рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук (25.00.00 – науки о Земле). Журнал зарегистрирован в Российском индексе научного цитирования (РИНЦ).

В журнале представлены результаты исследований структуры, функционирования, генезиса природных и антропогенно изменённых геосистем регионального уровня.

Учредитель: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет».

Издатель: НИУ «БелГУ», Издательский дом «БелГУ».

Адрес редакции, издателя: 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ ЖУРНАЛА

Главный редактор

Лисецкий Ф.Н., доктор географических наук, профессор кафедры природопользования и земельного кадастра института наук о Земле (НИУ «БелГУ», Белгород, Россия)

Ведущий редактор

Голеусов П.В., доктор географических наук, доцент кафедры природопользования и земельного кадастра института наук о Земле (НИУ «БелГУ», Белгород, Россия)

Ответственный секретарь

Зеленская Е.Я., м.н.с. Федерально-регионального центра аэрокосмического и наземного мониторинга объектов и природных ресурсов НИУ «БелГУ», (Белгород, Россия)

Члены редколлегии:

Витченко А.Н., доктор географических наук, профессор Белорусского государственного университета (Минск, Республика Беларусь)

Геннадиев А.Н., доктор географических наук, профессор МГУ им. М.В. Ломоносова (Москва, Россия)

Тишков А.А., чл.-корр. РАН, доктор географических наук, профессор Института географии РАН (Москва, Россия)

Ермолаев О.П., доктор географических наук, профессор Казанского федерального университета (Казань, Россия)
(по согласованию)

Курочкин С.А., доктор географических наук, профессор Воронежского государственного университета (Воронеж, Россия)

Луно Э.Р., доктор, профессор Университета Миссури (Колумбия, США)

Недялков М.И., чл.-корр. Академии Наук Молдовы, доктор географических наук, профессор Института экологии и географии Академии Наук Молдовы (Кишинев, Республика Молдова)

Хаустов В.В., доктор геолого-минералогических наук, профессор Юго-Западного государственного университета (Курск, Россия)

Хуббарт Дж. А., доктор, профессор Университета Западной Вирджинии (Моргантаун, США)

Чантурия Е.Л., доктор технических наук, профессор НИТУ «МИСиС» (Москва, Россия)

Чендев Ю.Г., доктор географических наук, профессор кафедры природопользования и земельного кадастра института наук о Земле НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)

ISSN 2712-7443 (online)

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). Свидетельство о регистрации средства массовой информации Эл № ФС 77-77841 от 31.01.2020. Выходит 4 раза в год.

Выпускающий редактор В.С. Берегова. Корректура, компьютерная верстка и оригинал-макет Ю.В. Ивахненко. E-mail: goleusov@bsu.edu.ru. Гарнитуры Times New Roman, Arial, Impact. Уч.-изд. л. 17,2. Дата выхода 30.06.2022. Оригинал-макет подготовлен отделом объединенной редакции научных журналов НИУ «БелГУ». Адрес: 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85.

СОДЕРЖАНИЕ

- 147 **Саядян О.Я., Халатян А.А.**
Географическая представленность ландшафтного разнообразия в ботанических садах и дендропарках Армении
- 156 **Чендев Ю.Г., Салова Т.Л., Белеванцев В.Г.**
Пространственное сопряжение «приопушечный чернозем – серая лесная почва в лесу»
как модель позднеголоценовой эволюции почв широколиственно-лесного ландшафта лесостепи
- 173 **Попкова А.К., Идрисов И.А., Пинской В.Н., Ельцов М.В., Борисов А.В.**
Химические свойства и биологическая активность почв на ачкагельских глинах в Восточном Предкавказье
в условиях интенсивной пастбищной нагрузки
- 184 **Сабурина А.А.**
Пространственное развитие внутреннего туризма на территории юго-востока Калининградской области
- 200 **Гусев А.П.**
NDVI как индикатор климатогенных реакций геосистем (на примере юго-востока Беларуси)
- 210 **Бек А.Н.**
Исследование гумусированности почв в агрохронорядках с использованием наземных средств
и данных дистанционного зондирования Земли
- 223 **Липилин Д.А., Евтушенко Д.Д.**
Оценка качества городской среды с применением геоинформационных систем
на примере Московского микрорайона города Краснодара
- 241 **Ямашкин А.А., Ямашкин С.А.**
Синтез и распространение пространственных данных о метагеосистемах для информационной поддержки
управленческих решений
- 254 **Вампилова Л.Б.**
Категория времени в исследовании геоэкологического состояния геосистем
- 267 **Блакберн А.А.**
Оценка экологического каркаса Донецкого региона на основе первичной инвентаризации его природных
и квазиприродных территорий
- 284 **Бударина В.А., Косинова И.И., Лепендин Д.Г.**
Эколого-гидрогеохимические особенности подземных вод геотектонических зон Липецкого горнодобывающего района
- 298 **Боровлев А.Э., Колосова И.В., Никулина А.С.**
Оптимизация учета источников загрязнения атмосферного воздуха при нормировании выбросов автозаправочных
станций

REGIONAL GEOSYSTEMS

2022. Volume 46, No. 2

Until 2020, the journal was published with the name "Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural sciences".

Founded in 1995

The journal is included into the List of Higher Attestation Commission of peer-reviewed scientific publications where the main scientific results of dissertations for obtaining scientific degrees of a candidate and doctor of science should be published (25.00.00 – Earth sciences). The journal is introduced in Russian Science Citation Index (ПИНЦ).

In journal the results of studies of the structure, functioning, genesis of natural and anthropogenically modified geosystems of the regional level are presented.

Founder: Federal state autonomous educational establishment of higher education «Belgorod National Research University».

Publisher: Belgorod National Research University «BelSU» Publishing House.

Address of editorial office, publisher: 85 Pobeda St, Belgorod, 308015, Russia.

EDITORIAL BOARD OF JOURNAL

Chief Editor

Fedor N. Lisetskii, Doctor of Geographical Sciences, Professor (Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia)

Issuing Editor

Pavel V. Goleusov, Doctor of Geographical Sciences (Belgorod National Research University, Belgorod, Russia)

Responsible Secretary

Evgeniya Ya. Zelenskaya, (Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia)

Members of Editorial Board:

Aleksandr N. Vitchshenko, Doctor of Geographical Sciences, Professor (Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus)

Aleksandr N. Gennadiyev, Doctor of Geographical Sciences, Professor (Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia)

Arkadiy A. Tishkov, Member corr. RAS, Doctor of Geographical Sciences, Professor (Institute of Geography RAS, Moscow, Russia)

Oleg P. Ermolaev, Doctor of Geographical Sciences, Professor (Kazan Federal University, Kazan, Russia)

Semyon A. Kurolap, Doctor of Geographical Sciences, Professor (Voronezh State University, Voronezh, Russia)

Anthony R. Lupo, Doctor, Professor (University of Missouri-Columbia, Columbia, USA)

Maria I. Nedelcov, Member corr. Academy of Sciences of Moldova, Doctor, professor, (Institute of Ecology and Geography ASM, Chişinău Municipality, Republica of Moldova)

Vladimir V. Khaustov, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor (Southwestern State University, Kursk, Russia)

Jason A. Hubbart, Doctor (Ph. D), Professor (West Virginia University, Morgantown, USA)

Elena L. Chanturia, Doctor of Technical Sciences, Professor (NUST "MISiS", Moscow, Russia)

Yuriy G. Chendev, Doctor of Geographical Sciences, Professor (BSU, Belgorod, Russia)

ISSN 2712-7443 (online)

The journal has been registered at the Federal service for supervision of communications information technology and mass media (Roskomnadzor). Mass media registration certificate ЭЛ № ФС 77-77841 dd 31.01.2020. Publication frequency: 4/year

Commissioning Editor V.S. Beregova. Pag Proofreading, computer imposition, page layout by Yu.V. Ivakhnenko. E-mail: goleusov@bsu.edu.ru. Typefaces Times New Roman, Arial, Impact. Publisher's signature 17.2. Date of publishing 30.06.2022. The layout was prepared by the Department of the joint editorial Board of scientific journals of NRU "BelSU". Address: 85 Pobeda St, Belgorod, 308015, Russia

CONTENTS

- 147 **Sadyan H.Y., Khalatyan A.A.**
Geographic Representation of Landscape Diversity in the Botanical Gardens and Arboreturns of Armenia
- 156 **Chendev Yu.G., Salova T.L., Belevantsev V.G.**
Spatial Sequence "Outer Wood Chernozem – Gray Forest Soil in Forest" as a Model of the Late Holocene Evolution of Soils within the Broad-leaf-Forest Landscape of the Forest-Steppe
- 173 **Popkova A.K., Idrisov I.A., Pinsky V.N., Eltsov M.V., Borisov A.V.**
Chemical Properties and Biological Activity of Soils on Akchagyl Clays in the Eastern Ciscaucasia under Conditions of Intensive Pasture Load
- 184 **Saburina A.A.**
Spatial Development of Domestic Tourism in the South-East of the Kaliningrad Region
- 200 **Gusev A.P.**
NDVI as an Indicator of Climatogenic Responses of Geosystems (on the Example of the South-East of Belarus)
- 210 **Bek A.N.**
The Study of Soil Humus Content in Agrochronological Series Using Ground-Based Tools and Remote Sensing Data
- 223 **Lipilin D.A., Evtushenko D.D.**
Assessment of the Quality of the Urban Environment Using Geographic Information Systems on the Example of the Moscow District of Krasnodar
- 241 **Yamashkin A.A., Yamashkin S.A.**
Synthesis and Dissemination of Spatial Data on Metageosystems for Information Support of Management Decisions
- 254 **Vampilova L.B.**
Time Aspect in the Modern Research of the Geoecological Condition of Geosystems
- 267 **Blackburn A.A.**
The Assessment of Ecological Framework of the Donetsk Region Based on Primary Inventory of Its Natural and Quasi-Natural Territories
- 284 **Budarina V.A., Kosinova I.I., Lependin D.G.**
Ecological and Hydrogeochemical Features of Groundwater of Geotectonic Zones of the Lipetsk Mining Region
- 298 **Borovlev A.E., Kolosova I.V., Nikulina A.S.**
Optimization of Accounting for Sources of Atmospheric Air Pollution when Rationing Gas Station Emissions



УДК 911.2:581.9

DOI 10.52575/2712-7443-2022-46-2-147-155

Географическая представленность ландшафтного разнообразия в ботанических садах и дендропарках Армении

¹Саядян О.Я., ²Халатян А.А.

¹Ереванский государственный университет
Армения, 0025, Ереван, ул. Алека Манукяна 1

²«Озеленение и охрана окружающей среды» ГНКО, мэрии Еревана, РА.,
Армения, 0010, Ереван, ул. Павстоса Бюзанда, 1/3

E-mail: hovik.sayadyan71@gmail.com, khalatyan.artur@mail.ru

Аннотация. В статье проведён географический анализ ландшафтного биоразнообразия в ботанических садах, дендропарках и парках Республики Армения (РА). Ландшафтное разнообразие Армении обусловлено несколькими факторами: географическим положением, большой разницей относительных высот на короткой дистанции, сложной топографией, фактом, что территория страны находится на стыке двух резко различных флористических провинций: мезофильной лесной Понто-Гирканской и ксерофильной Иранской. Ландшафтное разнообразие Армении представлено в ботаническом саду Еревана и двух его региональных отделений: Ванадзорской и Севанской, а также в 4-х дендропарках: Степанаванский «Сочут», Бердский «Сораннер», Ванадзорский «им. Саруханян Ж.» и Иджеванский субтропический. На территории Армении кроме ботанических садов и дендропарков также основан единственный лесопарковый комплекс «Джрвеж», расположенный на северной окраине города Еревана. Несмотря на важность ботанических садов и дендропарков в сохранении и обогащении дендро-разнообразия Армении, не все высотные ландшафтные пояса, а также типичные для Армении степные, фриганоидные, субальпийские, альпийские и другие растительные сообщества представлены в ботанических садах, дендропарках и в «Джрвежском» лесопарке. С другой стороны, создание новых ботанических садов и дендропарков вполне вписывается в международные обязательства РА по Парижскому климатическому договору, который предусматривает увеличение лесного покрова Армении до 20,1 % к 2050 г.

Ключевые слова: ландшафтное разнообразие, ботанический сад, дендропарк, лесопарк, географическая представленность

Для цитирования: Саядян О.Я., Халатян А.А. 2022. Географическая представленность ландшафтного разнообразия в ботанических садах и дендропарках Армении. Региональные геосистемы, 46(2): 147–155. DOI 10.52575/2712-7443-2022-46-2-147-155

Geographic Representation of Landscape Diversity in the Botanical Gardens and Arboretums of Armenia

¹Hovik Y. Sayadyan, ²Artur A. Khalatyan

¹Yerevan State University,

1 Alek Manukyan St, Yerevan, 0025, Armenia,

²“Greening and environmental protection” SNCO, Yerevan municipality, RA
1/3 Pavstos Byuzand St, 0010, Yerevan, Armenia,

E-mail: hovik.sayadyan71@gmail.com, khalatyan.artur@mail.ru

Abstract. The article presents the geographic diversity of landscape biodiversity in botanical gardens, arboretums and parks of the Republic of Armenia. The landscape diversity of Armenia is due to several factors: geographical location, large differences in relative heights over a short distance, complex topography, the fact that the country's territory is located at the junction of two sharply different floristic provinces: the mesophilic forest Ponto-Hircan and the xerophilic Iranian. The landscape diversity of



Armenia is represented in the botanical garden of Yerevan and its two regional branches: Vanadzor and Sevan, as well as in 4 arboretums: Stepanavan “Sochut”, Berd “Soranner”, Vanadzor “named after Sarukhanyan Zh.” and Ijevan subtropical. On the territory of Armenia, in addition to the botanical gardens and arboretums, there is a single forest park complex named “Jrvezh”, located on the northern outskirts of the city of Yerevan. Despite the importance of botanical gardens and arboretums in the conservation and enrichment of the dendro-diversity of Armenia, not all altitudinal landscape zones, as well as steppe, frigid, subalpine, alpine, and other plant formations, that are typical for Armenia, represented in botanical gardens, arboretums and in the “Jrvezh” forest park complex. On the other hand, the creation of new bot gardens and arboretums is more in line with the international obligations of the Republic of Armenia under the Paris Climate Treaty, which provides for an increase in the forest cover of Armenia to 20.1 % by 2050.

Keywords: landscape diversity, botanical garden, arboretum, forest park, geographical representation

For citation: Sayadyan H.Y., Khalatyan A.A. 2022. Geographic Representation of Landscape Diversity in the Botanical Gardens and Arboretums of Armenia. *Regional Geosystems*, 46(2): 147–155. DOI 10.52575/2712-7443-2022-46-2-147-155

Введение

Ландшафтное разнообразие Армении обусловлено его географическим положением, набором разных комплексов высотной поясности и сложными физико-географическими условиями. На территории Армении выделяются два типа высотной поясности: Мало-Кавказский мезофильный, который характерен для северной и северо-восточной Армении, и Центральный ксерофильный, который характерен Средне-Араксинской котловине, прилегающих гор и межгорных долин. На северо-востоке и в Зангезуре доминируют открытые горные склоны и долины, представленные в основном лесными ландшафтами. В условиях континентального климата Средне-Араксинская котловина, прилегающие горные хребты и межгорные долины на молодых вулканических и складчатых образованиях формируют в основном полупустынные и сухостепные ландшафты. В среднегорных и высокогорных районах различие между двумя типами высотной поясности нивелируется в форме горностепных, горнолесных, лугостепных, субальпийских и альпийских ландшафтов.

Таким образом, на сравнительно небольшой территории Армении выделяются следующие высотные ландшафтные пояса: пустынно-полупустынный, сухой степной, степной, лесной, луговой, субальпийский и альпийский, а также снежный. Набор высотных поясов меняется в зависимости от типа высотной поясности и мезорельефа, что в свою очередь предопределяет разнообразие ландшафта также по речным водосборным бассейнам. Мозаика перетекания высотных ландшафтных поясов с речными бассейнами создают уникальные наборы ландшафтов по отдельным географическим районам, которые по контурам совпадают с флористическими районами Тахтаджяна [Тахтаджян, 1978]. Регионально-ландшафтная дифференциация территории Армении очень сложная и включает в себя многочисленные разнородные ландшафтно-региональные комплексы: 2 горные подобласти, 2 провинции, 5 подпровинции, 8 округов, 20 подокругов и многочисленные районы и подрайоны [Григорян, 1987].

Ландшафтное разнообразие предопределяет пестроту ботанико-географических условий и выражается богатой растительностью. «Богатство климатических и почвенных типов, сложность рельефа, геологическое прошлое и история флоры обуславливают исключительное многообразие растительных группировок» [Тахтаджян, 1941]. В тоже время разнообразие типов растительности Армении обусловлено фактом, что территория страны находится на стыке двух резко различных флористических провинций: мезофильной лесной Понто-Гирканской и ксерофильной Иранской [Тахтаджян, 1941].

Характер и состав ландшафтов, в особенности разнообразие растительного покрова, кроме физико-географических условий зависит также и от исторических факторов, в част-

ности от деятельности человека. В Армении почти нет нетронутых человеком, вполне или абсолютно, первичных типов растительности [Магакьян, 1941]. Но, несмотря на большое ландшафтное разнообразие и богатое биоразнообразие, на такой маленькой территории (площадь Республики Армении около 3 млн га) пока не удастся эффективно организовать сохранение важных экосистем и растительных сообществ в действующих ботанических садах, дендропарках и лесопарках. Особенно плохо представлены в ботанических садах и дендропарках типичные для Армении степные, фриганоидные, субальпийские, альпийские и другие растительные сообщества.

Объекты и методы исследования

Основными материалами для данного исследования явились аборигенные виды древесных и кустарниковых растений, изученные авторами в рамках полевых работ, и собственные полевые наблюдения и практические работы в лесопарковом комплексе «Джрвеж» и в ГНКО «Озеленение и охрана окружающей среды» мэрии Еревана. Многочисленные научные публикации, которые в основном связаны с долгосрочными работами Института Ботаники Академии Наук Армении¹ [Петросян, 1959; Шовгаров, Адамянц, 1959; Казарян и др., 1974; Бозоян, 1985; Саркисян, 2007; Варданян, 2012] также являются ключевыми материалами для данной работы. Исследование древесно-кустарниковой и других растительных формаций и особенности их высотного распределения проводились полустационарным маршрутным методом. А также важным источником изучения послужили существующие коллекции дендрофлоры и растительных сообществ Ереванского ботанического сада и двух его отделений в городах Ванадзор и Севан, дендропарки: Степанаванский «Сочут», Бердский «Сораннер», Ванадзорский «им. Саруханян Ж.» и Иджеванский субтропический. Особенно интересным было изучение лесо-кустарниковых формаций лесопарка «Джрвеж».

Результаты и их обсуждение

Самым нижним ландшафтным поясом РА является полупустыня с элементами пустынной растительности. Этот пояс в основном приурочен к засоленным, песчаным, гипсоносным и глинистым почвам Араратской долины. В основном здесь распространяется полынная полупустыня с островками галофильных и гипсофильных пустынных формаций. Несмотря на засушливый климат и неразвитый растительный покров этот пояс отличается большим разнообразием видового состава.

Фриганоидная растительность в основном приурочена к сухим скелетным и скалисто-щебнистым склонам предгорий долины р. Аракс выше пояса полупустынь, а также в Южной Армении. Является наиболее ксерофитным типом растительности Армении [Варданян, 2000; 2003]. Чем климат суше и континентальнее, чем сильнее эродированы почвы, тем большее участие в таких ландшафтах встречается фриганоидная растительность [Долуханов, 1966].

Ландшафтный пояс горных степей самый распространенный в Армении и характерный для растительного покрова. Этот пояс занимает высотную зону от 1500 м до 2000 м и выше. А.М. Барсегян [1990] в Армении выделяет десять закономерно сменяющих друг друга формаций горных степей: ковыльные, типчаковые, житянковые, пырейные, бородачевые, осоковые, полынные, бобовые, разнотравно-злаковые и трагакантовые. Леса составляют лишь 9,8 % лесопокрываемой площади Армении и распространены неравномерно. В северных регионах Армении лесопокрываемость составляет 28,9 %, в южной части – 13,2 %, в центральной части (без Севанского бассейна) – 2,0 %, в Севанском бассейне – 0,8 %. В лесах Армении преобладающими породами являются бук, дуб, граб, грабинник,

¹ Аннотированный каталог деревьев и кустарников ботанических садов и дендропарков Армянской ССР. 1985. Бюллетень Ботанического Сада АН АрмССР, 164с.

ясень, клен, ильм, сосна, грецкий орех и другие [Григорян, 2008]. Субальпийская растительность расположена над поясами лесной и степной растительности в пределах 2200–2800 м. Флористический состав субальпийских лугов очень богат. Альпийский пояс занимает значительные пространства на всех более или менее высоких горных массивах в пределах высот 2700–3500 м [Варданян, 2003].

Ландшафтное разнообразие Армении представлено в ботаническом саду Еревана и двух его региональных отделений: Ванадзорской и Севанской, а также в 4-х дендропарках: Степанаванский «Сочут», Бердский «Сораннер», Ванадзорский «им. Саруханян Ж.» и Иджеванский субтропический. В Армении также действовали дендропарки Ахтала, Баграташен, Бюракан и Джермук [Варданян, 2003].

Географическое расположение ботанических садов и дендропарков Армении представлено на рисунке.



Географическое расположение ботанических садов и дендропарков Армении
 Geographic locations of botanical gardens and dendro-parks of Republic of Armenia

Из представленного рисунка следует, что ботанические сады и дендропарки в основном расположены в среднегорном лесном поясе, кроме Ереванского ботанического са-

да, расположенного в полупустынно-сухостепном, и Севанского, расположенного в луго-степном поясе. Ботанические сады и дендропарки Армении в основном находятся в черте городов или имеют пригородное расположение. Кроме функции сохранения представителей аборигенной флоры, интродуцированных новых видов, образовательных и научных программ, они играют также важную экологическую и оздоровительную роль для очищения воздуха, смягчения влияния высоких температур, шумопоглощения и т. п.

В Армении дендропарки также имеют стратегическое значение. Например, Бердский дендропарк «Сораннер», находясь на высоте, полностью заросший хвойными деревьями, кажется живым щитом для города Берд с юга и юго-запада [Халатян, Саясян, 2019].

В ботанических садах, дендропарках и в зеленых насаждениях различного типа и категорий выращивается около 1650 наименований деревьев и кустарников, из которых в дендропарках находятся около 850 видов деревьев и древесных лиан [Варданян, 2003]. Основная цель большинства ботанических садов и дендропарков – создание живой коллекции местных и интродуцированных древесных растений и выращивание посадочного материала для лесоразведения и озеленения данного региона. В таблице приведены основные характеристики ботанических садов и дендропарков Республики Армения.

Основные характеристики ботсадов и дендропарков Республика Армения
The principal characteristics of botanical gardens and dendro-parks of Republic of Armenia

№	Название ботсада / дендропарка	Местоположение	Ландшафтный пояс	Дендро-разнообразие	Год основания и площадь, га	Управляющее ведомство
1	Ереванский ботсад	г. Ереван	Полупустынный	–	1935 г. 80	«Институт ботаники им. Тахтаджяна» НАН РА
2	Севанский ботсад	г. Севан Гегаркуникская область	Луго-степной	38 семейств, 155 родов и 443 видов	1944 г. 2	
3	Ванадзорский ботсад	г. Ванадзор Лорийская область	Лесной	47 семейств, 140 родов и 590 видов	1935 г. 12	
4	Бердский дендропарк «Сораннер»	г. Берд Тавушская область	Лесной	30 семейств, 73 родов и 110 видов	1962 г. 62,17	«Заповедно-парковый комплекс» МОС
5	Степанаванский дендропарк «Сочут»	г. Степанаван Лорийская область	Лесной	27 семейств, 115 родов и 483 видов	1933 г. 35	
6	Иджеванский дендропарк	г. Иджеван Тавушская область	Лесной	53 семейств, 140 родов и 605 видов	1962 г. 14,6	
7	Ванадзорский дендропарк «им. Саруханян Ж.»	г. Ванадзор Лорийская область	Лесной	21 семейств, 49 родов и 101 видов	1935 г. 1,944	
8	Лесопарк «Джрвеж»	Община Джрвеж, Котайкская область	Степной	32 семейств, 69 родов и 135 видов	1977 г. 423,8	



При создании дендропарков учитывались все природно-климатические условия: местоположение, разнообразие рельефа, почвенно-растительные условия, климат, в особенности параметры температуры воздуха и почвы, увлажнения, заморозки, роза ветров и т. д., живописность ландшафта, а также социально-экономические условия (наличие населенного пункта, транспортных связей и т. д.) и достопримечательности местности.

Дендропарки, расположенные в городских и пригородных зонах, представляют неограничиваемую важность с точки зрения улучшения экологической среды, оказывая курортное воздействие на очистку и обогащение воздуха городов, шумоизоляции и смягчение температурных амплитуд. Чистота и ионизация воздуха обусловлена в основном значительным количеством хвойных и вечнозеленых видов деревьев и кустарников [Khalatyan, 2018].

На территории Армении кроме ботанических садов и дендропарков также основан единственный лесопарковый комплекс «Джрвеж», расположенный на северной окраине города Еревана. В восточной части парк граничит с Котайкской областью.

Лесопарк «Джрвеж» организован в 1977 г. с целью улучшения экологического состояния города Еревана и отдыха горожан. Лесопарковый комплекс «Джрвеж» является любимой зоной для активного отдыха близ столицы. Всего интродуцировано 128 видов и декоративных форм деревьев и кустарников, принадлежащих к голосемянным и покрытосемянным растениям. Из древесно-кустарниковых форм доминируют представители семейства *Rosaceae*. Большинство видов в настоящее время обильно плодоносят и обеспечивают самосев [Восканян и др., 2010].

Таким образом, ботанические сады и дендропарки Армении в основном находятся в северо-восточной части республики, т. е. в сравнительно влажной лесной зоне.

Несмотря на важность ботанических садов и дендропарков в сохранении и обогащении дендро-разнообразия Армении, к сожалению, не все высотные ландшафтные пояса, ландшафтные районы и подрайоны, а также типичные для Армении степные, фриганоидные, субальпийские, альпийские и другие растительные сообщества имеют ботанические сады и дендропарки. В этом отношении крайне остро стоит вопрос в Южной Армении, где нет ни одного ботанического сада и дендропарка (за исключением городского дендропарка курорта Джермук). Таким образом, создание ботанических садов и дендропарков в аридных регионах с резко континентальным климатом, какими являются Вайк, Зангезур и Мегри является важной задачей [Варданян, 2003]. Ботанические сады и дендропарки отсутствуют также в ряде других областей: Ширак, Армавир и Арагацотн.

Создание аридных дендропарков в Южной Армении преследует первоочередную цель в улучшении санитарно-гигиенических и микроклиматических условий окружающей среды, в выращивании посадочного материала для засушливых регионов и т. д. [Варданян, 2000; 2003].

Ботсады и дендропарки можно создать на базе уже существующих лесных массивов и в искусственных зеленых зонах. При создании дендропарков важно также использование соответствующих приемов ландшафтной архитектуры, благоустройство территории, устройство дорожной сети, наличие объектов культурно-бытового обслуживания. Предпочтительнее выбирать места с богато представленной предгорной дендрофлорой при наличии редких и ценных аборигенных видов. Оптимальные размеры для дендропарков не должны превышать 5–10 га [Варданян, 2003].

Создание новых ботанических садов и дендропарков вполне вписывается в международные обязательства Республики Армении по части NDC и по Парижскому климатическому договору, которые предусматривают увеличение лесного покрова Армении до 20,1 % к 2050 г. [Fourth National ..., 2020].

Заключение

Ландшафтное разнообразие Республики Армения, несмотря на сравнительно небольшую площадь, богато и представляет определённую научную и практическую ценность. Это разнообразие и биоразнообразие обусловлено несколькими факторами: географическим положением, большой разницей относительных высот на короткой дистанции, сложной топографией, фактом, что территория страны находится на стыке двух резко различных флористических провинций: мезофильной лесной Понто-Гирканской и ксерофильной Иранской.

В настоящее время сохранение лесо-кустарниковых видов и ценных растительных формаций в основном организовано в Ереванском ботаническом саду и в двух его отделениях: Ванадзора и Севана; в дендропарках: Степанаванский «Сочут», Бердский «Соранер», Ванадзорский «им. Саруханян Ж.» и Иджеванский субтропический. Лесопарк «Джрвеж» тоже является важным звеном в деле организации сохранения и изучения лесо-кустарниковых видов и других формаций.

Несмотря на важность ботанических садов и дендропарков в сохранении и обогащении дендро-разнообразия Армении, не все высотные ландшафтные пояса, а также типичные для Армении степные, фриганоидные, субальпийские, альпийские и другие растительные сообщества представлены в ботанических садах, дендропарках и в «Джрвежском» лесопарке. С другой стороны, создание новых ботанических садов и дендропарков вполне вписывается в международные обязательства РА по Парижскому климатическому договору, который предусматривает увеличение лесного покрова Армении до 20,1 % к 2050 г.

Список литературы

- Барсегиан А.М. 1990. Водно-болотная растительность Армянской ССР. Ереван, АН АрмССР, 352 с.
- Бозоян А.А. 1985. Деревья и кустарники зеленого кольца Еревана. Ботанический сад. Бюллетень, 28: 49–57.
- Варданян Ж.А. 2000. Создание аридных дендропарков – эффективный способ сохранения представителей аборигенной дендрофлоры Армении. Бюллетень Ботанического сада РАН, 181: 118–122.
- Варданян Ж.А. 2003. Деревья и кустарники Армении в природе и культуре. Ереван, Изд-во Института Ботаники НАН Армении, 367 с.
- Варданян Ж.А. 2012. Научные основы интродукции древесных растений в Армении. Ереван, Национальная академия наук РА, 400 с.
- Восканян В.Е., Саргсян Г.П., Арутюнян А.А., Бадалян Б.Л. 2010. Таксономический состав интродуцированных деревьев и кустарников лесопарка «Джрвеж». Биологический журнал Армении, 62 (3): 20–24.
- Григорян Г.Б. 1987. Региональная ландшафтная дифференциация территорий Армянской ССР. Известия АН АрмССР. Науки о Земле, 40 (1): 48–56.
- Григорян Р.А. 2008. Динамика поясного распределения лесной растительности в Северной Армении. Известия Государственного аграрного университета Армении, 1: 15–20.
- Долуханов А.Г. 1966. Закономерности географического разнообразия растительности у верхних пределов леса в горах Закавказья. Проблемы Ботаники, 8: 196–208.
- Казарян В.О., Арутюнян Л.В., Хуршудян П.А., Григорян А.А., Барсегиан А.М. 1974. Научные основы облесения и озеленения Армянской ССР. Ереван, Изд-во АН АрмССР, 350 с.
- Магакян А.К. 1941. Растительность Армянской ССР. М.-Л., Изд. Академии наук СССР, 276 с.
- Петросян О.Х. 1959. О зеленом строительстве Еревана. Бюллетень Ботанического Сада Академии Наук Армянской ССР, 17: 43–47.
- Саркисян К.Ш. 2007. Зеленое кольцо Еревана: история создания и пути восстановления. Ереван, Асохик, 160 с.
- Тахтаджян А.Л. 1941. Ботанико-географический очерк Армении. Труды Ботанического института, 2: 3–180.



- Тахтаджян А.Л. 1978. Флористические области Земли. Л., Наука, 248 с.
- Халатян А.А., Саядян О.Я. 2019. Экологическое воздействие дендропарка «Сораннер» на город Берд и задачи охраны. Биологический журнал Армении, 3 (71): 48–52.
- Шовгаров А.М., Адамянц Г.И. 1959. Об озеленении города Кировакана. Бюллетень Ботанического Сада Академии Наук Армянской ССР, 17: 65–69.
- Fourth National Communication on Climate Change. 2020. Yerevan, UNDP Armenia, 213 p.
- Khalatyan A.A. 2018. Foundation of the dendroparks, geographical distribution and ecological importance in the republic of Armenia. In: Contemporary issues of geography and geology. Dedicated to the 100th Anniversary of the Yerevan State University. International Conference Proceedings, 27–29 September 2018, Yerevan: 27–31 (in Armenian).

References

- Barseghyan A.M. 1990. Vodno-bolotnaya rastitelnost Armyanskoy SSR [Water-Wetland Vegetation of the Armenian SSR]. Erevan, Publ. AN ARMSSR, 352 p.
- Bozoyan A.A. 1985. Derevia i kustarniki zelenogo koltsa Erevana [Trees and Bushes of Yerevan City Green Circle]. Botanicheskiy sad. Byulleten, 28: 49–57.
- Vardanyan Zh.A. 2000. Sozdaniye aridnykh dendroparkov-effektivnyy sposob sokhraneniya predstaviteley aborigennoy dendroflory Armenii [The Creation of Arid Arboretums as an Effective Way to Preserve Representatives of the Native Dendroflora of Armenia]. Byulleten Botanicheskogo sada RAN, 181: 118–122.
- Vardanyan Zh.A. 2003. Derevia i kustarniki Armenii v prirode i kulture [Trees and Shrubs of Armenia in Nature and Culture]. Yerevan, Publ. Institute of Botany of the National Academy of Sciences of Armenia, 367 p.
- Vardanyan Zh.A. 2012. Nauchnyye osnovy introduktsii drevesnykh rasteniy v Armenii [Scientific Basis of Introduction of Wood Plants in Armenia]. Erevan, Natsionalnaya akademiya nauk RA, 400 p.
- Voskanyan V.E., Sargsyan G.P., Arutunyan A.A., Badalyan B.L. 2010. Taxonomic Composition Tree-Bushes Introduced in "Jrvegh" Forest Park. Biological Journal of Armenia, 62 (3): 20–24 (in Armenian).
- Grigoryan G.B. 1987. Regionalnaya landshaftnaya differentsiatsiya territoriy Armyanskoy SSR [Regional Landscape Differentiation of the Territories of the Armenian SSR]. Izvestiya AN ArmSSR. Nauki o Zemle, 40 (1): 48–56.
- Grigoryan R.A. 2008. Dinamika poyasnogo raspredeleniya lesnoy rastitelnosti v Severnoy Armenii [Dynamics of Belt Distribution of Forest Vegetation in Northern Armenia]. Izvestiya Gosudarstvennogo agrarnogo universiteta Armenii, 1: 15–20.
- Dolukhanov A.G. 1966. Zakonomernosti geograficheskogo raznoobraziya rastitelnosti u verkhnikh predelov lesa v gorakh Zakavkazia [Patterns of the Geographical Diversity of Vegetation Near the Upper Limits of the Forest in the Mountains of Transcaucasia]. Problemy Botaniki, 8: 196–208.
- Kazaryan V.O., Harutyunyan L.V., Khurshudyan P.A., Grigoryan A.A., Barseghyan A.M. 1974. Nauchnyye osnovy obleseniya i ozeleneniya Armyanskoy SSR [Scientific Bases of Afforestation and Gardening of the Armenian SSR]. Erevan, Publ. AN ArmSSR, 350 p.
- Magakyan A.K. 1941. Rastitelnost Armyanskoy SSR [Vegetation of the Armenian SSR]. Moscow-Leningrad, Publ. Akademii nauk SSSR, 276 p.
- Petrosyan O.Kh. 1959. O zelenom stroitelstve Erevana [On Green Building in Yerevan]. Byulleten Botanicheskogo Sada Akademii Nauk Armyanskoy SSR, 17: 43–47.
- Sargsyan K.Sh. 2007. [Green Circle of Yerevan: History of Foundation and the Ways for Restoration]. Erevan, Publ. Asoghik, 160 p.
- Takhtadzhyan A.L. 1941. Botaniko-geograficheskiy ocherk Armenii [Botanical-Geographical Sketch of Armenia]. Trudy Botanicheskogo instituta, 2: 3–180.
- Takhtadzhyan A.L. 1978. Floristicheskiye oblasti Zemli [Floristic regions of the Earth]. Leningrad, Publ. Nauka, 248 p.
- Khalatyan A.A., Sayadyan O.Ya. 2019. Ecological impact of the “Soranner” arboretum on the city of Berd and protection tasks. Biological Journal of Armenia, 3 (71): 48–52 (in Armenian).
- Shovgarov A.M., Adamyants G.I. 1959. Ob ozelenenii goroda Kirovakana [On the Landscaping in the City of Kirovakana] Byulleten Botanicheskogo Sada Akademii Nauk Armyanskoy SSR, 17: 65–69.



Fourth National Communication on Climate Change. 2020. Yerevan, UNDP Armenia, 213 p.
Khalatyan A.A. 2018. Foundation of the dendroparks, geographical distribution and ecological importance in the republic of Armenia. In: Contemporary issues of geography and geology. Dedicated to the 100th Anniversary of the Yerevan State University. International Conference Proceedings, 27–29 September 2018, Yerevan: 27–31 (in Armenian).

*Поступила в редакцию 22.02.2022;
поступила после рецензирования 25.04.2022;
принята к публикации 17.05.2022*

*Received February 22, 2022;
Revised April 25, 2022;
Accepted May 17, 2022*

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.
Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Саядян Овик Яхшибекович, доктор географических наук, профессор кафедры Физической географии и гидрометеорологии, Ереванский государственный университет, г. Ереван, Армения

Халатян Артур Арсенович, начальник тепло-питомниководческого агентства ГНКО «Озеленение и охрана окружающей среды» мэрии Еревана, г. Ереван, Армения

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Hovik Y. Sayadyan, Doctor of Science (Geograph), Professor of Department of Physical Geography and Hydrometeorology of Yerevan State University, Yerevan, Armenia

Artur A. Khalatyan, Head of greenhouse and nursery agency of «Greening and environmental protection» SNCO, Yerevan municipality, Yerevan, Armenia



УДК 631.4

DOI 10.52575/2712-7443-2022-46-2-156-172

Пространственное сопряжение «приопушечный чернозем – серая лесная почва в лесу» как модель позднеголоценовой эволюции почв широколиственно-лесного ландшафта лесостепи

Чендев Ю.Г., Салова Т.Л., Белеванцев В.Г.

Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85
E-mail: Chendev@bsu.edu.ru

Аннотация. В лесостепи центра Восточно-Европейской равнины (Белгородская область) на плакоре изучены профили чернозема, выщелоченного на естественной границе леса и лугово-степного угодья и темно-серой лесной почвы в дубовом лесу (в 20 м от опушки). Почвообразующие породы – бурые покровные карбонатные глины. В профиле серой лесной почвы сохранились признаки черноземной стадии развития (включения ходов степных землероев-слепышей, второй гумусовый горизонт как остаточная часть гумусированного профиля палеочернозема). Изученное пространственное сопряжение почв предлагается рассматривать как модель позднеголоценовой эволюции почв в результате наступления леса на степь. Идентифицирована направленность изменений ряда почвообразовательных процессов в результате эволюционной трансформации чернозема в серую лесную почву. Высказывается предположение о том, что в лесостепи юга Среднерусской возвышенности в результате позднеголоценового увлажнения и похолодания климата заселение лесной растительностью водораздельных участков степей в первую очередь происходило на экологически благоприятных для леса почвообразующих субстратах – глинах. Застаивавшаяся на глинах атмосферная влага могла более продуктивно использоваться корневыми системами деревьев по сравнению с другими почвообразующими породами.

Ключевые слова: лесостепь, Среднерусская возвышенность, черноземы, серые лесные почвы, Поздний голоцен, эволюция почв

Благодарность: Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ (проект № 19-29-05012, полевые и лабораторные исследования почв), и РНФ (проект № 19-17-00056, обсуждение исследования группового состава гумуса в черноземах агролесомелиоративных ландшафтов и на участке распространения леса на степь в Ямской степи).

Для цитирования: Чендев Ю.Г., Салова Т.Л., Белеванцев В.Г. 2022. Пространственное сопряжение «приопушечный чернозем – серая лесная почва в лесу» как модель позднеголоценовой эволюции почв широколиственно-лесного ландшафта лесостепи. Региональные геосистемы, 46(2): 156–172. DOI 10.52575/2712-7443-2022-46-2-156-172

Spatial Sequence “Outer Wood Chernozem – Gray Forest Soil in Forest” as a Model of the Late Holocene Evolution of Soils within the Broadleaf-Forest Landscape of the Forest-Steppe

Yury G. Chendev, Tatyana L. Salova, Valeriy G. Belevantsev

Belgorod National Research University,
85 Pobedy St, Belgorod, 308015, Russia
E-mail: Chendev@bsu.edu.ru

Abstract. In the forest-steppe of the center of the East European Plain (Belgorod oblast), within flat watershed the profiles of leached chernozem on the natural border of forest and meadow-steppe land and dark gray forest

soil in an oak forest (20 m from the forest edge) were studied. The parent materials are the mantled brown carbonate clays. In the profile of the gray forest soil, signs of the chernozem stage of soil formation had been preserved (inclusions of passages of steppe shrews – mole rats, the second humus horizon as a residual part of the humus profile of the paleochernozem). The studied spatial sequence of soils is proposed to be considered as a model of the Late Holocene evolution of soils as a result of the advance of the forest on the steppe. The direction of changes in time of a number of soil-forming processes as a result of the evolutionary transformation of chernozem into gray forest soil has been identified. It is suggested that in the forest-steppe of the south of the Central Russian Upland, as a result of Late Holocene moistening and cooling of climate, the settlement of forest vegetation in the watershed areas of the steppes primarily occurred on clay soil-forming substrates that were ecologically favorable for the forest. The atmospheric precipitation stagnant on them could be more productively used by root systems of trees compared to other soil-forming rocks.

Keywords: forest-steppe, Central Russian Upland, chernozems, gray forest soils, Late Holocene, evolution of soils

Acknowledgment: This work was supported by grants of Russian Foundation for Basic Research, (project No. 19-29-05012, field and laboratory analyses of soils), and Russian Science Foundation (project No. 19-17-00056, discussion of soil humus group composition in agroforestry landscapes and within forest advancement to grassland in the Yamskaya Step' reserve area).

For citation: Chendev Yu.G., Salova T.L., Belevantsev V.G. 2022. Spatial Sequence “Outer Wood Chernozem – Gray Forest Soil in Forest” as a Model of the Late Holocene Evolution of Soils within the Broadleaf-Forest Landscape of the Forest-Steppe. *Regional Geosystems*, 46(2): 156–172 (in Russian). DOI 10.52575/2712-7443-2022-46-2-156-172

Введение

Изучение почв как фокуса разнообразных природных процессов, протекающих в геосистемах и географической оболочке в целом, остается одним из наиболее актуальных и перспективных направлений в современном естествознании. Как известно, почвы можно рассматривать как зеркало ландшафта. Данная формулировка В.В. Докучаева исходит из представления о том, что почвы в своих свойствах записывают комбинацию современных факторов среды (факторов почвообразования) [Добровольский, 1983]. Вместе с тем консервативные признаки почв, долгое время сохраняющиеся в почвенных профилях, также позволяют рассматривать почвы как хранители информации о прошлых стадиях почвообразования и развития природной среды. Поэтому почвы также называют памятью ландшафта [Марголина и др., 1988; Память почв ..., 2008]. Среди консервативных признаков почв особое значение придается органическому веществу и «гумусовой памяти» почв [Дергачева, 2018; Когут, Семенов, 2020].

Лесостепь Среднерусской возвышенности, начиная с работ В.В. Докучаева и его учеников, была и остается ареной научных дискуссий о природе происхождения лесостепи, ее растительности и почв. Не потерял своей актуальности вопрос: что первично – лес или степь, черноземы или серые лесные почвы? Большой список научных работ прошлых лет и появившихся сравнительно недавно отражает содержание продолжающихся на эту тему дискуссий [Александровский и др., 2011; Rusakov et al., 2018; и др.].

На протяжении ряда лет коллектив географов и почвоведов НИУ «БелГУ» проводит целенаправленные исследования голоценовой эволюции лесостепных почв центра Восточно-Европейской равнины. Участками исследований, как правило, являются археологические ландшафты. Однако сравнительно недавно были обнаружены новые перспективные объекты исследований, представляющие собой пространственные смены голоценовых почв, которые было предложено также интерпретировать как хронопоследовательности, обусловленные разной длительностью почвообразования под лесной растительностью [Чендев, 2019].

В данной статье продолжается обсуждение новых объектов исследования голоценовой эволюции лесостепных почв.

Целью работы является генетический анализ пространственно-временного перехода зональных типов лесостепных почв (черноземов в серые лесные) в автономных условиях рельефа на границе между лесом и степью.

Объекты и методы исследований

Участок исследования находится на территории г. Белгорода – рядом с микрорайоном Новый-2, который интенсивно застраивался в течение последних 10 лет. Изучаемая территория представляет собой плакор, на востоке граничащий с придолинным участком водораздела и нагорной частью долины р. Северский Донец (рис. 1).

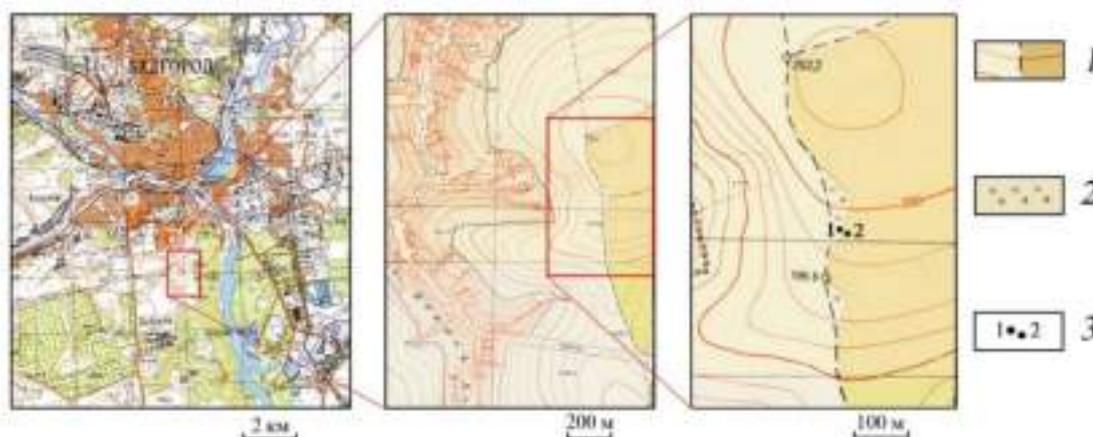


Рис. 1. Схема местоположения участка исследований. Условные знаки:
1 – граница между лесом и степью; 2 – сохранившиеся фрагменты лугово-степной растительности рядом с лесом; 3 – места заложения почвенных разрезов и номера разрезов
Fig. 1. Scheme of key area location. Symbols: 1 – border between forest and steppe; 2 – have preserved fragments of meadow-steppe vegetation nearby with forest; 3 – soil pits and their numbers

Уникальной особенностью изучаемого участка является неизменность в течение длительного времени положения границы лесного массива, протягивающегося вдоль правобережной части долины реки Северский Донец (нагорная дубрава) и выходящего на ровный водораздел с образованием водораздельной дубравы. В рукописном источнике конца XVI в. при поиске места для строительства Белгорода данный участок описывается следующим образом: «А только будет город на усть Везеницы или усть Топлины, и на тех речках по Донцу к Муравской дороге лесу только на пол версты (1 км – примечание Ю. Чендева), а то все и до Муравской дороги поле чистое» [Багaley, 1886]. Сохранности естественных границ указанного лесного массива способствовало природоохранное законодательство периода создания Белгородской черты (1635–1659 гг.), в соответствии с которым леса выполняли важную функцию защиты от нападений татар, поэтому всемерно охранялись – особенно вблизи городов-крепостей на черте [Загоровский, 1991].

Важным подтверждением неизменности нахождения рассматриваемой границы леса применительно к участку исследований является стабильность ее положения, идентифицируемая по картам разных исторических периодов, начиная с конца XVIII в. (рис. 2).

Дополнительным доказательством стабильности во времени изучаемой границы лесного массива выступает наличие на границе леса в месте проведения наших исследований старого, сильно заплывшего межевого рва с наваловкой, отмечавших рубежное положение лесного массива в далеком прошлом, – возможно, 200 и более лет назад (рис. 3). О древности межевого рва говорят старовозрастные деревья, произрастающие во рву и на наваловке: возраст некоторых растущих дубов, судя по размерам, можно оценить в 100 и более лет.



Рис. 2. Местоположение изучаемого участка (показано стрелкой) на картах XVIII, XIX и XXI вв. (на основе использования разновременных картографических материалов)

Fig. 2. Location of the key plot (has shown by red arrow) on maps of XVIII, XIX and XXI centuries (by different historical periods cartographic materials using)



Рис. 3. Граница леса и лугово-степного угодья в месте проведения исследований (А) и старый (заплывший) межевой ров с навалкой в 2 метрах от современной границы леса на участке исследования (Б). На рис. 3Б поверхность рва и навалки отмечена пунктиром

Fig. 3. Border of forest and meadow-steppe land in place of the research (A), and an old land surveying moat in 2 meters from the modern border of the forest (B). In fig. 3B surface of the surveying moat is marked by dotted line

Задачей нашего исследования выступало изучение профильного строения почв на границе между лесом и степью и в лесу – на некотором удалении от лесной опушки. Исходной рабочей гипотезой было предположение о наличии пространственных переходов между почвами черноземного и лесного генезиса на изучаемом участке, возникших в результате поступательного занятия лесом водораздела в позднем голоцене. Согласно общему установленному тренду климатически обусловленного развития лесостепного ландшафта в позднем голоцене, после начавшегося увлажнения климата в конце суббореального и в начале субатлантического периода голоцена леса продвигались на водоразделы со стороны речных долин (в нашем случае долины реки Северский Донец) и балочных систем в их правобережных частях – как наиболее типичные примеры разрастания лесов из понижений эрозионной сети в сторону водоразделов [Александровский и др., 2011].



Участок исследования почв был выбран в месте сохранившегося естественного контакта лугово-степного биогеоценоза и леса (см. рис. 1, 3А). В остальных местах лес располагается на границе с селитебными угодьями.

Главными объектами исследования являются профили зональных лесостепных почв – черноземов и серых лесных. Профили почв изучались в почвенных разрезах. Описания почв и названия им давались в соответствии с отечественной классификацией почв 1977 года [Классификация..., 1977]. Кроме разрезов вспомогательным способом идентификации генетической и классификационной принадлежности почв на изучаемом пространстве было их исследование в серии скважин, заложение которых производилось с помощью ручного бура.

Лабораторные исследования почв включали следующие методы анализов. В каждом изученном разрезе с помощью стальных колец известного объема авторами в трехкратной повторности послойно определялась плотность сложения почв. Из отобранных с противоположных стенок почвенных разрезов, а затем смешанных проб после высушивания и пробоподготовки (просеивание через сита и т. д.) в лаборатории отдела эволюции и экологии почв ИФХиБПП РАН (г. Пущино) определялись такие показатели, как: гигроскопическая влага (ГОСТ 28268-89), гранулометрический состав методом пипетки Качинского (ГОСТ 12536-2014), рН водной и солевой суспензии (ГОСТ 26423-85, 26483-85), углерод гумуса почв по методу Тюрина (ГОСТ 26213-91), углерод карбонатов ацидиметрическим методом. Дополнительно в лаборатории ФГБУ «ЦАС «Белгородский» (г. Белгород) в 20 см слоях почвенных профилей до глубины 1 м определялся групповой состав гумуса по ускоренной методике Кононовой-Бельчиковой². Радиоуглеродное датирование органического вещества почв и карбонатов выполнялось в Киевской радиоуглеродной лаборатории Института геохимии окружающей среды НАНУ (г. Киев, Украина) жидкостным сцинтиллятным методом. Содержание изотопа ¹⁴C измерено на низкофоновом спектрометре «Quantulus1220 T».

Результаты и их обсуждение

Профили исследованных почв (рис. 4) были изучены на абсолютно ровном водоразделе.

Проективное покрытие почвы травами лугово-степного угодья вблизи границы с лесом составляет 90–95 %. Растительность представлена следующими растениями и их обилием (по шкале Друде): овсяница – sp, тимopheевка – sp, пырей – sp, земляника – sp, подмаренник – sp gr, шалфей – sol, тысячелистник – sol, репешок – sol. Название растительной ассоциации – разнотравно-злаковая.

Краевая часть леса в своем составе содержит древесные породы основного яруса, подлесок, и местами – кустарниковый покров. В составе растительности встречены дуб черешчатый, дикая груша, боярышник, терн, бересклет бородавчатый.

Разрез 1 был заложен на границе лесной и лугово-степной растительности. Строение почвенного профиля характеризуется следующими особенностями.

A₀ – +2–0 см. Желто-бурый опад древесных листьев и веточек.

A₁ – 0–30 см. Темно-серый; комковато-зернистый; в заметном количестве содержит корни деревьев, кустарников и трав.

A_{1B} – 30–53 см. Буровато-серый, местами серовато-бурый; комковато-ореховатый с фрагментарной зернистостью; тяжелосуглинистый, близкий к глинистому; на гранях некоторых ореховатых агрегатов хорошо выражены буровато-серые пленки со слабым гляцевым блеском; местами встречаются серые слепышины; содержит редкие древесные корни.

² Кречетов П.П., Дианова Т.М. 2009. Химия почв. Аналитические методы исследования. М., МГУ, 148 с.

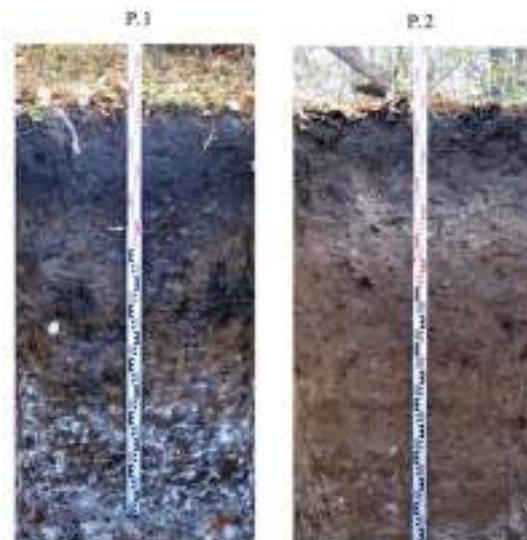


Рис. 4. Общий вид изученных почвенных профилей: P.1 – почва на границе леса и степи (приопушечный чернозем выщелоченный); P.2 – почва в лесу, 20 м от опушки (темно-серая лесная почва)

Fig. 4 The general view of the soil profiles: P.1 – soil on the border of forest and steppe (leached chernozem); P.2 – soil in forest, 20 m from the wood outer (dark-gray forest soil)

В – 53–88 см. Бурый, местами с сероватостью; комковато-крупноореховатый; глинистый; поверхность ореховатых агрегатов покрыта бурыми органо-минеральными пленками со слабым гляцевым блеском; повсеместно встречаются мелкие черные и буровато-черные железисто-марганцевые примазки; в заметном количестве содержит буро-серые и серые слепышины (рис. 5 А); встречаются редкие древесные корни.

ВСК^I – 88–110 см. Ярко бурый с желтоватостью; глыбисто-призматичный; глинистый; трещиноватый; содержит много мелких черных железисто-марганцевых примазок; встречаются белесые журавчики карбонатов обилием 1–2 штуки на 1 дм²; встречаются единичные корни деревьев.

ВСК^{II} – 110–160 см. Белесовато-желто-бурый; по набору морфологических признаков близок к гор. ВСК^I, однако в большем количестве содержит белесые журавчики размером обилием 3–4 штуки на 1 дм².

Фрагментарное слабое вскипание начинается с глубины 90 см, с глубины 110 см – повсеместное слабое, а в зоне журавчиков – бурное.

Почва – чернозем выщелоченный маломощный тяжелосуглинистый на бурых покровных карбонатных глинах.

Совокупность почвенных свойств, выявленных в профиле изученного чернозема, свидетельствует о лугово-степном генезисе данной почвы, важными атрибутами которого выступают темная гумусированная окраска верхней части профиля, а также заметная (особенно в средней части профиля) перерытость степными землероями – слепышами. Вместе с тем свойства чернозема отражают элементы начальной стадии лесного почвообразования в форме гляцевых пленок иллювиирования в горизонтах А1В и В и в виде пониженной линии вскипания как результата формирования здесь относительно прохладного и влажного микроклимата с лучшей затененностью и повышенной промачиваемостью профиля – на границе леса и лугово-степного угодья, характеризующейся барьерной функцией снегозадержания.

Разрез 2 был заложен в лесу, но в непосредственной близости от его опушки: расстояние между разрезами 1 и 2 составляет 20 м.

Лес постоянно произрастал на указанном участке на протяжении многих столетий. Влияние хозяйственной деятельности могло отражаться только на выборочных рубках де-

ревьев. Высота древостоя в месте исследования почвы – 15–20 м. Лесообразующая порода – дуб черешчатый. В составе древостоя также встречены редкие экземпляры дикой груши высотой 13–15 м. Диаметр стволов деревьев варьирует от 20 до 40 см. Формула древостоя: 8 д + 2 г. В подросте выявлены дуб и клен татарский. В подлеске произрастают лещина, крушина ломкая, боярышник. Кустарниковый ярус образуют достаточно густые заросли бересклета. В месте исследования лесной почвы проективное покрытие травами составляло 20–25 %. Были встречены такие травы, как мятлик лесной (sp), копытень (sp gr), сныть (sol), фиалка лесная (sol).

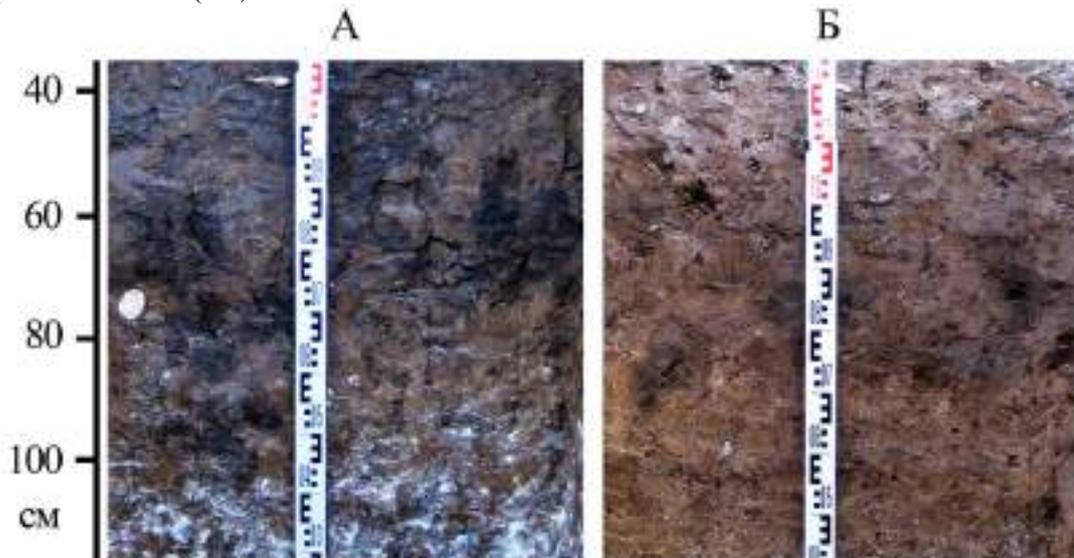


Рис. 5. Включения слепышин в виде гумусированных пятен с четкими контурами в средней части профиля чернозема в разрезе 1 (А) и включения палеослепышин на тех же глубинах в виде темных пятен с неясными (размытыми) контурами в профиле серной лесной почвы в разрезе 2 (Б)

Fig. 5. Inclusions of crotovinas in form of humified spots with abrupt boundaries in the middle part of the soil profile in the pit 1 (A), and inclusions of palaeocrotovinas on the same depth in form of dark spots with smooth boundaries in the profile of gray forest soils of the pit 2 (B)

В разрезе 2 почвенный профиль характеризовался следующим строением.

A₀ – +5–0 см. Желто-бурый опад из листьев и веток.

A₁ – 0–15 см. Серый; комковато-зернистый; среднесуглинистый; содержит копролиты червей; в заметном количестве переплетен мелкими корнями деревьев и кустарников.

A₁A₂ – 15–28 см. Белесовато-светло-серый, местами с легкой буроватостью; комковато-угловатый; среднесуглинистый, заметно пылеватый; повсеместно выражен седоватый налет скелетан; встречаются копролиты; в заметном количестве содержит корни деревьев и кустарников.

A₂B_t – 28–46 см. Белесовато-светло-серый с буроватостью; комковато-ореховатый; тяжелосуглинистый; тонкотрещиноватый; поверхность педов покрыта белесым налетом скелетан, грани ореховатых агрегатов содержат бледно-бурые глянцевые пленки и тонкие кутаны; содержит мелкие и средние корни деревьев.

B_t1 – 46–65 см. Светло-бурый, местами с белесоватостью; ореховатый; тяжелосуглинистый; тонкотрещиноватый; по вертикальным трещинам местами заметен белесоватый налет скелетан; поверхность агрегатов покрыта светло-бурыми кутанами со слабым глянцевым блеском; на гладкой зачистке заметна тонкая штриховка от мелких черных и темно-бурых железисто-марганцевых примазок; местами встречаются серо-бурые палеослепышины с неясными контурами; в заметном количестве содержит древесные корни.

B_t2h – 65–92 см. Бурый, местами темно-бурый; призматично-крупноореховатый; глинистый; тонкотрещиноватый; грани агрегатов содержат бурые, темно-бурые и шоко-

ладно-бурые органо-минеральные кутаны со слабым глянцевым блеском; много мелких черных железисто-марганцевых примазок; в заметном количестве встречаются серо-бурые палеослепышины с неясными контурами (рис. 5 Б); встречаются древесные корни.

Vt1Cк – 92–125 см. Желтовато-бурый; глыбисто-призматичный; глинистый; тонко-трещиноватый; поверхность призматичных агрегатов покрыта бурыми глянцевыми и матовыми кутанами; обилие мелких железисто-марганцевых примазок примерно такое же, как в вышележащем горизонте; с глубины 100 см местами встречаются желто-белесые трубочки карбонатов, а также редкие белесые журавчики; содержит редкие корни.

Vt2Cк – 125–160 см. Белесовато-желто-бурый; по большинству признаков аналогичен вышележащему горизонту, однако карбонаты характеризуются более яркой выраженностью и более высоким разнообразием форм: желто-белесые трубочки, на поверхности призматичных агрегатов – тонкий белесоватый налет плесени и тонкие корочки, по трещинной сети – белесые журавчики с частотой встречаемости – 1–2 штуки на 1 дм².

Слабое вскипание профиля начинается с глубины 100 см, книзу интенсивность вскипания постепенно возрастает, в местах с журавчиками вскипание становится бурным.

Почва – темно-серая лесная среднесуглинистая на бурых покровных карбонатных глинах.

В строении изученной почвы нашло отражение длительное лесное почвообразование, сформировавшее элювиально-иллювиальную дифференциацию профиля с четко выраженными генетическими горизонтами и присущими ей морфологическими признаками. Однако в средней части профиля сохранились свойства степной стадии формирования данной почвы – палеослепышины, заполненные серо-бурым гумусированным суглинком. По данному признаку, а также в целом по более темной окраске данной части профиля (по сравнению с выше- и нижележащими горизонтами), горизонт Vt2h можно интерпретировать как второй гумусовый горизонт, представляющий собой реликтовую часть нижней половины гумусового профиля палеочернозема, формировавшегося до момента поселения на исследованном участке леса.

Вопрос о длительности лесного почвообразования на данном участке остается открытым. И все же имеющиеся данные, известные по результатам изучения эволюции почв в других местах лесостепи, позволяют хотя бы примерно оценить эту длительность. Согласно полученным ранее результатам, трансформация черноземов в тип серых лесных почв в результате позднеголоценового надвигания лесов на степи на придолинных участках водоразделов быстрее всего происходила на песках, супесях и легких суглинках (за 1–1,5 тысячи лет) и медленнее всего протекала на глинистых почвообразующих породах (за 2 и более тысячи лет) [Чендев, 2008]. Поэтому мы предполагаем, что лес поселился на глинистых почвообразующих субстратах изучаемого водораздела, возможно, в начале субатлантического периода голоцена (около 2,8 тысяч лет назад), когда заметно возросла влажность климата при переходе от суббореального к субатлантическому периоду голоцена. В дальнейшем могли происходить подвижки границы леса как реакция на эпизодические аридизации климата – в соответствии с представлениями о возвратных фазах остепнения лесопокрываемых территорий [Александровский и др., 2011]. Однако общая длительность лесного почвообразования на протяжении всего субатлантического периода голоцена могла здесь составить не менее 2 тысяч лет, чего было вполне достаточно для формирования из тяжелосуглинистого чернозема, сформированного на глинах, профиля серой лесной почвы.

В ряде других мест лесостепи нам встречались более поздние варианты трансформации черноземов в серые лесные почвы, когда лес занимал остепненные водоразделы в первых веках новой эры, и общую длительность лесного почвообразования в этих местах можно было оценить в 1600–1700 лет (участки Борисовка в Белгородской области и Подгорное в Липецкой области). Однако в данных случаях почвы формировались на более легких по гранулометрическому составу субстратах (суглинках), на которых эволюционная трансформация черноземов в серые лесные почвы протекала быстрее, чем на глинах.



Реконструируемая на участке «Новый» относительная древность лесного почвообразования по сравнению с другими, ранее исследованными участками юга лесостепи (сложенными суглинками, супесями и песками), не противоречит представлениям других авторов, связывающих образование островной лесостепи с гидрогеологической неоднородностью почвообразующих пород. Так, в соответствии с представлениями Г.П. Сурмача [1987], места первоочередного заселения лесами территорий и формирования там серых лесных почв соответствуют участкам с неоднородными слоистыми почвообразующими породами, часто имеющими близкое к поверхности (на глубине 1–2 м) залегание водоупоров, на которых задерживается атмосферная влага, продуктивно используемая корневыми системами деревьев. Такими водоупорами служат водонепроницаемые породы и, в том числе, глины. По мнению Г.П. Сурмача [1987], лугово-степная растительность с черноземными почвами пространственно соответствует местам распространения пород с лучшей фильтрационной способностью, каковыми, в частности, являются широко распространенные трещиноватые и пористые покровные лёссовидные суглинки. Согласно существующим представлениям [Климанов, Серебрянная, 1986; Серебрянная, 1992; Alexandrovski et al., 2022; и др.], на территории южной половины лесостепи центра Восточной Европы климат среднего голоцена был засушливее современного и преобладающим типом растительности в это время были степи на черноземах. Формирование зонального типа ландшафтов широколиственных лесов в лесостепи началось позднее – в обстановке позднеголоценового увлажнения климата. Именно тогда, по нашему мнению, леса могли достаточно быстро заселить участки распространения глинистых почвообразующих пород, а уже затем (возможно, многими столетиями позднее) – участки распространения пород с более легким гранулометрическим составом (на этих породах происходила относительно быстрая фильтрация выпадавших атмосферных осадков, что создавало экологически неблагоприятные условия для быстрого освоения этих мест лесной растительностью).

Таким образом, с учетом вывода о первичности степей и вторичности лесов как зональных растительных группировок лесостепи, выявленную нами пространственную смену приопушечного чернозема серой лесной почвой в лесу мы предлагаем рассматривать как модель эволюционной трансформации чернозема в серую лесную почву, т. е. как почвенный хроноряд, реализованный на покровных карбонатных глинах.

Анализ морфологических признаков изученных почв дополняется результатами анализа их физических, физико-химических и химических свойств (рис. 6). В соответствии с этими данными, главные отличия между сравниваемыми почвами состоят в обеднении верхней части профиля серой лесной почвы илом и остаточным накоплении физического песка (две верхние схемы на рис. 6), в подкислении профиля серой лесной почвы, особенно выразительном в слое 20–70 см (горизонты A1A2t, A2B, Bt1) (две средние схемы на рис. 6), в снижении содержания углерода органического вещества (гумуса), а также в понижении максимума содержания углерода карбонатов в профиле серой лесной почвы в разрезе 2 по сравнению с черноземом, изученным в разрезе 1 (см. рис. 6).

Более точная идентификация произошедших эволюционных изменений чернозема в серую лесную почву была установлена при пересчете содержания изучаемых показателей в их запасы (табл. 1), а также при проведении дополнительных исследований группового состава гумуса и определении абсолютного возраста углерода органического вещества и карбонатов (табл. 2, 3).

Из тонких гранулометрических фракций наиболее очевидные изменения между сравниваемыми почвами наблюдались в профильном распределении ила (см. табл. 1). Если по запасам ила в профиле приопушечного чернозема коэффициент текстурной дифференциации равен 3,1 (по отношению запасов в самой обогащенной части профиля (слой 80–100 см) к самой обедненной (слой 0–20 см)), то в профиле серой лесной почвы данный коэффициент равен 7,2.

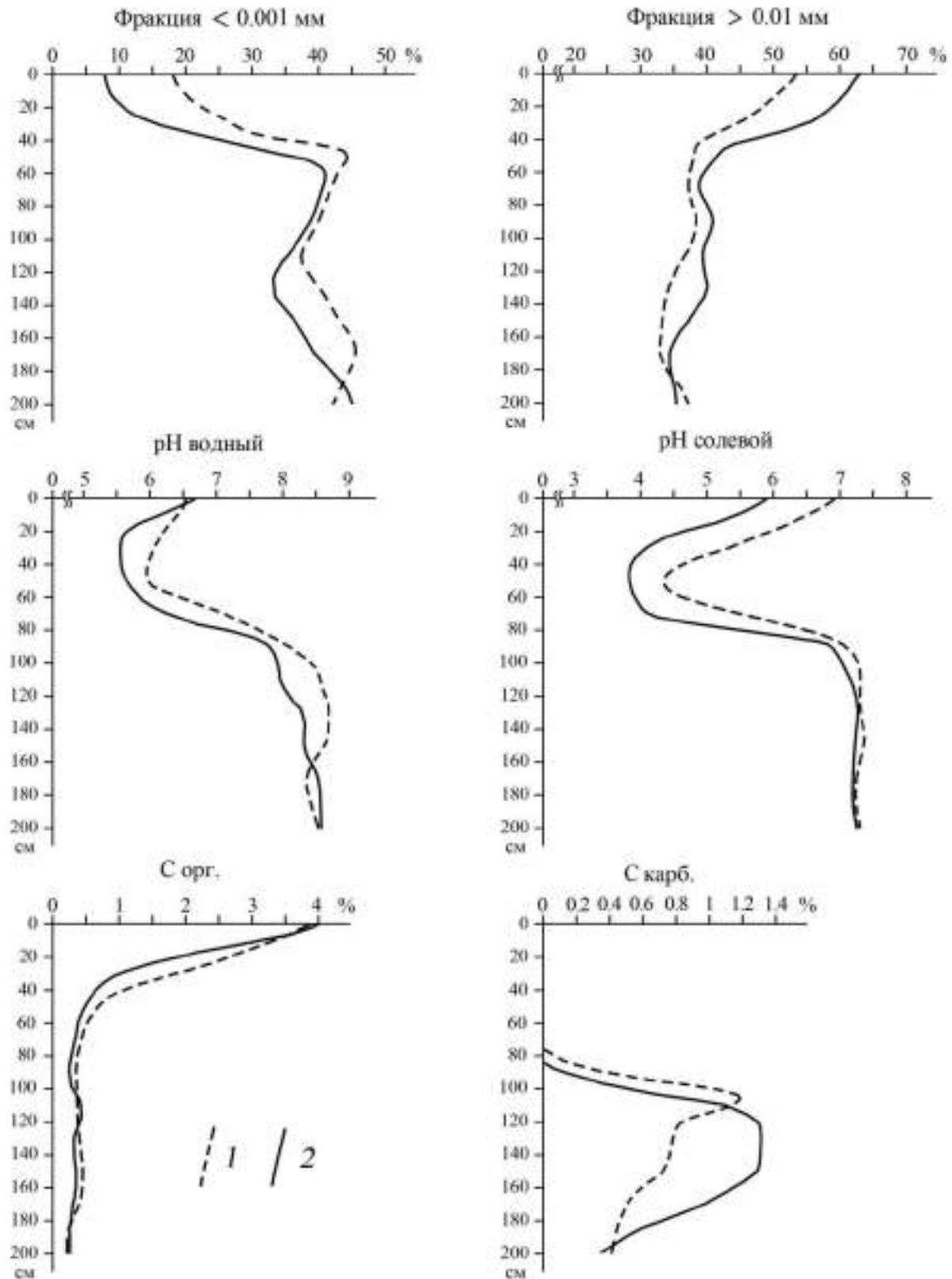


Рис. 6. Графики профильного распределения ряда свойств в изученных почвах.
Условные обозначения: 1 – распределение в профиле чернозема (P.1);
2 – распределение в профиле серой лесной почвы (P.2)
Fig. 6. Graphs of the profile distribution of a number of properties in the studied soils.
Symbols: 1 – distribution in the chernozem (P.1); 2 – distribution in the gray forest soil (P.2)



Таблица 1
Table 1

Запасы ряда показателей в изученных почвах
Stocks of a number of indicators in the studied soils

Слой, см	Гранулометрические фракции, кг/м ²			Углерод, кг/м ²	
	0,005–0,001 мм	< 0,001 мм	< 0,01 мм	гумуса	карбонатов
Разрез 1 (чернозем)					
0–20	49,07	48,07	117,46	8,56	0
20–40	54,55	74,63	150,97	5,51	0
40–60	50,82	138,00	193,13	2,34	0
60–80	51,93	146,40	218,30	1,64	0
80–100	65,65	148,12	226,43	1,44	1,29
100–120	62,05	140,36	235,81	1,50	4,53
120–140	71,50	149,84	244,55	1,71	3,12
140–160	60,79	157,54	243,47	1,77	2,87
160–180	59,30	165,98	242,61	1,71	2,00
180–200	53,21	156,20	228,89	0,86	1,62
0–100	272,02	555,22	906,29	19,76	1,29
0–200	578,87	1325,14	2101,61	27,31	15,43
Разрез 2 (серая лесная почва)					
0–20	41,98	19,06	82,91	6,84	0
20–40	53,54	49,08	131,45	3,25	0
40–60	49,99	119,20	188,63	1,75	0
60–80	53,53	137,30	206,42	1,25	0
80–100	51,21	133,42	203,90	1,00	0,48
100–120	64,38	125,03	212,47	1,48	4,01
120–140	80,64	111,85	215,46	1,22	5,00
140–160	68,15	133,18	230,11	1,44	5,08
160–180	68,29	147,66	243,55	1,27	3,70
180–200	60,88	167,54	246,58	1,06	2,01
0–100	250,25	458,06	813,31	14,09	0,48
0–200	592,59	1143,32	1961,48	20,56	20,28

Таблица 2
Table 2

Групповой гумус в профилях изученных почв
The group composition of humus in the profiles of the studied soils

Глубина, см	С общ, %	С гк, %	С фк, %	С гумина, %	Сгк/Сфк
Разрез 1 (чернозем)					
0–20	3,41	1,38	0,66	1,37	2,08
20–40	1,94	0,80	0,31	0,83	2,59
40–60	0,69	0,29	0,13	0,27	2,18
60–80	0,44	0,14	0,14	0,15	1,01
80–100	0,36	0,05	0,12	0,19	0,41
Разрез 2 (серая лесная почва)					
0–20	3,14	1,64	0,84	0,66	1,94
20–40	1,07	0,61	0,26	0,20	2,29
40–60	0,51	0,14	0,25	0,11	0,58
60–80	0,35	0,04	0,21	0,10	0,19
80–100	0,27	0,02	0,19	0,07	0,10

Таблица 3
Table 3Радиоуглеродный возраст гумуса и карбонатов в изученных почвах
Radiocarbon age of humus and carbonates in the studied soils

Глубина, см	Датирующий материал	Лабораторный номер	Радиоуглеродный (^{14}C) некалиброванный возраст, лет назад (BP)*
Разрез 1 (чернозем)			
20–25	гумус	Ki-19899	780 ± 60
40–45	гумус	Ki-19900	2920 ± 90
80–85	гумус	Ki-19920	3550 ± 140
100–110	карбонаты	Ki-20013	8340 ± 140
190–200	карбонаты	Ki-20014	7420 ± 210
Разрез 2 (серая лесная почва)			
20–25	гумус	Ki-19910	1210 ± 70
40–45	гумус	Ki-19915	2740 ± 110
80–85	гумус	Ki-19921	3010 ± 80
90–100	карбонаты	Ki-20012	11490 ± 150
190–200	карбонаты	Ki-19922	8970 ± 140

*Радиоуглеродные даты принято давать в годах назад от 1950 г (BP – before present).

В профиле серой лесной почвы инверсия по возрасту карбонатов между верхней и нижними частями карбонатного профиля становится еще более выразительной: на глубине 90–100 см возраст составляет 11490 ± 150 лет, а на глубине 190–200 см – 8970 ± 140 лет (см. табл. 3).

Обеднение илом в процессе эволюционного преобразования чернозема в серую лесную почву происходило в слое 0–60 см, что соответствует суммарной мощности горизонтов A1, A1A2, A2Bt и верхней части Bt1. При этом максимальные потери ила были характерны для верхнего 20 см слоя почв, а к низу объемы потерь заметно уменьшались. С учетом различий по послойно определенным коэффициентам текстурной дифференциации сравниваемых почвенных профилей, объем общего выноса ила из верхней части профиля чернозема в процессе его преобразования в серую лесную почву мог составить в слое 0–20 см – 27 кг/м^2 , в слое 20–40 см – 21 кг/м^2 , в слое 40–60 см – 9 кг/м^2 . При расчетах учитывалось естественное пространственное варьирование запасов гранулометрических фракций, выявляемое при сравнении разрезов 1 и 2 (см. табл. 1). Исходя из этого, запасы ила в слое его максимальной концентрации в профиле серой лесной почвы (60–80 см) для расчетов принимались равными среднему значению между показателями почв в разрезах 1 и 2. Учитывая, что предположительный возраст лесного почвообразования, сформировавшего профиль серой лесной почвы в разрезе 2, составляет около 2000 лет, ориентировочные темпы выноса ила можно принять равными: для слоя 0–20 см – $0,14 \text{ кг/м}^2$ каждые 10 лет, а для слоя 0–60 см – $0,29 \text{ кг/м}^2$ каждые 10 лет.

Известно, что кроме илистой фракции в процессе лессиважа также может участвовать фракция мелкой пыли [Тонконогов, 1999]. Однако в нашем случае не выявляется существенных изменений запасов данной фракции (0,005–0,001 мм) за исключением самого верхнего 20 см слоя, в котором в профиле серой лесной почвы произошло обеднение на 7 кг/м^2 мелкой пыли по сравнению с черноземом (см. табл. 1).

Сравнительный анализ запасов углерода карбонатов и гумуса в профилях изученных почв позволил установить следующие тенденции.



При сравнении изучаемых почв дегумификация в профиле серой лесной почвы выявляется до глубины 1,8 м: в метровой толще различия в запасах углерода органического вещества почв составляют $5,7 \text{ кг/м}^2$, что эквивалентно снижению запасов гумуса с 341 т/га в черноземе до 243 т/га в серой лесной почве, а в 2-метровой толще рассматриваемые различия составляют $6,8 \text{ кг/м}^2 \text{ С орг.}$, 471 т/га и 354 т/га гумуса соответственно (см. табл. 1). Средние темпы дегумификации в метровой части профиля почв за период трансформации чернозема в серую лесную почву могли составить $0,029 \text{ кг/м}^2$ или 290 кг/га почвенного органического вещества за 10 лет.

Перестройка группового состава гумуса как следствие трансформации чернозема в серую лесную почву (см. табл. 2) сопровождалась сужением отношения Сгк:Сфк на всю глубину профиля, причем заметнее всего в средней части профиля – в слое 40–80 см, где происходило максимальное подкисление почвы (см. рис. 6). Нами также обнаружено профильное снижение абсолютного содержания углерода гумина в результате эволюционного перехода чернозема в серую лесную почву (см. табл. 3), несмотря на то, что гумин считается одним из самых устойчивых компонентов гумуса почв [Дергачева, 2018].

Рассматривая эволюционную перестройку группового гумуса в профиле почв как результат надвигания леса на степь и соответствующей этому трансформации черноземов в серые лесные почвы, следует заметить, что сужение отношения Сгк:Сфк в самом верхнем 20 см слое (аналогичное выявленному в приопушечном черноземе, см. табл. 2), может происходить уже в первые десятилетия поселения лесной растительности на черноземах, что подтверждают проведенные нами ранее исследования черноземов под полезащитными лесополосами в агролесомелиоративных ландшафтах Белгородской области и на участке Ямской степи, где было выявлено занятие лесом степи на плакоре за период 30–75 лет.

Радиоуглеродный возраст гумуса идентичных слоев изученных профилей чернозема и серой лесной почвы характеризуется различиями: в верхней части профиля (на глубине 20–25 см) возраст гумуса серой лесной почвы увеличивается по сравнению с черноземом, а в глубже расположенных слоях формируется противоположная тенденция – возраст гумуса в серой лесной почве уменьшается по сравнению с показателями чернозема (см. табл. 3). Для точного выяснения причин установленных изменений требуется проведение дополнительных исследований.

Можно предположить, что рост возраста почвенного органического вещества в верхних слоях серой лесной почвы мог быть вызван замедлением углеродного обмена почвы с атмосферой в связи со сменой условий почвообразования с лугово-степного на широколиственно-лесной. Также не исключено формирование более мобильного гумуса в лесной обстановке и нисходящая миграция новообразованных гумусовых веществ, которые участвовали в «омоложении» органического вещества средней части профиля почвы – на глубинах 40–85 см (см. табл. 3). Неслучайно при обсуждении генезиса серых лесных почв отмечается миграционная природа гумуса в их профилях [Ахтырцев, 1979; Пономарева, Плотникова, 1980; и др.].

При сравнительной характеристике чернозема и серой лесной почвы мы уже указывали на смещение вниз максимума распространения карбонатов в профиле серой лесной почвы (см. рис. 6, табл. 1), что могло быть обусловлено усилением интенсивности выщелачивания верхней части карбонатного профиля в лесной обстановке.

Вместе с тем обеднение карбонатами (что определяется по их запасам) в серой лесной почве идентифицируется только в слое 80–120 см, а в более глуболежащих слоях отмечается накопление карбонатов по сравнению с приопушечным черноземом (см. табл. 1).

Установленное накопление карбонатов в слое 120–200 см серой лесной почвы, на наш взгляд, связано не только с их перераспределением в нижнюю часть профиля в результате выщелачивания из слоя 80–120 см, что эквивалентно обогащению на $1,33 \text{ кг/м}^2$ углерода карбонатов (по данным табл. 1). Более существенная прибавка запасов карбонатов (дополнительно $4,85 \text{ кг/м}^2$ углерода карбонатов) была связана с влиянием другого

процесса. Раскрытию причины помогает сравнительный анализ радиоуглеродного возраста карбонатов на самом верхнем (90–110 см) и самом нижнем, доступном для наблюдений (190–200 см), уровнях их распространения. В профиле приопушечного чернозема на верхнем уровне возраст карбонатов составляет 8340 ± 140 лет, тогда как на глубине 190–200 см – 7420 ± 210 лет (см. табл. 3). Увеличение возраста карбонатов в верхней части карбонатного профиля может свидетельствовать о подтяжке древних карбонатов снизу и главным агентом этой подтяжки, вероятнее всего, являются корневые системы деревьев.

Таким образом, за период трансформации чернозема в серую лесную почву в верхней части карбонатного профиля радиоуглеродный возраст карбонатов увеличился на 3150 лет, а в нижней части карбонатного профиля – на 1550 лет (т. е. вдвое меньше). Указанные закономерности, по нашему мнению, вызваны эффектом корневой десукции и подтяжкой (благодаря десукции) древних карбонатов в верхнюю часть карбонатных профилей изученных почв, причем данный процесс развивается во времени, о чем свидетельствует увеличение радиоуглеродного возраста карбонатов в профиле серой лесной почвы по сравнению с таковым в черноземе. Судя по вертикальной инверсии возраста карбонатов, более активно корневая десукция проявляет себя на глубинах 90–110 см и менее активно – в слое 190–200 см, что вполне закономерно, учитывая снижение запасов живой массы корней деревьев в более глубоких почвенных слоях.

Заключение

Проведенное исследование позволило установить направленность и интенсивность ряда почвообразовательных процессов как результата эволюционной трансформации чернозема в серую лесную почву на участке ровного водораздела с почвообразующими породами, представленными бурыми покровными карбонатными глинами.

1. Пространственную смену приопушечного чернозема выщелоченного темно-серой лесной почвой в лесу (на удалении 20 м от опушки) предлагается рассматривать как модель позднеголоценовой эволюции почв в результате надвигания леса на степь, а саму пару сравниваемых почв – как почвенный хроноряд. О степном прошлом темно-серой лесной почвы свидетельствуют палеослепышины в ее профиле (следы степных землероев), а также второй гумусовый горизонт, являющийся остатком нижней половины гумусированной части профиля палеочернозема. Ориентировочный возраст лесного почвообразования, сформировавшего изученную темно-серую лесную почву на глинах, принят равным 2000 лет.

2. Эволюционная трансформация чернозема в серую лесную почву сопровождалась снижением мощности гумусированной части профиля (с 53 до 28 см), формированием элювиально-иллювиальной дифференциации профиля, развитием лессиважа и выносом ила из слоя 0–60 см, подкислением профиля (особенно интенсивным в слое 20–70 см), дегумификацией почвенного профиля, формированием более фульватного типа гумуса, выщелачиванием от карбонатов в слое 80–120 см и корневой подтяжкой карбонатов в слое 120–200 см.

3. В соответствии с выдвинутым предположением, территории распространения глинистых почвообразующих пород на юге лесостепной зоны являлись участками первоочередного заселения лесами степных геосистем в результате позднеголоценового увлажнения и похолодания климата. Важным фактором распространения на этих участках лесов было застаивание влаги выпадавших атмосферных осадков или после снеготаяния. Здесь формировались экологически благоприятные условия для поселения лесной растительности в связи с более продуктивным использованием почвенной влаги корнями деревьев по сравнению с почво-грунтами более легкого гранулометрического состава.



Список литературы

- Александровский А.Л., Чендев Ю.Г., Трубицын М.А. 2011. Палеопочвенные индикаторы изменчивости экологических условий Центральной лесостепи в позднем голоцене. Известия РАН. Серия географическая, 6: 87–99.
- Ахтырцев Б.П. 1979. Серые лесные почвы Центральной России. Воронеж, Издательство Воронежского университета, 232 с.
- Багалей Д.И. 1886. Материалы для истории колонизации и быта степной окраины Московского государства (Харьковской и отчасти Курской и Воронежской губ.) в XVI–XVIII столетии. Харьков, 358 с.
- Дергачева М.И. 2018. Система гумусовых веществ как основа диагностики палеопочв и реконструкции палеоприродной среды. Новосибирск, Издательство Сибирского отделения Российской академии наук, 292 с. DOI: 10.15372/SYSTEM2018DMI.
- Добровольский Г.В. 1983. «Русский чернозем» и его значение в развитии почвоведения. Русский чернозем – 100 лет после Докучаева. М., Наука, 304 с.
- Загоровский В.П. 1991. История вхождения Центрального Черноземья в состав Российского государства в XVI веке. Воронеж, Издательство Воронежского университета, 270 с.
- Классификация и диагностика почв СССР. 1977. М., Колос, 223 с.
- Климанов В.А., Серебрянная Т.А. 1986. Изменения растительности и климата на Среднерусской возвышенности в голоцене. Известия АН СССР. Серия географическая, 1: 26–37.
- Когут Б.М., Семенов В.М. 2020. Оценка насыщенности почвы органическим углеродом. Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева, 102: 103–124. DOI: 10.19047/0136-1694-2020-102-103-124.
- Марголина Н.Я., Александровский А.Л., Ильичев Б.А., Черкинский А.Е., Чичагова О.А. 1988. Возраст и эволюция черноземов. М., Наука, 144 с.
- Память почв: Почва как память биосферно-геосферно-антропоферных взаимодействий. 2008. М., Издательство ЛКИ, 687 с.
- Пономарева В.В., Плотникова Т.А. 1980. Гумус и почвообразование. Л., Наука, 222 с.
- Серебрянная Т.А. 1992. Динамика границ Центральной лесостепи в голоцене. В кн.: Вековая динамика биогеоценозов. Чтения памяти академика В.Н. Сукачева. М., Наука: 54–71.
- Сурмач Г.П. 1987. О распределении растительных формаций и серых лесных и черноземных почв лесостепи в связи с особенностями литологического строения лессовых пород. Почвоведение, 1: 7–16.
- Тонконогов В.Д. 1999. Глинисто-дифференцированные почвы Европейской России. М., Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 156 с.
- Чендев Ю.Г. 2008. Эволюция лесостепных почв Среднерусской возвышенности в голоцене. М., ГЕОС, 212 с.
- Чендев Ю.Г. 2019. Стадийность эволюционной трансформации лесостепных черноземов в серые лесные почвы. В кн.: Проблемы природопользования и экологическая ситуация в Европейской России и на сопредельных территориях. Материалы VIII Международной научной конференции, 22–25 октября 2019, Белгород, Издательский дом «Белгород»: 187–191.
- Alexandrovski A.L., Chendev Yu.G., Yurtaev A.A. 2022. Soils with a Second Humus Horizon, Paleochernozems and History of Pedogenesis on the Border between Forest and Steppe Areas. Eurasian Soil Science, 55 (2): 127–146. DOI: 10.1134/S1064229322020028.
- Rusakov A., Makeev A., Khokhlova O., Kust P., Lebedeva M., Chernov T., Golueva A., Popov A., Kurbanova F., Puzanova T. 2018. Paleoenvironmental reconstruction based on soils buried under Scythian fortification in the southern forest-steppe area of the East European Plain. Quaternary International, 502 (B): 197–217. DOI: 10.1016/j.quaint.2018.05.016.

References

- Alexandrovsky A.L., Chendev Yu.G., Trubitsin M.A. 2011. Paleo Soil Indicators of Changes in Ecological Conditions in the Central Forest-Step in Late Holocene. Izvestiya RAN. Seriya Geograficheskaya, 6: 87–99 (in Russian).
- Akhtyrtsev B.P. 1979. Seryye lesnyye pochvy Tsentralnoy Rossii [Gray Forest Soils of the Central Russia]. Voronezh, Publ. Voronezh university, 232 p.

- Bagaley D.I. 1886. Materialy dlya istorii kolonizatsii i byta stepnoy okrainy Moskovskogo gosudarstva (Kharkovskoy i otchasti Kurskoy i Voronezhskoy gub.) v XVI–XVIII stoletii [Materials for the history of settlement and life on the steppe boundary of the Moscow state (Kharkiv and partially Voronezh provinces) during XVI–XVIII centuries]. Kharkov, 358 p.
- Dergacheva M.I. 2018. The System of Humic Substances as a Basis for the Diagnosis of Paleosols and the Reconstruction of the Paleo-Natural Environment. Novosibirsk, Publ. Siberia Branch of RAS, 288 p. (in Russian). DOI: 10.15372/SYSTEM2018DMI.
- Dobrovolskiy G.V. 1983. «Russkiy chernozem» i ego znachenie v razvitiy pochvovedeniya. Russkiy chernozem – 100 let posle Dokuchayeva [The “Russian Chernozem”, and its significance for development of Soil Science. The Russian Chernozem – 100 years after Docuchaev]. Moscow, Publ. Nauka, 304 p.
- Zagorovskiy V.P. 1991. Istoriya vkhozheniya Tsentralnogo Chernozemia v sostav Rossiyskogo gosudarstva v XVI veke [The history of the entry of the Central Chernozem region into the Russian state in the XVI century]. Voronezh, Publ. Voronezh university, 270 p.
- Klassifikatsiya i diagnostika pochv SSSR [Classification and diagnostics of soils of the USSR]. 1977. Moscow, Publ. Kolos, 223 p.
- Klimanov V.A., Serebryannaya T.A. 1986. Izmeneniya rastitelnosti i klimata na Srednerusskoy vozvysheynosti v golotsene [Changes in the Vegetation and Climate of the Central Russian Upland in the Holocene]. Izvestia Akademii Nauk SSSR. Seriya Geograficheskaya, 1: 26–37.
- Kogut B.M., Semenov V.M. 2020. Estimation of Soil Saturation with Organic Carbon. Dokuchaev Soil Bulletin, 102: 103–124 (in Russian). DOI: 10.19047/0136-1694-2020-102-103-124.
- Margolina N.Ya., Aleksandrovskii A.L., Il'ichev B.A., Cherkinskii A.E., Chichagova O.A. 1988. Vozrast i evolyutsiya chernozemov [Age and Evolution of Chernozems]. Moscow, Publ. Nauka, 144 p.
- Pamyat pochv: Pochva kak pamyat biosferno-geosferno-antroposfernykh vzaimodeystviy [Soil memory: Soil as a memory of biosphere-Geosphere-Anthroposphere interactions]. 2008. Moscow, Publ. LKI, 687 p.
- Ponomareva V.V., Plotnikova T.A. 1980. Gumus i pochvoobrazovaniye [Humus and Soil Formation]. Leningrad, Publ. Nauka, 222 p.
- Serebryannaya T.A. 1992. Dinamika granits Tsentralnoy lesostepi v golotsene [Dynamics of the boundaries of Central forest-steppe in the Holocene]. In: Vekovaya dinamika biogeotsenozov. Chteniya pamyati akademika V.N. Sukacheva [Conference in Memoriam of Academician V.N. Sukachev “Century Dynamics of Biogeocenoses”]. Moscow, Publ. Nauka: 54–71.
- Surmach G.P. 1987. O raspredelenii rastitelnykh formatsiy i serykh lesnykh i chernozemnykh pochv lesostepi v svyazi s osobennostyami litologicheskogo stroyeniya lessovykh porod [Distribution of plant communities and gray forest soils and forest-steppe chernozems as related to specific lithological structure of loess sediments]. Pochvovedenie, 1: 7–16.
- Tonkonogov V.D. 1999. Glinisto-differentsirovannyye pochvy Evropeyskoy Rossii [Clay-Differentiated Soils of European Russia]. Moscow, Publ. Pochvennyy institut im. V.V. Dokuchayeva, 156 p.
- Chendev Yu.G. 2008. Evolyutsiya lesostepnykh pochv Srednerusskoy vozvysheynosti v golotsene [Evolution of Forest-Steppe Soils of the Central Russian Upland in the Holocene]. Moscow, Publ. GEOS, 212 p.
- Chendev Yu.G. 2019. Stadiynost evolyutsionnoy transformatsii lesostepnykh chernozemov v seryye lesnyye pochvy [Stages of the evolutionary transformation of forest-steppe chernozems into gray forest soils]. In: Problemy prirodopolzovaniya i ekologicheskaya situatsiya v Evropeyskoy Rossii i na sopredelnykh territoriyakh [Problems of nature management and the ecological situation in European Russia and adjacent territories]. Materials of the VIII International Scientific Conference, 22–25 October 2019, Belgorod, Publ. “Belgorod”: 187–191.
- Alexandrovskiy A.L., Chendev Yu.G., Yurtaev A.A. 2022. Soils with a Second Humus Horizon, Paleochernozems and History of Pedogenesis on the Border between Forest and Steppe Areas. Eurasian Soil Science, 55 (2): 127–146. DOI: 10.1134/S1064229322020028.
- Rusakov A., Makeev A., Khokhlova O., Kust P., Lebedeva M., Chernov T., Golueva A., Popov A., Kurbanova F., Puzanova T. 2018. Paleoenvironmental reconstruction based on soils buried under Scythian fortification in the southern forest-steppe area of the East European Plain. Quaternary International, 502 (B): 197–217. DOI: 10.1016/j.quaint.2018.05.016.



*Поступила в редакцию 15.02.2022;
поступила после рецензирования 03.03.2022;
принята к публикации 17.03.2022*

*Received February 15, 2022;
Revised March 03, 2022;
Accepted March 17, 2022*

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.
Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Чендев Юрий Георгиевич, доктор географических наук, доцент, профессор кафедры природопользования и земельного кадастра Института наук о Земле, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Салова Татьяна Леонидовна, аспирант кафедры географии, геоэкологии и безопасности жизнедеятельности Института наук о Земле, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Белеванцев Валерий Григорьевич, старший преподаватель кафедры природопользования и земельного кадастра Института наук о Земле, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Yury G. Chendev, Doctor of Science (Geography), Associate Professor, Professor of Department of Natural Resources and Land Cadastre, Institute of Earth Sciences, Belgorod National Research University, Belgorod, Russia

Tatyana L. Salova, PhD student, Department of Geography, geocology and life safety, Institute of Earth Sciences, Belgorod National Research University, Belgorod, Russia

Valeriy G. Belevantsev, Assistant Professor of Department of Natural Resources and Land Cadastre, Institute of Earth Sciences, Belgorod National Research University, Belgorod, Russia



УДК 631.445.51:911.52
DOI 10.52575/2712-7443-2022-46-2-173-183

Химические свойства и биологическая активность почв на акчагыльских глинах в Восточном Предкавказье в условиях интенсивной пастбищной нагрузки

¹ Попкова А.К., ² Идрисов И.А., ³ Пинской В.Н., ³ Ельцов М.В., ³ Борисов А.В.

¹ Российский университет дружбы народов,
Россия, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6

² Институт геологии ДНЦ РАН,
Россия, 367010, Республика Дагестан, г. Махачкала, ул. Ярагского, 75

³ Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН,
Россия, 142290, г. Пушкино, ул. Институтская, 2
E-mail: anutka2106@yandex.ru

Аннотация. Проведено исследование почв, развитых на засоленных плиоценовых отложениях акчагыльского яруса в аридной зоне Восточного Предкавказья (Республика Дагестан). Цель исследования заключалась в анализе влияния выпаса скота на химические свойства и биологическую активность почв на разных элементах рельефа. Изучены основные химические свойства каштановых почв и солонцов в различных геоморфологических условиях и разной интенсивности пастбищной нагрузки. Впервые получены данные о биологической активности почв зимних пастбищ в пределах теплой непромерзающей почвенно-климатической фации. Показано, что во всех случаях отмечаются весьма высокие значения коэффициента микробного дыхания, что указывает на стрессовое состояние микробного сообщества. Учитывая сенсорность и чувствительность микробного сообщества к изменениям внешних условий, такой подход может быть эффективным при экологической оценке состояния и прогнозов развития почв.

Ключевые слова: Предкавказье, солонцы, светло-каштановые почвы, выпас скота, активная микробная биомасса, коэффициент микробного дыхания, уреазная активность

Благодарности: Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, грант № 19-18-00406.

Для цитирования: Попкова А.К., Идрисов И.А., Пинской В.Н., Ельцов М.В., Борисов А.В. 2022. Химические свойства и биологическая активность почв на акчагыльских глинах в Восточном Предкавказье в условиях интенсивной пастбищной нагрузки. Региональные геосистемы, 46(2): 173–183. DOI 10.52575/2712-7443-2022-46-2-173-183

Chemical Properties and Biological Activity of Soils on Akchagyl Clays in the Eastern Ciscaucasia under Conditions of Intensive Pasture Load

¹Anna K. Popkova, ²Idris A. Idrisov, ³Viktor N. Pinskoy, ³Maxim. V. Eltsov,
³Alexander V. Borisov

¹RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russia

²Institute of Geology of Dagestan Science Centre, RAS

75 Yaragskogo St, Republic of Dagestan, Makhachkala, 367010, Russia

³Institute of Physicochemical and Biological Problems in Soil Science of the RAS

2 Institutskaya St, Pushchino, 142290, Russia

E-mail: anutka2106@yandex.ru

Abstract. At present, there is an acute problem of disturbance of ecological balance in pasture ecosystems caused by natural and anthropogenic factors. Long-term and unsystematic use of pastures without taking into



account ecological features has led to the deterioration of biological diversity, the development of degradation processes. Among pasture soils, the danger of overgrazing of winter pastures soils is especially susceptible, since grazing in winter occurs on moist soils, which leads to over consolidation, erosion and negative changes in a number of soil properties. In this regard, a study of soils developed on saline Pliocene deposits of the Akchagyl stage in the arid zone of the Eastern Ciscaucasia (Republic of Dagestan) was carried out. The purpose of the study was to analyze the effect of livestock grazing on the chemical properties and biological activity of soils on different relief elements. The basic chemical properties of chestnut soils and solonchaks in various geomorphological conditions and different intensity of pasture load have been studied. For the first time, data on the biological activity of winter pastures soils within the warm non-freezing soil-climatic facies were obtained. It is shown that in all cases very high values of the microbial respiration coefficient are observed, which indicates the stressful state of the microbial community. Taking into account the sensitivity and sensitivity of the microbial community to changes in external conditions, this approach can be effective in the ecological assessment of the state and forecasts of soil development.

Keywords: Ciscaucasia, Solonchak, Light Kastanozem soils, winter pastures, active microbial biomass, mmicrobial respiration coefficient, urease activity

Acknowledgements: The work is supported by the Russian Science Foundation, grant № 19-18-00406.

For citation: Popkova A.K., Idrisov I.A., Pinsky V.N., Eltsov M.V., Borisov A.V. 2022. Chemical Properties and Biological Activity of Soils on Akchagyl Clays in the Eastern Ciscaucasia under Conditions of Intensive Pasture Load. *Regional Geosystems*, 46(2): 173–183 (in Russian). DOI 10.52575/2712-7443-2022-46-2-173-183

Введение

Деградация почвенного покрова в результате выпаса скота является одной из основных проблем современного сельского хозяйства в степной зоне, где скотоводство является ведущей отраслью экономики [Снакин и др., 1995; Добровольский, 2000; Экологическое нормирование..., 2013]. Актуальной проблемой и первоочередной задачей на сегодняшний день является оценка современного состояния и прогноз развития почв естественных пастбищ в разных климатических, ландшафтно-географических, литологических и геоморфологических условиях.

При перегрузке пастбищ наблюдаются уплотнение почвы, сокращение мощности гумусового горизонта и запасов органического углерода (C_{org}), происходит пастбищное засоление, усиление слитости, нарушение структуры почв. Пасторальная дигрессия растительного покрова и разрыв дернины приводят к активизации водной эрозии и дефляции почв [Асанов и др., 1992; Котенко, 1993; Мусейбов, 1998; Добровольский, 2002; Усманов и др., 2010; Насиев, 2015; Сушко, 2015]. Все указанные негативные сценарии развития почв естественных пастбищ особенно актуальны для регионов, где почвообразующими породами выступают засоленные тяжелосуглинистые плиоцен-плейстоценовые отложения, а низкий уровень осадков обуславливает постоянное присутствие солей в корнеобитаемом слое. В этом случае любое нарушение почвенно-растительного покрова может приводить к прогрессирующему засолению почв и снижению кормовой емкости пастбищ.

Республика Дагестан является традиционно одним из ведущих скотоводческих регионов Российской Федерации, где земли выпаса занимают 1,8 млн га, из которых более 15 % подвержены деградации почвенного покрова [Государственный (национальный) доклад..., 2021]. Значительные площади пастбищ приурочены к выходам засоленных пород акчагыльского яруса верхнего плиоцена [Идрисов, 2011]. Акчагыльские глины формировались на различных стадиях литогенеза и в различных палеогеографических обстановках, что определило изменчивость их состава и неоднородность структурных характеристик. Горизонты сложены тонкослоистыми глинами серого цвета с различными оттенками, наполненными карбонатными материалами (в среднем 23 %), или мергелями. В грануло-

метрическом составе отмечаются, как чистые глины, с содержанием примеси песчано-алевритовых фракций менее 25 %, так и алевритовые глины, с содержанием песчано-алевритовых включений до 50 % и прослоев алевритовых частиц [Староверов, Савко 2004; Волож и др., 2020]. На территории Восточного Предкавказья на выходах таких пород развиваются светло-каштановые маломощные карбонатные солончаковатые (реже – глубокосолончаковатые) почвы в комплексах с солонцами корковыми или мелкими солончаковатыми. Следует отметить недостаточную изученность свойств такого рода почв. Известна лишь работа О.С. Хохловой с соавторами [2015], которые изучали погребенные почвы курганного могильника Паласа-Сырт и современные фоновые почвы. В этой работе описаны современные почвы залежного участка; целинные почвы не исследовались. Кроме того, описан один почвенный разрез в работе И.А. Идрисова [2010]. Комплексные исследования химических и биологических свойств почв региона ранее не проводились. В этой связи целью работы было изучение химических свойств и биологической активности почв пастбищ на акчагыльских глинах в Восточном Предкавказье.

Объекты и методы исследования

Объекты исследования расположены в окрестностях с. Сюют в Дербентском районе республики Дагестан. В географическом плане объекты приурочены к южной части возвышенности Паласа-Сырт, которая расположена в пустынно-степной зоне предгорий Восточного Кавказа (рис. 1). Климат засушливый умеренно-континентальный. Почвообразующие породы представлены засоленными акчагыльскими глинами, в почвенном покрове преобладают светло-каштановые почвы и солонцы [Агроклиматические ресурсы..., 1975]. Данная территория используется в качестве зимних пастбищ для выпаса овец. Пастбищная нагрузка умеренная (около 3 голов МРС/га).



Рис. 1. Расположение объектов исследования (белый квадрат) (www. google.com)
Fig. 1. Location of research objects (white square) (www. google.com)



Изучены почвы трех ключевых участков, приуроченных к различным формам рельефа и характеризующихся разной интенсивностью выпаса. Исследовали светло-каштановые почвы и солонцы.

Сюют-1. Эрозионный останец. Площадка между двумя отвершками оврага. В почвенном покрове доминируют светло-каштановые почвы и солонцы. Ниже в балке расположена ферма. Предположительно этот участок в наибольшей мере подвержен влиянию выпаса. Растительный покров сильно нарушен (проективное покрытие 30–40 %).

Сюют-2. Площадка на склоне северной экспозиции в привершинной зоне. Солонцов нет, доминируют светло-каштановые почвы (проективное покрытие более 50 %).

Сюют-3. Площадка на участке с горизонтальной поверхностью. Растительный покров схож с площадкой 1. В почвенном покрове участвуют светло-каштановые почвы и солонцы.

Химико-аналитические методы. Почвенные образцы на химические анализы отбирали по генетическим горизонтам. В образцах определяли содержание органического углерода титриметрическим вариантом метода И.В. Тюрина [Воробьева, 1998], содержание карбонатов ацидометрически [Воробьева, 1998; Александрова, 2019], гипс извлекали 0,2 М раствором HCl и определяли гравиметрическим методом [Воробьева, 1998; Стифатов, Рублинецкая, 2017], величину плотного остатка определяли весовым методом; определение рН водной вытяжки и емкости катионного обмена было проведено по традиционным методикам [Аринушкина, 1970]. Определение гранулометрического состава проводили пипеточным методом [Шейн, Карпачевский, 2007].

Методы определения биологической активности. Оценку биомассы микроорганизмов, дающих респираторный отклик на внесение глюкозы (С-СИД), проводили методом субстрат-индуцированного дыхания [Anderson, Domsch, 1978]. Рассчитывали коэффициент микробного дыхания Q_f как показатель устойчивости микробного сообщества [Благodatская, Ананьева, 1996]. Уреазную активность определяли с помощью модифицированного индофенольного метода [Kandeler, Gerber, 1988].

Результаты и их обсуждение

Химические свойства почв

Площадка Сюют-1 (Эрозионный останец). Содержание органического углерода (C_{org}) в верхнем горизонте почв на этом участке было на уровне 1 % в светло-каштановых почвах; в солонцах этот показатель был несколько ниже и достигал 0,8 %, с глубиной происходило равномерное его уменьшение (см. таблицу).

Содержание карбонатов варьировало в пределах от 0,4% до 18,1%, и уже в слое 13–28 см превышало 10 %. На площадке Сюют-1 происходило резкое увеличение этого показателя в солонцах на глубине 40–67 см, в светло-каштановых почвах на глубине 28–80 см и достигало максимальных значений 16,8 % и 18,1 % соответственно. Такая закономерность прослеживается и на других участках. Почвы характеризовались повышенной щелочностью, в солонце в средней части профиля значения рН достигали 9,1.

Верхняя часть профиля светло-каштановых почв выщелочена от гипса, его содержание возрастает лишь с глубины 80–120 см. В солонцах гипс обнаруживается в незначительных количествах с глубины 35–40 см, резкий пик его содержания наблюдается с глубины 67 см, где в горизонте $S_{ca,s,cs}$ значения достигают 13,4 %.

Площадка Сюют-2 (Склоновый участок). Участок приурочен к склону восточной экспозиции с уклоном 2–3°. В почвенном покрове абсолютно доминируют светло-каштановые почвы. Солонцов нет. Содержание органического углерода незначительно отличалось от вышеописанной площадки. Содержание $CaCO_3$ было несколько ниже, чем на площадке Сюют-1, максимальные величины отмечены в горизонте BC_{Anc} – 16,2 % (см. таблицу). Вскипание от HCl – с глубины 25 см. Значения рН также были несколько

ниже, по сравнению с почвами на эрозионном останце. Как и в случае с участком Сюгют-1, в склоновой почве наблюдалось резкое возрастание содержания солей и гипса с глубины 80 см, которое достигало 8,0 %.

Химические свойства почв на разных элементах рельефа
Chemical properties of soils on different relief elements

Горизонт	Глубина, см	рН водн.	C _{орг.}	CaCO ₃	CaSO ₄	Плот. остаток	ЕКО ммоль(+)/100 г	Содержание частиц, мм (%)	
								%	
Сюгют-1. Светло-каштановая среднесиловая карбонатная глубокосолончаковая									
AJ	0–13	7,3	1,0	1,1	0,1	0,1	20,0	16	45
BMca	13–28	8,2	0,5	12,3	0	0,2	20,0	33	61
BCAnc	28–80	8,3	0,3	18,1	0,1	0,1	16,0	26	59
Cca,s,cs	80–120	7,9	–	9,9	7,2	0,9	–	8	35
Сюгют-1. Солонец мелкий карбонатный солончаковый									
SEL	0–10	6,5	0,8	0,4	0	0,1	14,0	8	40
BSN	10–22	8,8	0,8	0,8	0	0,1	26,0	40	63
BCAdc	22–40	9,1	0,5	15,5	0,1	0,2	21,0	34	62
BCAnc	40–67	8,4	0,2	16,8	1,1	0,6	16,0	26	59
Cca,s,cs	67–120	8,3	–	9,8	13,4	1,6	–	26	56
Сюгют-2. Светло-каштановая среднесиловая карбонатная глубокосолончаковая									
AJ	0–15	7,1	0,9	0,5	0,1	0,1	23,0	12	41
BM	15–25	7,8	0,7	3,0	0,1	0,1	24,0	27	52
BCAnc	25–80	8,0	0,4	16,2	0,3	0,1	20,0	20	49
Cca,s,cs	80–120	7,9	–	9,1	8,0	0,6	–	18	43
Сюгют-3. Светло-каштановая среднесиловая карбонатная глубокосолончаковая									
AJ	0–13	7,3	1,3	0,8	0,1	0,1	18,0	13	42
BM	13–27	8,0	0,7	6,6	0,1	0,1	26,0	30	54
BCAnc	25–60	8,7	0,3	18,5	0,1	0,1	20,0	23	54
DCAdc	60–105	8,6	–	15,4	0,1	0,1	–	23	53
Cca,s,cs	105–120	7,9	–	11,9	5,0	0,8	–	20	48
Сюгют-3. Солонец мелкий карбонатный солончаковый									
SEL	0–7	6,6	0,9	0,4	0	0,1	14,0	8	37
BSN	7–20	8,9	0,6	0,8	0,1	0,2	28,0	36	58
BCAnc	20–46	9,1	0,3	17,5	0,4	0,2	21,3	27	57
Cca,s,cs	46–120	8,3	–	14,3	3,0	0,9	–	19	53

Площадка Сюгют-3 (Горизонтальный участок). На данной площадке были исследованы светло-каштановые почвы и солонцы. Отмечено наибольшее содержание органического углерода в светло-каштановых почвах (1,3 %) (см. таблицу). В солонцах этот показатель не превышал 0,9 %. Характерной особенностью почв данного участка было значительное содержание солей в солонцах с глубины 46 см, в то время как в профиле светло-каштановой почвы солевой максимум был на глубине 105 см.

Таким образом, для всех исследованных почв характерен однотипный карбонатный профиль. Обращает на себя внимание лишь более глубокое расположение карбонатных пиков в профиле каштановых почв. В светло-каштановых почвах содержание CaCO₃ в горизонте BCAsa было незначительно выше, чем в солонцах.

Содержание органического углерода на всех трех площадках было выше в светло-каштановых почвах, чем в солонцах, варьирование незначительное, однако максимальный показатель 1,3 % был отмечен на площадке умеренного выпаса Сюгют-3.

Солевой и гипсовый профили почв различались более заметно. В первую очередь обращает внимание резко выраженное накопление легкорастворимых солей в верхней части профиля солонцов.

Содержание легкорастворимых солей было максимальным в почвах Сюгют-1, где были наиболее выражены следы пастбищной депрессии.

Статистический анализ свойств светло-каштановых почв и солонцов выполнен методом главных компонент по семи показателям, которые проецируются на факторной плоскости, как показано на векторной диаграмме (рис. 2А). Каждый показатель представляет собой вектор, который указывает направление смещения точек на точечной диаграмме (Рис. 2Б), где фактор 1 представляет собой линию, проведенную через максимальный разброс значений по всем показателям, а фактор 2 – линию, перпендикулярную фактору 1 и пролегающую через второй по значимости разброс значений. В сумме оба фактора описывают 83,55 % всех различий. Фактор 1 при этом объясняет 57,44 %, а фактор 2 – 26,11 % различий. На диаграмме рассеивания хорошо видно практически полное сходство свойств горизонта SEL в солонцах и достаточно выраженные различия между свойствами верхних горизонтов каштановых почв (рис. 2). Что касается иллювиальной части профиля, то здесь различия обусловлены в первую очередь содержанием илистой и глинистой фракции и связанной с этим значениями ЕКО.

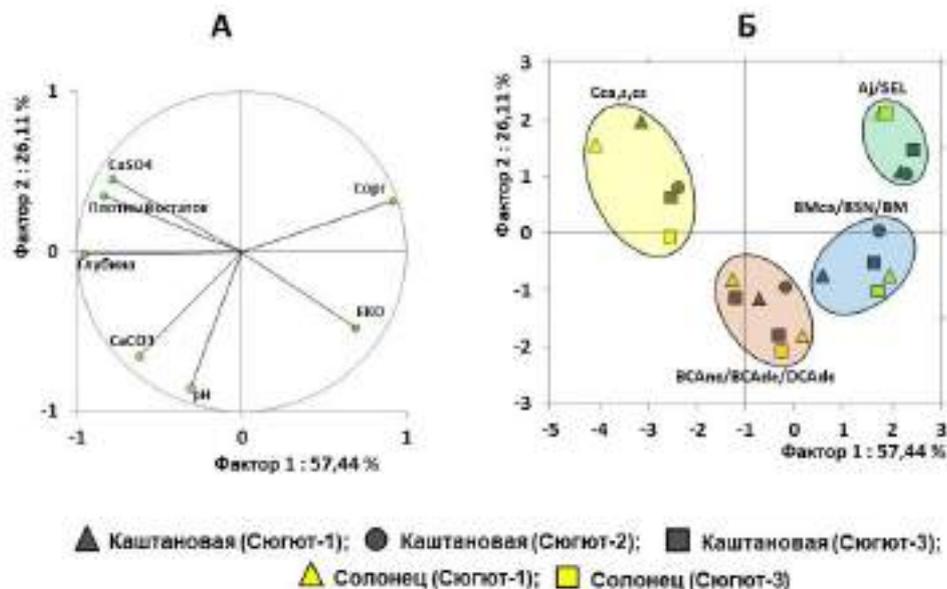


Рис. 2. Проекция химических свойств почв (А) и диаграмма рассеивания (Б) почвенных свойств в зависимости от типа почв и геоморфологического положения

Fig. 2. Projections of chemical properties of soils (A) and dispersion diagram (B) of soil properties depending on the type of soil and geomorphological position of the site

Биологические свойства почв

Изучение биологических свойств почв позволило выявить закономерности влияния интенсивности выпаса и геоморфологических условий на состояние почвенных микробных сообществ (рис. 3).

Максимальные значения величины активной микробной биомассы (С-СИД) в верхнем слое почвы были отмечены на склоновом участке и на выровненном плато (рис. 3-1)). Характерно, что и в светло-каштановой почве, и в солонце эти значения были довольно близки, исключение составляют лишь почвы на эрозионном останце, где был максимально ин-

тенсивный выпас скота. Здесь значения С-СИД в солонце были на 70 мкг/г меньше, чем в светло-каштановой почве.

По отношению интенсивности базального дыхания к субстрат-индуцированному был рассчитан коэффициент микробного дыхания (Q_r). Максимальные значения этого показателя были зафиксированы в слое 0–30 см светло-каштановых почв на склоне (рис. 3-2)). Здесь значения Q_r были близки к единице. Это говорит о том, что микробное сообщество не реагирует на внесение глюкозы, что является показателем его стрессового состояния. Наиболее устойчиво микробное сообщество верхнего горизонта светло-каштановых почв на участке с минимальным уклоном (Сюгют-3).

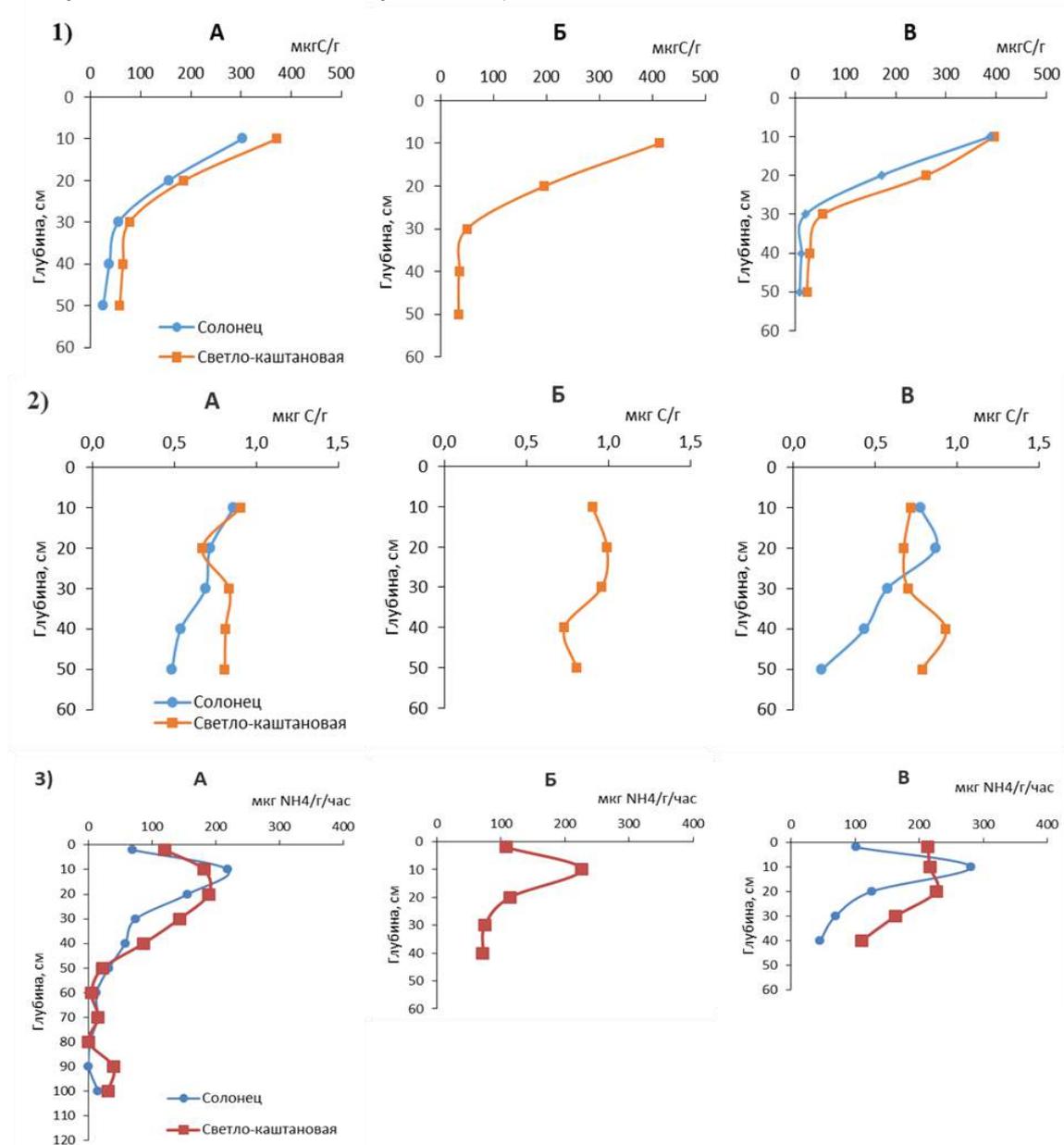


Рис. 3. Биологическая активность почв на разных геоморфологических позициях: А – эрозионный останец (Сюгют-1), Б – склон (Сюгют-2), В – выровненный участок (Сюгют-3): 1) – активная микробная биомасса; 2) – коэффициент микробного дыхания (Q_r); 3) – уреазная активность

Fig. 3. Biological activity of soils at different geomorphological positions: А – erosional remnant (Syugyut-1), Б – slope (Syugyut-2), В – leveled site (Syugyut-3): 1) – Active microbial biomass; 2) – Microbial respiration coefficient (Q_r); 3) – Urease activity



На всех исследованных ключевых участках в слое 20–50 см светло-каштановых почв значения коэффициента микробного дыхания были выше, чем в аналогичных горизонтах солонцов. Это позволяет сделать предположение, что микробное сообщество нижних горизонтов светло-каштановых почв потенциально более подвержено негативному влиянию выпаса, чем микробное сообщество солонцов.

Иная ситуация была обнаружена при изучении биологической активности почв (рис. 3-3)). Максимальные значения уреазной активности были отмечены в слое 0–30 см светло-каштановых почв на выровненном участке. В солонце на этом же участке пик уреазной активности был в слое 10–20 см, а в верхнем слое значения этого показателя не превышали 100 мкг NH₄/г почвы в час. Минимальные значения были выявлены в почвах на эрозионном останце, где был максимально интенсивный выпас.

В целом значения уреазной активности в верхнем горизонте почв на всех элементах рельефа были меньше, чем в нижележащем горизонте. Причем в светло-каштановых почвах эта тенденция была более выражена, чем в солонцах. Мы впервые сталкиваемся с такой ситуацией, когда в верхнем горизонте почв более низкие значения уреазной активности, чем в нижележащем. Как правило, этот показатель максимальный в слое 0–10 см и резко снижается с глубиной [Чернышева и др., 2016; Борисов и др., 2021].

Заключение

Почвы зимних пастбищ на засоленных гипсоносных акчагыльских глинах в аридной зоне Восточного Кавказа в настоящее время испытывают сильную пастбищную нагрузку. Это приводит к прогрессирующему засолению, которое особенно заметно в солонцовых разностях. Кроме аккумуляции легкорастворимых солей наблюдается возрастание содержания гипса и формирования второго гипсового пика в слое 40–60 см. Наименее подвержен изменениям, связанным с пастбищной нагрузкой, карбонатный профиль почв.

Биологическая активность почв также тесно связана с интенсивностью пастбищной нагрузки. Это проявляется в снижении величины активной микробной биомассы в тех почвах, которые расположены в ареалах с интенсивным выпасом. Во всех исследованных почвах отмечаются весьма высокие значения коэффициента микробного дыхания, что указывает на стрессовое состояние микробного сообщества. Характерной особенностью данных почв является снижение активности фермента уреазы в верхнем слое. Вероятно, это связано с очень аридным климатом и сильным иссушением и разогревом верхнего слоя почв в летний период, что приводит к подавлению биологической активности.

Список источников

- Агроклиматические ресурсы Дагестанской АССР. 1975. Л., Гидрометиздат, 112 с.
Александрова Э.А. 2019. Аналитическая химия. Книга 1. Химические методы анализа: учебник и практикум для СПО. М., Издательство Юрайт, 533 с.
Аринушкина Е.В. 1970. Руководство по химическому анализу почв. М., МГУ, 487 с.
Воробьева Л.А. 1998. Химический анализ почв. М., Изд-во МГУ, 272 с.
Государственный (национальный) доклад о состоянии и использовании земель в Российской Федерации. 2021. Москва, Росреестр, 197 с.
Стифатов Б.М., Рублинецкая Ю.В. 2017. Гравиметрический анализ: Методические указания к лабораторной работе. Самара, Самарский государственный технический университет, 35 с.

Список литературы

- Асанов К.А., Алимаев И.И., Смоилов К.Ш. 1992. Выпас и его влияние на почвенный и растительный покров в Северной Казахстанской пустыне. Проблемы освоения пустынь, 2: 7–13.
Благодатская Е.В., Ананьева Н.Д. 1996. Оценка устойчивости микробных сообществ в процессе разложения поллютантов в почве. Почвоведение, 11: 1341–1346.

- Борисов А.В., Каширская Н.Н., Ельцов М.В., Пинской В.Н., Плеханова Л.Н., Идрисов И.А. 2021. Почвы древних земледельческих террас Восточного Кавказа. *Почвоведение*, 5: 542–557. DOI 10.31857/S0032180X2105004X.
- Волож Ю.А., Быкадоров В.А., Царегородцева Т.К., Курина Е.Е. 2020. Акчагыльско-апшеронские отложения северной части Каспийского региона (Северный Каспий): особенности строения, эволюции и нефтегазоносности. *Геология нефти и газа*, 5: 39–53. DOI 10.31087/0016-7894-2020-5-39-53
- Добровольский Г.В. 2000. Оценка экологического состояния почвенно-земельных ресурсов и окружающей природной среды Московской области. М., Издательство МГУ, 221 с.
- Добровольский Г.В. 2002. Деградация и охрана почв. М., Изд-во МГУ, 654 с.
- Идрисов И.А. 2010. Природные особенности Паласартской возвышенности (южный участок). *Вестник Института истории, археологии и этнографии*, 1 (21): 72–75.
- Идрисов И.А. 2011. Формирование возвышенности Паласа-сырт. *Вестник Института истории, археологии и этнографии*, 1 (25): 121–124.
- Котенко М.Е. 1993. Некоторые изменения светло-каштановых почв Терско-Сулакской низменности при различных пастбищных нагрузках. *Почвоведение*, 6: 108–111.
- Мусейбов М.А. 1998. Физическая география Азербайджана. Баку, Мариф, 416 с.
- Насиев Б.Н. 2015. Агрехимические параметры деградации почв кормовых угодий полупустынной зоны западно-Казахстанской области. *Агрехимия*, 9: 20–26.
- Снакин В.В., Алябина И.О., Кречетов В.В. 1995. Экологическая оценка устойчивости почв к антропогенному воздействию. *Известия Российской академии наук. Серия географическая*, 5: 50–57.
- Староверов В.Н., Савко А.Д. 2004. Фациальная модель формирования глинистых пород акчагыла Юго-Востока русской плиты. *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: геология*, 1: 14–29.
- Сушко К.С. 2015. Деградация каштановых почв сухих степей долины Маньча под влиянием хозяйственной деятельности. Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Ростов-на-Дону, 23 с.
- Усманов Р.З., Баламирзоев М.А., Котенко М.Е., Бабаева М.А., Осипова С.В. 2010. Проблемы борьбы с деградацией и опустыниванием Кизлярских пастбищ в связи с аридизацией климата и антропогенных воздействий на природные экосистемы. *Юг России: экология, развитие*, 5 (3): 117–122.
- Хохлова О.С., Хохлов А.А., Кузнецова А.М., Малашев В.Ю., Магомедов Р.Г. 2015. Изменение свойств почв при разнонаправленных климатических колебаниях позднего голоцена в полупустынной зоне (на примере курганного могильника Паласа-сырт, Дагестан). *Почвоведение*, 1: 31–48. DOI: 10.7868/S0032180X15010104.
- Чернышева Е.В., Борисов А.В., Коробов Д.С. 2016. Биологическая память почв и культурных слоев археологических памятников. М., ГЕОС, 240 с.
- Шейн Е.В., Карпачевский Л.О. 2007. Теории и методы физики почв. Москва, Гриф и К, 616 с.
- Экологическое нормирование и управление качеством почв и земель. 2013. Под ред. С.А. Шобы, А.С. Яковлева, Н.Г. Рыбальского. М., НИИ-Природа, 310 с.
- Anderson J.P.E., Domsch K.H.A. 1978. A Physiological Method for the Quantitative Measurement of Microbial Biomass in Soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 10 (3): 215–221. DOI: 10.1016/0038-0717(78)90099-8.
- Kandeler E., Gerber H. 1988. Short-Term Assay of Urease Activity Using Colorimetric Determination of Ammonium. *Biology and fertility of soils*, 6: 68–72. DOI: 10.1007/BF00257924.

References

- Asanov K.A., Alimaev I.I., Smoilov K.Sh. 1992. Vypas i ego vliyanie na pochvennyj i rastitel'nyj pokrov v Severnoj Kazahstanskoj pustyne [Effect of grazing on soil and vegetation in the North Kazakhstan desert]. *Problemy osvoenija pustyn'*, 2: 7–13.
- Blagodatskaya E.V., Ananyeva N.D. 1996. Assessment of the Resistance of Soil Microbial Communities to Pollutants. *Eurasian Soil Science*, 11: 1341–1346 (in Russian).
- Borisov A.V., Kashirskaya N.N., El'tsov M.V., Pinskoy V.N., Plekhanova L.N., Idrisov I.A. 2021. Soils of Ancient Agricultural Terraces of the Eastern Caucasus. *Eurasian Soil Science*, 54 (5): 665–679 (in Russian). DOI: 10.1134/S1064229321050045.



- Volozh Yu.A., Bykadorov V.A., Tsaregorodtseva T.K., Kurina E.E. 2020. Akchagylsky-Absheronsky Deposits in Northern Caspian Region: Features of Structure, Evolution, and Oil and Gas Occurrence. *Russian Oil and Gas Geology*, 5: 39–53 (in Russian). DOI 10.31087/0016-7894-2020-5-39-53.
- Dobrovolsky G.V. 2000. Ocenka jekologicheskogo sostojanija pochvenno-zemel'nyh resursov i okruzhajushhej prirodnoj sredy Moskovskoj oblasti [Assessment of the ecological condition of soil and land resources and the environment of the Moscow Region]. Moscow, Publ. MGU, 221 p.
- Dobrovolsky G.V. 2002. Degradacija i ohrana pochv [Soil degradation and conservation]. Moscow, Publ. MGU, 654 p.
- Idrisov I.A. 2010. Prirodnye osobennosti Palasartskoj vozvyshennosti (juzhnyj uchastok) [Natural features of the Palasa-Syrt Upland (southern section)]. *Vestnik Instituta istorii, arheologii i jetnografii*, 1 (21): 72–75.
- Idrisov I.A. 2011. Formirovanie vozvyshennosti Palasa-syrt [Formation of the Palasa-Syrt Upland]. *Vestnik Instituta istorii, arheologii i jetnografii*, 1 (25): 121–124.
- Kotenko M.E. 1993. Nekotorye izmenenija svetlo-kashtanovyh pochv Tersko-Sulakskoj nizmennosti pri razlichnyh pastbishhnyh nagruzkah [Changes of light chestnut soils in Tersko-Sulak lowland under various pasture loads]. *Pochvovedenie*, 6: 108–111.
- Museiibov M.A. 1998. Fizicheskaya geografiya Azerbaidzhana [Physical Geography of Azerbaijan]. Baku, Publ. Marif, 416 p.
- Nasiyev B.N. 2015. The Agrochemical Parameters of Soil Degradation of the Grassland Semi-Arid Zone of West Kazakhstan Region. *Agricultural Chemistry*, 9: 20–26 (in Russian).
- Snakin V.V., Alyabina I.O., Krechetov P.P. 1995. Jekologicheskaja ocenka ustojchivosti pochv k antropogennomu vozdejstvu [Ecological assessment of soil resilience to anthropogenic impact]. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya*, 5: 50–57.
- Staroverov V.N., Savko A.D. 2004. Facies Pattern of Clay Rocks Forming of the Akchagyl of South-East of Russian Platform. *Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 1: 14–29 (in Russian).
- Sushko K.S. 2015. Degradacija kashtanovyh pochv suhikh stepej doliny Manycha pod vlijaniem hozjajstvennoj dejatel'nosti [Degradation of chestnut soils of dry steppes of the Manych valley affected by economic activities]. Abstract. diss. ... cand. geogr. sciences. Rostov-na-Donu, 23 p.
- Usmanov R.Z., Balamirzoev M.A., Kotenko M.E., Bababeva M.A., Osipova S.V. 2010. The Problems of the Fight with Degradation and Desertification Kizlyar Pasture in Connection with Aridization of the Climate and Anthropogenic Effect Influence on Natural Ecologic Systems. *South of Russia: ecology, development*, 5 (3): 117–122 (in Russian).
- Khokhlova O.S., Khokhlov A.A., Kuznetsova A.M., Malashev V.Y., Magomedov R.G. 2015. Changes in the Soil Properties Under Differently Directed Climatic Fluctuations of the Late Holocene in the Semidesert Zone (by the Example of the Palasa-Syrt Burial Mounds in Dagestan). *Eurasian Soil Science*, 48 (1): 27–42 (in Russian). DOI 10.1134/S106422931501010X.
- Chernysheva E.V., Borisov A.V., Korobov D.S. 2016. Biological Memory of Soils and Cultural Layers of Archaeological Sites. Moscow, Publ. GEOS, 240 p. (in Russian).
- Shein E.V., Karpachevskii L.O. 2007. Teorii i metody fiziki pochv [Theories and methods of soil physics]. Moscow, Publ. Grif and K, 616 p.
- Standardization and Regulation of Environmental and Soils Quality and Land Management. 2013. Ed. by S.A. Shoba, A.S. Yakovlev, N.G. Rybalsky. Moscow, Publ. NIA-Priroda, 310 p. (in Russian).
- Anderson J.P.E., Domsch K.H.A. 1978. A Physiological Method for the Quantitative Measurement of Microbial Biomass in Soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 10 (3): 215–221. DOI: 10.1016/0038-0717(78)90099-8.
- Kandeler E., Gerber H. 1988. Short-Term Assay of Urease Activity Using Colorimetric Determination of Ammonium. *Biology and fertility of soils*, 6: 68–72. DOI: 10.1007/BF00257924.

*Поступила в редакцию 21.03.2022;
поступила после рецензирования 04.04.2022;
принята к публикации 29.04.2022*

*Received March 21, 2022;
Revised April 04, 2022;
Accepted April 29, 2022*

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.
Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.



ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Попкова Анна Константиновна, магистр департамента экологии человека и биоэлементологии, Российский университет дружбы народов, г. Москва, Россия

Идрисов Идрис Абдулбутаевич, кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник, Институт геологии ДНЦ РАН, г. Махачкала, Россия

Пинской Виктор Николаевич, младший научный сотрудник, институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, г. Пушкино, Россия

Ельцов Максим Витальевич, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, г. Пушкино, Россия

Борисов Александр Владимирович, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, г. Пушкино, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Anna K. Popkova, master of the Department of Human Ecology and Bioelementology, Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia

Idris A. Idrisov, Ph.D. in Geography, Leading Researcher, Institute of Geology, Dagestan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Makhachkala, Russia

Victor N. Pinskyoy, Junior Researcher, Institute of Physicochemical and Biological Problems in Soil Science of the Russian Academy of Sciences, Pushchino, Russia

Maxim V. Eltsov, Ph.D. in Biology, Senior Researcher, Institute of Physicochemical and Biological Problems in Soil Science of the Russian Academy of Sciences, Pushchino, Russia

Alexander V. Borisov, Ph.D. in Biology, Leading Researcher, Institute of Physicochemical and Biological Problems in Soil Science of the Russian Academy of Sciences, Pushchino, Russia



УДК 911.9:379.85

DOI 10.52575/2712-7443-2022-46-2-184-199

Пространственное развитие внутреннего туризма на территории юго-востока Калининградской области

Сабурина А.А.

Балтийский федеральный университет им. Иммануила Канта,
Россия, 236016, г. Калининград, ул. А. Невского, 14
E-mail: saburina95@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена исследованию пространственного развития внутреннего туризма на территории юго-востока Калининградской области. Несмотря на многочисленные публикации по теме пространственного развития регионов с точки зрения экономики и народонаселения, практически отсутствуют исследования по пространственному развитию туристских ресурсов юго-востока Калининградской области. Поэтому, в силу малоизученности, данная проблема рассматривается впервые. Произведен анализ современного состояния туристской индустрии юго-востока области. Дана оценка туристскому потенциалу микрорегиона, автором определены основные проблемы и перспективы развития туризма для данной территории. В рамках исследования проведен социологический опрос, результаты которого подтверждают полученные в ходе изучения вопроса данные. В качестве решения поставленной проблемы автором предложена одна из моделей эффективного развития территории. В результате исследования выявлены основные закономерности пространственного развития туризма рассматриваемой территории.

Ключевые слова: пространственное развитие, туризм, юго-восток Калининградской области, индустрия туризма, кластерная модель, тенденции в развитии туризма, привлекательность территории

Для цитирования: Сабурина А.А. 2022. Пространственное развитие внутреннего туризма на территории юго-востока Калининградской области. Региональные геосистемы, 46(2): 184–199. DOI 10.52575/2712-7443-2022-46-2-184-199

Spatial Development of Domestic Tourism in the South-East of the Kaliningrad Region

Alena A. Saburina

Immanuel Kant Baltic Federal University,
14 A. Nevskogo St, Kaliningrad, 236016, Russia
E-mail: saburina95@mail.ru

Abstract. The article is devoted to the study of the spatial development of domestic tourism in the south-east of the Kaliningrad region. Despite numerous publications on the topic of the spatial development of regions from the point of view of the economy and population, there are practically no studies on the spatial development of tourism resources in the southeast of the Kaliningrad region. Therefore, due to insufficient study, this problem is considered for the first time. An analysis of the current state of the tourism industry in the south-east of the region was made. An assessment of the tourism potential of the microregion is given, the author identifies the main problems and prospects for the development of tourism for this territory. As part of the study, a sociological survey was conducted, the results of which confirm the data obtained during the study of the issue. As a solution to this problem, the author proposes one of the models for the effective development of the territory. As a result of the study, the main regularities of the spatial development of tourism in the territory under consideration were identified.

Keywords: spatial development, tourism, southeast of the Kaliningrad region, tourism industry, cluster model, trends in tourism development, attractiveness of the territory

For citation: Saburina A.A. 2022. Spatial Development of Domestic Tourism in the South-East of the Kaliningrad Region. *Regional Geosystems*, 46(2): 184–199 (in Russian). DOI 10.52575/2712-7443-2022-46-2-184-199

Введение

В последнее время в научной литературе поднимаются вопросы пространственного развития территорий в аспекте туризма, в частности вопросы территориального имиджа и продвижения территории. Особый интерес вызывают вопросы организации эффективного пространственного развития регионов [Валеева, 2016; Жиленко, Удалых, 2017; Аракелян, 2020; Биндюкова и др., 2020; Евграфова и др., 2020; Аршинова, Зайцева, 2021; Гайсарова и др., 2021]. Исследователи [Комарова, 2016; Зайцева, 2018; Леонидова, 2018; Лапа, Дубровина, 2019; Исмаилова, 2020; Кощеев, Исопескуль, 2020; Тобилов, Мадаминжонова, 2021] отмечают, что от привлекательности туристского продукта зависит уровень пространственного распределения потоков туристов, и как следствие уровень экономического развития. Территория юго-восточных районов Калининградской области находится в сложной экономико-демографической ситуации, но тем не менее имеет довольно высокий уровень туристского потенциала. Являясь, по сути, периферийным регионом в ракурсе пространственного местоположения и уровня развития инфраструктуры и туризма в целом, эта территория, при условии использования эффективных технологий формирования внутреннего туристского продукта, способна стать одним из туристских центров Калининградской области.

Цель исследования – выявить закономерности пространственного развития внутреннего туризма на территории юго-восточных районов Калининградской области.

Задачи исследования:

1. дать характеристику современному состоянию индустрии туризма юго-востока Калининградской области, в том числе оценить потенциал туризма;
2. выявить проблемы развития и перспективные направления развития территории;
3. определить эффективные модели развития туризма юго-востока области.

Объекты и методы исследования

Объектом данного исследования выступает туристская индустрия юго-востока Калининградской области. На территории юго-востока Калининградской области расположено четыре городских округа (Гусевский, Нестеровский, Озерский, Черняховский), которые занимают 3831 км² общей площади, что составляет 25 % от площади Калининградской области.

Юго-восток области богат природными ресурсами, на его территории находится самое большое и глубокое озеро области – Виштынецкое, самая высокая точка – г. Безымянная [Природные ресурсы, 2021], 13 особо охраняемых природных территорий, трансграничный объект – Роминтенская пуца и более 40 рек [Перечень особо охраняемых..., 2022] (рис. 1). Как видно из рис. 1, на юго-востоке области находится довольно большое количество объектов историко-культурного наследия (180 объектов – 28 % от всех объектов в области) [Калининградская область..., 2020; Муниципальные образования, 2020]. При этом большая часть объектов – воинские захоронения и мемориалы Первой мировой войны [Боровик, 2020]. Здесь необходимо отметить, что большинство объектов историко-культурного наследия находятся в руинированном состоянии, что негативно сказывается на развитии туризма.

Городские округа

Гусевский	Нестеровский	Озерский	Черняховский
-----------	--------------	----------	--------------

Природные ресурсы

12 рек (Писса, Анграпа, Красная) 10 озер (Домашнее, Дубовское, Утиное) ООПТ – 2 объекта местного значения	9 рек (Красная и Писса) озеро Виштынец (общая площадь 335 км ² , глубина достигает 52 м). Самая высокая точка области – г. Безымянная. ООПТ – 7 объектов регионального значения и 1 объект местного	5 рек (Анграпа), озера – Виковское, Плавни и Островное. ООПТ – 2 объекта местного значения	19 рек (Преголя, Анграпа, Инструч и Голубая). ООПТ – 1 объект местного значения
---	---	---	--

Историко-культурные ресурсы

39 объектов (3 – федерального значения, 7 – регионального, 29 – местного значения)	41 объект (3 – федерального значения, 4 – регионального значения и 34 местного значения)	32 объекта (6 – федерального значения, 1 регионального и 25 местного)	68 объектов (5 – федерального значения, 11 – регионального значения, 52 – местного значения)
--	--	---	--

Туристская инфраструктура

6 коллективных средств размещения	6 коллективных средств размещения	2 коллективных средства размещения	11 коллективных средств размещения
-----------------------------------	-----------------------------------	------------------------------------	------------------------------------

Основные направления экскурсий

<p>Черняховск, Гусев (историко-культурные экскурсии, стоимостью от 850 до 20 000 руб.)</p> <p>Экологические экскурсии на Виштынецкое озеро (Нестеровский район), стоимостью от 2200 руб.</p> <p>Вело-байдарочные и байдарочные экскурсии в Озерск, стоимостью от 2500 руб.</p> <p>Общая продолжительность экскурсий от 8 до 12, 5 ч.</p>
--

Рис. 1. Характеристика индустрии туризма юго-востока Калининградской области [Паспорт муниципального образования «Нестеровский...», 2018; Паспорт муниципального образования «Черняховский...», 2018; Паспорт муниципального образования «Гусевский...», 2021; Средства размещения, 2021; Инвестиционный паспорт..., 2021а, б, в, г; Перечень объектов..., 2022]

Fig. 1. Characteristics of the tourism industry in the south-east of the Kaliningrad region [Passport of the municipality "Nesterovsky...", 2018; Passport of the municipality "Chernyakhovsky...", 2018; Passport of the municipality "Gusevsky...", 2021; Accommodation facilities, 2021; Investment passport..., 2021a, б, в, г; List of objects..., 2022]

Если рассматривать экскурсионную составляющую, то необходимо обратить внимание на то, что большая часть предлагаемых экскурсий носит историко-культурный характер и включает в себя в основном посещение Черняховского и Гусевского районов (согласно проведенному анализу 13 из 16 предлагаемых направлений экскурсий – историко-культурная экскурсия в Черняховск и Гусев)

Остальная часть экскурсий предлагает посещение Нестеровского округа с целью экологического туризма (посещение «Виштынецкого эколого-краеведческого музея») и Озерского района (активный туризм – сплав на байдарках либо смешанный велобайдарочный маршрут).

Транспортная инфраструктура юго-востока западного региона представлена автодорогой федерального значения А229 (Калининград-Чернышевское), которая проходит по территории Черняховского, Гусевского и Нестеровского городских округов (имеется автобусное сообщение с областным центром и другими городами), железной дорогой с железнодорожными вокзалами в Черняховске, Гусеве, Нестерове. Территория Озерского городского округа связана с соседними округами автодорогой, железнодорожное сообщение отсутствует (рис. 2).



Рис. 2. Карта транспортной инфраструктуры Калининградской области (границы юго-востока области выделены красным цветом)

Fig. 2. Map of the transport infrastructure of the Kaliningrad region (the borders of the south-east of the region are highlighted in red)

При проведении исследования использовались методы анализа, оценки, статистические методы, метод социологического опроса, картографический метод.

Оценка внутреннего потенциала развития туристской индустрии юго-восточных районов области производилась согласно рейтингово-балльной оценке, базирующейся на оценке ключевых показателей туристской индустрии по методике Ю.А. Худеньких [2006]. Оценка состоит из четырех аспектов: природный, историко-культурный потенциал, транспортная и туристская инфраструктура. Каждому из показателей присваивались минимальные и максимальные значения, исходя из которых формировалось значение по городским округам.



Результаты и их обсуждение

Оценка туристского потенциала юго-востока Калининградской области. Для определения туристского потенциала рассматриваемой территории была произведена балльная оценка потенциала и инфраструктуры территории. Природный и историко-культурный потенциал были рассчитаны исходя из значения объектов охраны (федеральное, регионального, местное (для природных ресурсов)) и их количества. Транспортная инфраструктура рассчитана как сумма следующих коэффициентов – расстояния до областного центра; разновидности транспорта в округе (1 балл за автомобильный транспорт и автобусы, по 0,1 баллу за железнодорожный транспорт).

Коэффициент туристской инфраструктуры рассчитан как отношение количества коллективных средств размещения в численности населения на 1000 чел.

В качестве примера расчета возьмем Нестеровский городской округ. На его территории располагается 7 объектов охраны природного наследия регионального значения и один объект местного значения ($7 \times 3 + 1 = 22$ балла), 3 объекта историко-культурного наследия федерального значения и 4 объекта регионального значения ($3 \times 3 + 4 = 13$ баллов). Транспортная инфраструктура рассчитывалась согласно удаленности города от областного центра в сумме с коэффициентом разновидности транспорта, расстояние от Нестерова до г. Калининграда – 143 км (0,8 балла), территория округа доступна для автомобильного транспорта, есть железнодорожное сообщение с областным центром (+ 1,1 балл). Коэффициент туристской инфраструктуры составил 0,41 (14756 чел/6 средств размещения \times 1000 чел.) (табл.).

Оценка туристского потенциала юго-востока Калининградской области, баллы
Assessment of the tourist potential of the south-east of the Kaliningrad region, points

Городские округа	Природный потенциал*	Историко-культурный потенциал**	Транспортная инфраструктура	Туристская инфраструктура	Потенциал
Гусевский	2	16	2,0	0,16	20,2
Нестеровский	22	13	1,9	0,41	37,3
Озерский	2	19	1,9	0,15	23,1
Черняховский	26	37	2,2	0,24	29,4

Примечание: *Природный потенциал: объекты федерального значения – 5 баллов; регионального значения – 3 балла; местного значения – 1 балл. **Историко-культурный потенциал: объекты федерального значения – 3 балла; регионального значения – 1 балл.

Таким образом, было выявлено, что самый высокий показатель туристского потенциала демонстрирует территория Нестеровского городского округа, что связано с наличием большого числа природных, а также историко-культурных ресурсов и довольно высоким показателем количества средств размещения на тысячу жителей округа. Минимальные показатели продемонстрировал Гусевский округ, что связано с исключением из особо охраняемых природных территорий ряда объектов округа и низким показателем туристской инфраструктуры (0,16 ед./1000 чел.) (рис. 3).

Проблемы развития и перспективные направления развития туризма на территории юго-востока Калининградской области. В ходе исследования был проведен SWOT-анализ территории, на основе которого были выявлены основные проблемы развития туризма объекта изучения. К ним относятся следующие проблемы:

1. Недостаточный уровень развитости туристской инфраструктуры (учитывалось наличие средств размещения, существующих предприятий питания), особенно в сельском местностях.

2. Отсутствие разнообразия и комплексности в предлагаемом туристском продукте территории.
3. Руинированное состояние историко-культурных объектов наследия и плохая транспортная доступность к ним.
4. Малоэффективное продвижение туристского продукта юго-восточных районов области на внутреннем и международном рынке туризма.



Рис. 3. Карта-схема туристского потенциала юго-востока Калининградской области
Fig. 3. Map-scheme of the tourist potential of the southeast of the Kaliningrad region

Необходимо отметить, что вышеупомянутые проблемы являются актуальными для всей территории области, за исключением областного центра и приморских территорий. Но особо значимыми они являются именно для периферийных (отдаленных от областного центра) территорий.

Если рассматривать перспективные направления развития туризма на юго-востоке области, то одним из таких направлений предстаёт историко-культурный вид туризма [Официальный туристический..., 2022]. Это обуславливается несколькими факторами, в первую очередь тем, что именно в юго-восточной части Калининградской области проходили активные бои во время Первой мировой войны, что делает территорию привлекательной для развития военно-патриотического туризма. На юго-востоке области находится большое количество объектов, имеющих историческое и культурное значение, в том числе мест, где жили и творили знаменитые люди (например, домик Канта в пос. Веселовка Черняховского района или музей К. Донелайтиса в пос. Чистые Пруды Нестеровского района).

Активный туризм (водный и велосипедный) также является перспективным видом туризма для изучаемой территории. Уже существуют примеры успешной реализации водных маршрутов. Например, по территории Озерского района создан вело-байдарочный маршрут. Если говорить о велосипедном туризме, то необходимо отметить, что только малая часть юго-востока имеет необходимую инфраструктуру для развития такого вида туризма.

Сельский туризм тоже является одним из возможных направлений развития, в особенности сельских территорий, это обусловлено тем, что довольно высокий процент средств размещения (более 60 %) территории находится в сельской местности (в основном сельские усадьбы). Сельские усадьбы зачастую предлагают целый ряд услуг, в том числе «погружение в сельскую жизнь» (участие в мастер-классах по уходу за домашним скотом, приготовление домашних продуктов, элементы активного туризма – катание на конях и т. д.).

Результаты исследования

Во время социологического исследования по вопросу развития туризма на территории юго-востока Калининградской области был проведен выборочный опрос жителей Калининградской области. Опрос проводился среди жителей области, которые когда-либо посещали юго-восточную часть области. Перед опросом респонденты были ознакомлены с объектом исследования и его местоположением. Объем выборки, обеспечивающий репрезентативность исследования, составил 150 респондентов.

Средний возраст большинства респондентов – 26–35 лет (31,3 %) (рис. 4).

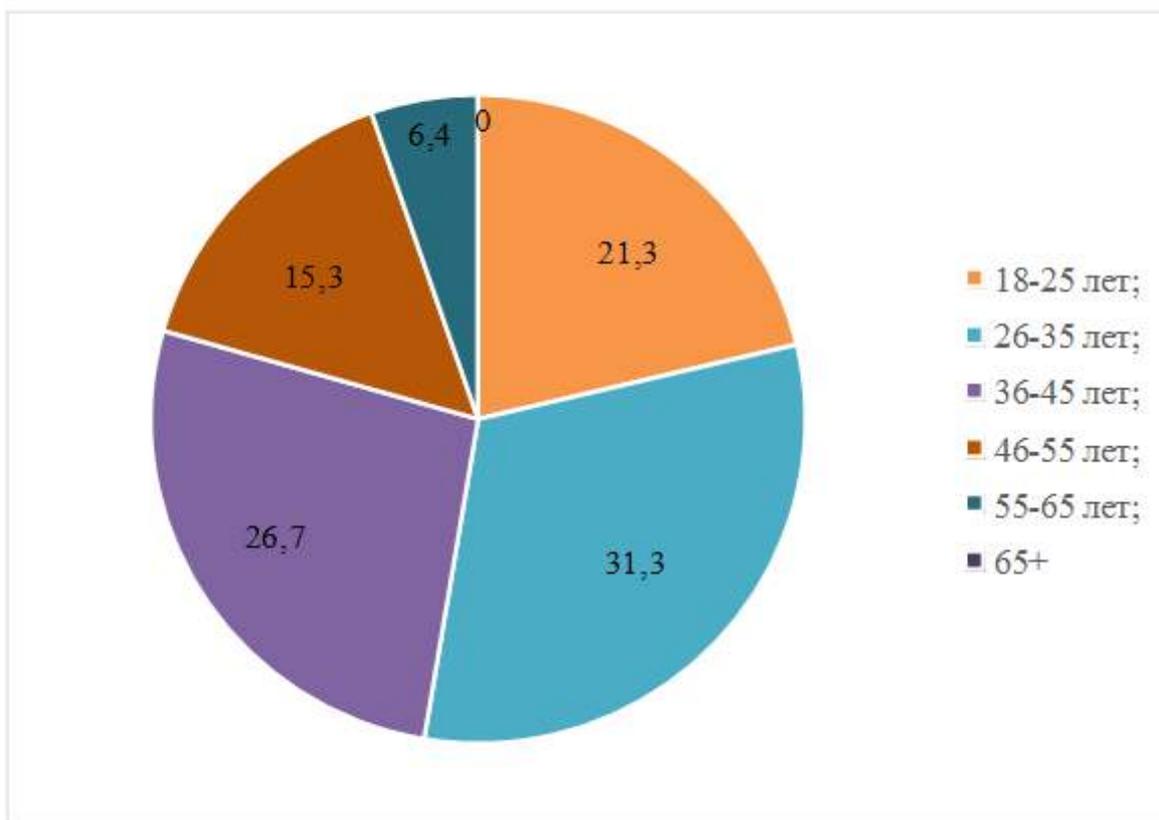


Рис. 4. Возраст респондентов, %
Fig. 4. Age of respondents, %

Для определения наиболее посещаемых муниципальных образований юго-востока региона был задан вопрос о том, какие районы данной территории посещали респонденты. Таким образом, было выявлено, что наиболее привлекательные районы с позиции туризма – Гусевский и Черняховский (рис. 5).

Полученные данные объясняются тем фактом, что территория Нестеровского и Озерского района наиболее отдалена от областного центра и наименее развита в части туристской инфраструктуры, в то время как остальные территории обладают более развитой туристской инфраструктурой.

Что касается проблем туризма юго-восточных районов области, то среди них большинство респондентов выделили такие проблемы, как: отсутствие продвижения внутреннего туристского продукта данной территории (54,7 %), транспортная удаленность от областного центра (34,7 %) и отсутствие предложения туристского продукта (35,3 %) (рис. 6).



Рис. 5. Посещаемость юго-востока области с целью туризма в разрезе районов, чел.

Fig. 5. Attendance in the south-east of the region for the purpose of tourism in the context of districts, people



Рис. 6. Основные проблемы юго-востока Калининградской области в сфере туризма, %
Fig. 6. The main problems of the south-east of the Kaliningrad region in the field of tourism, %



В ходе опроса было выявлено, что важнейшей проблемой респонденты считают именно отсутствие продвижения туристского продукта, что, несомненно, наряду с транспортной удаленностью от областного центра является основной причиной низких туристских потоков на изучаемую территорию.

Вместе с тем респондентам было предложено выделить основные преимущества юго-востока региона для сферы туризма. Большая часть опрошенных отметила наличие большого числа историко-культурных объектов (50,7 %) и наличие природных ресурсов (оз. Виштынец, Роминтенская пуца, реки и т. д.) (68 %) (рис. 7).

Необходимо также отметить, что определенная доля опрошенных (35 %) выделила благоприятную экологическую обстановку среди преимуществ данной территории, что обуславливается низким уровнем шумовой, атмосферной и световой загрязненности территории. Это делает экологический туризм перспективным, особенно на территории Нестеровского городского округа [Исмаилова, 2020; Калининградская область ..., 2020; Гайсарова и др., 2021]. Таким образом, согласно проведенному опросу, основные преимущества района заключаются в наличии ресурсов для развития таких видов туризма, как историко-культурный, активный и природоориентированный (сельский и экологический).

Кроме того, в ходе анкетирования было выявлено, что большинство респондентов, посещавших юго-восток области, посещали его с целью историко-культурного (54,7 %) и активного (42%) туризма (рис. 8).

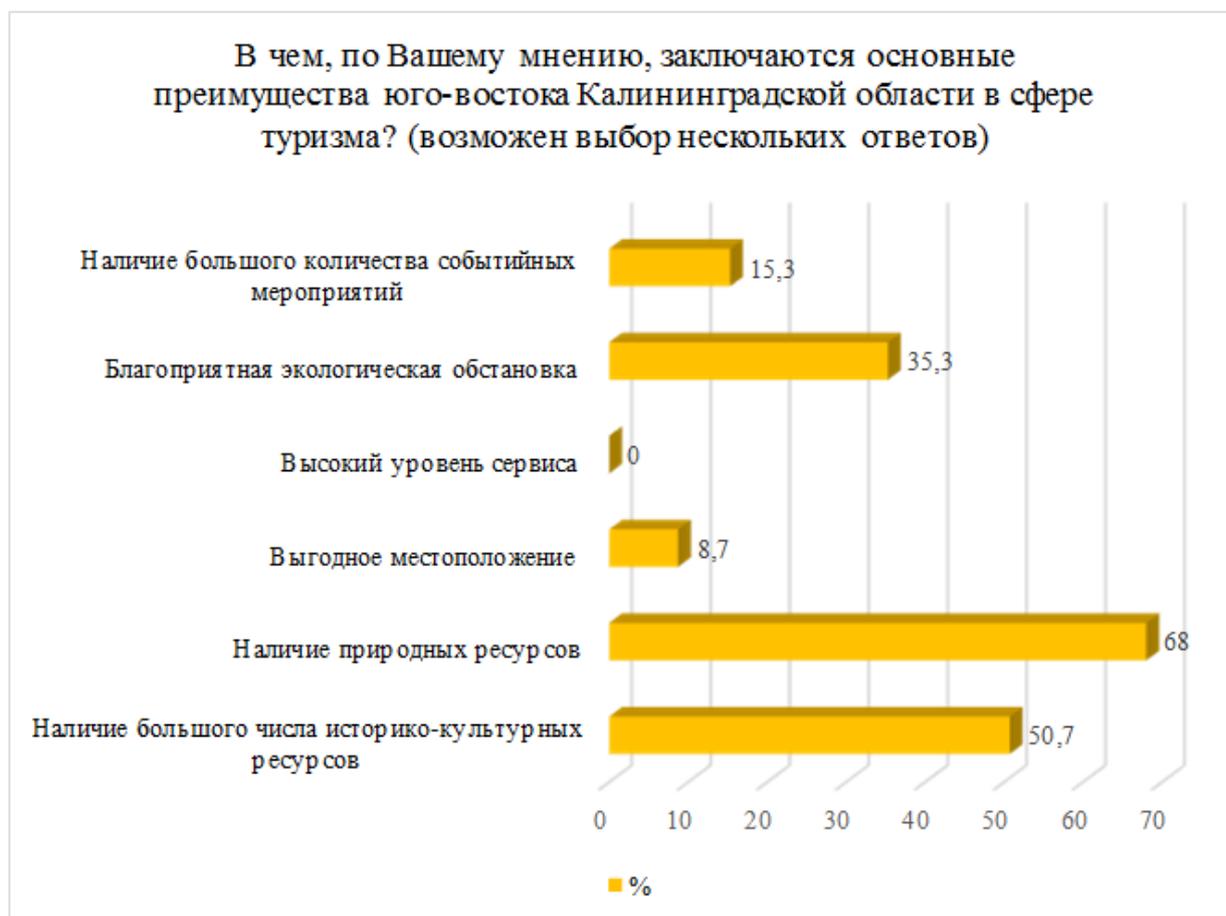


Рис. 7. Преимущества юго-востока Калининградской области в сфере туризма, %
Fig. 7. Advantages of the south-east of the Kaliningrad region in the field of tourism, %

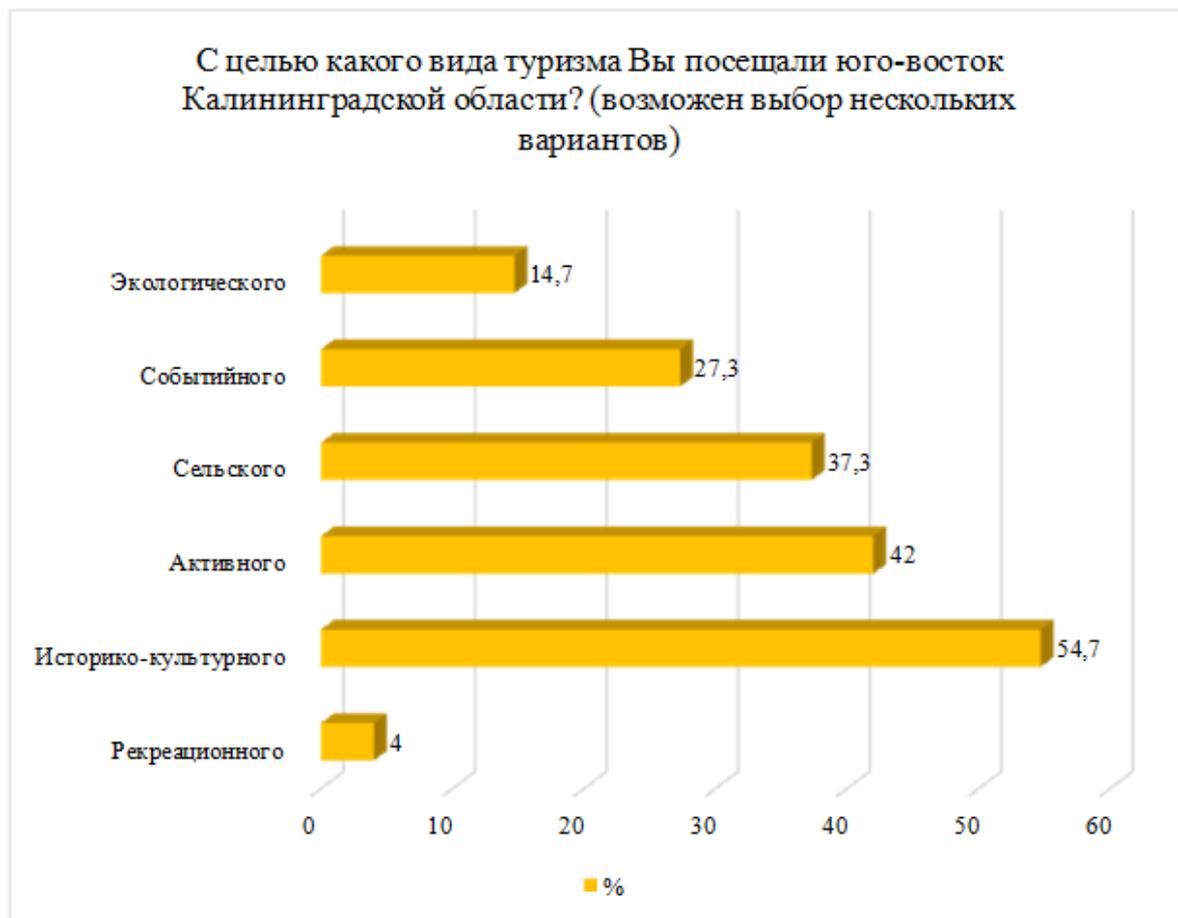


Рис. 8. Структура посещения юго-востока Калининградской области по видам туризма, %
Fig. 8. Structure of visits to the south-east of the Kaliningrad region by type of tourism, %

Как видно из рисунка, более 20 % респондентов посещают юго-восток с целью событийного туризма. Здесь необходимо отметить, что развитию событийного туризма способствует популяризация разного рода реконструкций, в том числе на тему войн, проходивших на территории региона (например, реконструкция Гумбинненского сражения в пос. Совхозное Нестеровского района, сражение при Гросс-Егерсдорфе (пос. Междуречье, Черняховского района) и т. д.) [Логвина, Дугаренко, 2020].

Таким образом, проведенный опрос подтвердил полученные в ходе анализа и оценки туристского потенциала территории результаты. В частности, было выявлено, что основными проблемами территории являются отсутствие продвижения на внутреннем рынке и небольшой ассортимент предлагаемых туристских продуктов. А среди преимуществ территории были выделены большое число историко-культурных объектов и благоприятная экологическая обстановка, поэтому перспективными видами туризма для юго-востока являются историко-культурный, активный и сельский туризм.

Что касается посещаемости территории, то согласно полученным данным больше всего посещают с целью туризма территории Черняховского и Гусевского городских округов. Но при этом при оценке туристского потенциала области было выявлено, что высоким туристским потенциалом обладает территория Нестеровского городского округа, в то время как территория Гусевского округа – низким. При довольно высоком потенциале развития туризма Нестеровский округ не использует все свои преимущества, поэтому не так популярен среди туристов, как Гусевский или Черняховский округа, по территории которых предлагается основная часть экскурсий на юго-восток региона. Поэтому немаловажную роль при развитии туризма играют технологии продвижения туристской территории, одной из которых и является кластерное развитие территории.

Кластерное развитие юго-востока Калининградской области. Территория юго-востока обладает неплохим туристским потенциалом, транспортной связанностью внутри территории и необходимыми условиями становления индустрии туризма одним из ключевых факторов развития. Поэтому в качестве одной из эффективных моделей развития территории предлагается кластерная модель. Под кластерной моделью в данном случае подразумевается единое геоэкономическое пространство, представленное комплексным туристским продуктом [Нагорная, Шевцова, 2019; Чурбакова, 2019; Тобиров, Мадаминжонова, 2021].

В ходе анализа туристского потенциала территории было выявлено, что перспективными видами туризма являются: историко-культурный, активный и сельский виды туризма, что подтверждается результатами социологического опроса. Поэтому при разработке кластерной модели территориального туристского продукта основной упор следует делать на эти виды туризма (рис. 9).

В качестве специализации кластера предлагается триада сельского, активного и экологического туризма. Целью создания кластера является формирование единого, взаимосвязанного туристского продукта для всей юго-восточной территории. Задачи кластера сводятся к следующему:

1. формирование единого геоэкономического пространства для повышения конкурентоспособности;
2. создание нового конкурентоспособного внутреннего туристского продукта;
3. формирование благоприятных условий для предпринимателей при вхождении в отрасль туризма;
4. создание системы эффективного взаимодействия для участников кластера;
5. активное продвижение территории как туристского места.

Основная идея создания кластера заключается в том, что для повышения эффективности туристского продукта на данной территории необходимо создать единое туристское пространство, которое способно эффективно формировать и продвигать туристский продукт. При реализации кластерной модели развития территории повышается эффективность взаимодействия участников, что способствует формированию единого туристского пространства (рис. 10).

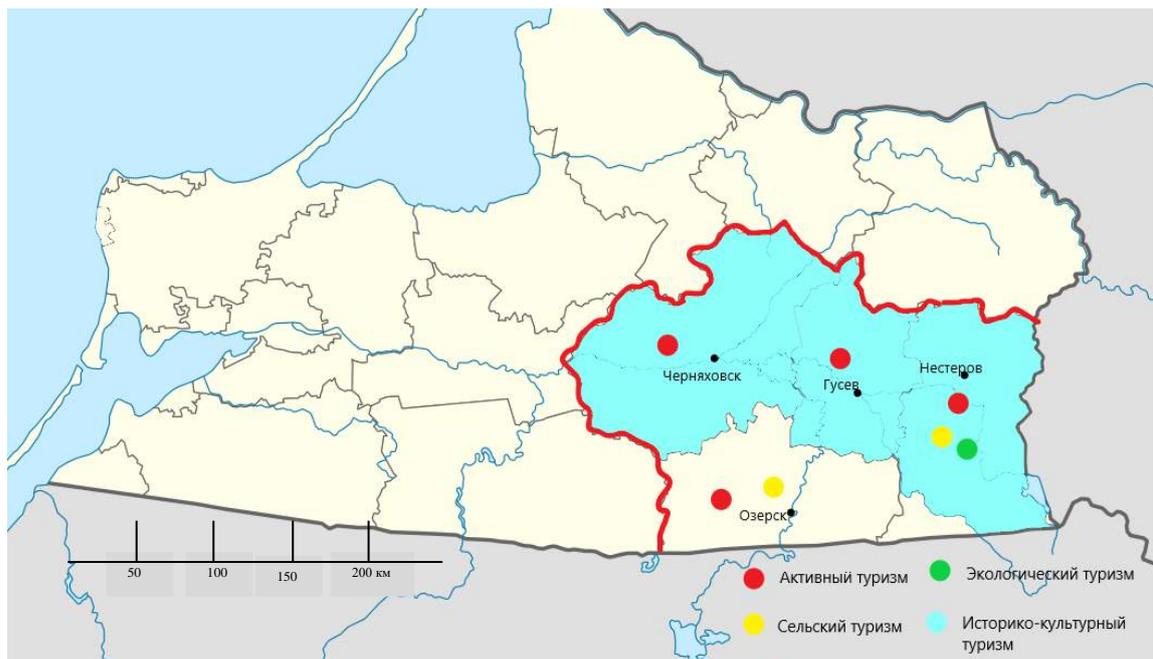


Рис. 9. Карта-схема юго-востока Калининградской области по видам туризма
Fig. 9. Map of the south-east of the Kaliningrad region by type of tourism

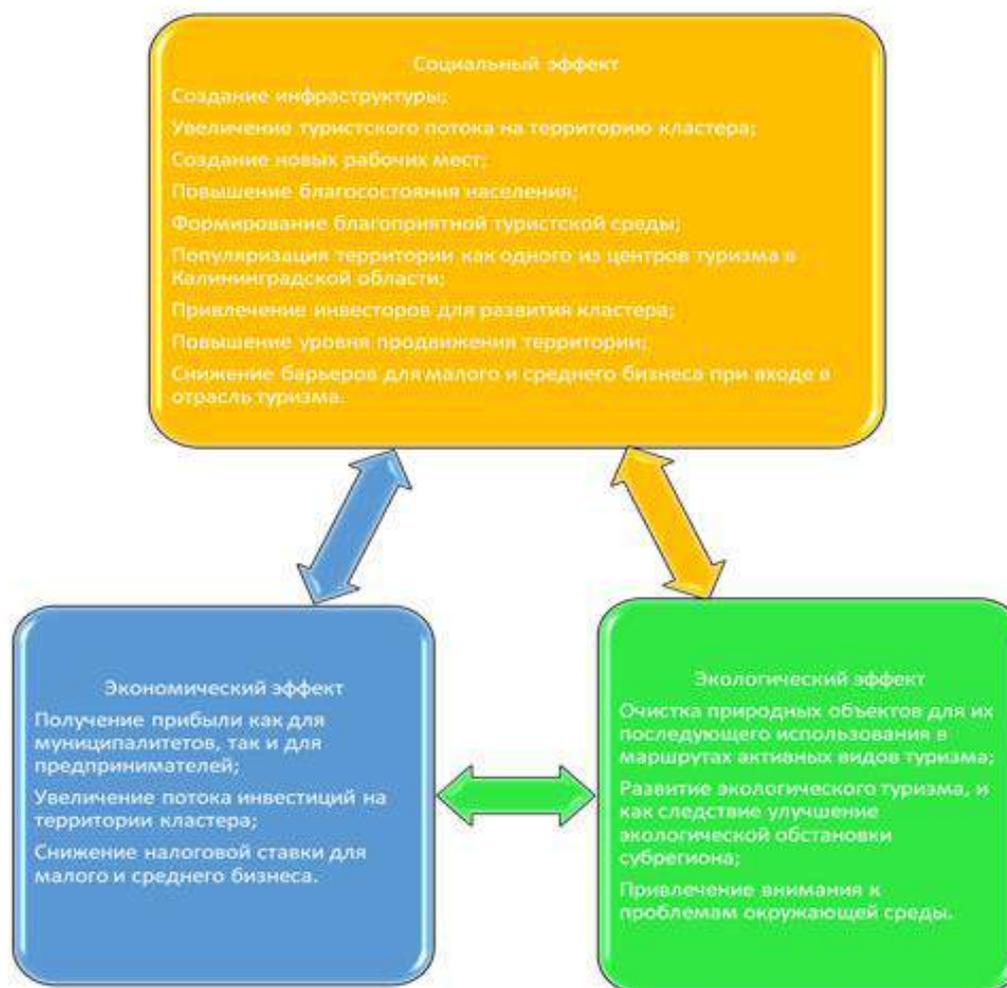


Рис. 10. Синергетический эффект для участников кластера
Fig. 10. Synergistic effect for cluster members

Заключение

Одной из закономерностей пространственного развития внутреннего туризма на территории юго-востока Калининградской области является то, что существует несколько видов территорий: относительно развитая территория с преимущественно городскими видами туризма (Гусевский и Черняховский городские округа) и мало развитые, ориентированные на сельский и активный виды туризма, территории (Озерский и Нестеровский городские округа). При этом Нестеровский округ обладает довольно высоким потенциалом (с точки зрения туризма), поэтому логично предположить, что невысокий уровень посещаемости связан с малым количеством туристского предложения (только 2 из 16 рассмотренных экскурсий на юго-восток предполагают посещение Нестеровского района) и низким уровнем продвижения территории на рынках туризма. При этом несмотря на то, что территория Гусевского района обладает довольно низким туристским потенциалом (в части природного потенциала и туристской инфраструктуры), она лидирует по количеству посещений среди опрошенных, что связано с узнаваемостью территории.

Еще одной закономерностью пространственного развития туризма юго-востока является неравномерность распределения предприятий туристской индустрии по его территории. Данная особенность связана с предыдущей по причине того, что уровень развития туризма на изучаемой территории имеет четко выраженный поляризованный характер. Что приводит к структурным сдвигам в развитии отдельных районов.



Таким образом, в ходе исследования было выявлено, что такие муниципальные образования, как Озерский и Нестеровский городской округ, практически не применяющие технологии, содействующие развитию туризма, являются наименее развитыми с точки зрения индустрии туризма. В то время как Гусевский и Черняховский городские округа, занимающиеся продвижением и развитием туризма на своих территориях, являются более развитыми территориями в туристском плане. Для того чтобы сгладить внутренние различия в пространственном развитии туризма на территории юго-востока Калининградской области, автором предложено использовать одну из эффективных технологий развития – кластер.

Список источников

- Инвестиционный паспорт. 2021а. Администрация Гусевского городского округа. Электронный ресурс. URL: <http://www.admgusev.ru/city/invest/pasport/> (дата обращения: 02.12.2021).
- Инвестиционный паспорт муниципального образования «Нестеровский городской округ». 2021б. Администрация Нестеровского городского округа. Электронный ресурс. URL: <http://admnestеров.ru/wp-content/uploads/2016/10/%D0%98%D0%9D%D0%92%D0%95%D0%A1%D0%A2%D0%98%D0%A6%D0%98%D0%9E%D0%9D%D0%9D%D0%AB%D0%99-%D0%9F%D0%90%D0%A1%D0%9F%D0%9E%D0%A0%D0%A2%D0%9D%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%BE%D0%B2%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B3%D0%BE%D1%80%D0%B0%D0%B9%D0%BE%D0%BD%D0%B0-12042017.pdf> (дата обращения: 04.12.2021).
- Инвестиционный паспорт муниципального образования «Озерский городской округ». 2021в. Администрация Озерского городского округа. Электронный ресурс. URL: <https://investinkaliningrad.ru/upload/%D0%9E%D0%B7%D0%B5%D1%80%D1%81%D0%BA.pdf> (дата обращения: 06.12.2021).
- Инвестиционный паспорт социально-экономического положения муниципального образования «Черняховский городской округ» за 2018 год. 2021г. Администрация муниципального образования «Черняховский городской округ». Электронный ресурс. URL: <http://inster39.ru/ekonomika/pasport.html> (дата обращения: 05.12.2021).
- Исмаилова А.З. 2020. Методические основы туристско-рекреационного проектирования. Москва, ООО «Конвент», 116 с.
- Калининградская область в цифрах. 2020. Статистический сборник в 2 т. Калининград, Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Калининградской области (Калининградстат), Т. 1, 159 с.
- Муниципальные образования Калининградской области. Социально-экономическое развитие в 2015–2019 годах. 2020. Статистический сборник. Калининград, Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Калининградской области (Калининградстат), 240 с.
- Паспорт муниципального образования «Гусевский городской округ». 2021. Администрация Гусевского городского округа. Электронный ресурс. URL: <http://www.admgusev.ru/city/economic/doc/passport.pdf> (дата обращения: 05.12.2021).
- Паспорт муниципального образования «Нестеровский район». 2018. Администрация муниципального образования «Нестеровский городской округ». Электронный ресурс. URL: <http://admnestеров.ru/wp-content/uploads/2016/10/%D0%9F%D0%90%D0%A1%D0%9F%D0%9E%D0%A0%D0%A2-2018.pdf> (дата обращения: 31.11.2021).
- Паспорт муниципального образования «Черняховский городской округ» за 2018 год. 2018. Администрация муниципального образования «Черняховский городской округ». Электронный ресурс. URL: <http://inster39.ru/ekonomika/pasport/5743-pasport-sotsialno-ekonomicheskogo-polozheniya-munitsipalnogo-obrazovaniya-chernyakhovskij-gorodskoj-okrug-za-2018-god.html> (дата обращения: 02.12.2021).
- Перечень объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) регионального и местного значения. 2022. Правительство Калининградской области. Электронный ресурс. URL: https://gov39.ru/vlast/sluzhby/gookn/zip/perechen_obektov_region_i_mestnogo_znacheniya.pdf (дата обращения: 03.02.2022).

- Перечень особо охраняемых природных территорий. 2022. Виштынецкий природный парк. Электронный ресурс. URL: <http://vishtynec.gov39.ru/oopt/> (дата обращения: 03.02.2022).
- Природные ресурсы. 2022. Правительство Калининградской области. Электронный ресурс. URL: <https://gov39.ru/region/natural.php> (дата обращения: 30.11.2021).
- Средства размещения. 2021. Администрация муниципального образования «Нестеровский городской округ». Электронный ресурс. URL: <http://admnestеров.ru/turizm/sredstva-razmeshheniya/> (дата обращения: 31.11.2021).
- Официальный туристический портал Калининградской области. 2022. Электронный ресурс. URL: <https://visit-kaliningrad.ru/> (дата обращения: 03.02.2022).

Список литературы

- Аракелян А.Г. 2020. Некоторые особенности формирования и функционирования туристских кластеров. *Естественно-гуманитарные исследования*, 32 (6): 51–57. DOI: 10.24412/2309-4788-2020-10688.
- Аршинова Л.Е., Зайцева Л.А. 2021. Туристско-рекреационный потенциал Калининградской области: особенности территориальной дифференциации. *Инновационная наука*, 6: 219–222.
- Биндюкова А.П., Казаков М.Е., Булганина С.В., Лебедева. Т.Е. 2020. Стратегии развития туризма в Калининградской области. *Московский экономический журнал*, 3: 384–390. DOI: 10.24411/2413-046X-2020-10137.
- Боровик Н.А. 2020. Культурно-исторический туризм Калининградской области: тренды, потенциал и проблемы развития. *Геополитика и экогеодинамика регионов*, 6 (16(1)): 76–92.
- Валеева С.В. 2016. Развитие концепции кластерного подхода в туризме. *Национальные интересы: приоритеты и безопасность*, 12 (1(334)): 116–130.
- Гайсарова А.А., Штофер Г.А., Купрацевич С.М. 2021. Кластеризация как фактор повышения конкурентоспособности рекреационных предприятий. *Геополитика и экогеодинамика регионов*, 7 (1): 82–89. DOI: 10.37279/2309-7663-2021-7-1-82-89.
- Евграфова Л.В., Грачев А.Б., Глойдман И.М. 2020. Оценка функциональной эффективности туристско-рекреационных кластеров в регионах России. *Образование и право*, 11: 367–375. DOI: 10.24411/2076-1503-2020-11159.
- Жиленко В.Ю., Удалых С.К. 2017. Кластерный подход как инструмент развития сельского туризма в РФ. *Научный результат. Технологии бизнеса и сервиса*, 3 (4): 30–38. DOI: 10.18413/2408-9346-2017-3-4-30-38.
- Зайцева Н.А. 2018. Стратегия развития туризма Калининградской области: проблемы и перспективы. Москва, Русайнс, 176 с.
- Комарова М.Е. 2016. Туристские кластеры как основа развития регионального туризма (на примере Белгородской области). *Сервис в России и за рубежом*, 10 (4(65)): 16–29. DOI: 10.12737/20180.
- Кощев Д.А., Исопескуль О.Ю. 2020. Социокультурная среда в функционировании туристского кластера. *Географический вестник*, 2 (53): 141–157. DOI: 10.17072/2079-7877-2020-2-141-157.
- Лапа Е.А., Дубровина Н.А. 2019. Анализ кластеризации и инновационной активности хозяйствующих субъектов туристско-рекреационной сферы. *Международный журнал прикладных наук и технологий Integral*, 4–1: 226–239. DOI: 10.24411/2658-3569-2019-14015.
- Леонидова Е.Г. 2018. Повышение эффективности региональных туристических брендов. *Современные проблемы сервиса и туризма*, 12 (4): 77–85. DOI: 10.24411/1995-0411-2018-10407.
- Логвина Е.В., Дугаренко Н.Ю. 2020. Современное состояние и развитие событийного туризма в Калининградской области. *Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. География. Геология*, 6 (2): 79–92.
- Нагорная М.С., Шевцова В.В. 2019. Зарубежный опыт кластерной модели управления в сфере туризма. *Управление в современных системах*, 1 (21): 7–13.
- Тобиров О.К., Мадаминжонова Ш.А. 2021. Географическое туристическое районирование территорий. *Наука, техника и образование*, 8 (83): 98–107.



- Худеньких Ю.А. 2006. Подходы к оценке туристского потенциала территории на примере районов Пермского края. В кн.: География и туризм. Пермь, Пермский государственный университет: 217–230.
- Чурбакова М.А. 2019. Кластерный подход к развитию инфраструктуры туристско-рекреационных территорий. *Международный журнал прикладных наук и технологий Integral*, 4–2: 359–364.

References

- Arakelyan A.G. 2020. SOME Features of the Formation and Functioning of Tourist Clusters. *Natural humanitarian studies*, 32 (6): 51–57 (in Russian). DOI: 10.24412/2309-4788-2020-10688.
- Arshinova L.E., Zajceva L.A. 2021. Turistsko-rekreacionnyj potencial Kaliningradskoj oblasti: osobennosti territorial'noj differenciacii [Tourist and Recreational Potential of the Kaliningrad Region: Features of Territorial Differentiation]. *Innovacionnaya nauka*, 6: 219–222.
- Bindukova A.P., Kazakov M.E., Bulganina S.V., Lebedeva T.E. 2020. Tourism Development Strategies in the Kaliningrad Region. *Moscow journal*, 3: 384–390 (in Russian). DOI: 10.24411/2413-046X-2020-10137.
- Borovik N.A. 2020. Trends and Directions of Development of Cultural and Historical Tourism in the Kaliningrad Region. *Geopolitics and ecogeodynamics of regions*, 6 (16(1)): 76–92 (in Russian).
- Valeeva S.V. 2016. Development of the Cluster Approach Concept in Tourism. *National Interests: Priorities and Security*, 12 (1(334)): 116–130 (in Russian).
- Gaysarova A.A., Kupracevitch S.M., Shtofer G.A. 2021. Clustering as a Factor in Increasing the Competitiveness of Recreational Enterprises. *Geopolitics and Ecogeodynamics of regions*, 7 (1): 82–89 (in Russian). DOI: 10.37279/2309-7663-2021-7-1-82-89.
- Evgrafova L.V., Grachev A.B., Glojzman I.M. 2020. Evaluation of Functional Efficiency Tourist and Recreational Clusters in the Regions of Russia. *Education and Law*, 11: 367–375 (in Russian). DOI: 10.24411/2076-1503-2020-11159.
- Zhilenko V.Y., Udalykh S.K. 2017. Cluster Approach as a Tool for the Development of Rural Tourism in the Russian Federation. *Research result. Business and Service Technologies*, 3 (4): 30–38 (in Russian). DOI: 10.18413/2408-9346-2017-3-4-30-38.
- Zajceva N.A. 2018. Strategiya razvitiya turizma Kaliningradskoj oblasti: problemy i prespektivy [Tourism Development Strategy of the Kaliningrad Region: Problems and Prospects]. Moscow, Publ. Rusains, 176 p.
- Komarova M.E. 2016. Tourism Cluster as a Base of Regional Tourism Development (Belgorod Region as an Example). *Service in Russia and Abroad*, 10 (4(65)): 16–29 (in Russian). DOI: 10.12737/20180.
- Koshcheev D.A., Isopeskul O.U. 2020. Tourism Cluster and Its Social and Cultural Milieu as a Driving Factor. *Geographical bulletin*, 2 (53): 141–157 (in Russian). DOI: 10.17072/2079-7877-2020-2-141-157.
- Lapa E.A., Dubrovina N.A. 2019. Analiz klasterizacii i innovacionnoj aktivnosti hozyajstvuyushchih sub"ektov turistsko-rekreacionnoj sfery [Analysis of clustering and innovative activity of business entities in the tourism and recreational sector]. *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh nauk i tekhnologij Integral*, 4–1: 226–239. DOI: 10.24411/2658-3569-2019-14015.
- Leonidova E.G. 2018. Improving the Efficiency of Regional Tourism Brands. *Service and Tourism: Current Challenges*, 12 (4): 77–85 (in Russian). DOI: 10.24411/1995-0411-2018-10407.
- Logvina E.V., Dugarenko N.U. 2020. Current State and Development of Event Tourism in the Kaliningrad Region. *Scientific notes of V. I. Vernadsky Crimean federal university. Geography. Geology*, 6 (2): 79–92 (in Russian).
- Nagornaya M.S., Shvetsova V.V. 2019. Foreign Experience of Cluster Model of Management in Tourism. *Management in modern system*, 1 (21): 7–13 (in Russian).
- Tobirov O.K., Madaminjonova Sh. A. 2021. Geographical Tourist Zoning of Territories. *Science, technology and education*, 8 (83): 98–107 (in Russian).
- Huden'kih Yu.A. Podhody k ocenke turistskogo potenciala territorii na primere rajonov Permskogo kraja [Approaches to the Assessment of the Tourist Potential of the Territory on the Example of the Regions of the Perm Territory]. In: *Geografiya i turizm [Geography and tourism]*. Perm, Publ. Permskiy gosudarstvennyy universitet: 217–230.



Churbakova M.A. 2019. Klasternyj podhod k razvitiyu infrastruktury turistsko-rekreacionnyh territorij [Cluster approach to the development of infrastructure of tourist and recreational areas]. *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh nauk i tekhnologij Integral*, 4–2: 359–364.

*Поступила в редакцию 11.01.2022;
поступила после рецензирования 02.02.2022;
принята к публикации 19.04.2022*

*Received January 11, 2022;
Revised February 02, 2022;
Accepted April 19, 2022*

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.
Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Сабурина Алена Александровна, аспирант кафедры туристического бизнеса, географии и пространственного планирования, Балтийский федеральный университет им. И. Канта, г. Калининград, Россия

Alena A. Saburina, postgraduate Student, Department of Tourism Business, Geography and Spatial Planning Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia.



УДК 574.4+551.583+504.064.37
DOI 10.52575/2712-7443-2022-46-2-200-209

NDVI как индикатор климатогенных реакций геосистем (на примере юго-востока Беларуси)

Гусев А.П.

Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины,
Республика Беларусь, 246019, г. Гомель, ул. Советская, 104
E-mail: andi_gusev@mail.ru

Аннотация. Целью работы является изучение взаимосвязи между климатическими показателями и изменениями продуктивности (определяется по NDVI) в локальных геосистемах юго-востока Беларуси. Решаемые задачи: изучение временных трендов климатических показателей и NDVI локальных геосистем в 2000–2020 гг.; оценка статистической значимости связи между климатическими показателями и NDVI в различных геосистемах; выявление геосистем, наиболее чувствительных к быстрым климатическим изменениям. Объектами исследований: лесные ненарушенные, болотные ненарушенные и лесные нарушенные геосистемы. Для ненарушенных лесных и болотных геосистем установлен статистически значимый положительный тренд NDVI. Корреляция NDVI с летними температурой и осадками отсутствует. NDVI лесных геосистем положительно коррелирует со среднегодовой температурой (коэффициент корреляции Спирмена 0,27, $p < 0,05$) и годовым количеством осадков (0,55, $p < 0,001$). В лесных нарушенных геосистемах динамика NDVI обусловлена колебаниями проективного покрытия травяной и древесно-кустарниковой растительности; достоверная корреляция NDVI с климатическими показателями отсутствует.

Ключевые слова: лесные геосистемы, климатические показатели, NDVI, тренд, юго-восток Беларуси

Для цитирования: Гусев А.П. 2022. NDVI как индикатор климатогенных реакций геосистем (на примере юго-востока Беларуси). Региональные геосистемы, 46(2): 200–209. DOI 10.52575/2712-7443-2022-46-2-200-209

NDVI as an Indicator of Climatogenic Responses of Geosystems (on the Example of the South-East of Belarus)

Andrei P. Gusev

F. Skorina Gomel State University
104 Sovetskaya St, Gomel, 246019, Republic of Belarus
E-mail: andi_gusev@mail.ru

Abstract. The aim of the work is to study the relationship between climatic indicators and productivity changes (determined by NDVI) in local geosystems of the southeast of Belarus. Research objectives: study of time trends of climatic indicators and NDVI of local geosystems in 2000–2020; assessment of the statistical significance of the relationship between climate indicators and NDVI in various geosystems; identification of geosystems most sensitive to rapid climate change. Research objects: undisturbed forest, undisturbed swamp and disturbed forest geosystems. For undisturbed forest and swamp geosystems, a statistically significant positive NDVI trend has been established. There is no correlation between NDVI and summer temperature and precipitation. The NDVI of forest geosystems is positively correlated with mean annual temperature (Spearman correlation coefficient 0.27, $p < 0.05$) and annual precipitation (0.55, $p < 0.001$). In disturbed forest geosystems, the dynamics of NDVI is due to fluctuations in the projective cover of herbaceous and tree-shrub vegetation; there is no significant correlation of NDVI with climatic indicators.

Keywords: wood geosystems, climatic indicators, NDVI, trend, southeast of Belarus

For citation: Gusev A.P. 2022. NDVI as an Indicator of Climatogenic Responses of Geosystems (on the Example of the South-East of Belarus). *Regional Geosystems*, 46(2): 200–209 (in Russian). DOI 10.52575/2712-7443-2022-46-2-200-209

Введение

Глобальное потепление – одна из главных экологических проблем современного мира, которой посвящено значительное количество исследований, в основном касающихся результатов инструментальных наблюдений за климатом, прогнозного моделирования климата, оценки последствий климатических изменений для сельского хозяйства, водных ресурсов и т. д. Такие исследования охватывают в основном глобальный и региональный уровни, однако, слабо изучены механизмы передачи воздействия глобальных климатических изменений на локальный уровень, не ясны их механизмы, не разработаны вопросы динамики геосистем в условиях меняющегося климата [Коломыц, 2009; Коломыц, Шарая, 2012].

В результате климатических изменений возникают негативные экологические процессы – обезлесивание, опустынивание, таяние вечной мерзлоты и т.д. [Brink, Eva, 2009; Цепелев и др., 2015; Медведков, 2018]. Эти процессы обуславливают трансформацию спектрально-отражательных свойств земной поверхности, что позволяет использовать для их оценки и мониторинга методы дистанционного зондирования Земли [Yengoh et al., 2015].

Важную роль в изучении климатогенных реакций геосистем играет нормализованный разностный вегетационный индекс – NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), представляющий собой важный индикатор продуктивности растительного покрова. NDVI рассчитывается по данным многозональной космической съемки по формуле:

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED),$$

где NIR – значения отражения в ближней инфракрасной области спектра; RED – отражение в красной области спектра [Yengoh et al., 2015].

В многочисленных исследованиях установлена корреляция NDVI с зеленой фитомассой, а также первичной чистой и валовой продукцией, которая обуславливает использование данного индекса как индикатора продуктивности и устойчивости экосистем [Raynolds et al., 2006; Yengoh et al., 2015].

Наблюдения в разных регионах мира показывают рост значений NDVI в последние 30 лет, который объясняют повышением продуктивности растительного покрова под влиянием потепления климата и увеличения содержания углекислого газа в атмосфере [Gauthier et al., 2015; Zhu et al., 2016; Зуев и др., 2019]. Глобальное моделирование показало, что рост продуктивности растительности и соответственно значений NDVI может быть обусловлен в значительной степени увеличением концентрации CO₂ в атмосфере [Zhu et al., 2016]. На региональном уровне на изменения продуктивности ландшафтов влияют особенности землепользования, процессы деградации и восстановления растительного покрова и другие факторы, что позволяет использовать NDVI как индикатор их экологического состояния [Гусев, 2020; Гусев и др., 2020; Гусев и др., 2021].

Влияние изменений климата на продуктивность экосистем в разных природных зонах неодинаково и может зависеть от различных факторов. Так, в тундровых ландшафтах Югорского полуострова наблюдаются положительные тренды NDVI, которые предположительно объясняются деградацией многолетнемерзлых пород [Елсаков и др., 2013]. «По-зеленение» тундры выражается в увеличении покрытия трав, кустарников и деревьев [Тишков и др., 2018]. Однако этот процесс пространственно неоднороден: в одних районах имеет место рост NDVI, в других, наоборот – падение [Виноградова и др., 2015; Gauthier et al., 2015; Зуев и др., 2019]. Связь NDVI лесных экосистем с характеристиками климата нелинейна и сильно изменяется в зависимости от лесной формации [Шарый и др.,

2020]. В сельскохозяйственных ландшафтах лесостепной и степной зон Восточной Европы отсутствуют тренды NDVI, имеющие четкую направленность или высокий уровень значимости [Дронин и др., 2014; Тельнова, 2017].

Цель работы – изучение взаимосвязи между климатическими показателями и изменениями продуктивности, индицируемой по NDVI, локальных геосистем юго-востока Беларуси. В ходе выполнения решались следующие задачи: 1) изучение временных трендов климатических показателей и NDVI локальных геосистем в 2000–2020 гг. 2) оценка статистической значимости связи между климатическими показателями и NDVI в различных геосистемах (ненарушенные лесные и болотные, нарушенные лесные); 3) выявление геосистем, наиболее чувствительных к быстрым климатическим изменениям.

Объекты и методы исследований

Исследования выполнялись на юго-востоке Беларуси (рис. 1). По ландшафтному районированию район исследований относится к восточной части Полесской провинции озерно-аллювиальных, болотных и вторичных водно-ледниковых ландшафтов с сосновыми, широколиственно-сосновыми и дубовыми лесами на дерново-подзолистых, часто заболоченных почвах, болотами. По геоботаническому районированию – к Полесско-Приднепровскому округу подзоны широколиственно-сосновых лесов.



Рис. 1. Район исследований в пределах территории Беларуси
Fig. 1. Research area within the territory of Belarus

Климат умеренно-континентальный. В г. Гомеле средняя температура самого холодного месяца (январь) составляет $-4,4\text{ }^{\circ}\text{C}$; средняя температура самого теплого месяца (июль) – $+20,5\text{ }^{\circ}\text{C}$; среднегодовая температура $+8,3\text{ }^{\circ}\text{C}$; годовая сумма температур выше $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $2650\text{ }^{\circ}\text{C}$. Среднегодовое количество осадков – 635 мм/год (годовой максимум осадков приходится на июнь-июль). Коэффициент увлажнения – $1,1$. По климатическим показателям территория относится к суббореальным гумидным ландшафтам.

Природные геосистемы представлены сосновыми, березовыми, осиновыми, черноольховыми, широколиственными и смешанными лесами, верховыми, переходными и низинными болотами. Значительная часть территории (более 50 %) – антропогенные геосистемы (пашни, пастбища и сенокосы, водохранилища и т. д.).

Объектами исследований являлись:

- лесные ненарушенные геосистемы: сосновые, мелколиственные и широколиственные леса (54 тестовых участка, общей площадью 134,6 км²);
- болотные ненарушенные геосистемы: низинные и верховые болота (7 тестовых участков, 510 км²).
- лесные нарушенные геосистемы, представленные сосновыми и мелколиственными лесами, в которых имели место санитарные и другие рубки, пожары, рекреационной воздействие, влияние выбросов (5 участков, 6,9 км²).

Средняя площадь тестовых участков – 9,8 км² (от 0,5 до 50 км²). Оценку состояния растительности тестовых участков выполняли на основе космической съемки *Landsat 4-5 TM* (2000–2010 гг.) и *Sentinel-2 MSI* (2017–2020 гг.).

Исследуемый временной интервал – 2000–2020 гг.

Значения NDVI были взяты из MOD13Q1 (обработанные результаты съемки сенсора MODIS спутника Terra), который представляет собой растр максимальных значений NDVI за 16 суток. Пространственное разрешение 250 м. Для устранения влияния сезонных колебаний NDVI для анализа использовали только летние композиты.

Обработка и дешифрирование космических снимков *Landsat 4-5* и *Sentinel-2*, создание векторного слоя тестовых участков, зональная статистика по композитам MOD13Q1 выполняли в геоинформационной системе QGIS 3.14.

Климатические показатели (средняя температура лета, летнее количество осадков, средняя температура года, годовое количество осадков) определяли на основе данных по 6 метеостанциям, расположенным в пределах региона.

Изучение динамики климатических показателей и NDVI проводили с помощью статистических методов. Для оценки точности подбора уравнения тренда использовали коэффициент детерминации (R^2). Статистическую значимость коэффициента детерминации и уравнения тренда оценивали с помощью критерия Фишера. Для оценки связи между изменениями NDVI и климатическими показателями использованы непараметрический корреляционный анализ (рассчитывался коэффициент ранговой корреляции Спирмена) и метод множественной регрессии. Для статистического анализа применяли программу *STATISTICA 6.0*.

Результаты и их обсуждение

Анализ данных метеостанций, расположенных в изучаемом регионе, показал, что изменения климатических показателей в 2000–2020 гг. характеризуются следующими особенностями. Для температурных показателей установлены статистически значимые положительные тренды, имеющие линейный характер. Так, среднегодовая температура увеличивалась на 0,07 °C в год ($R^2 = 0,41$), средняя температура лета – также на 0,07 °C в год ($R^2 = 0,20$). Рост температур пространственно неоднороден. Так, например, на метеостанции «Гомель» температуры увеличивались соответственно на 0,064 и 0,055 °C в год; на метеостанции «Василевичи» – на 0,061 и 0,045 °C в год; на метеостанции «Мозырь» – на 0,083 и 0,077 °C в год.

Годовое количество осадков изменялось от 542 мм (2015 г.) до 868 мм (2012 г.); летнее количество осадков – от 135 мм (2015 г.) до 341 мм (2012 г.). Для показателей осадков характерен отрицательный, но статистически незначимый тренд ($R^2 = 0,01–0,02$). Так, на метеостанции «Гомель» наблюдалось статистически незначимое снижение годового количества осадков на 3,4 мм в год и летнего количества осадков на 1,3 мм в год.

Изучение изменений NDVI в геосистемах региона в период 2000–2020 гг. показало следующее. Средние по региону летние NDVI лесных ненарушенных геосистем колебались в пределах 0,775–0,821 (рис. 2). Эти изменения характеризуются статистически значимым линейным трендом – увеличение NDVI на 0,0017 в год (при $R^2 = 0,49$). При этом на



уровне лесных формаций характеристики тренда NDVI различаются (табл. 1). Так, например, значения коэффициентов детерминации варьируют от 0,36 (сосновые леса) до 0,60 (широколиственные леса); значения коэффициентов линейного тренда – от 0,00148 (сосновые леса) до 0,00234 (мелколиственные леса). В болотных геосистемах средние значения NDVI изменялись в интервале 0,603–0,733, наблюдался статистически значимый положительный тренд (коэффициент тренда – 0,003 в год, $R^2 = 0,38$).

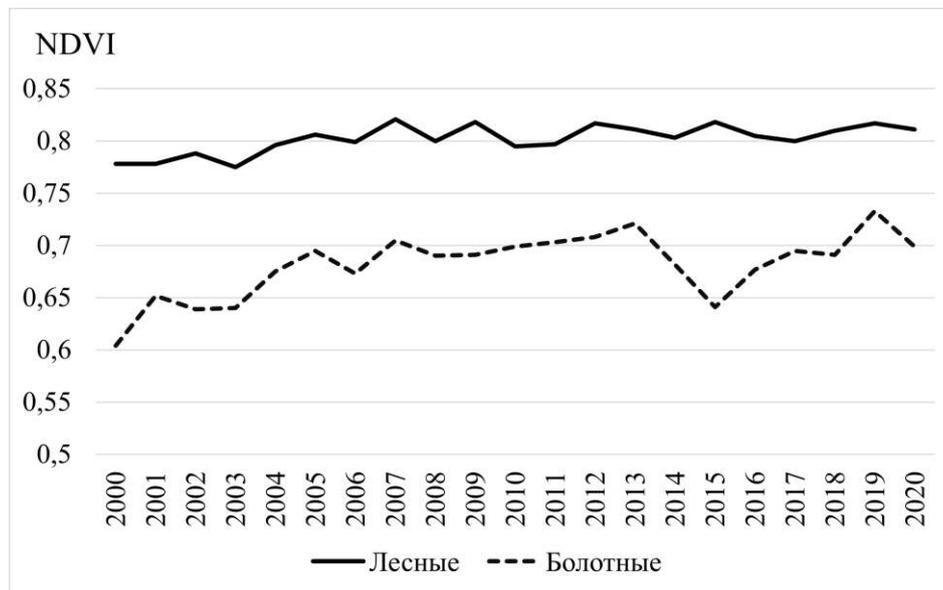


Рис. 2. Многолетняя динамика NDVI в ненарушенных геосистемах юго-востока Беларуси
Fig. 2. Long-term dynamics of NDVI in undisturbed geosystems of the south-east of Belarus

Таблица 1
Table 1

Тренды NDVI в ненарушенных и нарушенных геосистемах (2000–2020 гг.)
NDVI trends in undisturbed and disturbed geosystems (2000–2020)

Геосистемы	Уравнение тренда	Коэффициент детерминации R^2	Критерий Фишера F
Сосновые леса	$y = 0,00148 t - 2,224$	0,36	10,8
Мелколиственные леса	$y = 0,00234 t - 3,85$	0,58	26,4
Широколиственные леса	$y = 0,00192 t - 2,994$	0,60	27,9
Все ненарушенные леса	$y = 0,0017 t - 2,676$	0,49	18,4
Болотные геосистемы	$y = 0,003 t - 5,246$	0,38	9,6

Для изучения связи между NDVI и климатическими показателями были применены корреляционный анализ и метод множественной регрессии, результаты которых приведены соответственно табл. 2 и табл. 3.

Видно, что статистически достоверная корреляция между NDVI на уровне отдельных формаций и климатическими показателями года отсутствует (табл. 2). Для полной выборки лесов обнаружена достоверная корреляция с количеством летних осадков. Для сосновых лесов связи между NDVI и климатическими показателями года также не установлено. Выявлена корреляция NDVI мелколиственных и широколиственных лесов со среднегодовой температурой (коэффициенты корреляции Спирмена составили соответственно 0,47 и 0,44). Для полной выборки лесных геосистем установлено, что NDVI положительно коррелирует со среднегодовой температурой (коэффициент корреляции Спирмена 0,27, $p < 0,05$) и годовым количеством осадков (0,55, $p < 0,001$). Для болотных геосистем достоверная корреляция NDVI с климатическими показателями отсутствует (табл. 2).

Таблица 2
Table 2Корреляция NDVI с климатическими показателями в ненарушенных геосистемах
(коэффициент ранговой корреляции Спирмена)
Correlation of NDVI with climate indicators in undisturbed geosystems
(Spearman's rank correlation coefficient)

Геосистемы	Климатические показатели*			
	Тл, °С	Ол, мм	Тг, °С	Ог, мм
Сосновые леса	0,15	0,12	0,28	0,12
Мелколиственные леса	0,26	0,16	<u>0,47</u>	0,18
Широколиственные леса	0,09	0,02	<u>0,44</u>	0,08
Все ненарушенные леса	0,04	<u>0,38</u>	<u>0,27</u>	<u>0,55</u>
Болота	0,29	0,28	0,22	0,18

*Тл – средняя температура лета; Ол – летнее количество осадков; Тг – средняя температура года; Ог – годовое количество осадков. Подчеркнуты статистически достоверные значения ($p < 0,05$)

Метод множественной регрессии, в котором зависимым фактором выступал NDVI, а независимыми факторами – средняя температура лета и летнее количество осадков, статистически значимой связи не выявил, как в случае полной выборки лесных геосистем, так и отдельно по формациям (табл. 3). Статистически значимое уравнение множественной регрессии для NDVI лесов было получено, когда в качестве независимых факторов выступали среднегодовая температура и годовое количество осадков (при $R^2 = 0,44$, т. е. 44 % вариальности NDVI лесов обусловлено изменениями климатических показателей).

Таблица 3
Table 3Результаты метода множественной регрессии для ненарушенных геосистем
Results of the Multiple Regression Method for undisturbed Geosystems

Геосистемы	Уравнение множественной регрессии	Коэффициент детерминации R^2	Критерий Фишера F
Сосновые	$NDVI = 0,17 \times Tл + 0,16 \times Oл + 0,71$	0,04	0,8
	$NDVI = 0,35 \times Tг + 0,29 \times Oг + 0,70$	0,11	2,5
Мелколиственные	$NDVI = 0,30 \times Tл + 0,25 \times Oл + 0,74$	0,11	2,4
	$NDVI = 0,74 \times Tг + 0,51 \times Oг + 0,66$	<u>0,47</u>	<u>17,5</u>
Широколиственные	$NDVI = 0,12 \times Tл + 0,11 \times Oл + 0,81$	0,02	0,4
	$NDVI = 0,52 \times Tг + 0,29 \times Oг + 0,71$	<u>0,25</u>	<u>6,6</u>
Все ненарушенные леса	$NDVI = 0,01 \times Tл + 0,37 \times Oл + 0,77$	0,13	4,7
	$NDVI = 0,42 \times Tг + 0,66 \times Oг + 0,54$	<u>0,44</u>	<u>23,2</u>
Болота	$NDVI = 0,38 \times Tл + 0,33 \times Oл + 0,37$	0,21	2,6
	$NDVI = 0,22 \times Tг + 0,23 \times Oг + 0,54$	0,08	0,8

Условные обозначения смотри в табл. 2.

Аналогичные результаты получены также для мелколиственных и широколиственных лесов (коэффициенты детерминации R^2 соответственно составили 0,47 и 0,25). Для сосновых лесов оба уравнения множественной регрессии оказались недостоверны.

Для болотных геосистем статистически значимой связи NDVI с климатическими показателями не установлено ни корреляционным анализом (см. табл. 2), ни методом множественной регрессии (см. табл. 3).

Положительный тренд NDVI в лесных ненарушенных геосистемах может объясняться как потеплением климата (благоприятно влияют на продуктивность увеличение вегетационного периода и «мягкие» зимы), так и ростом содержания CO_2 в атмосфере,



способствующим фотосинтезу [Zhu et al., 2016]. Так, взаимосвязь изменений NDVI лесов (мелколиственных и широколиственных) со среднегодовой температурой и годовым количеством осадков объясняется тем, что летний NDVI лесов зависит не только от характеристик собственно лета, но от характеристик зимы (повреждение деревьев морозами, эффект «зимней засухи») и весны (заморозки, засуха). Схожая закономерность зафиксирована в Волжском регионе [Шарый и др., 2020].

Наличие положительного тренда NDVI указывает на рост продуктивности болот, связь которой с климатическими изменениями в пространственно-временном масштабе исследований не обнаружена. Вероятно, продуктивность болот, тестовые участки которых находятся в пределах особо охраняемых природных территорий, отражает глобальную тенденцию «озеленения», обусловленную ростом содержания углекислого газа в атмосфере [Zhu et al., 2016].

Нарушенные лесные геосистемы в течение 2000–2020 гг. испытывали значительные изменения, вызванные дигрессивными процессами (преимущественно рубки), которые можно оценить по соотношению проективных покрытий травяной и древесно-кустарниковой растительности. Для таких геосистем наблюдается тесная положительная корреляция между NDVI и величиной проективного покрытия древесно-кустарниковой растительности (табл. 4). С величиной проективного покрытия травяной растительности имеет место отрицательная корреляция (коэффициент корреляции составил от $-0,37$ до $0,77$ в зависимости от формации). При этом теснота корреляционной связи в мелколиственных лесах существенно выше, чем в сосновых. С температурами корреляционная связь отрицательная, с осадками – положительная (во всех случаях коэффициенты корреляции статистически недостоверны).

Таблица 4
Table 4

Корреляция NDVI с показателями растительного покрова и климата в нарушенных лесных геосистемах (коэффициент ранговой корреляции Спирмена)
 Correlation of NDVI with indicators of vegetation cover and climate in disturbed geosystems (Spearman's rank correlation coefficient)

Геосистемы	ППТР, %	ППДР, %	Климатические показатели			
			Тл, °С	Ол, мм	Тг, °С	Ог, мм
Сосновые нарушенные леса	<u>$-0,37$</u>	<u>$0,36$</u>	$-0,26$	$0,21$	$-0,32$	$0,21$
Мелколиственные нарушенные леса	<u>$-0,77$</u>	<u>$0,77$</u>	$-0,19$	$0,27$	$-0,21$	$0,13$
Все нарушенные леса	<u>$-0,63$</u>	<u>$0,62$</u>	$-0,24$	$0,26$	$-0,36$	$0,26$

ППТР – проективное покрытие травяной растительности; ППДР – проективное покрытие древесно-кустарниковой растительности. Условные обозначения смотри в табл. 2.

Таким образом, в лесных геосистемах рост проективного покрытия травяной растительности индицирует их деградацию (снижение сомкнутости древостоя, рост площади вырубок и полян) и соответственно снижение NDVI. И наоборот, увеличение покрытия древесно-кустарниковой растительности и снижение покрытия травяной растительности ведет к росту значений NDVI. С климатическими показателями в таких геосистемах статистически достоверная корреляция NDVI отсутствует.

Схожие результаты показал метод множественной регрессии. В статистически значимые уравнения множественной регрессии вошли только показатели проективного покрытия растительности.

Таким образом, в геосистемах, испытывающих дигрессивные смены, главным фактором, обуславливающим изменения NDVI, являются колебания проективного покрытия

травяной и древесно-кустарниковой растительности. Действие на продуктивность таких геосистем климатических факторов маскируется более мощным влиянием процессов, связанных с ростом или снижением антропогенной нагрузки.

Заключение

Выполненные исследования показали, что локальные геосистемы юго-востока Беларуси различаются по своей реакции на глобальные климатические изменения. Отклик NDVI и соответственно продуктивности на изменения климата зависит от лесной формации и особенностей режима антропогенных нарушений.

В ненарушенных лесных и болотных геосистемах наблюдается достоверный положительный тренд NDVI, который, вероятно, в основном отражает глобальную тенденцию «озеленения», обусловленную ростом содержания углекислого газа в атмосфере. В ненарушенных лесных геосистемах многолетняя динамика NDVI также связана с действием климатических факторов и дифференцирована в зависимости от типа геосистемы и особенностей растительности. Так, в сосновых лесах достоверная связь NDVI с климатическими показателями отсутствует. В мелколиственных и широколиственных лесах имеет место достоверная положительная корреляция NDVI со среднегодовой температурой. Исходя из полученных данных наименее чувствительны к климатическим изменениям болота и сосновые леса.

В геосистемах, испытывающих дигрессивную динамику, главным фактором, детерминирующим изменения NDVI, являются колебания соотношения проективных покрытий травяной и древесно-кустарниковой растительности, обусловленные влиянием антропогенных нарушений.

Список литературы

- Виноградова В.В., Титкова Т.Б., Белоновская Е.А., Грачева Р.Г. 2015. Воздействие изменения климата на горные ландшафты Северного. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 12 (6): 35–47.
- Гусев А.П. 2020. Изменения NDVI как индикатор динамики экологического состояния ландшафтов (на примере восточной части Полесской провинции). Вестник ВГУ. Серия: География. Геоэкология, 1: 101–107. DOI: 10.17308/geo.2020.1/2667.
- Гусев А.П., Филончик Н.Н., Шпилевская Н.С. 2020. Многолетние тренды состояния растительности в природных и антропогенных ландшафтах Белорусского Полесья по данным MODIS (2000–2019). Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. География. Геология, 6 (3): 200–209.
- Гусев А.П., Шпилевская Н.С., Филончик Н.Н. 2021. Нормализованный дифференцированный вегетационный индекс охраняемых ландшафтов юга Беларуси. Вестник ВГУ. Серия: География. Геоэкология, 2: 13–19. DOI: 10.17308/geo.2021.2/3442.
- Дронин Н.М., Тельнова Н.О., Калущкова Н.Н. 2014. Анализ многолетних трендов продуктивности агроландшафтов юга Восточной Европы по материалам дистанционного зондирования. Геополитика и экогеодинамика регионов, 10 (1): 529–538.
- Елсаков В.В., Кулюгина Е.Е., Шанов В.М. 2013. Тренды изменений растительного покрова Югорского полуострова последнего десятилетия: сопоставление результатов дистанционных и полевых исследований. Геоботаническое картографирование, 2013: 93–111.
- Зуев В.В., Короткова Е.М., Павлинский А.В. 2019. Климатически обусловленные изменения растительного покрова тайги и тундры Западной Сибири в 1982–2015 гг. по данным спутниковых наблюдений. Исследование Земли из космоса, 6: 66–76. DOI: 10.31857/S0205-96142019666-76.
- Коломыц Э.Г. 2009. Лесные экосистемы Волжского бассейна в условиях глобального потепления (локальный экологический прогноз). Экология, 1: 9–21.
- Коломыц Э.Г., Шарая Л.С. 2012. Влияние глобального потепления на ландшафтную структуру Северного Кавказа. Известия РАН. Серия географическая, 4: 45–61. DOI: 10.15356/0373-2444-2012-4-45-61.
- Медведков А.А. 2018. Индикация состояния мерзлотно-таежных ландшафтов на южной периферии криолитозоны в условиях изменяющегося климата. Вестник Московского государственного



- областного университета. Серия: Естественные науки, 1: 18–28. DOI: 10.18384/2310-7189-2018-1-18-28.
- Тишков А.А., Белонская Е.А., Вайсфельд М.А., Глазов П.М., Кренке А.Н., Тертицкий Г.Н. 2018. «Позеленение» тундры как драйвер современной динамики арктической биоты. Арктика: экология и экономика, 2 (30): 31–44. DOI: 10.25283/2223-4594-2018-2-31-44.
- Тельнова Н.О. 2017. Выявление и картографирование многолетних трендов NDVI для оценки вклада изменений климата в динамику биологической продуктивности агроэкосистем лесостепной и степной зон Северной Евразии. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 14 (6): 97–107. DOI: 10.21046/20707401201714697107.
- Шарый П.А., Шарая Л.С., Сидякина Л.В. 2020. Связь NDVI лесов и характеристик климата Волжского бассейна. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 17 (4): 154–163. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-4-154-163.
- Цепелев В.Ю., Паниди Е.А., Торлопова Н.В., Бобков А.А. 2015. Использование характеристик растительного покрова таежной зоны для мониторинга климатических изменений XXI в. Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета, 40: 221–235.
- Brink A.B., Eva H.D. 2009. Monitoring 25 Years of Land Cover Change Dynamics in Africa: A Sample Based Remote Sensing Approach. Applied Geography, 29 (4): 501–512. DOI: 10.1016/j.apgeog.2008.10.004.
- Gauthier S., Bernier P., Kuuluvainen T., Shvidenko A.Z., Schepaschenko D.G. 2015. Boreal Forest Health and Global Change. Science, 349 (6250): 819–822. DOI: 10.1126/science.aaa9092.
- Zhu Z., Piao S., Myneni R.B., Huang M., Zeng Z., Canadell J.G., Ciais P., Sitch S., Friedlingstein P., Arneth A., Cao C., Cheng L., Kato E., Koven C., Li Y., Lian X., Liu Y., Liu R., Mao J., Pan Y., Peng S., Peñuelas J., Poulter B., Pugh T.A.M., Stocker B.D., Viovy N., Wang X., Wang Y., Xiao Z., Yang H., Zaehle S., Zenget N. 2016. Greening of the Earth and Its Drivers. Nature Climate Change. 6: 791–795. DOI: 10.1038/nclimate3004.
- Raynolds M.K., Walker D.A., Maier H.A. 2006. NDVI Patterns and Phytomass Distribution in the Circumpolar Arctic. Remote Sensing of Environment, 102 (3–4): 271–281. DOI: 10.1016/j.rse.2006.02.016.
- Yengoh G.T., Dent D., Olsson L., Tengberg A.E., Tucker C.J. 2015. Use of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to Assess Land Degradation at Multiple Scales: a Review of the Current Status, Future Trends, and Practical Considerations. Springer Cham, 110 p.

References

- Vinogradova V.V., Titkova T.B., Belonovskaya E.A., Gracheva R.G. 2015. The Impact of Climate Change on the Mountain Landscapes of the North Caucasus. Current problems in remote sensing of the Earth from space, 12 (6): 35–47 (in Russian).
- Gusev A.P. 2020. NDVI Changes as an Indicator of the Dynamics of the Ecological State of Landscapes (on the Example of the Eastern Part of the Polesie Province). Bulletin of VSU. Series: Geography. Geoecology, 1: 101–107 (in Russian). DOI: 10.17308/geo.2020.1/2667.
- Gusev A.P., Filonchik N.N., Shpilevskaya N.S. 2020. Long-Term Trends of State of Vegetation in Natural and Anthropogenic Landscapes of the Belarusian Polesya According to Modis Data (2000–2019). Scientific notes of V. I. Vernadsky Crimean federal university . Geography. Geology, 6 (3): 200–209 (in Russian).
- Gusev A.P., Shpilevskaya N.S., Filonchik N.N. 2021. Normalized Difference Vegetation Index in Specially Protected Natural Areas of Southern Belarus. Bulletin of VSU. Series: Geography. Geoecology, 2: 13–19 (in Russian). DOI: 10.17308/geo.2021.2/3442.
- Dronin N.M., Telnova N.O., Kalutskova N.N. 2014. Perennial Trends in Biological Productivity of East European Agrolandscapes: Remote Sensing Data Analysis. Geopolitics and Ecogeodynamics of regions, 10 (1): 529–538 (in Russian).
- Elsakov V.V., Kulyugina E.E., Shanov V.M. 2013. Trends of Vegetation Cover Changes of the Yugorsky Peninsula in the Last Decades: Comparison of Remote and Field Studies. Geobotanical mapping, 2013: 93–111 (in Russian).
- Zuev V.V., Korotkova E.M., Pavlinskiy A.V. 2019. Climate-Related Changes in the Vegetation Cover of the Taiga and Tundra of Western Siberia in 1982–2015 According to Satellite Observations. Earth Observation and Remote Sensing, 6: 66–76 (in Russian). DOI: 10.31857/S0205-96142019666-76.



- Kolomyts E.G. 2009. Forest Ecosystems of the Volga Basin Under Conditions of Global Climate Warming: Local Ecological Prediction. Russian Journal of Ecology, 40 (1): 6–17 (in Russian). DOI: 10.1134/S1067413609010020.
- Kolomyts E.G., Sharaya L.S. 2012. The Effect of Global Warming on the Landscape Structure of North Caucasus. Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya, 4: 45–61 (in Russian). DOI: 10.15356/0373-2444-2012-4-45-61.
- Medvedkov A.A. 2018 Indication of the State of Tiaga Permafrost Landscapes on the Southern Periphery of Cryolithozone Under Conditions of a Changing Climate. Bulletin of the Moscow Region State University. Series: Natural Sciences, 1: 18–28 (in Russian). DOI: 10.18384/2310-7189-2018-1-18-28.
- Tishkov A.A., Belonovskaya E.A., Weisfeld M.A., Glazov P.M., Krenke A.N., Tertitsky G.N. 2018. "The Greening" of the Tundra as a Driver of the Modern Dynamics of Arctic Biota. Arctic: Ecology and Economics, 2 (30): 31–44 (in Russian). DOI: 10.25283/2223-4594-2018-2-31-44.
- Telnova N.O. 2017. Revealing and Mapping Long-Term NDVI Trends for the Analysis of Climate Change Contribution to Agroecosystems' Productivity Dynamics in the Northern Eurasian Forest-Steppe and Steppe. Current Problems in Remote Sensing of the Earth From Space, 14 (6): 97–107 (in Russian). DOI: 10.21046/20707401201714697107.
- Shary P.A., Sharaya L.S., Sidiyakina L.V. 2020. The Relation of Forest NDVI to Climate in Volga Basin. Current Problems in Remote Sensing of the Earth From Space, 17 (4): 154–163 (in Russian). DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-4-154-163.
- Tsepelev V.Yu., Panidi E.A., Torlopova N.V., Bobkov A.A. 2015. Using of Vegetation Cover Characteristics for Monitoring of XX Century Climate Changing. Proceedings of the Russian State Hydrometeorological University, 40: 221–235 (in Russian).
- Brink A.B., Eva H.D. 2009. Monitoring 25 years of land cover change dynamics in Africa: A sample based remote sensing approach. Applied Geography, 29 (4): 501–512. DOI: 10.1016/j.apgeog.2008.10.004.
- Gauthier S., Bernier P., Kuuluvainen T., Shvidenko A.Z., Schepaschenko D.G. 2015. Boreal forest health and global change. Science, 349 (6250): 819–822. DOI: 10.1126/science.aaa9092.
- Zhu Z., Piao S., Myneni R.B., Huang M., Zeng Z., Canadell J.G., Ciais P., Sitch S., Friedlingstein P., Arneeth A., Cao C., Cheng L., Kato E., Koven C., Li Y., Lian X., Liu Y., Liu R., Mao J., Pan Y., Peng S., Peñuelas J., Poulter B., Pugh T.A.M., Stocker B.D., Viovy N., Wang X., Wang Y., Xiao Z., Yang H., Zaehle S., Zenget N. 2016. Greening of the Earth and its drivers. Nature climate change, 6: 791–795. DOI: 10.1038/nclimate3004.
- Raynolds M.K., Walker D.A., Maier H.A. 2006. NDVI Patterns and Phytomass Distribution in the Circumpolar Arctic. Remote Sensing of Environment, 102 (3–4): 271–281. DOI: 10.1016/j.rse.2006.02.016.
- Yengoh G.T., Dent D., Olsson L., Tengberg A.E., Tucker C.J. 2015. Use of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to Assess Land Degradation at Multiple Scales: a Review of the Current Status, Future Trends, and Practical Considerations. Springer Cham, 110 p.

*Поступила в редакцию 02.02.2022;
поступила после рецензирования 02.03.2022;
принята к публикации 27.04.2022*

*Received February 02, 2022;
Revised March 02, 2022;
Accepted April 27, 2022*

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Гусев Андрей Петрович, кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры экологии, декан геолого-географического факультета, Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины, г. Гомель, Беларусь

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Andrei P. Gusev, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor of the Department of Ecology, Dean of the Faculty of Geology and Geography of Francisk Skorina Gomel State University, Gomel, Belarus



УДК 528.7

DOI 10.52575/2712-7443-2022-46-2-210-222

Исследование гумусированности почв в агрохронориях с использованием наземных средств и данных дистанционного зондирования Земли

Бек А.Н.

Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85
E-mail: 966665@bsu.edu.ru

Аннотация. Применение данных дистанционного зондирования Земли основательно приумножило возможности исследования и оценки природных ресурсов. Немногочисленный опыт совмещенного использования историко-картографического и дистанционных методов исследования для изучения гумусированности освоенных серых лесных почв, вовлеченных в распашку в разные исторические периоды, требует продолжения изучения данных подходов. В предлагаемой статье изложены результаты исследований по выявлению зависимости тона изображения от содержания и запасов органического вещества сельскохозяйственно используемых серых лесных почв на территории Белгородской области Российской Федерации, полученные на основе анализа спутниковых данных *Landsat* и данных наземных наблюдений гумусного состояния почв региона. На основе анализа изображения открытой поверхности пахотных серых лесных почв изучена зависимость тона изображения от содержания и запасов гумуса. Полученные данные позволяют сделать вывод о том, что при автоматизированном дешифрировании почв по космическим снимкам анализ тоновых характеристик открытой поверхности пахотных почв от содержания и запасов органического вещества показывает высокую корреляционную связь.

Ключевые слова: почвенное плодородие, *Landsat*, почвенный мониторинг, гумус, лесостепь, органическое вещество, запасы гумуса

Для цитирования: Бек А.Н. 2022. Исследование гумусированности почв в агрохронориях с использованием наземных средств и данных дистанционного зондирования Земли. Региональные геосистемы, 46(2): 210–222. DOI 10.52575/2712-7443-2022-46-2-210-222

The Study of Soil Humus Content in Agrochronological Series Using Ground-Based Tools and Remote Sensing Data

Anastasia N. Bek

Belgorod National Research University,
85 Pobedy St, Belgorod, 308015, Russia
E-mail: 966665@bsu.edu.ru

Abstract. Extensive implementation of Earth remote sensing data has substantially increased the ability to research and evaluate natural resources. The limited experience of the combined use of historical-cartographic and remote research methods to study the humus content of the developed gray forest soils involved in plowing in different historical periods requires further study of these approaches. The proposed article presents the results of studies to identify the dependence of the image tone on the content and reserves of organic matter of the gray forest soils used for agriculture in the Belgorod region of the Russian Federation, obtained on the basis of the analysis of *Landsat* satellite data and information on the data of ground observations of the humus state of the soils of the region. Based on the analysis of the image of the open surface of arable gray forest soils the dependence of the image tone on the content and

reserves of humus was studied. The data obtained allow us to conclude that with automated interpretation of soils from satellite images, the analysis of the tone space of the open surface of arable soils from the content and reserves of organic matter shows a high correlation.

Keywords: soil fertility, Landsat, monitoring land, humus, forest-steppe, organic matter, humus reserves

For citation: Bek A.N. 2022. The Study of Soil Humus Content in Agrochronological Series Using Ground-Based Tools and Remote Sensing Data. *Regional Geosystems*, 46(2): 210–222 (in Russian). DOI 10.52575/2712-7443-2022-46-2-210-222

Введение

Контроль изменения гумусового состояния почв – это одно из главных направлений мониторинга сферы управления природопользованием, основной целью которого служит обоснование мероприятий, способствующих повышению плодородия земель [Подколзин, Есаулко, 2008]. Такой вид контроля включает в себя наземные и лабораторные исследования почв на небольших территориях [Чендев, 2008; Чендев и др., 2011]. Общепринятые традиционные методы, которые применяются при проведении мониторинга почвенного покрова, основаны на определении отдельных свойств почв. Использование этих методов не предполагает проведения пространственно-временной оценки состояния почв. Сталкиваясь с этой проблемой на протяжении длительного времени, многие ученые сошлись во мнении, что при проведении мониторинга почв необходимо применять пространственно-временные методы исследования, которые базируются на использовании современных данных ДЗЗ [Minasny, McBratney, 2015]. В XXI в. данные материалы имеют большую востребованность, т. к. обладают быстротой распространения вследствие своей оперативности и объективности, при этом с помощью данных ДЗЗ появляются уникальные возможности для различного охвата территорий разных площадей [Hartemink et al., 2008]. Уже имеется первый опыт совмещенного использования историко-картографического и дистанционных методов исследования для изучения плодородного состояния пригодных для распашки серых лесных почв, вовлеченных в распашку в разные исторические периоды [Савин, Чендев, 1994; Tiwari et al., 2015]. В указанном направлении требуется продолжение исследований и уточнение методов и подходов на новых объектах.

Целью исследовательской работы является выявление и анализ зависимости между тоном изображения открытой поверхности пахотных земель и содержанием/запасами органического вещества, которое концентрируется в верхнем слое лесостепных агросерых почв.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования выступают почвы разных сроков распашки и их ареалы в пределах агроландшафтов на месте широколиственно-лесного зонального подтипа лесостепного ландшафта Белгородской области (ключевой участок «Батрацкая дача»). Также для исследования были использованы спутниковые снимки для всей территории исследования.

В пределах широколиственно-лесного ландшафта лесостепи на месте формирования в прошлом подтипа темно-серых лесных почв (изучен на разных элементах рельефа в расположенном рядом коренном дубово-широколиственном лесу) были изучены почвы 100-летней пашни (13 разрезов) и почвы 160-летней пашни (14 разрезов).

Почвы 100-летней пашни и почвы 160-летней пашни были рассмотрены и исследованы в 7 разрезах на ровных водоразделах, а также в 20 разрезах на склонах почвенных катен разной крутизны (от 3 до 6 градусов) (рис. 1, 2, 3).

На участках молодой пашни почвы относятся к типу темно-серых лесных, переходных к оподзоленным черноземам. Почвы на старопахотных угодьях представлены черноземами выщелоченными и оподзоленными.



Рис. 1. Фрагмент космоснимка с точками заложения разрезов вдоль почвенных катен на разновозрастных пашнях ключевого участка Батрацкая дача
Fig. 1. A fragment of a satellite image with points of cuts along soil sequence on arable lands of different ages in the key area of the Batratskaya Dacha

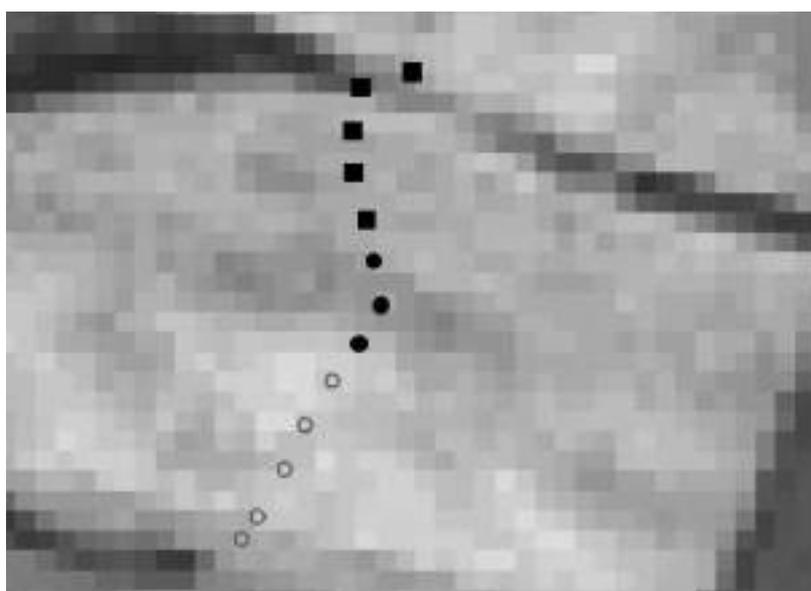


Рис. 2. Фрагмент космоснимка – участки пашни с возрастом освоения 160 лет на склонах северной и южной экспозиций (● – середина водораздела, ○ – южный склон, ■ – северный склон)
Fig. 2. Fragment of a satellite image – arable land with a development age of 160 years on the slopes of northern and southern exposures (● – middle of the watershed, ○ – southern slope, ■ – northern slope)

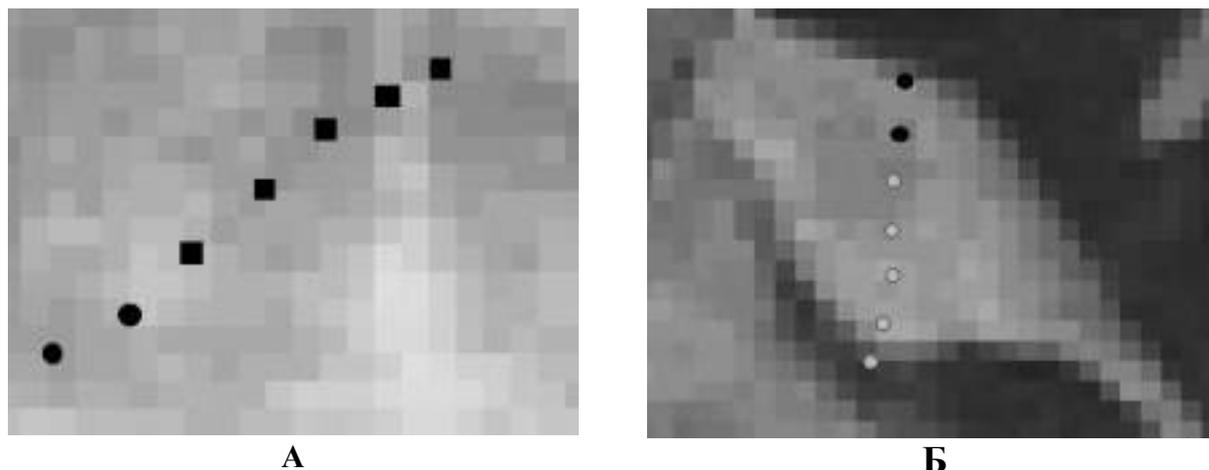


Рис. 3. Фрагмент космоснимка – участки пашни с возрастом освоения 100 лет;
А – северный склон, Б – южный склон

(● – середина водораздела, ○ – южный склон, ■ – северный склон)

Fig. 3. Fragment of a satellite image - areas of arable land with the age of development of 100 years;

А – northern slope, Б – southern slope

(● – middle of the flat interfluve, ○ – southern slope, ■ – northern slope)

В работе был использован следующий комплекс методов исследований: метод почвенных агрохронорядов, историко-картографический метод, методы полевой диагностики почв, сравнительно-географический метод, методы лабораторного анализа почв, метод обработки данных ДЗЗ, методы использования ГИС-технологий, методы математико-статистической обработки данных [Малышевский и др., 2013].

Вблизи п. Батрацкая дача Шебекинского района (Белгородская обл.) были изучены автономные и склоновые участки агроландшафтов. Их исследование проводили для определения зависимости между тоном изображения открытой поверхности пахотных земель и содержанием/запасами органического вещества (для верхнего слоя почв) широколиственно-лесного ландшафта лесостепи. При поиске необходимых участков исследования были использованы крупномасштабные достоверные карты, в разных временных рамках (планы дач периодов генерального и специального межеваний Российской империи масштаба 1:8400 и современных крупномасштабных топокарт масштаба 1:10000). Ранее близкие исследования проводились в другой, полностью лесопокрытой в прошлом, части Белгородской области для идентификации тона изображения открытой поверхности почв на пашнях разного возраста, однако, без данных наземных наблюдений гумусного состояния почв [Савин, Чендев, 1994].

В качестве материалов спутниковой съемки был использован космический снимок *Landsat 4-5 TM*, от 06.05.2007 г. (см. рис. 1). Съемка с аппаратов этого типа обладает оптимальным сочетанием целого ряда факторов (количество и диапазоны используемых каналов, пространственное и радиометрическое разрешение, обширный охват территории одной спутниковой сценой, наличие надежных алгоритмов предварительной коррекции), что обусловило ее выбор для анализа³ [Степанов и др., 2020]. Пространственное разрешение всех используемых каналов составляет 30 м/пиксел.

Критерии для выбора даты съемки:

- 1) на снимке должна отсутствовать облачность;
- 2) на снимке должна быть открытая поверхность пахотных полей;
- 3) пахотный горизонт почв должен быть в сухом состоянии, что достигается отсутствием выпадения интенсивных осадков за 2–3 недели до даты съемки [Савин, 1990].

³ Лабутина И.А. 2004. Дешифрирование аэрокосмических снимков: Учеб. Пособие для студентов вузов. М.: Аспект Пресс, 184 с.



Проведенный анализ структуры посевных площадей в Белгородской области свидетельствует о том, что оптимальным периодом для проведения исследования по данным ДЗЗ является конец апреля – начало мая. Применительно к этому промежутку времени не наблюдается растительного покрова, за исключением посевов озимых [Тютюнов, Карабутов, 2017]. При проведении подобного исследования необходимо учитывать и метеорологические особенности почвы, т. к. тоновые характеристики могут исказиться из-за высокой влажности почвы (чем выше влажность почвы, тем темнее ее поверхность) [Савин, Чендев, 1994; Савин, 2013; Савин, Прудникова, 2014]. При изучении архивных записей по данным метеостанции Белгород, было определено, что за несколько недель (3 недели) до проведения съемки и на её момент (6.05.2007) осадки на исследуемых территориях выпадали фрагментарно и в малом количестве. Учитывая, что в этот период времени преобладают достаточно высокие температуры, можно сделать вывод, что влажность не могла серьезно повлиять на тон изображения открытой поверхности изучаемых почв [Савин, 2013]. На другие даты съемки, кроме выбранной нами, соблюдение указанных требований было проблематичным, т. к. остальные снимки *Landsat* имели высокий процент облачности, а также наличие растительности на поверхности пахотных почв. Для работы со снимком были выполнены радиометрическая коррекция, орто-трансформирование, географическая привязка с использованием наземных точек *GPS*.

Материалы спутниковой съемки были получены из Интернет-архива геологической службы США (USGS). С помощью программного пакета *ERDAS IMAGINE*, который позволяет различать 256 градаций серого цвета в % от 0 до 100 (0 % – абсолютно белый цвет, 100 % – абсолютно черный цвет), была выполнена обработка космических снимков. Для почвенных разрезов в соответствии с рельефом местности были определены значения тона изображения открытой поверхности пахотной почвы (%) по пяти рядом расположенным пикселям [Аэрокосмические методы..., 1990].

В местах заложения разрезов проводился отбор почвенных образцов, включая важные для исследования глубины 0–10 см и 0–20 см. Содержание гумуса определялось в лабораторных условиях по методу Тюрина.

Пространственная привязка почвенных разрезов осуществлялась с помощью приемников *GPS* для повышения результатов исследования на спутниковых снимках.

Решая задачу выявления зависимости тоновых характеристик открытой поверхности почв от содержания и запасов в них гумуса, необходимо было разработать и реализовать последовательность методических приемов, направленную на соотнесение результатов наземных обследований с результатами обработки космической съемки.

Последовательность действий состоит из следующих пунктов:

1. Формирование базы данных на основе систематизированных сведений, которые были получены в ходе полевых исследований пахотных почв на ключевом участке «Батрацкая дача».

2. Формирование выборки, состоящей из данных о содержании и запасах гумуса в слоях 0–10 см и 0–20 см пахотных почв.

3. Создание базы количественных характеристик тона изображения открытой поверхности почв в точках исследования, соответствующих местоположению каждого разреза.

4. Проведение статистической обработки полученных данных по выявлению наиболее информативных показателей, отражающих связь между тоном изображения открытой поверхности почв и результатами наземных наблюдений степени гумусированности почв. Указанные расчеты проводились в соответствии с общепринятыми в статистике рекомендациями⁴ [Дмитриев, 1995].

Построение полигонов распределения тона изображения поверхности почв (%) по усредненным значениям пяти повторностей (пикселей) в каждой изучаемой точке

⁴ Доспехов Б.А. 1985. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М., Агропромиздат, 351 с.

основывалось на оценке распределения тоновых характеристик открытой поверхности пахотных почв, сгруппированных по частоте попадания данных в определенные интервалы между минимальным и максимальным значениями показателя. Построенные гистограммы дают представление о разбросе (рассеивании) показателей тоновых неоднородностей цвета открытой поверхности пахотных почв и о степени симметрии или асимметрии показателя. При этом были использованы рекомендации из работы [Journel, 1986].

Результаты и их обсуждение

Статистическая обработка полученных данных включала корреляционный анализ совокупности значений тона изображения открытой поверхности пахотных почв (%) по пяти пикселям в каждой точке наблюдений с такими параметрами почвы, как содержание и запасы гумуса в слое 0–10 и 0–20 см пахотных почв (табл.). В таблице приводятся результаты исследования количественных характеристик интенсивности серого тона изображения открытой поверхности пахотных почв и результаты замеров в точках наблюдений содержания и запасов гумуса в слоях 0–10 и 0–20 см почв.

Значения тона открытой поверхности пахотных почв и содержания/запасов в них гумуса на ключевом участке Батрацкая дача
The values of the tone of the open surface of arable soils and the content/reserves of humus in them at the key site Batratskaya Dacha

Элемент рельефа, возраст распахки, индекс почвенного разреза		Тон открытой поверхности по повторностям определений (пикселям), %						Содержание гумуса, %		Запасы, т/га	
		1	2	3	4	5	Сред.	0–10 см	0–20 см	0–10 см	0–20 см
Водо-раздел, пашня 160 лет	ББСС-2	48	46	46	50	51	48	4,03	3,76	54,00	107,54
	ББС-1	48	48	44	49	50	48	3,96	3,39	59,80	106,45
	ББСЮ-2	47	47	48	42	48	46	3,06	2,91	49,57	96,03
Коэффициент корреляции								0,989	0,972	0,687	0,992
Водо-раздел, пашня 100 лет	ББМС-1	50	47	46	48	41	46	3,75	3,30	51,75	100,98
	ББМС-2	45	44	47	48	47	46	3,56	3,18	50,91	95,40
	ББМЮ-2	45	50	43	49	48	47	4,40	4,04	55,44	108,27
Коэффициент корреляции								1,000	0,994	0,998	0,979
Северный склон, пашня 160 лет	ББСС-3	46	45	48	45	41	45	3,62	3,15	46,70	86,94
	ББСС-4	45	50	47	46	45	47	4,15	3,78	51,46	103,57
	ББСС-5	44	46	47	42	45	45	3,18	2,84	44,52	82,93
Коэффициент корреляции								0,933	0,974	0,978	0,997
Северный склон, пашня 100 лет	ББМС-3	46	43	48	44	40	44	3,26	2,95	46,62	88,50
	ББМС-4	40	43	46	42	38	42	2,91	2,80	35,79	73,92
	ББМС-5	42	43	45	43	43	43	3,45	3,15	43,13	88,20
	ББМС-6	42	40	45	43	40	42	2,85	2,74	38,19	79,46
Коэффициент корреляции								0,876	0,845	0,994	0,954
Южный склон, пашня 160 лет	ББСЮ-3	46	42	49	45	42	45	3,15	2,78	44,73	80,62
	ББСЮ-4	47	43	49	47	43	46	3,60	3,27	53,28	98,75
	ББСЮ-5	42	43	49	45	40	44	3,23	2,91	44,57	84,97
	ББСЮ-6	44	48	48	49	49	48	3,68	3,43	50,05	100,16
Коэффициент корреляции								0,867	0,875	0,676	0,82
Южный склон, пашня 100 лет	ББМЮ-3	52	50	43	51	51	49	4,83	4,38	64,24	120,89
	ББМЮ-4	49	50	44	48	49	48	4,83	4,31	60,38	113,78
	ББМЮ-5	52	51	46	52	52	51	4,87	4,34	68,18	124,12
	ББМЮ-6	51	45	46	42	50	47	3,67	3,18	51,38	94,13
Коэффициент корреляции								0,783	0,780	0,971	0,929

Результаты наземного определения содержания и запасов гумуса в почвах пашни разных сроков освоения выполнялись Ю.Г. Чендевым (предоставлены из отчетной документации по гранту РФФИ, проект 13-05-41158 РГО_a, неопубликованные данные).

В соответствии с проведенным анализом степени гумусированности исследованных почв (табл.) были получены следующие выводы.

На водоразделах молодой пашни содержание гумуса в слоях 0–10 см и 0–20 см больше, чем на этих же участках старопахотных угодий, хотя расхождение показателей небольшое (0,2 % абсолютного содержания). При рассмотрении же запасов гумуса выявляется обратная закономерность – на старой пашне запасы органического вещества больше, чем на молодой.

При рассмотрении всех точек исследования на северных склонах разновозрастных пашен как для слоя 0–10 см, так и для слоя 0–20 см, на старопахотном угодье наблюдаются повышенные значения содержания и запасов органического вещества.

В анализируемых слоях на южных склонах с возрастом сельскохозяйственного освоения 100 лет выявляются повышенные значения содержания и запасов гумуса за исключением самых нижних точек склонов в трансаккумулятивных позициях, где показатели разновозрастных пашен примерно одинаковы.

Результаты корреляционного анализа между тоновыми характеристиками цвета открытой поверхности пахотных почв и результатами лабораторных анализов степени их гумусированности показали, что на всех изучаемых полигонах (водоразделы, южные и северные склоны) наблюдается высокая корреляционная связь между параметрами почв (содержанием и запасами органического вещества) и тоновыми характеристиками открытой поверхности пашни в местах изучения почвенных разрезов (табл.).

Прослеживается следующая закономерность – с увеличением содержания / запасов гумуса наблюдается усиление интенсивности (процента) серого тона изображения на космоснимке (табл., рис. 4, 5).

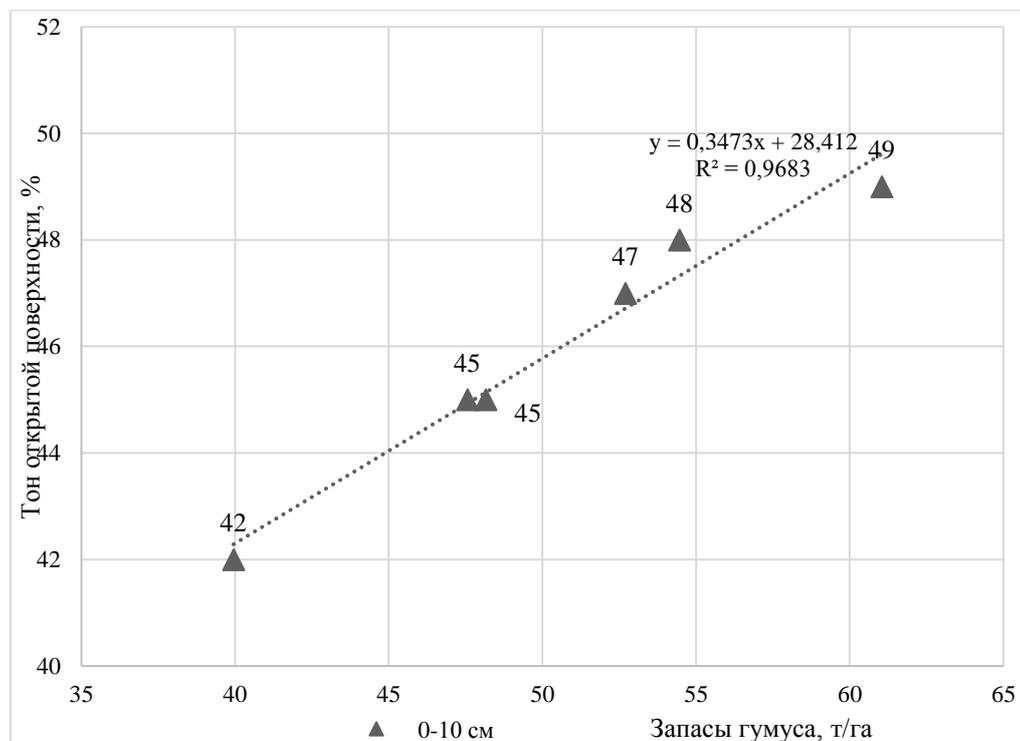


Рис. 4. График зависимости тона изображения открытой поверхности почв от запасов гумуса в слое 0–10 см (совокупность всех изучаемых выборок)

Fig. 4. Graph of the dependence of the tone of the image of the open surface of soils on humus reserves in a layer of 0–10 cm (the totality of all studied samples)

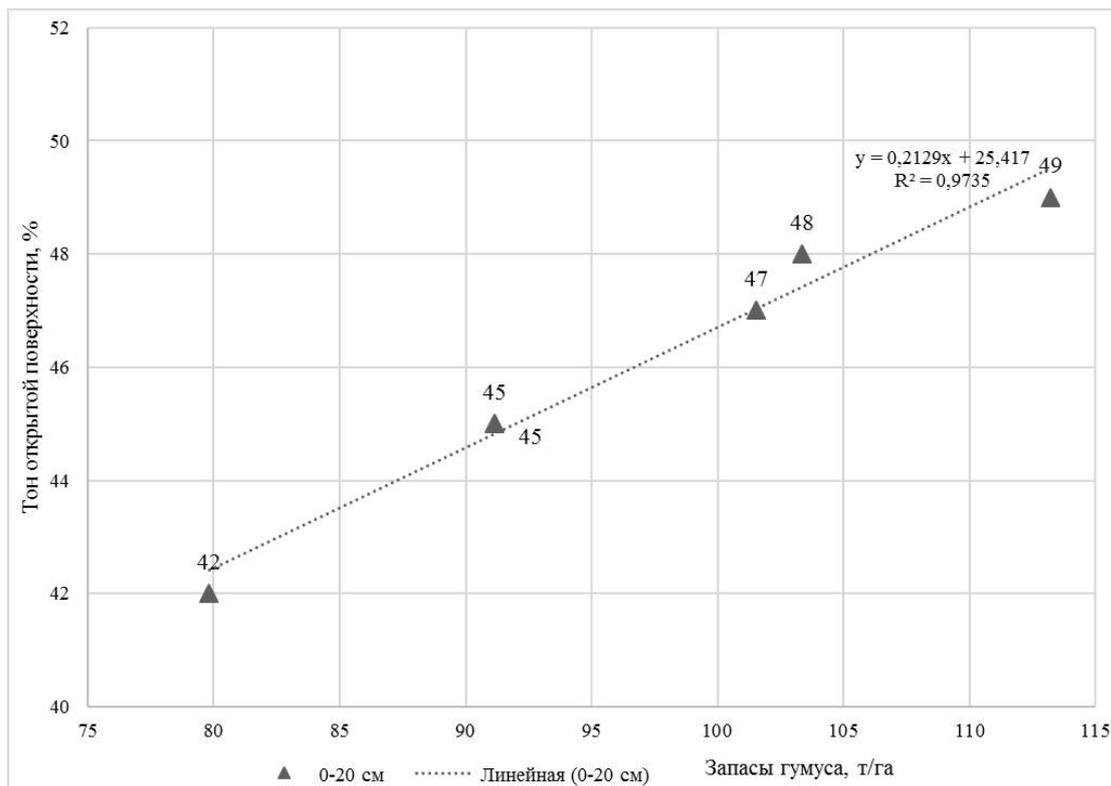


Рис. 5. График зависимости тона изображения открытой поверхности почв от запасов гумуса в слое 0–20 см (совокупность всех изучаемых выборок)

Fig. 5. Graph of the dependence of the tone of the image of the open surface of soils on humus reserves in a layer of 0–20 cm (the totality of all studied samples)

По совокупному анализу всех изучаемых выборок (на водоразделах и склонах полярных экспозиций) между тоновыми характеристиками открытой поверхности пахотных почв и запасами гумуса во всех изученных слоях почв существует прямая связь: рост запасов органического вещества почв отражается на усилении интенсивности серого тона изображения (см. рис. 4, 5). При этом теснота выявляемых связей оказалась примерно одинаковой: для слоя 0–10 см $R = 0,984$, а для слоя 0–20 см $R = 0,987$ (рис. 4, 5). Исходя из полученных данных, в исследованиях связи тоновых характеристик и запасов органического вещества пахотных почв рекомендуется использовать данные наземных наблюдений или для слоя 0–10 см или для слоя 0–20 см, так как эти слои показывают идентичную высокую корреляционную зависимость.

Гистограммы распределения тона открытой поверхности почв пашен (рис. 6–8) выполнялись по следующим комбинациям:

1) суммарная выборка значений на ровных водораздельных поверхностях с крутизной менее 2 градусов (водораздел на старопашотном участке (160 лет), водораздел на недавно освоенной пашне (100 лет), $n = 30$);

2) суммарная выборка значений на северных склонах на старопашотном угодье и на молодой пашне ($n = 35$);

3) суммарная выборка значений на южных склонах на старопашотном угодье и на молодой пашне ($n = 40$).

Степень асимметрии распределения показателя тона открытой поверхности почв может свидетельствовать либо о развитии (в случае правосторонней асимметрии), либо о затухании (в случае левосторонней асимметрии) процесса.

В нашем случае, анализ гистограмм распределения тона открытой поверхности почв на как на водоразделах, так и на склонах разных экспозиций говорит о существовании правосторонней асимметрии распределения показателя (см. рис. 6–8).

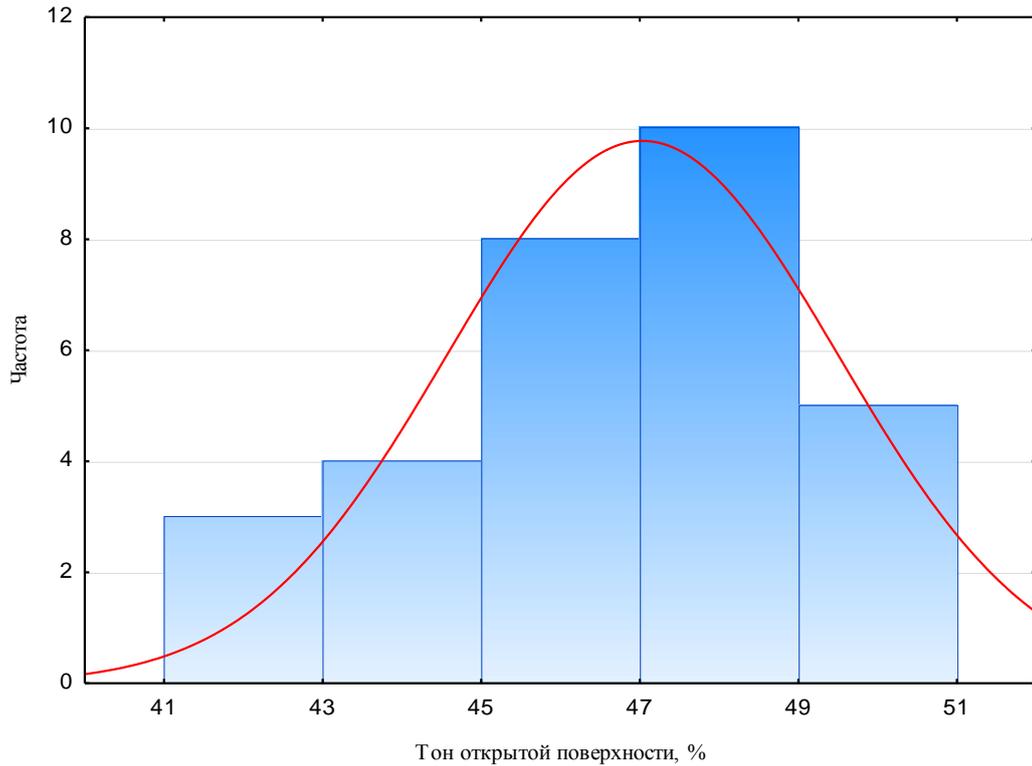


Рис. 6. Гистограммы распределения тона изображения открытой поверхности почв на водоразделах: обобщенная выборка «старая пашня (160 лет) – молодая пашня (100 лет)» (n = 30)
Fig. 6. Histograms of the tone distribution of the image of the open surface of soils on watersheds: generalized sample "old arable land (160 years) – young arable land (100 years)" (n = 30)

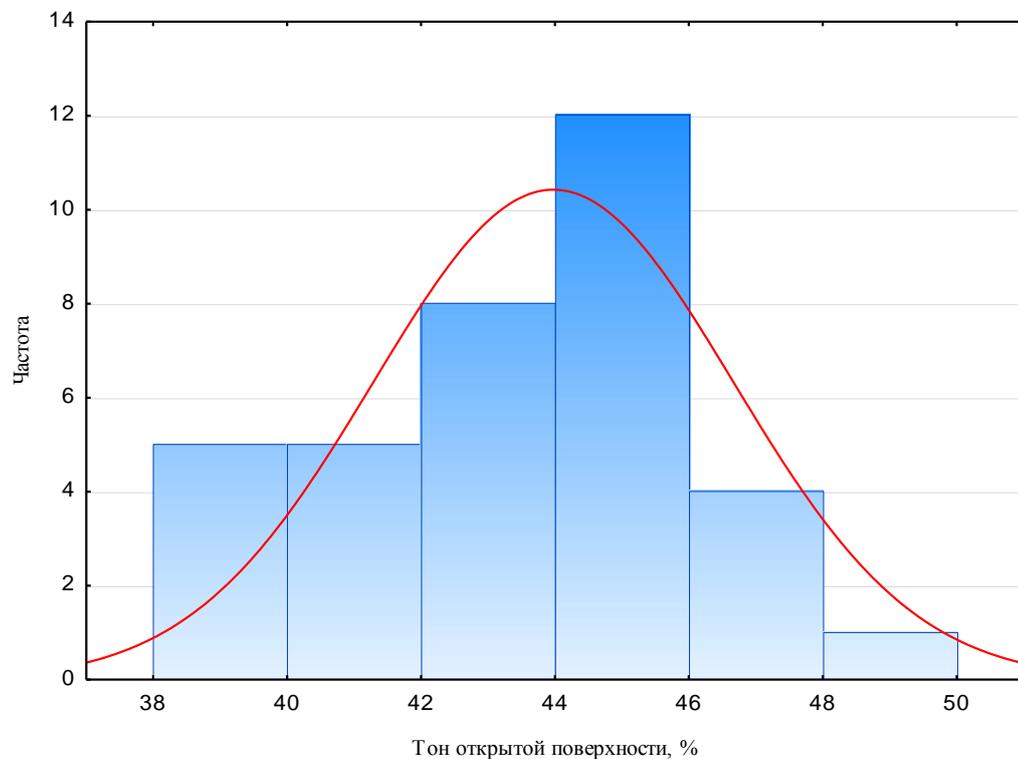


Рис. 7. Гистограммы распределения тона изображения открытой поверхности почв на северных склонах: обобщенная выборка «старая пашня (160 лет) – молодая пашня (100 лет)» (n = 35)
Fig. 7. Histograms of the tone distribution of the image of the open soil surface on the northern slopes: generalized sample "old arable land (160 years) – young arable land (100 years)" (n = 35)

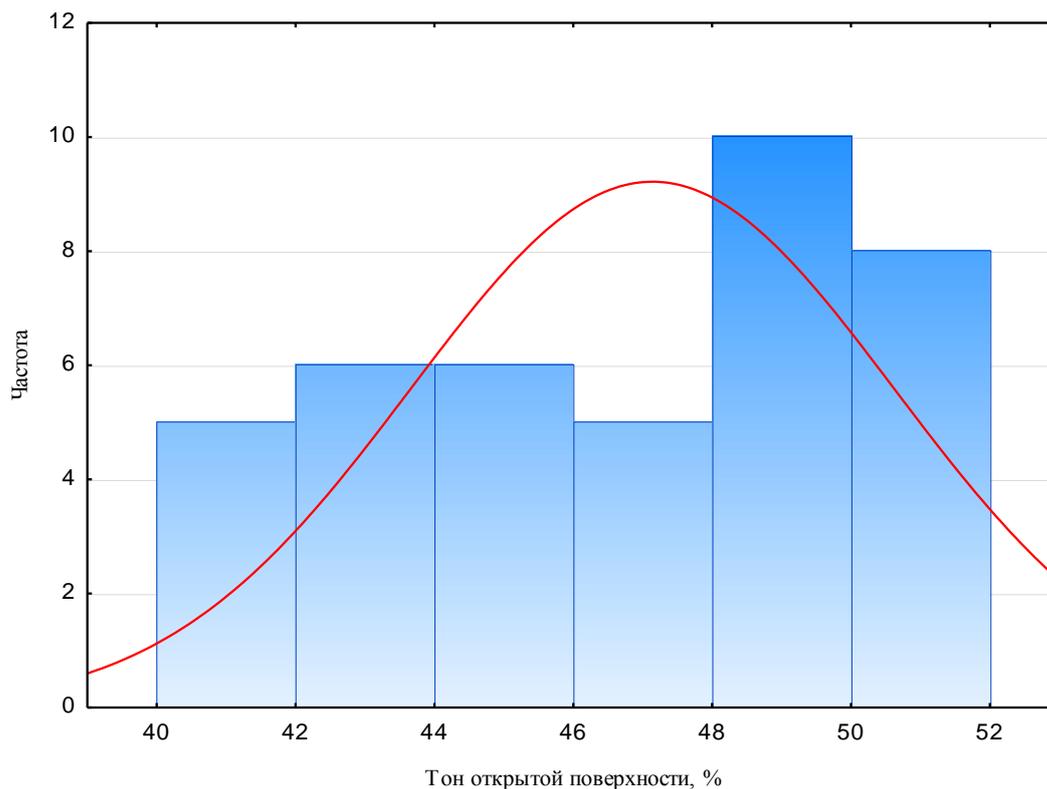


Рис. 8. Гистограммы распределения тона изображения открытой поверхности почв на южных склонах: обобщенная выборка «старая пашня (160 лет) – молодая пашня (100 лет)» (n = 40)
Fig. 8. Histograms of the tone distribution of the image of the open surface of soils on the southern slopes: the generalized sample "old arable land (160 years) – young arable land (100 years)" (n = 40)

Наличие правосторонней асимметрии свидетельствует о развитии процесса повышения гумусированности, т. е. наблюдается характерный сдвиг значений тона в сторону больших значений. Это, на наш взгляд, выступает очередным подтверждением предположения о трансформации серых лесных почв в более гумусированные черноземы в результате их длительной распашки, что ранее обсуждалось в литературе [Чендев 2008; Чендев и др., 2011].

В частности, было обосновано, что гумус пахотных горизонтов серых лесных почв лесостепи Белгородской области омолаживается (это показывают радиоуглеродные датировки гумуса) за счет пополнения его резерва свежими порциями гумифицированного органического вещества в результате трансформации перегнивающих остатков корней и стерни культурных растений [Чендев и др. 2011].

В отличие от установленного тренда повышения гумусированности староосвоенных серых лесных почв, при освоении лесостепных черноземов в них выявляется однонаправленное во времени снижение содержания и запасов органического вещества, что неоднократно подтверждалось наземными исследованиями и наблюдениями [Чендев и др., 1998; Чендев, Авилов, 2000; Чендев, Лукин, 2005]. Работа по сравнительному анализу тона изображения открытой поверхности пахотных черноземов разных сроков освоения на космоснимках и запасов в них гумуса – предмет отдельного исследования.

Заключение

Обоснована возможность комплексного использования данных наземных исследований и спутниковой информации при исследовании содержания и запасов в почвах органического вещества.



На территории широколиственно-лесного ландшафта лесостепи (Белгородская область, участок «Батрацкая дача») сравнительный анализ тона изображения открытой поверхности пахотных почв на спутниковом снимке и содержания/запасов в них гумуса (по результатам натуральных наблюдений) свидетельствует о наличии на всех изучаемых полигонах высокой корреляционной связи между этими показателями (коэффициент корреляции находился в диапазоне значений 0,68–1).

Правосторонняя асимметрия распределения тоновых неоднородностей изображения открытой поверхности изученных пахотных почв выступает свидетельством роста их гумусированности во времени, т. е. процесса проградации пахотных почв – серых лесных в черноземы.

Полученные результаты могут быть использованы в системе мониторинга состояния земель и прогнозирования их гумусового состояния в целях более рационального землепользования.

Благодарности

Автор выражает благодарность научному руководителю, доктору географических наук, профессору Чендеву Ю.Г. за консультативную поддержку на всех этапах проведения данного исследования.

Список литературы

- Аэрокосмические методы в почвоведении и их использование в сельском хозяйстве. 1990. М., Наука, 247 с.
- Дмитриев Е.А. 1995. Математическая статистика в почвоведении. М., Изд-во МГУ, 326 с.
- Мальшевский В.А., Федулов Ю.П., Островский Н.В., Лебедевский И.А. 2013. Расчет содержания гумуса с использованием данных дистанционного зондирования Земли. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета, 92: 859–883.
- Подколзин О.А., Есаулко А.Н. 2008. Опыт мониторинга сельскохозяйственных земель с использованием дистанционного зондирования земли на Ставрополье. Проблемы агрохимии и экологии, 3: 32–34.
- Савин И.Ю. 2013. О тоне изображения открытой поверхности почв как прямом дешифровочном признаке. Бюллетень почвенного института им. В.В. Докучаева, 71: 52–64.
- Савин И.Ю., Чендев Ю.Г. 1994. Изменение во времени содержания гумуса в пахотных лесостепных почвах. Почвоведение, 5: 88–92.
- Савин И.Ю., Прудникова Е.Ю. 2014. Об оптимальном сроке спутниковой съемки для картографирования пахотных почв. Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева, 74: 66–77.
- Савин И.Ю. 1990. Дешифрирование почвенного покрова лесостепи Центрально-Черноземного района по среднemasштабным космическим снимкам. Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Москва, 27 с.
- Степанов С.Ю., Петров Я.А., Вагизов М.Р., Сидоренко А.Ю. 2020. Мониторинг данных дистанционного зондирования земли по данным спутника Landsat. Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право, 1 (37): 206–216.
- Тютюнов С. И., Карабутов А. П. 2017. Поведение гумуса в черноземе типичном в связи с различным уровнем интенсивности использования пашни. Инновации в АПК: проблемы и перспективы, 4 (16): 74–83.
- Чендев Ю.Г. 2008. Эволюция лесостепных почв Среднерусской возвышенности в голоцене. Москва, ГЕОС, 212 с.
- Чендев Ю.Г., Авраменко П.М., Лищуков С.Д. 1998. Изменение гумусового состояния пахотных почв Белгородской области. Агрохимия, 6: 12–20.
- Чендев Ю.Г., Авилов Н.П. 2000. Содержание и запасы гумуса в черноземах разновозрастных пашен. Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук, 5: 22–25.

- Чендев Ю.Г., Лукин С.В. 2005. Влияние длительной распашки на свойства лесостепных и степных черноземов. Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук, 1: 37–39.
- Чендев Ю.Г., Александровский А.Л., Хохлова О.С., Смирнова Л.Г., Новых Л.Л., Долгих А.В. 2011. Антропогенная эволюция серых лесостепных почв южной части Среднерусской возвышенности. Почвоведение, 1: 3–15.
- Hartemink A.E., McBratney A.B., Mendonça-Santos M.L. 2008. Digital Soil Mapping with Limited Data. Netherlands, Springer, 446 p.
- Minasny B., McBratney A.B., 2015. Digital soil mapping: A brief history and some lessons. Geoderma, 264: 301–311. DOI: 10.1016/j.geoderma.2015.07.017.
- Journel A.G. 1986. Geostatistics: Models and Tools for the Earth Sciences. Mathematical Geology, 18: 119–140. DOI: 10.1007/BF00897658.
- Tiwari S., Saha S., Kumar S., 2015. Prediction Modeling and Mapping of Soil Carbon Content Using Artificial Neural Network, Hyperspectral Satellite Data and Field Spectroscopy. Advances in Remote Sensing, 4: 63–72. DOI: 10.4236/ars.2015.41006.

References

- Aerokosmicheskie metody v pochvovedenii i ikh ispol'zovanie v sel'skom khozyaystve [Aerospace methods in soil science and their use in agriculture]. 1990. Moscow, Publ. Nauka, 247 p.
- Dmitriev E.A. 1995. Matematicheskaya statistika v pochvovedenii [Mathematical statistics in soil science]. Moscow, Publ. MGU, 320 p.
- Maleychevskiy V.A., Fedulov Y.P., Ostrovskiy N.V., Lebedovskiy I.A. 2013. Humus Content Calculation the Method with Use of Remote Sensing of the Earth. Polythematic online scientific journal of Kuban State Agrarian University, 92: 859–883 (in Russian).
- Podkolzin O.A., Esaulko A.N. 2008. Experience of monitoring of farmlands with use remote sounding of the earth to Stavropol Territory. Problemy Agrohimii i Ekologii, 3: 32–34 (in Russian).
- Savin I.Yu. 2013. Open Soil Surface Brightness as a Direct Sign for Soil Recognition on Landsat Images. Dokuchaev Soil Bulletin, 71: 52–64 (in Russian).
- Savin I.Yu., Chendev Yu.G. 1994. Izmenenie vo vremeni sodержaniya gumusa v pakhotnykh lesostepnykh pochvakh [Time Changes in Humus Content in Arable Forest-Steppe Soils]. Pochvovedenie, 5: 88–92.
- Savin I.Yu., Prudnikova E.Yu. 2014. About Optimal Dates of Satellite Images Acquisition for Arable Soil Mapping. Dokuchaev Soil Bulletin, 74: 66–77 (in Russian).
- Savin I.Yu. 1990. Deshifrirovaniye pochvennogo pokrova lesostepi Tsentral'no-Chernozemnogo rayona po srednemasshtabnym kosmicheskim snimkam [Interpretation of the soil cover of the forest-steppe of the Central Chernozem region on the basis of medium-scale satellite images]. Abstract. dis. ... cand. geogr. sciences. Moscow, 27 p.
- Stepanov S.Y., Petrov Y.A., Vagizov M.R., Sidorenko A.Y. 2020. Monitoring of Remote Sensing Data From the Landsat Satellite. Informatsionnye tekhnologii i si-stemy: upravlenie, ekonomika, transport, pravo, 1 (37): 206–216 (in Russian).
- Tyutyunov S.I., Karabutov A.P. 2017. Behavior of Humus in Chernozem Typical in Connection with Various Level of Intensity of Use of Powder. Innovations in Agricultural Complex: problems and perspectives, 4 (16): 74–83 (in Russian).
- Chendev Yu.G. 2008. Evolyutsiya lesostepnykh pochv Srednerusskoy vozvysheynosti v golotsene [Evolution of forest-steppe soils of the Central Russian Upland in the Holocene]. Moscow, Publ. GEOS, 212 p.
- Chendev Yu.G., Avramenko P.M., Lishchukov S.D. 1998. Izmenenie gumusovogo sostoyaniya pakhotnykh pochv Belgorodskoy oblasti [Changes in the humus state of arable soils in the Belgorod region]. Agrokimiya, 6: 12–20.
- Chendev Yu.G., Avilov N.P. 2000. Soderzhanie i zapasy gumusa v chernozemakh raznovozrastnykh pashen [The content and reserves of humus in the chernozems of arable lands of different ages]. Doklady Rossiyskoy akademii sel'skokhozyaystvennykh nauk, 5: 22–25.
- Chendev Yu.G., Lukin S.V. 2005. Vliyanie dlitel'noy raspashki na svoystva lesostepnykh i stepnykh chernozemov [The influence of long-term plowing on the properties of forest-steppe and steppe chernozems]. Vestnik Rossiyskoy akademii sel'skokhozyaystvennykh nauk, 1: 37–39.



- Chendev Yu.G., Novykh L.L., Aleksandrovskii A.L., Dolgikh A.V., Khokhlova O.S., Smirnova L.G. 2011. Anthropogenic Evolution of Dark Gray Forest-Steppe Soils in the Southern Part of the Central Russian Upland. *Eurasian Soil Science*, 44 (1): 1–12 (in Russian). DOI: 10.1134/S1064229311010030.
- Hartemink A.E., McBratney A.B., Mendonça-Santos M.L. 2008. *Digital Soil Mapping with Limited Data*. Netherlands, Springer, 446 p.
- Minasny B., McBratney A.B., 2015. Digital soil mapping: A brief history and some lessons. *Geoderma*, 264: 301–311. DOI: 10.1016/j.geoderma.2015.07.017.
- Journel A.G. 1986. Geostatistics: Models and Tools for the Earth Sciences. *Mathematical Geology*, 18: 119–140. DOI: 10.1007/BF00897658.
- Tiwari S., Saha S., Kumar S., 2015. Prediction Modeling and Mapping of Soil Carbon Content Using Artificial Neural Network, Hyperspectral Satellite Data and Field Spectroscopy. *Advances in Remote Sensing*, 4: 63–72. DOI: 10.4236/ars.2015.41006.

Поступила в редакцию 21.03.2022;

поступила после рецензирования 20.04.2022;

принята к публикации 17.05.2022

Received March 21, 2022;

Revised April 20, 2022;

Accepted May 17, 2022

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Бек Анастасия Николаевна, аспирант кафедры природопользования и земельного кадастра института наук о Земле, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Anastasia N. Bek, Postgraduate Student of the Department of Natural Resources and Land Cadastre of the Institute of Earth Sciences of the Belgorod National Research University, Belgorod, Russia



УДК 528.88

DOI 10.52575/2712-7443-2022-46-2-223-240

Оценка качества городской среды с применением геоинформационных систем на примере Московского микрорайона города Краснодара

^{1,2} Липилин Д.А., ² Евтушенко Д.Д.

¹ Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина,
Россия, 350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13

² Кубанский государственный университет,
Россия, 350040, г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149
E-mail: LipiLin_dmitrii@mail.ru; metall26russ@gmail.com

Аннотация. В исследовании приводится опыт расчета индекса качества городской среды с применением географических информационных систем (ГИС), а также создание картосхем индикаторов качества городской среды и картосхемы шумового загрязнения, на примере нового микрорайона города Краснодара. Описаны источники исходных данных и методы сбора информации. Для района исследования отобраны индикаторы качества городской среды. На основе анализа нормативных документов разработана и адаптирована методика расчета индекса качества городской среды и создания картосхем индикаторов, а также шкала оценки индекса, основанная на применении геоинформационных технологий. Выполнены сбор исходных данных, рассчитаны индикаторы и индекс качества городской среды, созданы картосхемы некоторых индикаторов и картосхема шумового загрязнения района исследования. Оценка ряда индикаторов, рассчитанных по разработанной методике, оказалась на низком уровне, за счет чего общий балл индекса качества городской среды составил больше половины от максимального значения, что соответствует благоприятному уровню городской среды.

Ключевые слова: геоинформационные системы, ГИС, пространственное моделирование, городская среда, качество городской среды, индекс качества, индикаторы качества, шумовое загрязнение, Краснодар

Для цитирования: Липилин Д.А., Евтушенко Д.Д. 2022. Оценка качества городской среды с применением геоинформационных систем на примере Московского микрорайона города Краснодара. Региональные геосистемы, 46(2): 223–240. DOI 10.52575/2712-7443-2022-46-2-223-240

Assessment of the Quality of the Urban Environment Using Geographic Information Systems on the Example of the Moscow District of Krasnodar

^{1,2} Dmitry A. Lipilin, ² Denis D. Evtushenko

¹ Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin,
13 Kalinina St, Krasnodar, 350044, Russia

² Kuban State University,
149 Stavropolskaya St, Krasnodar, 350040, Russia
E-mail: LipiLin_dmitrii@mail.ru, metall26russ@gmail.com

Abstract. The study presents the experience of calculating the urban environment quality index using geographic information systems (GIS), as well as creating map scheme of urban environment quality indicators and noise pollution map schemes, using the example of a new district of Krasnodar. The sources of initial data and methods for collecting information are described. For the study area, indicators



of the quality of the urban environment were selected. Based on the analysis of regulatory documents, a methodology for calculating the urban environment quality index and creating indicator map schemes, as well as an index evaluation scale based on the use of geoinformation technologies, has been developed and adapted. Initial data were collected, indicators and the urban environment quality index were calculated, map schemes of some indicators and a map scheme of noise pollution of the study area were created. The assessment of a number of indicators calculated according to the developed methodology turned out to be at a low level, due to which the overall score of the city quality index was less than half of the maximum value, which corresponds to a favorable urban environment.

Keywords: geoinformation systems, GIS, spatial modeling, urban environment, urban environment quality, quality index, quality indicators, noise pollution, Krasnodar

For citation: Lipilin D.A., Evtushenko D.D. 2022. Assessment of the Quality of the Urban Environment Using Geographic Information Systems on the Example of the Moscow District of Krasnodar. *Regional geosystems*, 46(2): 223–240 (in Russian). DOI 10.52575/2712-7443-2022-46-2-223-240

Введение

В настоящее время создание качественной городской среды становится в число главных государственных программ развития России, таких как «Жилье и городская среда», Федеральный проект «Формирование комфортной городской среды», основная цель которого «сделать города более комфортными для жителей, повысить индекс качества городской среды».

На тему качества городской среды российскими и зарубежными учеными проведено множество исследований, что позволяет считать данную тему актуальной для изучения и дальнейшего совершенствования методов её исследования и улучшения. Так, учёными из Красноярска [Энгельгардт и др., 2018] был проанализирован международный опыт индексирования качества городской среды. Исследователи делают вывод, что «инновационные способы сбора и анализа данных постепенно заменяют устаревшие механизмы управления городом. В отличие от статистических данных, которые успевают устареть к моменту их анализа, «большие данные» могут обрабатываться в режиме реального времени, что повышает качество и скорость принятия решений. Эти технологии способствовали появлению нового феномена – города, управляемые данными» [Энгельгардт и др., 2018, 87 с.].

Исследователями из Воронежа [Епринцев и др., 2020] представлена методика расчета нормализованного вегетационного индекса (NDVI) для урбанизированных территорий, и дан следующий вывод: «Использование показателя NDVI, получаемого на основе космических снимков, целесообразно для идентификации зон природного каркаса урбанизированных территорий, а также водных объектов и степени антропогенной нагрузки, оказываемой на территорию, и в перспективе данный показатель может быть рекомендован к применению в системе социально-гигиенического мониторинга».

Для оценки качества городской среды существует ряд показателей, самым актуальным из которых в России является индекс качества городской среды, для которого в 2019 г. распоряжением Правительства РФ от 23.03.2019 г. №510-р была утверждена Методика формирования качества городской среды. В данной методике представлен перечень индикаторов для расчета индекса качества городской сред. А показатели используются для формулирования рекомендаций к проектированию городской среды, что способствует ускорить и облегчить выполнение работ муниципальным и государственным учреждениям в проектах по благоустройству территорий.

Опыт расчета показателей комфортности городской среды [Шувалова и др., 2020], тепловых аномалий [Погорелов, Липилин, 2016], а также анализа и оценки растительного покрова города с помощью методов дистанционного зондирования [Погорелов и др.,

2017] представлен в исследованиях Краснодарских ученых, в которых данные собирались также с помощью географических информационных систем.

Множество исследований на тему качества городской среды имеется и у зарубежных учёных. Например, ученым из Люблянского университета Saso Medved [2017] в статье «Городская среда и местный климат» изучено воздействие городской застройки на локальные климатические показатели. А в исследовании «Уровень качества жизни в городе и его мониторинг» ученых из Польши [Wolniak, Jonck-Kowalska, 2020] измерено и проанализировано качество жизни городских жителей, описаны методы, используемые для мониторинга, и сделан вывод, что постоянный мониторинг качества жизни способствует повышению его уровня.

Отдельным показателем, не входящим в перечень индикаторов качества, является шумовое загрязнение города. «Шум является постоянным спутником городского жителя. Организм адаптируется к шуму настолько, что даже сон в условиях шума становится для многих нормой. Однако «платой» за эту адаптацию становится плохое самочувствие, низкая работоспособность, недостаточная усвояемость знаний. Известно, что здоровье и успеваемость учащихся в значительной мере определяются по уровню шумового загрязнения в городе в целом и в учебном заведении в частности» [Ардабацкий, 2017, 1138 с.].

По мнению автора [Ардабацкий, 2017], проблема шумового загрязнения требует своего решения, особенно в крупных городах, также необходимо исследовать влияние шума на организм человека, развивать акустическую экологию. Борьба с шумовым загрязнением должна проводиться на законодательном уровне, включать строительно-планировочные, организационные, технико-технологические, конструкторские и профилактические меры [Атаев и др., 2019; Атаев, Геллер, 2020].

По нашему мнению, шумовое загрязнение является важным фактором, влияющим на качество городской среды, в связи с чем мы считаем необходимым добавить показатель уровня шума, как один из индикаторов индекса качества городской среды, влияющим на общую оценку качества городской среды. В качестве наглядного примера в исследовании создана картосхема шумового загрязнения на объект исследования.

В данном исследовании рассматривается возможность сбора информации для расчета индикаторов качества городской среды из общедоступных источников и порталов открытых пространственных данных. Основной целью является исследование возможности расчета индекса качества городской среды с использованием современных геоинформационных методов на основе открытых данных на примере нового микрорайона г. Краснодар, а именно: изучение открытых источников исходных данных, связанных с геоинформационными технологиями; адаптация методики расчета качества городской среды под геоинформационные средства и под район исследования; создание картосхем по полученным показателям (в т. ч. и картосхемы шумового загрязнения), а также оценка полученных результатов.

Объекты и методы исследования

Для г. Краснодара в 2019 г. согласно методике формирования качества городской среды (от 23.03.2019 г. №510-р) была проведена оценка качества городской среды, по результатам которой индекс качества составил 223 балла⁵, из этого следует, что среда города является благоприятной для проживания большинства населения. Для первичного изучения возможности применения разработанных нами методов расчета индикаторов качества и создания картосхем был выбран новый Московский микрорайон г. Краснодар. Территория микрорайона занимает небольшую площадь города, равную 529 тыс. м², что в первую

⁵ Индекс качества городской среды – инструмент для оценки качества материальной городской среды и условий её формирования. Электронный ресурс. URL: <https://индекс-городов.рф/#/> (дата обращения 25.09.2021).

очередь дает возможность быстро собрать данные, провести анализ, минимизировав ошибки и погрешности при расчете.

Микрорайон находится в южной части Прикубанского округа. Ограничен ул. Зиповская и Солнечная на юге и севере, Байбакова и Российская на западе и востоке (рис. 1). Имеет прямоугольную форму, вытянут с юга на север. Микрорайон связан с другими районами города транспортными магистралями и развязками на ул. Российская и Московская.



Рис. 1. Московский микрорайон г. Краснодар
Fig. 1. Moscow microdistrict. Krasnodar city

Московский микрорайон представляет собой типичный пример спального района города, являясь одним из крупнейших жилищных комплексов, который со временем стали выделять в отдельный микрорайон. Он состоит из шести кварталов, которые застроены преимущественно шестнадцатиэтажными панельными типовыми домами эконом-класса, с одно-, двух-, трехкомнатными квартирами улучшенной планировки.

По состоянию на 2021 г. застройка микрорайона Московский полностью завершена. Все жилые дома и здания введены в эксплуатацию. За счет близости к центру жилье востребовано и преимущественно заселено. Исходя из полученных предварительных сведений, район подходит для выполнения поставленных задач и отработки методики исследования.

Методика расчета индикаторов и получение исходных данных

В связи с особенностями объекта исследования, его пространственного положения, невозможности получения ряда исходных данных, а также упором на получение исходных данных с помощью современных ГИС технологий, мы считаем необходимым отобрать и обобщить измеряемые индикаторы, представленные в методике формирования индекса качества городской среды (Распоряжение Правительства РФ №510-р от 23.03.2019 г.), а также произвести перерасчет системы оценки индекса методом пропорции и путем исключения баллов убранных индикаторов.

Индикаторы, которые были исключены из исследования по причине отсутствия данных на территорию объекта исследования и иным факторам, представлены в табл. 1.

В табл. 2 представлены исходные данные, источники получения информации и их значения для расчета индикаторов качества городской среды.

Для получения многих исходных данных (см. табл. 2) использовались сервисы, предоставляющие открытый доступ к спутниковым снимкам. Являясь важным источником данных, опыт применения космических снимков нашёл свое отражение в ряде научных исследований [Липилин, 2014; Пенсаков и др., 2016; Gura et al., 2019].

Таблица 1
Table 1Исключенные индикаторы
Excluded indicators

Индикатор	Причина исключения
Доля твердых коммунальных отходов, направленных на обработку и утилизацию, в общем объеме образованных и вывезенных твердых коммунальных отходов	Отсутствие данных на объект исследования
Уровень доступности городской среды для инвалидов и иных маломобильных групп населения	
Состояние зеленых насаждений	Данный индикатор относится к участкам территории с повышенной плотностью биомассы, что не относится к территории исследуемого объекта
Разнообразие услуг в общественно-деловых районах города	Объект исследования является спальным районом города
Уровень развития общественно-деловых районов города	
Доля погибших в дорожно-транспортных происшествиях (ДТП)	Индикатор будет являться не объективным по причине присутствия смежных районов, население которых также оказывает влияние на данный фактор
Доля сервисов, способствующих повышению комфортности жизни маломобильных групп населения	Отсутствие данных на объект исследования
Доля детей в возрасте 1–6 лет, состоящих на учете для определения в дошкольные образовательные учреждения	
Доля населения, работающего в непромышленном секторе экономики	
Доля граждан в возрасте 14 лет и старше, вовлеченных в принятие решений по вопросам городского развития	
Уровень внешнего оформления городского пространства	
Концентрация объектов культурного наследия	Объект исследования является спальным районом города

Таблица 2
Table 2Исходные данные индикаторов качества городской среды
Initial data of indicators of the quality of the urban environment

Название	Источник данных	Значение индикатора
Общая площадь жилых помещений в многоквартирных домах, признанных аварийными	Минстрой РФ	$S_{ав} = 0$ тыс. м ²
Общая площадь жилых помещений в многоквартирных домах	ПО «Google Earth»	$S_{общ} = 1056$ тыс. м ²



Название	Источник данных	Значение индикатора
Общая площадь жилых помещений, оборудованных одновременно водопроводом, водоотведением (канализацией), отоплением, горячим водоснабжением, газом или напольными электрическими плитами	ГИС ЖКХ	$S_{\text{благ}} = 1056$ тыс. м ²
Количество жилых домов самого распространенного и второго по распространенности типов	Минстрой РФ	$H_a = 65$ ед.
Количество жилых домов всех типов	ПО «Google Earth»	$H = 65$ ед.
Площадь функционально разнообразных участков жилой зоны	ПО «Google Earth», Минстрой РФ	$S_{\text{уфр}} = 93$ тыс. м ²
Общая площадь жилой зоны	ПО «Google Earth»	$S_{\text{жил}} = 529$ тыс. м ²
Количество многоквартирных домов в городе, расположенных на земельных участках, в отношении которых осуществлен государственный кадастровый учет	Публичная кадастровая карта	$МДК_{\text{зг}} = 65$ ед.
Общее количество многоквартирных домов	Публичная кадастровая карта	$МДК = 65$ ед.
Протяженность улиц, обеспеченных ливневой канализацией	ПО «Google Earth», Минстрой РФ	$P_o = 13,4$ км
Среднее значение загруженности дорог. Рассчитывается как среднее значение баллов всех улиц в пиковые часы – 8:00 по 16:00 часов по московскому времени (МСК)	Сервис «Яндекс.Карты»	$Me = 7$ баллов
Общая площадь зеленых насаждений, которая используется населением для отдыха, прогулок и развлечений	Сервис «OpenStreetMap»	$S_o = 77$ тыс. м ²
Площадь всех зеленых насаждений в пределах объекта исследования	ПО «Google Earth»	$S_v = 120$ тыс. м ²
Площадь территории объекта исследования	ПО «Google Earth»	$S_{\text{гор}} = 1470$ тыс. м ²
Данные о количестве публикаций с использованием фотографий, сделанных в границах озелененных территорий	Сервисы «Яндекс.Карты» и «Google Maps»	$N = 312$ ед.
Количество сервисов, расположенных в границах озелененных территорий	Сервисы «Яндекс.Карты» и «Google Maps»	$N_s = 10$ ед.
Расчетная численность жителей в радиусе 800 м от границ озелененных территорий общего пользования	ПО «Google Earth», Минстрой РФ	$H_{U800} = 20960$ чел.
Общая численность населения объекта исследования	Минстрой РФ	$H_{\text{гор}} = 28160$ чел.
Общая протяженность освещенных частей улиц	ПО «Google Earth», Минстрой РФ	$P_v = 13,4$ км
Площадь объекта исследования, убираемая механизированным способом	ПО «Google Earth», Минстрой РФ	$S_{\text{мех}} = 65,6$ тыс. км ²
Количество наземных пешеходных переходов в радиусе 500 м. и суммарная протяженность улично-дорожной сети в радиусе 500 м. от социальных объектов	Сервис «OpenStreetMap»	$N(Z_{U500}) = 24$ ед. $\sum I(Y_{u500}) = 11,2$ км.
Количество объектов (X) и количество типов (G) культурно-досуговой и спортивной инфраструктуры	Сервисы «Яндекс.Карты», «Google Maps» и «OpenStreetMap»	$X = 43$ ед. $G = 2$ ед.

Название	Источник данных	Значение индикатора
Количество жителей многоквартирных домов, проживающих в радиусе 500 м от ближайшей остановки общественного транспорта	ПО «Google Earth», Минстрой РФ	$H_{МДКУ500} = 15040$ чел.
Численность населения, обеспеченного качественной питьевой водой из систем централизованного водоснабжения	Минстрой РФ	$H_{вод} = 28160$ чел.
Количество улиц, наиболее часто отмеченных при публикации фотографий	Сервисы «Яндекс.Карты» и «Google Maps»	$N_{ул(F)} = 1$ ед.
Количество улиц на объекте исследования	Сервис «Open-StreetMap»	$N_{ул} = 7$
Доля населения, проживающего в радиусе 800 метров от спортивных площадок, общей численности населения	ПО «Google Earth», Минстрой РФ	$X_{и800}$

Расчет отобранных индикаторов качества городской среды

Расчет индикаторов производится по методике, представленной в Распоряжении Правительства РФ от 23.03.2019 г. № 510-р, которая была предварительно адаптирована под объект исследования. Адаптированные формулы и ход подсчета индикаторов качества городской среды представлен в табл. 3.

Таблица 3
Table 3

Индикаторы индекса качества городской среды и их расчет Indicators of the urban environment quality index and their calculation

№	Индикатор качества	Формула и расчет индикатора
1	Доля площади многоквартирных домов, признанных аварийными, в общей площади многоквартирных домов	$\frac{S_{ав}}{S_{общ}} \times 100 = \frac{0}{1056} \times 100 = 0\%;$ (1)
2	Доля площади жилых помещений, оборудованных одновременно водопроводом, водоотведением (канализацией), отоплением, горячим водоснабжением, газом или напольными электрическими плитами	$\frac{S_{благ}}{S_{общ}} \times 100 = \frac{1056}{1056} \times 100 = 100\%;$ (2)
3	Разнообразие жилой застройки	$\frac{H-H_a}{H \times 2/3} \times 100 = \frac{65-6_a}{65 \times 2/3} \times 100 = 0\%;$ (3)
4	Разнообразие услуг в жилой зоне	$\frac{S_{уфр}}{S_{жил}} \times 100 = \frac{93}{529} \times 100 = 17,6\%;$ (4)
5	Доля многоквартирных домов, в отношении которых осуществлен государственный кадастровый учет, рассчитывается по формуле	$\frac{МДК_{зп}}{МДК} \times 100 = \frac{65}{65} \times 100 = 100\%;$ (5)
6	Доля общей протяженности улиц, обеспеченных ливневой канализацией (подземными водостоками), в общей протяженности улиц, проездов, набережных	$\frac{P_k}{P_o} \times 100 = \frac{13,4}{13,4} \times 100 = 100\%;$ (6)
7	Загруженность дорог	$Me = 7$
8	Количество улиц с развитой сферой услуг	Считается как количество улиц, не менее 75 процентов протяженности которых имеет плотность объектов торговли и услуг не менее 1 единицы на 100 м, в пределах объекта исследования. Итого: 3 улицы (Российская, Солнечная, Котлярова)



№	Индикатор качества	Формула и расчет индикатора
9	Индекс пешеходной доступности	Определяется путем расчета среднего для каждого дома отношения длины кратчайшего пешеходного маршрута (с учетом инфраструктуры) к длине предельного расстояния (прямая линия) до точек притяжения населения. Итого, индекс пешеходной доступности равен 1,4
10	Доля озелененных территорий общего пользования в общей площади зеленых насаждений	$\frac{S_o}{S_v} \times 100 = \frac{77}{120} \times 100 = 64 \%$; (7)
11	Уровень озеленения	$\frac{S_v}{S_{zop}} \times 100 = \frac{120}{1470} \times 100 = 8 \%$; (8)
12	Привлекательность озелененных территорий	$\frac{N}{S_o} = \frac{312}{77} = 4,1 \text{ ед./тыс. кв. м}$ (9)
13	Разнообразие услуг на озелененных территориях рассчитывается по формуле	$\frac{N_s}{S_o} = \frac{10}{77} = 0,1 \text{ ед./тыс. кв. м}$ (10)
14	Доля населения, имеющего доступ к озелененным территориям общего пользования, в общей численности населения	$\frac{H_{U800}}{H_{zop}} \times 100 = \frac{20960}{28160} \times 100 = 74,4 \%$; (11)
15	Доля освещенных частей улиц, проездов, набережных в общей протяженности улиц, рассчитывается по формуле	$\frac{P_v}{P_o} \times 100 = \frac{13,4}{13,4} \times 100 = 100 \%$; (12)
16	Доля площади города, убираемая механизированным способом, в общей площади города	$\frac{S_{Mex}}{S_{zop}} \times 100 = \frac{65,6}{1470} \times 100 = 0,4 \%$; (13)
17	Безопасность передвижения вблизи учреждений здравоохранения, образования, культуры и спорта	$\frac{N(Z_{U500})}{\sum I(Y_{u500})} = \frac{24}{11,2} = 2,1 \text{ ед./км}$; (14)
18	Разнообразие культурно-досуговой и спортивной инфраструктуры рассчитывается по формуле	$\frac{X \times 100000}{H_{zop} \times 128,5 \times G} \times 100 = \frac{43 \times 100000}{28160 \times 128,5 \times 2} \times 100 = 59,4 \%$ (15)
19	Обеспеченность спортивной инфраструктурой	$(\frac{X}{H_{zop}} \times 100 + X_{u800}) / 2 = (\frac{43}{28160} \times 100 + 100) / 2 = 50,1 \%$; (16)
20	Доступность остановок общественного транспорта	$\frac{H_{MKDU500}}{H_{zop}} \times 100 = \frac{15040}{28160} \times 100 = 53,7 \%$; (17)
21	Доля городского населения, обеспеченного качественной питьевой водой из систем централизованного водоснабжения, в общей численности городского населения	$\frac{H_{год}}{H_{zop}} \times 100 = \frac{28160}{28160} \times 100 = 100 \%$; (18)
22	Количество центров притяжения для населения	$\frac{N_{ул(F)}}{N_{ул}} = \frac{3}{7} = 0,4 \text{ ед.}$ (19)

Расчет и оценка индекса качества городской среды

Согласно утверждённой Правительством РФ методике, индекс качества определяется на основании суммы значений всех индикаторов. Индикаторы оцениваются по шкале от 1 до 10 баллов, где 1 шаг соответствует 1 баллу. 1 балл означает минимальное значение, 10 баллов – максимальное значение.

Опираясь на данную методику, мы произвели адаптацию оценки баллов согласно особенностям района исследования:

- для индикатора позиции 1 (см. табл. 3) значение баллов принимать обратно-пропорциональному значению показателя, деленному на 10;
- для индикаторов, предусмотренных позициями 2, 4, 5, 6, 10, 11, 14, 15, 16, 18, 19, 20 и 21, баллы рассчитываются как деление процентного соотношения на 10;
- для индикаторов, предусмотренных позициями 12, 13, 17, баллы принимаются равными полученным значениям индикатора;
- для индикатора, предусмотренного позицией 22, баллы рассчитываются путем умножения показателя на 10;
- для индикаторов, предусмотренных позициями 3, 7, 8, баллы рассчитываются путем вычисления порогового значения показателей;
- для индикатора позиции 3 принимается пороговый показатель разнообразия жилой застройки – 10. Соответственно, количество баллов будет равняться отношению значения индикатора к 10;
- для индикатора позиции 7 принимать шкалу значений загруженности дорог от 0 до 9, обратно-пропорционально к балльной системе, с шагом, равным 1. Соответственно, значение 0 загруженности дорог будет равняться 10 баллам, а значение 9 следует принимать равным 1 баллу;
- для индикатора позиции 8 принимать количество баллов, равных отношению значения показателя к общему числу улиц, умноженному на 10;
- для индикатора позиции 9 количество баллов равняется обратно-пропорциональному значению показателя, умноженному на 10.

В утверждённой Правительством методике расчета качества городской среды (№ 510-р от 23.03.2019 г.) шкала оценки имеет 2 диапазона. С учетом того, что для исследования пришлось отобрать 22 индикатора, совокупный индекс качества городской среды измеряется по шкале от 0 до 220 баллов. Соответственно, неблагоприятная городская среда определяется при индексе качества городской среды в диапазоне от 0 до 110 баллов. Благоприятная городская среда – когда индекс качества городской среды находится в диапазоне от 111 до 220 баллов. В будущих исследованиях мы планируем рассмотреть возможность увеличения числа диапазонов оценки качества городской среды.

Создание шумовой карты на объект исследования

Визуализация шумового загрязнения города может быть осуществлена в нескольких вариантах. В исследовании [Кошурников, Максимова, 2018] представлены способы получения картосхемы шумового загрязнения на примерах из зарубежной и отечественной практики. Например, в г. Томск выполнялось шумовое моделирование на приаггустальной территории с использованием разработанного авторами экспериментального программного пакета *NoiseTracer*. В качестве исходной модели местности была использована векторная 2D-модель приаггустальной территории, полученная при оцифровке топографических карт. Мы решили использовать данный способ визуализации шумовой картосхемы, однако исходная модель составлялась на основе измерения уровня шума на местности.

Для создания шумовой картосхемы необходимо определить уровень шума в ряде точек на объекте исследования.

Так как в исследовании шумовая картосхема является лишь наглядным примером для дальнейшего изучения уровня шума как одного из индикаторов качества городской среды, мы решили отойти от методики, изложенной в ГОСТ 23337-2014 «Методы измерения шума на селитебной территории и в помещениях жилых и общественных зданий», и использовать менее точное оборудование для измерения.

Изучив опыт измерения шумового загрязнения исследователями из Белгорода [Семейкин, 2017], а также опираясь на оценки и результаты анализа бесплатных мобильных приложений ученых из Перми [Семина, 2019], нами было решено использовать программ-

ное обеспечение *Spectroid* для оценки шумового загрязнения территории, так как данное приложение дает минимальные погрешности при измерении уровня шума (± 5 дБ).

Для определения шумового загрязнения городской среды, согласно пункту 3.1 ГОСТ 23337-2014, исходные данные формировались на основе измерения уровня звукового сигнала в децибелах (дБ).

Прибором измерения уровня звукового сигнала использованы микрофоны смартфонов. Для получения максимально объективных данных измерения проводились на 3 моделях и усреднялись. Пространственное распределение точек стояния выбрано с учетом равномерного полного покрытия территории объекта исследования пространственной информацией (рис. 2).



Рис. 2. Расположение точек измерения шума
Fig. 2. Location of noise measurement points

Показатели уровня шума в децибелах (дБ) были получены из среднего значения измерений длительностью в 60 секунд в разное время суток на 50 точках стояния и записаны в табл. 4.

Визуализация данных произведена с помощью ПО «*Surfer*» путем импорта данных таблицы. Картограмма представлена в результатах исследования (см. рис. 3).

Опыт исследования шумового загрязнения городской среды также присутствует в ряде исследований отечественных авторов [Овчинников, 2019; Пупшева, 2016; Толстова, Дроздов, 2020].

Создание картограмм индикаторов

В качестве наглядного представления индекса качества городской среды созданы картограммы индикаторов, предусмотренных позициями 8, 11, 14, 20. Данные индикаторы выбраны с учетом простоты их воспроизведения на картографическом изображении. Картограммы созданы на основе ПО «*ArcGIS*». В качестве векторной основы использованы

слои сервиса «OpenStreetMap». Использовались следующие способы картографического изображения: способ качественного фона – для всех картосхем; способ наглядных значков – для картосхемы спортивной инфраструктуры.

Таблица 4
Table 4

Измеренные показатели уровня шума в микрорайоне Московский г. Краснодара
Measured noise level indicators in the Moskovsky microdistrict of Krasnodar

№	Время по МСК			Средний, дБ	№	Время по МСК			Средний, дБ
	8:00, дБ	12:00, дБ	18:00, дБ			8:00, дБ	12:00, дБ	18:00, дБ	
1	73	68	72	71	26	74	68	73	72
2	75	66	76	72	27	72	64	73	70
3	78	65	78	74	28	68	61	69	66
4	69	61	68	66	29	61	58	62	60
5	67	60	69	65	30	57	52	57	55
6	68	63	67	66	31	61	53	63	59
7	70	62	72	68	32	54	51	55	53
8	54	52	56	54	33	56	50	53	53
9	50	49	51	50	34	64	59	62	62
10	57	53	58	56	35	61	57	60	59
11	64	60	63	62	36	62	57	61	60
12	62	56	61	60	37	66	60	67	64
13	60	55	60	58	38	63	59	64	62
14	58	53	59	57	39	58	55	59	57
15	71	64	73	69	40	64	57	66	62
16	69	63	68	67	41	59	55	58	57
17	62	58	65	62	42	63	58	61	61
18	57	54	59	57	43	73	65	75	71
19	70	63	69	67	44	72	66	74	71
20	60	55	63	59	45	74	65	76	72
21	49	47	51	49	46	73	61	72	69
22	54	51	55	53	47	76	67	75	73
23	53	50	54	52	48	81	69	80	77
24	61	57	63	60	49	80	72	79	77
25	80	71	81	77	50	77	70	78	75

Картосхема территории зеленых насаждений создавалась методом дешифрирования спутникового снимка. Методика расчета площади озеленения города с применением данных дистанционного зондирования земли приведена в исследовании Пермских ученых и характеризуется следующим образом: «методика представляется наиболее простой, требующей наименьших трудозатрат» [Сергеева, Пирожков, 2021].

Результаты и их обсуждение

В ходе исследования мы провели расчет индекса качества городской среды с применением ГИС-технологий, которые позволили быстро и без излишних трудозатрат выполнить поставленные задачи. В результате наших расчетов значение индикатора индекса качества городской среды получено из суммы значений показателей (см. табл. 3) и составило 117,1 балла, а также были созданы: картосхема шумового загрязнения Московского микрорайона города Краснодара и картосхемы некоторых индикаторов.

В соответствии с разработанной шкалой оценки баллов индекс качества городской среды объекта исследования попадает в диапазон от 111 до 120 баллов. Исходя из этого, район исследования относится к благоприятной городской среде. Опираясь на полученные значения индикаторов качества городской среды, которые внесли минимальный вклад в общий балл, и изучив картосхему шумового загрязнения объекта исследования, можно выделить следующие проблемы:

– однообразная жилая застройка (1 тип здания) – застройка в районе является в большей степени монотонной;

– малое количество озелененных территорий, парков и скверов. На объекте исследования присутствует 1 сквер, в пешеходной доступности только для 70 % населения, а также уровень озеленения равен 8 %, что нарушает нормы проектирования «СП 42.13330.2016 градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений», согласно которым данный показатель должен быть равен от 20 % площади жилой застройки;

– малое количество сервисов на озелененных территориях общего пользования;

– малая обеспеченность улиц, убираемых механизированными способами;

– малое разнообразие объектами спортивной инфраструктуры. На объекте исследования присутствует всего 2 вида данных объектов;

– малое количество спортивных сооружений;

– малое количество остановок общественного транспорта. Доля населения, имеющая пешеходную доступность к остановкам, составляет всего 50 % от общего числа жителей;

– шумовое загрязнение у зданий, расположенных около дорог, составляет более 70 дБ, что согласно СНиП 23-03-2003 «Защита от шума» превышает предельно допустимый уровень шума на территории, непосредственно прилегающей к жилым зданиям.

Построенная картосхема шумового загрязнения (рис. 3) дает наглядное представление проблемы и понимание «эпицентров шума», которыми на территории исследуемого объекта оказались придорожные территории. Также картосхема обладает высокой метричностью, что позволяет получить средние показатели уровня шума в любой точке территории методом интерполирования по соседним изолиниям.

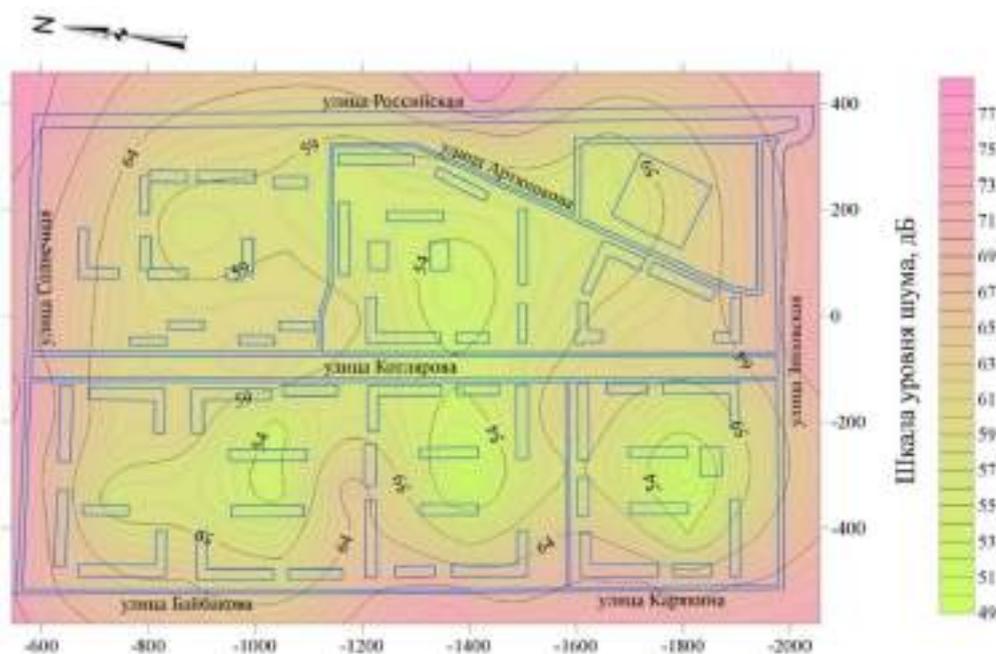


Рис. 3. Картосхема шумового загрязнения Московского микрорайона г. Краснодара
Fig. 3. Map scheme of noise pollution of the Moscow microdistrict in the city of Krasnodar

Условная система шкала координат на шумовой картосхеме указана в метрах. Сечение изолиний составляет 1 дБ.

На карте зеленых насаждений (рис. 4) легко выявить зоны озеленения территории. Она может быть использована как для визуального представления, так и для расчета площадей.



Рис. 4. Картосхема зеленых насаждений Московского микрорайона г. Краснодара
Fig. 4. Green space map scheme of the Moscow microdistrict in the city of Krasnodar

Картосхема спортивной инфраструктуры (рис 5.) позволяет определить наличие спортивных площадок и тренажеров и их количество на данной территории.



Рис. 5. Картосхема спортивной инфраструктуры Московского микрорайона
Fig. 5. Sports infrastructure map scheme of the Moscow microdistrict

Картограмма улиц с развитой сферой услуг (рис. 6) наглядно показывает улицы, которые имеют плотность объектов торговли и услуг не менее 1 единицы на 100 м на более 75 % протяженности, и улицы, не соответствующие этим показателям.

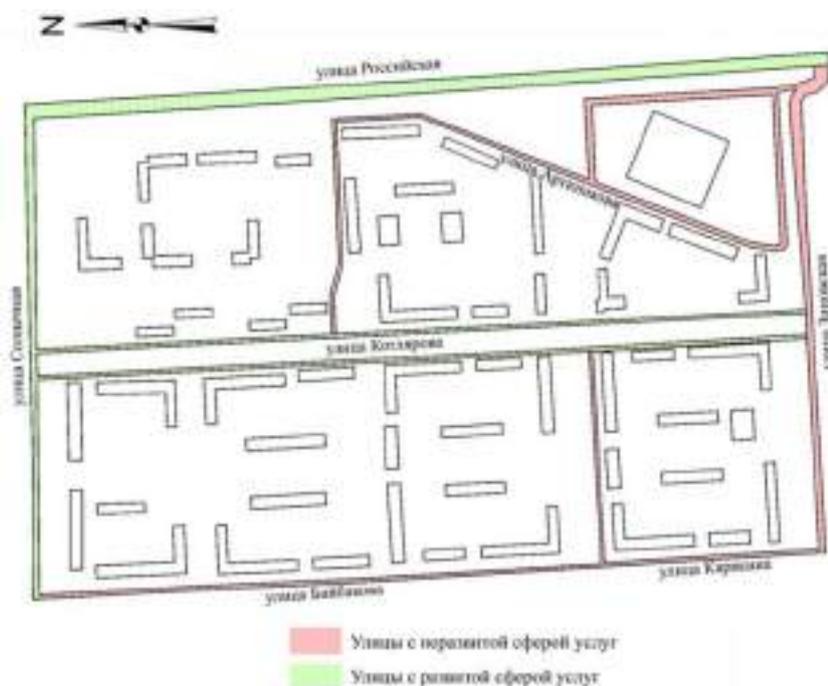


Рис. 6. Картограмма улиц с развитой сферой услуг Московского микрорайона
Fig. 6. Street map scheme with developed services sector of the Moscow microdistrict

На картограмме пешеходной доступности к озелененным территориям общего пользования (рис. 7) отображена жилая застройка, находящаяся в радиусе 800 м от ближайшей озелененной территории.

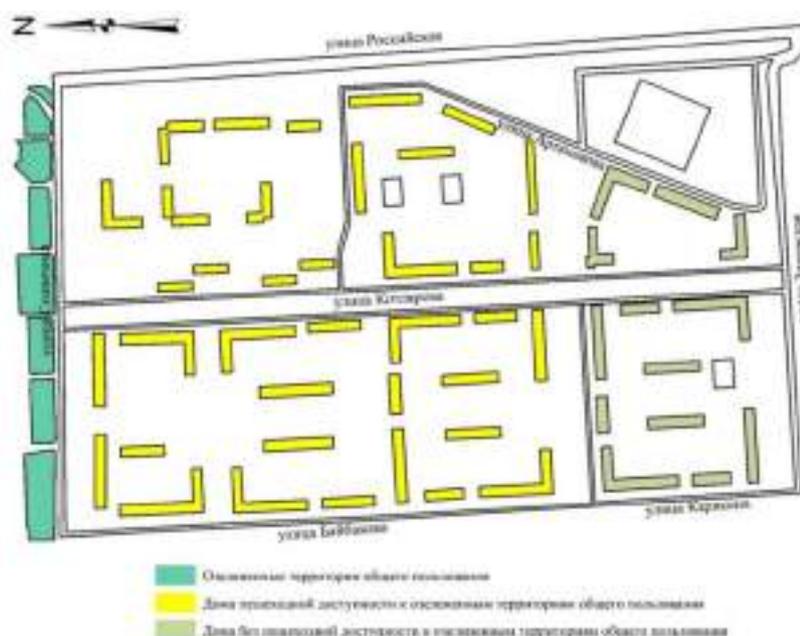


Рис. 7. Картограмма пешеходной доступности к озелененным территориям общего пользования Московского микрорайона
Fig. 7. Map scheme of pedestrian accessibility to green areas of public use map of the Moscow microdistrict

Заключение

Впервые для Московского микрорайона г. Краснодара был проведен расчет качества городской среды с применением геоинформационных систем.

При том, что расчет индекса качества городской среды согласно утвержденной Правительством методике производится для территории целого города, проведенное исследование показало, что объектами анализа могут выступать также: городские округа, микрорайоны, кварталы, и др. единицы территориального деления населённого пункта.

На примере расчета индекса качества городской среды для объекта исследования показано, что методика, включающая применение ГИС, позволяет автоматизировать процессы, связанные с определением уровня качества городской среды, а также повысить наглядность путем визуализации данных картографическими методами, а использование геопорталов как источников данных позволяет наиболее простым и быстрым способом подобрать исходные данные и провести соответствующие расчеты.

Также исследование дало представление о возможности создания картосхем различных характеристик качества городской среды, что позволяет реализовать преимущества картографического метода исследования при разработке программ по развитию городов.

В дальнейшем наше исследование планируется расширить на территорию целого города, что даст возможность при расчете использовать большее количество индикаторов качества городской среды, и позволит создать ряд интересных картографических материалов для анализа: нормализованный вегетационный индекс качества городской среды, картосхема домов в аварийном состоянии или анализ дорожно-транспортных происшествий, как один из индикаторов безопасности городской среды.

В связи с тем, что расчеты индикаторов качества городской среды выполнены на основе объективных и реальных исходных данных, стоит учитывать, что при расчете индикаторов для территории всего г. Краснодара по утвержденной Правительством методике итоговый индекс качества городской среды микрорайона Московский может измениться как в лучшую, так и в худшую сторону, что объясняется укрупнением масштаба исследования и влиянием индикаторов других районов.

Список литературы

- Ардабацкий С.А. 2017. Теоретические и практические аспекты проблемы шумового загрязнения. Бюллетень медицинских интернет-конференций, 7 (6): 1136–1138.
- Атаев П.Г., Геллер Р.М., Липаткин Д.В. 2019. Методика анализа дорожно-транспортных происшествий с пострадавшими на примере Санкт-Петербурга. Транспорт Российской Федерации, 5 (84): 50–53.
- Атаев П.Г., Геллер Р.М. 2020. Современные методы анализа аварийности на дорогах. Ленинградский дорожник, 1 (003): 39–43.
- Епринцев С.А., Клепиков О.В., Шекоян С.В. 2020. Дистанционное зондирование Земли как способ оценки качества окружающей среды урбанизированных территорий. Здоровье населения и среда обитания – ЗНИСО, 4 (325): 5–12. DOI: 10.35627/2219-5238/2020-325-4-5-12.
- Кошурников Д.Н., Максимова Е.В. 2018. Обзор зарубежной и отечественной практики шумового картирования (Noise Mapping) в условиях плотной городской застройки. Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика, 3 (31): 27–43. DOI: 10.15593/2409-5125/2018.03.03.
- Липилин Д.А. 2014. Распределение и динамика объектов размещения твердых бытовых отходов на территории Краснодарского края. Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Краснодар, 23 с.
- Овчинников А.П. 2019. Оценка шумового загрязнения территории Кировского района г. Ярославль. В кн.: Молодой исследователь: вызовы и перспективы. CXLV международная научно-практическая конференция, 09 декабря 2019 г., Москва, Интернаука: 134–139.
- Пенсаков Г.И., Шевченко Г.Г., Гура Д.А., Грибкова И.С. 2016. Применение данных дистанционного зондирования с целью рационального использования земель в Российской



- Федерации. Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ», 10: 24–38.
- Погорелов А.В., Липилин Д.А. и Лубенцов А.А. 2017. Оценка многолетних изменений зеленых насаждений города Краснодара по данным спутниковых снимков. В кн.: Региональные географические исследования. Краснодар, Кубанский государственный университет: 119–137.
- Погорелов А.В., Липилин Д.А. 2016. Тепловой «портрет» города Краснодара. Поиск тепловых аномалий. В кн.: Географические исследования краснодарского края. Краснодар, Кубанский государственный университет: 219–231.
- Пупшева Л.Н., Вагапова А.Р., Комиссаренко Д.В. 2016. Шумовое загрязнение окружающей среды. Молодежный научный вестник, 2 (2): 4–6.
- Сергеева О.С., Пирожков С.П. 2021. Разработка методики расчета площади озеленения города с применением данных дистанционного зондирования земли. Географический вестник, 2 (57): 170–181. DOI: 10.17072/2079-7877-2021-2-170-181.
- Семейкин А.Ю. 2017. Оценка шумовой обстановки городской среды в отдельных микрорайонах г. Белгорода. Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова, 9: 56–60. DOI: 10.12737/article_59a93b0921c674.33606701.
- Семина А.Е. 2019. Бесплатные мобильные приложения как инструмент оценки шумового воздействия транспортных потоков. Вестник пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика, 4 (36): 106–114. DOI: 10.15593/2409-5125/2019.04.10.
- Толстова Ю.О., Дроздов В.В. 2020. Шумовое загрязнение городской среды Санкт-Петербурга в пределах Кировского и Красносельского районов. Вестник науки и образования, 15–1 (93): 69–73.
- Шувалова Е.Д., Липилин Д.А., Пелина А.Н. 2020. Оценка комфортности среды города Краснодара. В кн.: Региональные географические исследования. Краснодар, Кубанский государственный университет: 389–392.
- Энгельгардт А.Э., Липовка А.Ю., Федченко И.Г. 2018. Международный опыт индексирования качества городской среды. Урбанистика, 4: 77–87. DOI: 10.7256/2310-8673.2018.4.27886.
- Gura D.A., Markovsky I.G., Khakhuk B.A., Pshidatok S.K. 2019. About prospects for the air laser scanning technology implementation for obtaining a digital model of densely built-in territories. In: Construction and Architecture: Theory and Practice of Innovative Development. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Vol. 698, No. 4: 044014. DOI: 10.1088/1757-899X/698/4/044014.
- Medved S. 2022. Urban Environment and Local Climate. In: Building Physics. Springer Tracts in Civil Engineering. Springer, Cham.: 453–472. DOI: 10.1007/978-3-030-74390-1_7.
- Wolniak R., Jonek-Kowalska I. 2020. The level of the quality of life in the city and its monitoring. Innovation: The European Journal of Social Science Research, 34 (3): 376–398. DOI: 10.1080/13511610.2020.1828049.

References

- Ardabatsky S.A. 2017. Teoreticheskiye i prakticheskiye aspekty problemy shumovogo zagryazneniya [Theoretical and Practical Aspects of the Problem of Noise Pollution]. Bulletin of Medical Internet Conferences, 7 (6): 1136–1138.
- Ataev P.G., Geller R.M., Lipatkin D.V. 2019. Method of Analysis of Personal-Injury Road Traffic Accidents on the Example of St Petersburg. Transport of the Russian Federation, 5 (84): 50–53 (in Russian).
- Ataev P.G., Geller R.M. 2020. Sovremennyye metody analiza avariynosti na dorogakh [Modern Methods for Analyzing Accidents on the Roads]. Leningradskiy dorozhnik, 1 (003): 39–43.
- Yeprintsev S.A., Klepikov O.V., Shekoyan S.V. 2020. Remote Sensing of the Earth as a Method of Assessing Environmental Quality of Urban Areas. Public Health and Life Environment – PH&LE, 4 (325): 5–12 (in Russian). DOI: 10.35627/2219-5238/2020-325-4-5-12.
- Koshurnikov D.N., Maksimova E.V. 2018. Review of Foreign and Domestic Practices of Noise Mapping in Dense Urban Areas. Bulletin of Perm National Research Polytechnic University. Applied Ecology. Urban development, 3 (31): 27–43 (in Russian). DOI: 10.15593/2409-5125/2018.03.03.

- Lipilin D.A. 2014. Raspredeleniye i dinamika obyektov razmeshcheniya tverdykh bytovykh otkhodov na territorii Krasnodarskogo kraya [Distribution and dynamics of solid domestic waste disposal facilities on the territory of the Krasnodar Territory]. Abstract. dis. ... cand. geogr. Sciences. Krasnodar, 23 p.
- Ovchinnikov A.P. 2019. Otsenka shumovogo zagryazneniya territorii Kirovskogo rayona g. Yaroslavl [Evaluation of Noise Pollution in the Territory of the Kirovsky District of Yaroslavl]. In: Molodoy issledovatel: vyzovy i perspektivy [Young researcher: challenges and prospects]. CXLV international scientific and practical conference, 09 December 2019, Moscow, Publ. Internauka: 134–139.
- Pensakov G.I., Shevchenko G.G., Gura D.A., Gribkova I.S. 2016. The Application of Remote Sensing Data for the Purpose of Rational Use of Land in Russian Federation. Scientific Works of the Kuban State Technological University, 10: 24–38 (in Russian).
- Pogorelov A.V., Lipilin D.A., Lubentsov A.A. 2017. Otsenka mnogoletnikh izmeneniy zelenykh nasazhdeniy goroda Krasnodara po dannym sputnikovykh snimkov [Assessment of Long-Term Changes in Green Spaces in the City of Krasnodar According to Satellite Imagery]. In: Regionalnyye geograficheskiye issledovaniya [Regional Geographic Research]. Krasnodar, Publ. Kubanskiy gosudarstvennyy universitet: 119–137.
- Pogorelov A.V., Lipilin D.A. 2016. Teplovoy «portret» goroda Krasnodara. Poisk teplovykh anomalii [Thermal «Portrait» of the City of Krasnodar. Search for Thermal Anomalies]. In: Geograficheskiye issledovaniya krasnodarskogo kraya [Geographical Studies of the Krasnodar Territory]. Krasnodar, Publ. Kubanskiy gosudarstvennyy universitet: 219–231.
- Pupsheva L.N., Vagapova A.R., Komissarenko D.V. 2016. Shumovoye zagryazneniye okruzhayushchey sredy [Noise pollution of the environment]. Molodezhnyy nauchnyy vestnik, 2 (2): 4–6.
- Sergeeva O.S., Pirozhkov S.P. 2021. Methodology Development for Calculating the Area of Greenery in a City, Using Remote Sensing Data. Geographical bulletin, 2 (57): 170–181 (in Russian). DOI: 10.17072/2079-7877-2021-2-170-181.
- Semeykin A.Yu. 2017. Assessment of the Noise Situation of Urban Environment in Certain Districts of Belgorod. Bulletin of Belgorod State Technological University Named after. V.G. Shukhov, 9: 56–60 (in Russian). DOI: 10.12737/article_59a93b0921c674.33606701.
- Semina A.E. 2019. Free Mobile Applications as a Tool for Assessing the Noise Impact of Traffic Flows. Bulletin of Perm National Research Polytechnic University. Applied Ecology. Urban Development, 4 (36): 106–114 (in Russian). DOI: 10.15593/2409-5125/2019.04.10.
- Tolstova Yu.O., Drozdov V.V. 2020. Noise Pollution of the Urban Environment of Saint Petersburg within the Kirov and Krasnoselsky Districts. Herald of Science and Education, 15–1 (93): 69–73 (in Russian).
- Shuvalova E.D., Lipilin D.A., Pelina A.N. 2020. Otsenka komfortnosti sredy goroda Krasnodara [Evaluation of the comfort of the environment of the city of Krasnodar]. In: Regionalnyye geograficheskiye issledovaniya [Regional geographic research]. Krasnodar, Publ. Kubanskiy gosudarstvennyy universitet: 389–392.
- Engelgardt A.E., Lipovka A.Yu., Fedchenko I.G. 2018. Mezhdunarodnyy opyt indeksirovaniya kachestva gorodskoy sredy [International experience of indexing the quality of the urban environment]. Urbanistika, 4: 77–87. DOI: 10.7256/2310-8673.2018.4.27886.
- Gura D.A., Markovsky I.G., Khakhuk B.A., Pshidatok S.K. 2019. About prospects for the air laser scanning technology implementation for obtaining a digital model of densely built-in territories. In: Construction and Architecture: Theory and Practice of Innovative Development. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Vol. 698, No. 4: 044014. DOI: 10.1088/1757-899X/698/4/044014.
- Medved S. 2022. Urban Environment and Local Climate. In: Building Physics. Springer Tracts in Civil Engineering. Springer, Cham.: 453–472. DOI: 10.1007/978-3-030-74390-1_7.
- Wolniak R., Jonek-Kowalska I. 2020. The level of the quality of life in the city and its monitoring. Innovation: The European Journal of Social Science Research, 34 (3): 376–398. DOI: 10.1080/13511610.2020.1828049.



*Поступила в редакцию 31.01.2022;
поступила после рецензирования 03.03.2022;
принята к публикации 06.04.2022*

*Received January 31, 2022;
Revised March 03, 2022;
Accepted April 06, 2022*

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.
Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Липилин Дмитрий Александрович, кандидат географических наук, доцент кафедры землеустройства и земельного кадастра, Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина; старший преподаватель кафедры геоинформатики, Кубанский государственный университет, г. Краснодар, Россия

Dmitry A. Lipilin, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor of the Department of Land Management and Land Cadastre of the Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin; Senior Lecturer of the Department of Geoinformatics of the Kuban State University, Krasnodar, Russia

Евтушенко Денис Дмитриевич, студент кафедры геоинформатики Кубанского государственного университета, г. Краснодар, Россия

Denis D. Evtushenko, student of the Department of Geoinformatics of the Kuban State University, Krasnodar, Russia



УДК 528.92
DOI 10.52575/2712-7443-2022-46-2-241-253

Синтез и распространение пространственных данных о метагеосистемах для информационной поддержки управленческих решений

Ямашкин А.А., Ямашкин С.А.

Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева,
Россия, 430005, Республика Мордовия, г. Саранск, ул. Большевикская, 68
E-mail: yamashkinsa@mail.ru

Аннотация. В статье представлены результаты анализа и систематизации отечественного и международного опыта проектирования, верификации, актуализации и практического использования цифровых инфраструктур пространственных данных для целей гармонизации взаимодействия природных, социальных и производственных подсистем, устойчивого развития территорий. Дана характеристика существующих международных, государственных, региональных, муниципальных (локальных) геопортальных систем, обеспечивающих синтез, структуризацию, визуализацию и распространение пространственно распределенных данных о метагеосистемах для информационной поддержки управленческих решений в области устойчивого эколого-социально-экономического развития с целью обоснования эффективной концептуальной модели проблемно-ориентированной геопортальной системы.

Ключевые слова: метагеосистемы, пространственные данные, геопорталы, машинное обучение, устойчивое развитие

Благодарности: исследование выполнено при поддержке РНФ (грант № 22-27-00651).

Для цитирования: Ямашкин А.А., Ямашкин С.А. 2022. Синтез и распространение пространственных данных о метагеосистемах для информационной поддержки управленческих решений. Региональные геосистемы. 46(2): 241–253. DOI 10.52575/2712-7443-2022-46-2-241-253

Synthesis and Dissemination of Spatial Data on Metageosystems for Information Support of Management Decisions

Anatoliy A. Yamashkin, Stanislav A. Yamashkin

Ogarev Mordovia State University
68 Bolshevistskaya St, Saransk, Mordovia, 430005, Russia
E-mail: yamashkinsa@mail.ru

Abstract. The article analyzes and systematizes domestic and international experience in the design, verification, updating and practical use of digital spatial data infrastructure for the purposes of harmonizing the interaction of natural, social and industrial subsystems, sustainable development of territories. The characteristic of the existing international, state, regional, local geoportals systems providing synthesis, structuring, visualization and dissemination of spatially distributed data on metageosystems for information support of management decisions in the field of sustainable ecological, social and economic development is given in order to substantiate an effective conceptual model of problematic-oriented geoportals system. Systems of this class, based on the layers of a spatial database obtained by processing cartographic materials, remote sensing data, field studies, serve as a tool for visualizing and disseminating spatial data on metageosystems, studying the relationship and dependence between natural, social and industrial processes and phenomena, provide an opportunity develop recommendations for optimizing the processes of economic development of landscapes.



Keywords: metageosystems, spatial data, geoportals, machine learning, sustainable development

Acknowledgements: The research was supported by RSF (project No. 22-27-00651).

For citation: Yamashkin A.A., Yamashkin S.A. 2022. Synthesis and Dissemination of Spatial Data on Metageosystems for Information Support of Management Decisions. *Regional Geosystems*, 46(2): 241–253 (in Russian). DOI 10.52575/2712-7443-2022-46-2-241-253

Введение

Актуальность разработки региональных геоинформационных систем (ГИС) и геопорталов определяется потребностью в выработке комплексного подхода к оценке, планированию, прогнозированию состояния природно-социально-производственных систем для принятия управленческих решений [Yamashkin et al., 2020a; Yamashkin et al., 2020b]. Решение стратегических задач обуславливает более жесткие требования к целенаправленности, системности и объективизации в пространственно-временном разрезе традиционных прогнозов, рекомендаций, справочных данных, оценок [Кошкарев, 2019]. Одновременно с увеличением экономической самостоятельности первичных звеньев производства растет потребность в информации для целей оперативного управления, т. е. информация должна своевременно реагировать на изменения ресурсов, охватывать все аспекты хозяйствования на конкретных территориях. Оперативное информационное обслуживание должно осуществляться в жестких рамках производственного режима, а информация, поступающая потребителям, иметь форму, позволяющую использовать ее для принятия решений.

Результаты исследования, представленные в статье, направлены на анализ и систематизацию международного опыта проектирования, верификации, актуализации и практического использования цифровых инфраструктур пространственных данных (ИПД) для целей гармонизации взаимодействия природных, социальных и производственных подсистем, устойчивого развития территорий.

Повышение точности и оперативности диагностики пространственно-временных изменений геосистем основывается на внедрении в практику интеллектуальных систем, технологий глубокого машинного обучения, применяемых для сопряженного анализа данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), результатов мониторинга экологических, социальных и экономических процессов в развитии территорий. Исследование систем природопользования, предпосылок их развития, основных технологических особенностей и региональной дифференциации требует обработки больших информационных массивов, имеющих в своем составе не только многомерную количественную и качественную информацию о природных объектах, но и об их пространственном положении [Candela et al., 2018]. Современные геоинформационные технологии призваны обеспечить высокую степень автоматизации проведения научно-практических исследований для принятия управленческих решений.

Объекты и методы исследования

Решение широкого спектра современных пространственно-временных задач по оптимизации взаимодействия природных, социальных, производственных систем реализуется в разработках схем территориального планирования, экологическом обосновании градостроительной документации, проектировании особо охраняемых природных территорий, прогнозировании природных и природно-техногенных чрезвычайных экологических процессов, сопряжено с развитием ГИС-технологий. Решение экологических проблем определяется развитием IT-технологий в области разработки региональных географических информационных систем и геопорталов – систем, обеспечивающих сбор, обработку и визуализацию информационных ресурсов о природно-социально-

экономических объектах регионов (стран). Их внедрение способствует реализации стратегических целей устойчивого развития регионов, созданию эффективного инструмента управления природными, социальными и экономическими ресурсами.

Современные ГИС – это системы, выполняющие как традиционные операции статистического анализа пространственных данных, так и функции интеллектуального анализа и визуализации больших объемов информации, что обеспечивает возможности применения систем данного класса в проектных задачах, связанных с анализом состояния земель и прогнозированием развития стихийных процессов [Rajabifard et al., 2002; Ienco et al., 2017].

Согласно статистике научной системы цитирования *Google Scholar*, использование машинного обучения для интерпретации пространственных данных (в том числе материалов космической съемки) непрерывно растет (рис. 1) с конца прошлого века [Yuan et al., 2021]. Технологии глубокого машинного обучения (*Deep Learning*) [LeCun et al., 2015] основаны на формировании моделей с большим количеством скрытых слоев, показывающих высокую эффективность в анализе геопространственных данных [Mohan et al., 2021].

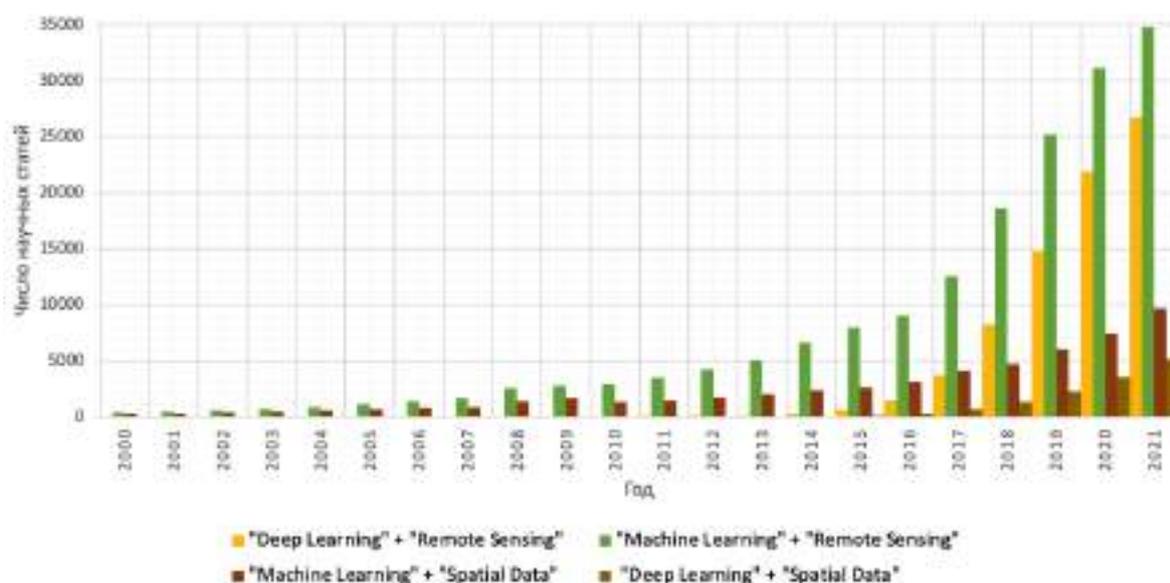


Рис. 1. Количество научных статей в системе *Google Scholar* по ключевым запросам из области анализа пространственных данных
Fig. 1. The number of scientific articles in the *Google Scholar* system for key queries from the field of spatial data analysis

Анализ международного опыта в области проектирования, разработки, внедрения и эффективного использования цифровых инфраструктур пространственных данных проводился на основе алгоритма, представленного на рис. 2. При систематизации международного научного опыта в области разработки методов и алгоритмов интеграции информации в ИПД использованы две стратегии. Реализация каждой из них опиралась на использование информационных баз данных и систем цитирования (*Google Scholar*, *Scopus*, *Web of Science*, *РИНЦ*, *IEEE Xplore*), а также репозиториев программного обеспечения (*GitHub*). В рамках первого направления поиск осуществляли по релевантным научному исследованию ключевым словам и их комбинациям (в том числе таким, как «*Machine Learning*» + «*Spatial Data*», «*Geoportal*», «*Spatial Data Infrastructure*»), а в рамках второго – реализован анализ цитируемых публикаций в авторитетных научных изданиях из области геоинформатики, ориентированный на поиск статей по ключевым словам с последующим рекурсивным анализом связанных публикаций, направленных в том числе на решение конкретных проектных задач в области анализа систем природопользования и

прогнозирования развития природных и природно-техногенных процессов. Акцент был сделан на анализ защищаемых положений диссертаций, научных и обзорных статей научных журналов, монографий и отдельных глав в книгах, тезисов докладов в сборниках трудов конференций. Отдельное внимание уделено изучению объектов патентования и открытых программных решений. Накопленные публикации и результаты интеллектуальной деятельности систематизированы с удалением дублей для формирования нормализованной библиографической базы знаний.

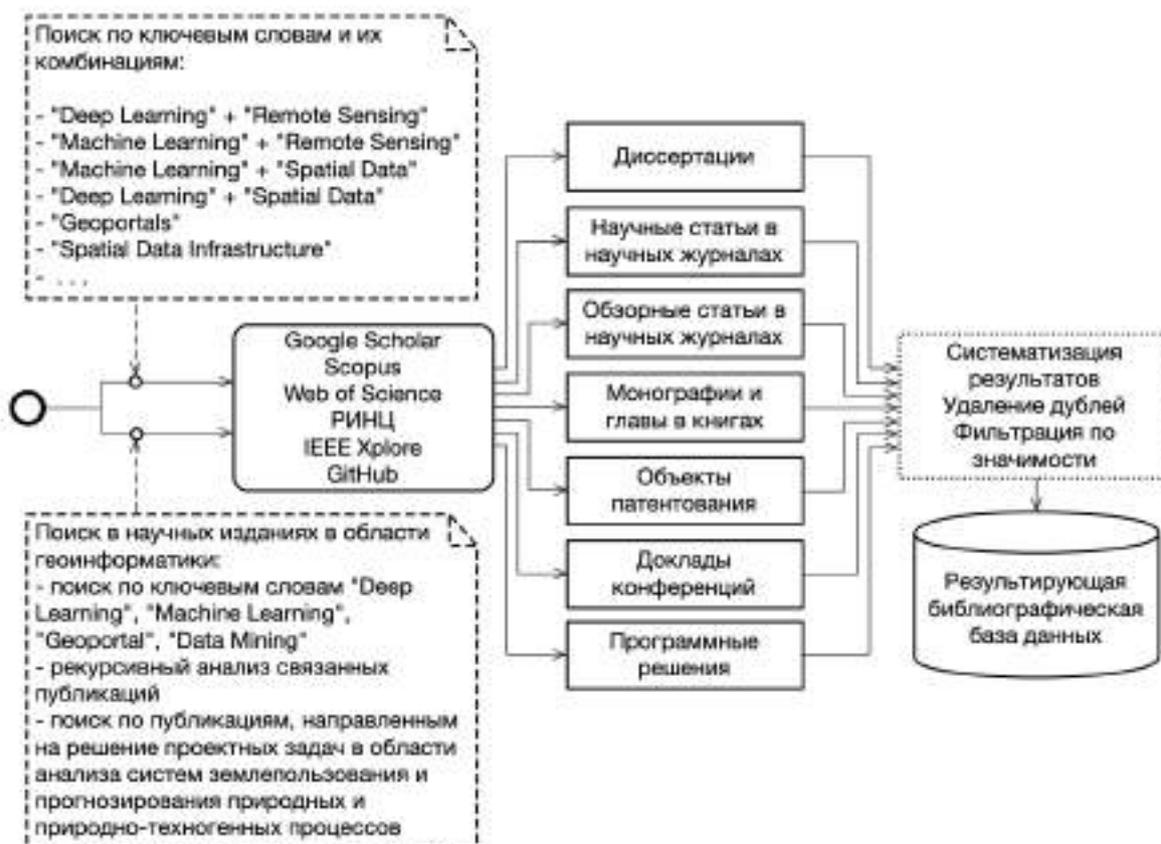


Рис. 2. Алгоритм систематизации международного опыта в области разработки методов и алгоритмов интеграции информации в ИПД

Fig. 2. Algorithm for international experience systematizing in the development of methods and algorithms for integrating information into SDI

Объектом системного пространственного анализа в ГИС являются геосистемы – «...земное пространство всех размерностей, где отдельные компоненты природы находятся в системной связи друг с другом и как определенная целостность взаимодействуют с космической сферой и человеческим обществом» [Сочава, 1978]. Учение о геосистемах получило развитие в сфере исследования не только природных объектов и процессов, но и их взаимодействия с социальными и экономическими системами. В такой расширенной трактовке геосистемы выступают как «метагеосистемы», цифровые модели которых становятся основным инструментом пространственного анализа.

В качестве интегрального процесса, развивающегося в метагеосистемах, выступает хозяйственное освоение – формирование различных типов геотехнических систем. Выделяются две основные фазы хозяйственного освоения: 1) освоение «вширь» – включение в хозяйственную деятельность новых территорий и 2) освоение «вглубь» – адаптация хозяйственной деятельности к структуре геосистем. В качестве индикаторов освоенности выступают показатели устойчивого развития и острота проявления геоэкологических про-

блем. Рациональное освоение выражается в адаптации хозяйственной деятельности к структуре природных геосистем.

Пространственная неоднородность метагеосистем, обусловленная природными и социально-экономическими процессами, обуславливает региональные различия природопользования и предопределяет различия в организации и функционировании региональных ГИС [Lee, Kang, 2015]. Помимо развития технических средств для получения и обработки пространственной информации, необходимо специальное географическое основание, включающее широкий спектр вопросов – от выявления объектов изучения, круга потребителей информации различных территориальных уровней до определения видов и содержания выходной продукции, создания географической информационной базы данных, методов прикладного ГИС-анализа для тематической обработки пространственной информации [Lü et al., 2019].

Важное место в данном контексте занимает проблема интеграции инструментов автоматизированного анализа пространственных данных в подсистему анализа и синтеза геопространственных данных, функционирующую на основе жестких и мягких вычислений. Для достижения свойства проектной ориентации репозитория моделей анализа данных алгоритмы должны быть ассоциированы с проектными задачами, в которых они могут быть применены, и с данными, которые они при этом анализируют [Chen et al., 2016]. Особое место в анализе больших массивов мультимодельных пространственных данных занимают ансамбли классификаторов и глубокие нейросетевые модели (рекуррентные [Kong et al., 2018] и сверточные нейронные сети [Liu et al., 2016], автокодировщики [Azarang et al., 2019]) для решения задач детекции аномалий, классификации и интерпретации данных, обучения признакам, слияния данных. С другой стороны, обучение без учителя используется для решения задачи сегментации пространственных данных [Li et al., 2017; Heaton et al., 2019].

Автоматизация в исследовании метагеосистем требует интеграции многих отраслей знаний, непосредственно связанных с научно-техническим прогрессом и основанных на системном подходе. Системный подход в исследовании геосистем – это прежде всего углубленное понимание объектов природопользования. Функциональные возможности проблемно-ориентированных ГИС часто обращаются к современным методам других наук, таких как математика, кибернетика, теория информации и др.

Результаты и их обсуждение

Для изучения, достоверной оценки состояния метагеосистем разработана и актуализируется региональная ГИС «Мордовия», в которой осуществляется накопление данных и знаний о природе, хозяйстве и населении регионов. Информация такого типа консолидируется на географической основе. Географический подход к анализу принимаемых решений неизбежно приводит к тому, что каждый географический объект входит в поле зрения некоторого субъекта управления народным хозяйством.

Схема технологического процесса синтеза цифровой карты геосистем в рамках геопортала как интерфейсной точки региональной ГИС представлена на рис. 3. Геосистемный (ландшафтный) подход включает следующие типы исследований:

- 1) морфологическое – диагностика элементов геосистем и структурных отношений между ними;
- 2) парагенетическое – анализ динамически пространственно взаимосвязанных между собой по происхождению и процессами современного метаболизма вещества и энергии геосистем;
- 3) синтетическое – исследование взаимодействия процессов метаболизма вещества и энергии со структурой географических объектов;

4) исследование систем техногенеза – анализ изменения состояния эколого-социально-экономических систем под влиянием хозяйственной деятельности человека.

Систематизация и классификация геосистем основывается на генетическом, историческом и структурном (системном) принципах. Для исследования зоны взаимодействия лесостепи Приволжской возвышенности и лесных типов геосистем Окско-Донской низменности в границах Республики Мордовия наиболее перспективным является использование таксонов, предложенных В.А. Николаевым [1978].

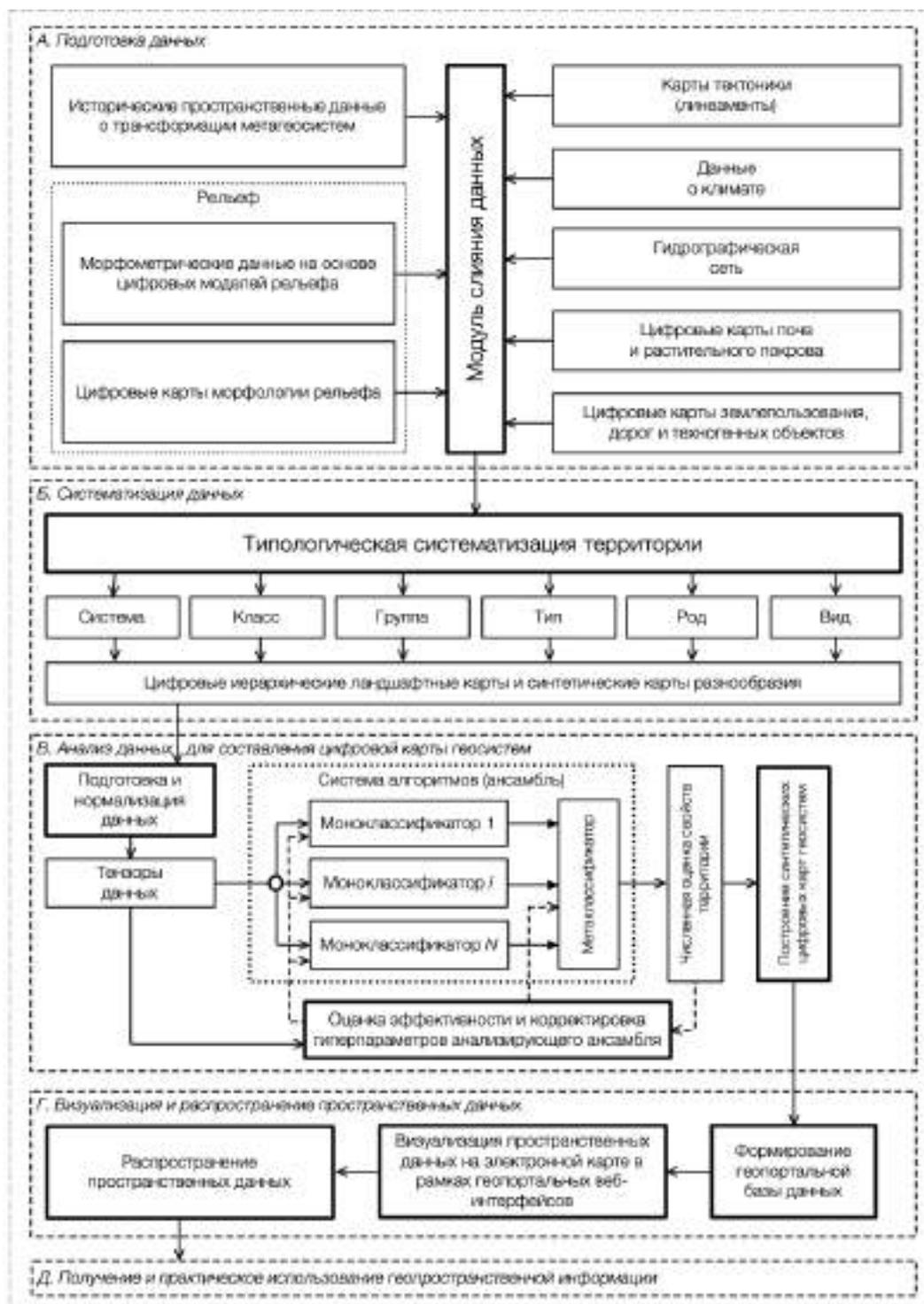


Рис. 3. Технологический процесс синтеза цифровой карты геосистем
 Fig. 3. Technological process of digital geosystems map synthesizing

1) Разряд геосистем выделяется по особенностям макро- и мезоклимата. Среди климатических факторов в процессе формирования геосистем основную роль играют суммарная поглощенная солнечная радиация, температура воздуха, режим осадков, условия испарения (влажность, скорость ветра). Функционирование геосистем проявляется в сменах сезонов года

2) Класс (подкласс) геосистем картографируется по орографическим признакам. Роль рельефа в процессах формирования геосистем определяется высотой, крутизной и экспозицией склонов, которые перераспределяют водные массы и изменяют величину испарения.

3) Группа геосистем диагностируется по типам водного и геохимического режима. Основным объектом исследования является зона свободного водообмена, содержащая пресные и слабоминерализованные грунтовые воды, а также краевые части межпластовых водоносных горизонтов.

4) Тип геосистем диагностируется по почвенно-биотическим признакам с выделением зональных, интразональных, экстразональных и аazonальных геосистем. При составлении карты типов геосистем особое внимание уделялось анализу элементарных почвообразовательных, экзогеодинамических, геохимических и др.

5) Род геосистем в региональном масштабе исследований отражает морфоскульптурные формы рельефа и слагающие их отложения, что позволяет интегрально учитывать природное многообразие литогидрогенных систем и их элементов (области питания, транзита и разгрузки подземных вод и т. п.

6) Вид геосистем. Их выделение проводилось в процессе дешифрирования космических снимков на основе факторально-динамических рядов, спектр которых расширяется при их комбинированном использовании.

В рамках первого этапа осуществляется предварительная подготовка данных, направленная на слияние мультимодельной, в том числе ретроспективной информации о территориальных системах. Далее производится типологическая систематизация информации с построением иерархии геосистем и цифровых ландшафтных карт. Нормализованные многомерные данные о геосистемной модели территории могут быть интерпретированы на основе ансамблевого анализа, конечным артефактом которого становятся синтетические цифровые карты геосистем. Процесс хозяйственного освоения территории раскрывается через создание цифровых карт, характеризующих особенности социальных и производственных систем и их взаимосвязи с вмещающими геосистемами.

В исследовании процессов хозяйственного освоения ландшафтов, формирующих метагеосистемы, выделяется спектр взаимосвязанных подходов, определяющих формирование систем цифровых карт и баз данных геопортальных систем:

– археологический – воссоздает особенности жизни населения и процессы ранних периодов хозяйственного освоения территории на основе ландшафтной локализации и материальных свидетельств культуры;

– исторический – описывает историю социальных институтов (семьи, государства, церкви), образ жизни, обычаи, поведение людей в прошлых эпохах с точек зрения: а) их внутренней структуры как целостной органически взаимосвязанной системы; б) процесса исторического изменения внутренних связей; в) выявления и изучения качественных изменений в их структуре; г) выявления и раскрытия закономерностей развития;

– этнологический и этнографический – определяет принципы классификации народов, их субординацию; раскрывает проблемы этногенеза, расселения народов, демографических процессов, образ жизни народов и племен, обычаи, верования народов, социальную и политическую структуру и динамику культурных черт того или иного народа;

– культурологический – позволяет анализировать особенности социализации человека в различных средах: языки, быт, обычаи, традиции, культурные институты;

– демографический – раскрывает закономерности и особенности развития социума через исследование динамики численности населения, городские и сельские поселения, культуру, образование и др.;

– экономический – исследует системы производства, обмена и распределения продуктов в обществе; организацию производства и разделения труда в разных природных и культурных средах.

Представленные подходы становятся источником для формирования эффективной концептуальной модели проблемно-ориентированной геопортальной системы, являясь источником требований к систематизации слоев цифровых карт, которые могут быть использованы в территориальном планировании метагеосистем разного масштаба (глобального, регионального, локального). Анализ хозяйственного освоения геосистем должен быть направлен на раскрытие пространственно-временных закономерностей развития природных, социальных, производственных систем и их взаимодействия в характерные состояния метагеосистем.

Современные направления решения проблем моделирования метагеосистем сопряжены с внедрением ГИС-технологий и геопортальных систем, с разработкой методологии и алгоритмов анализа взаимодействия природных, социальных и производственных систем, комплексной интерпретации больших пространственных данных, прогнозирования развития пространственно-временных процессов, эффективного распространения пространственно-временных данных (рис. 4).



Рис. 4. Интегральный синтез информации о метагеосистемах
 Fig. 4. Integrated synthesis of information about metageosystems

С позиций моносистемной модели метагеосистемы – это совокупность природных и техногенных систем, полисистемная модель рассматривает их во взаимосвязи с их пространственным окружением, т. е. учитываются геосистемы различных иерархий. Комплексный анализ метагеосистем ориентирован на достижение определенных целей. Например, для целей оптимизации сельскохозяйственного освоения территории анализируются:

- производственно-территориальные функции, обеспечивающие устойчивое земледелие;
- физико-химические функции, направленные на оказание воздействия на физико-химические свойства почвы, режим питания растений;
- гидрометеорологические функции, исполняющие роль регулирования поверхностного стока, уровня грунтовых вод, формирования запаса влаги, регулирования водного, температурного режимов почвы и воздуха, аккумуляции солнечной энергии;
- биологические функции, направленные на воспроизводство биопродуктивности, гумусообразование, саморегуляцию.

Представленные функции необходимы для поддержания средо-, ресурсовоспроизводящих функций геосистем для обеспечения их стабильности, поддержания общего экологического баланса территории, обеспечения самовосстановления в процессе хозяйственного использования. Экологический подход предполагает оценку хозяйственной освоенности ландшафтов для решения вопросов оптимизации территориальной организации метагеосистем, выявления региональных различий в эффективности их функционирования, определения путей оптимизации использования природных, экономических, социальных и демографических ресурсов.

Актуализация данных о метагеосистемах осуществляется на основе интерпретации данных ДЗЗ в ходе их визуального и автоматизированного дешифрирования [Kussul et al., 2017]. Функционирование алгоритмов классификации синтетической информации о земной поверхности должно основываться на тщательной калибровке результатов дешифрирования при их соотнесении с данными полевых исследований [Landgrebe, 2003]. Приведем перечень требований, которым должны удовлетворять тестовые полигоны.

- структурное разнообразие, обеспеченное включением набора факторально-динамических рядов геосистем, достаточного для создания базы спектральных характеристик обучающих и тестовых выборок;
- расположение, размеры и пространственное разрешение тестового полигона должны позволять сделать репрезентативную выборку тестовых и обучающих данных;
- точность детектирования спектральных характеристик должна обеспечивать достаточное для анализа отображение структуры и свойств геосистем;
- методическое обеспечение процесса сбора полевых данных об особенностях пространственно-временной организации геосистем должно быть согласовано с проектными задачами, решаемыми в рамках тестового полигона;
- наличие метаописания, включающего общие сведения, параметры съемки, описание ландшафтов и их антропогенных модификаций, административную характеристику.

Детализация ландшафтной модели региона на основе полевых обследований и анализа данных ДЗЗ на уровне землепользований сельскохозяйственных предприятий является основой для землеустроительного проектирования. Землеустройство на ландшафтно-экологической основе направлено на обеспечение ресурсовоспроизводящих и средозащитных функций агроландшафтов. Другой важной задачей оптимизации землепользования выступает проектирование микрорезервов, миграционных коридоров и ландшафтно-экологических ниш, выполняющих функции экологического каркаса территории. В целом решение задач управления земельными ресурсами на ландшафтно-экологической основе исходит из внедрения в практику хозяйственной деятельности комплексных подходов, ориентированных на его адаптацию к возможностям вмещающего природно-территориального комплекса.

Опыт решения задач геоинформационной поддержки ландшафтно-экологических исследований в Республике Мордовия определяет, что функционирование ГИС и геопорталов требует ориентации на гибкий процесс разработки, а также постоянной актуализации данных. Эффективность геопорталов в значительной мере зависит от качества графических интерфейсов, позволяющих визуализировать цифровые карты метагеосистем,



мощности и структурированности пространственной базы данных, а также системной организации программных компонентов, определяющих функционирование бизнес-логики проекта и модулей анализа данных. Геопорталы как внешняя подсистема ИПД являются распределенной веб-системой, что определяет необходимость обеспечения свойств конфиденциальности, доступности и целостности консолидируемой в системе пространственной информации. Свойство масштабируемости определяет способность системы визуализации и распространения пространственных данных выдерживать увеличение функциональности и повышение рабочей нагрузки.

К цифровой карте геопортальной системы как узлового компонента следует предъявлять следующий набор функциональных требований: наличие картографической основы, реализация возможности комбинированного наложения тематических слоев, наличие удобных инструментов навигации по пространственной базе данных, доступа к атрибутивным характеристикам пространственных объектов, а также возможность получения иной связанной текстовой и мультимедийной информации. Среди множества важных качественных запросов выделены: адаптация графических интерфейсов под различные устройства, интуитивная понятность интерфейсов, модифицируемость и расширяемость, надежность и безопасность.

Заключение

На основе проведенного исследования можно сделать следующие выводы.

1. Важнейшим направлением оптимизации процессов хозяйственного освоения ландшафтов является иерархическое структурирование ландшафтной оболочки с выделением рядов, классов, групп, типов, родов и видов геосистем. Такой подход позволяет обоснованно выделить лимитирующие факторы хозяйственного освоения территории, особенности развития экзогеодинамических процессов, водного и геохимического режима, особенностей развития почвообразовательных и биологических процессов. Для достоверного определения количественных и качественных характеристик свойств геосистем важную роль приобретают автоматизированная обработка снимков в режиме единого технологического процесса. Инструменты автоматизированного анализа данных должны быть ассоциированы с проектными задачами, в которых они могут быть применены, и с данными, которые они при этом анализируют. Особое место в анализе массивов мультимодельных пространственных данных занимают ансамбли классификаторов и глубокие нейросетевые модели.

2. Процесс хозяйственного освоения ландшафтной оболочки сопровождается формированием метагеосистем, характеризующихся сложным взаимодействием природных, социальных и производственных процессов. Выделяются две основные фазы хозяйственного освоения: 1) освоение «вширь» – включение в хозяйственную деятельность новых территорий и 2) освоение «вглубь» – адаптация хозяйственной деятельности к структуре геосистем. Пространственно-временная структура процесса хозяйственного освоения геосистем раскрывается с использованием ландшафтно-археологических, историко-географических, этнографических, культурологических, демографических, экономических подходов и методов. В качестве индикаторов освоенности выступают показатели остроты проявления геоэкологических проблем.

3. Перспективным направлением решения задач по гармонизации взаимодействия природных, социальных и производственных систем является использование геопортальных систем. Опираясь на слои пространственной базы данных, получаемые при обработке картографических материалов, данных дистанционного зондирования, натурных исследований, системы этого класса служат инструментом визуализации и распространения пространственных данных о метагеосистемах, изучения взаимосвязи и зависимости между природными, социальными и производственными процессами и явлениями, дают возможность выработать рекомендации по оптимизации процессов хозяйственного освоения ландшафтов.

Список литературы

- Кошкарев А.В. 2019. Геоинформатика в инфраструктурном обеспечении цифровой экономики. *Геодезия и картография*, 80 (1): 119–126. DOI: 10.22389/0016-7126-2019-943-1-119-126.
- Николаев В.А. 1978. Классификация и мелкомасштабное картографирование ландшафтов. М., Изд-во Московского университета, 62 с.
- Сочава Б.В. 1978. Введение в учение о геосистемах. Новосибирск, Наука, 319 с.
- Azarang A., Manoochehri H.E., Kehtarnavaz N. 2019. Convolutional Autoencoder-Based Multispectral Image Fusion. *IEEE Access*, 7: 35673–35683. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2905511.
- Candela L., Castelli D., Pagan P. 2018. Managing Big Data through Hybrid Data Infrastructures. *ERCIM News*, 89: 37–38.
- Chen Q., Song X., Yamada H. 2016. Learning Deep Representation from Big and Heterogeneous Data for Traffic Accident Inference. *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*, 30 (1): 338–344.
- Heaton J., Datta A., Finley A.O. 2019. A Case Study Competition Among Methods for Analyzing Large Spatial Data. *Journal of Agricultural, Biological and Environmental Statistics*, 24 (3): 398–425. DOI: 10.1007/s13253-018-00348-w.
- Ienco D., Gaetano R., Dupaquier C. 2017. Land Cover Classification Via Multitemporal Spatial Data by Deep Recurrent Neural Networks. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 14 (10): 1685–1689. DOI: 10.1109/LGRS.2017.2728698.
- Kong Y.L., Huang Q., Wang C. 2018. Long Short-Term Memory Neural Networks for Online Disturbance Detection in Satellite Image Time Series. *Remote Sensing*, 10 (3): 452. DOI: 10.3390/rs10030452.
- Kussul N., Lavreniuk M., Skakun S. 2017. Deep Learning Classification of Land Cover and Crop Types Using Remote Sensing Data. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 14 (5): 778–782. DOI: 10.1109/LGRS.2017.2681128.
- Landgrebe D.A. 2003. *Signal Theory Methods in Multispectral Remote Sensing*. New Jersey, Wiley, 508 p. DOI:10.1002/0471723800.
- LeCun Y., Bengio Y., Hinton G. 2015. Deep Learning. *Nature*, 521: 436–444. DOI: 10.1038/nature14539.
- Lee J., Kang M. 2015. Geospatial Big Data: Challenges and Opportunities. *Big Data Research*, 2 (2): 74–81. DOI: 10.1016/j.bdr.2015.01.003.
- Li M., Guo W., Duan L., Zhu X. 2017. A Case-Based Reasoning Approach for Task-Driven Spatial-Temporally Aware Geospatial Data Discovery Through Geoportals. *International Journal of Digital Earth*, 10 (11): 1146–1165. DOI: 10.1080/17538947.2017.1285968.
- Liu Y., Racah E., Correa J., Khosrowshahi A., Lavers D., Kunkel K., Wehner M., Collins W. 2016. Application of Deep Convolutional Neural Networks for Detecting Extreme Weather in Climate Datasets. *arXiv preprint*: 1605.01156. DOI: 10.48550/arXiv.1605.01156.
- Lü G., Batty M., Strobl J. 2019. Reflections and Speculations on the Progress in Geographic Information Systems (GIS): a Geographic Perspective. *International journal of geographical information science*, 33 (2): 346–367. DOI: 10.1080/13658816.2018.1533136.
- Mohan A., Singh A.K., Kumar B., Dwivedi R. 2021. Review on Remote Sensing Methods for Landslide Detection Using Machine and Deep Learning. *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, 32 (7): e3998. DOI: 10.1002/ett.3998.
- Rajabifard A., Feeney M.E., Williamson I.P. 2002. Future Directions for SDI Development. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 4 (1): 11–22. DOI: 10.1016/S0303-2434(02)00002-8.
- Yamashkin A.A., Yamashkin S.A., Aksyonova M.Yu. 2020a. Cultural Landscapes Space-Temporal Systematization of Information in Geoportals for the Purposes of Region Tourist and Recreational Development. *Geojournal of Tourism and Geosites*, 29 (2): 440–449. DOI 10.30892/gtg.29205-480.
- Yamashkin S.A., Yamashkin A.A., Zanozin V.V. 2020b. Improving the Efficiency of Deep Learning Methods in Remote Sensing Data Analysis: Geosystem Approach. *IEEE Access*, 8: 179516–179529. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.3028030.
- Yuan X., Shi J., Gu L. 2021. A Review of Deep Learning Methods for Semantic Segmentation of Remote Sensing Imagery. *Expert Systems with Applications*, 169: 114417. DOI: 10.1016/j.eswa.2020.114417.



References

- Koshkarev A.V. 2019. Geoinformatics in Infrastructural Support of the Digital Economy. *Geodesy and Cartography*, 80 (1): 119–126 (in Russian). DOI: 10.22389/0016-7126-2019-943-1-119-126.
- Nikolaev V.A. 1978. *Klassifikatsiya i melkomasshtabnoye kartografirovaniye landshaftov [Classification and Small-Scale Landscape Mapping]*. Publ. Moskovskogo universiteta, 62 p.
- Sochava B.V. 1978. *Vvedeniye v ucheniye o geosistemakh [Introduction to the study of geosystems]*. Novosibirsk, Publ. Nauka, 319 p.
- Azarang A., Manoochehri H.E., Kehtarnavaz N. 2019. Convolutional autoencoder-based multispectral image fusion. *IEEE Access*, 7: 35673–35683. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2905511.
- Candela L., Castelli D., Pagan P. 2018. Managing Big Data through Hybrid Data Infrastructures. *ERCIM News*, 89: 37–38.
- Chen Q., Song X., Yamada H. 2016. Learning Deep Representation from Big and Heterogeneous Data for Traffic Accident Inference. *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*, 30 (1): 338–344.
- Heaton J., Datta A., Finley A.O. 2019. A Case Study Competition Among Methods for Analyzing Large Spatial Data. *Journal of Agricultural, Biological and Environmental Statistics*, 24 (3): 398–425. DOI: 10.1007/s13253-018-00348-w.
- Ienco D., Gaetano R., Dupaquier C. 2017. Land Cover Classification Via Multitemporal Spatial Data by Deep Recurrent Neural Networks. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 14 (10): 1685–1689. DOI: 10.1109/LGRS.2017.2728698.
- Kong Y.L., Huang Q., Wang C. 2018. Long Short-Term Memory Neural Networks for Online Disturbance Detection in Satellite Image Time Series. *Remote Sensing*, 10 (3): 452. DOI: 10.3390/rs10030452.
- Kussul N., Lavreniuk M., Skakun S. 2017. Deep Learning Classification of Land Cover and Crop Types Using Remote Sensing Data. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 14 (5): 778–782. DOI: 10.1109/LGRS.2017.2681128.
- Landgrebe D.A. 2003. *Signal Theory Methods in Multispectral Remote Sensing*. New Jersey, Wiley, 508 p. DOI:10.1002/0471723800.
- LeCun Y., Bengio Y., Hinton G. 2015. Deep Learning. *Nature*, 521: 436–444. DOI: 10.1038/nature14539.
- Lee J., Kang M. 2015. Geospatial Big Data: Challenges and Opportunities. *Big Data Research*, 2 (2): 74–81. DOI: 10.1016/j.bdr.2015.01.003.
- Li M., Guo W., Duan L., Zhu X. 2017. A Case-Based Reasoning Approach for Task-Driven Spatial-Temporally Aware Geospatial Data Discovery Through Geoportals. *International Journal of Digital Earth*, 10 (11): 1146–1165. DOI: 10.1080/17538947.2017.1285968.
- Liu Y., Racah E., Correa J., Khosrowshahi A., Lavers D., Kunkel K., Wehner M., Collins W. 2016. Application of Deep Convolutional Neural Networks for Detecting Extreme Weather in Climate Datasets. *arXiv preprint*: 1605.01156. DOI: 10.48550/arXiv.1605.01156.
- Lü G., Batty M., Strobl J. 2019. Reflections and Speculations on the Progress in Geographic Information Systems (GIS): a Geographic Perspective. *International journal of geographical information science*, 33 (2): 346–367. DOI: 10.1080/13658816.2018.1533136.
- Mohan A., Singh A.K., Kumar B., Dwivedi R. 2021. Review on Remote Sensing Methods for Landslide Detection Using Machine and Deep Learning. *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, 32 (7): e3998. DOI: 10.1002/ett.3998.
- Rajabifard A., Feeney M.E., Williamson I.P. 2002. Future Directions for SDI Development. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 4 (1): 11–22. DOI: 10.1016/S0303-2434(02)00002-8.
- Yamashkin A.A., Yamashkin S.A., Aksyonova M.Yu. 2020a. Cultural Landscapes Space-Temporal Systematization of Information in Geoportals for the Purposes of Region Tourist and Recreational Development. *Geojournal of Tourism and Geosites*, 29 (2): 440–449. DOI 10.30892/gtg.29205-480.
- Yamashkin S.A., Yamashkin A.A., Zanozin V.V. 2020b. Improving the Efficiency of Deep Learning Methods in Remote Sensing Data Analysis: Geosystem Approach. *IEEE Access*, 8: 179516–179529. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.3028030.
- Yuan X., Shi J., Gu L. 2021. A Review of Deep Learning Methods for Semantic Segmentation of Remote Sensing Imagery. *Expert Systems with Applications*, 169: 114417. DOI: 10.1016/j.eswa.2020.114417.



*Поступила в редакцию 11.04.2022;
поступила после рецензирования 25.04.2022;
принята к публикации 16.05.2022*

*Received April 11, 2022;
Revised April 25, 2022;
Accepted May 16, 2022*

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.
Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Ямашкин Анатолий Александрович, декан географического факультета, Мордовский государственный университет, г. Саранск, Россия

Ямашкин Станислав Анатольевич, доцент института электроники и светотехники, Мордовский государственный университет, г. Саранск, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Anatoliy A. Yamashkin, Dean of Geography Faculty, Mordovia State University, Saransk, Russia

Stanislav A. Yamashkin, Associate Professor of Institute of Electronics and Lighting Engineering, Mordovia State University, Saransk, Russia



УДК 913.1/913.8
DOI 10.52575/2712-7443-2022-46-2-254-266

Категория времени в исследовании геоэкологического состояния геосистем

Вампилова Л.Б.

Российский государственный гидрометеорологический университет,
Россия, 195196, Санкт-Петербург, просп. Малоохтинский, 98
E-mail: histgeolbv67@gmail.com

Аннотация. Статья посвящена детальному анализу изучения временного аспекта в геолого-геоморфологических науках (на примере литогенной основы ландшафта и почв). Приведен анализ взглядов исследователей на использование категории времени в интегральных направлениях: палеогеографии и ландшафтоведении. Представлен краткий экскурс использования и востребованности категории времени в различных направлениях географической науки, что позволяет учесть опыт применения хронологического подхода в исторической геоэкологии. Актуальность исследования связана с необходимостью обоснования роли времени в исторической геоэкологии в связи с нарастающим интересом к предмету динамических состояний в геосистемах, обусловленных длительностью и интенсивностью процесса хозяйственного освоения. Сфера временного исследования масштабов антропогенного прессинга на ландшафт изучена недостаточно, это обстоятельство объясняет востребованность исторической геоэкологии как перспективного научного направления. Теория и методология исторической геоэкологии слабо разработана. Предметом исследования являются измененные природные комплексы и ландшафтно-экологические ситуации, сформировавшиеся за историческое время при определенных типах природопользования.

Ключевые слова: категория времени, историко-геоэкологическая периодизация, диахронический подход, длительность, давность, интенсивность освоения

Для цитирования: Вампилова Л.Б. 2022. Категория времени в исследовании геоэкологического состояния геосистем. Региональные геосистемы, 46(2): 254–266. DOI 10.52575/2712-7443-2022-46-2-254-266

Time Aspect in the Modern Research of the Geoecological Condition of Geosystems

Lyudmila B. Vampilova

Russian State Hydrometeorological University,
98 Malookhtinsky Av, Saint Petersburg, 195196, Russia
E-mail: histgeolbv67@gmail.com

Abstract. The article is devoted to a detailed analysis of the study of the temporal aspect in the geological and geomorphological sciences (on the example of the lithogenic basis of the landscape and soils). An analysis of the views of researchers on the use of the category of time in integral areas: paleogeography and landscape science is given. The research topicality connected with the knowledge-on-demand the time aspect in the geological and geographical sciences. Interest in the study of dynamic states in geosystems is due to the duration and intensity of the development process. The scope of a specific period of time studying the anthropogenic impact on the landscape is understudied, which explains the demand for historical geoecology as a powerful scientific direction. The theory and methodology of historical geoecology is still undercharacterize. The subject of historical geoecology research is the results of man and the landscape cooperation, the transformation of geosystems and their components in time, aiming to

predict the geocological situation. The article presents the experience of time category use in various areas of geographical science which allows use it in historical geocology.

Keywords: category of time, historical and geocological periodization, diachronic approach, duration, prescription, intensity of development

For citation: Vampilova L.B. 2022. Time Aspect in the Modern Research of the Geocological Condition of Geosystems. *Regional Geosystems*, 46(2): 254–266 (in Russian). DOI 10.52575/2712-7443-2022-46-2-254-266

Введение

В современной науке философская категория времени (форма смены явлений, событий) актуальна в связи с изучаемыми объектами. Преобразование ландшафтов на протяжении длительного времени освоения в современных реалиях их хозяйственного освоения зачастую недооценивается, а давность использования ресурсов игнорируется, что приводит к негативным проявлениям в окружающей среде [Алпатов, 1977; Жекулин, 1982; Лисецкий, 2000; Исаченко, 2008; Вампилова, 2008]. Возникает обоснованная необходимость применения пространственно-временного подхода для историко-геоэкологической оценки геосистем и аргументированного обоснования важности учета категории времени при создании теории и методологии исторической геоэкологии [Vampilova, 2020].

Категории времени посвящены публикации в различных направлениях географической науки усилиями большого количества исследователей: А.А. Александровского, Л.С. Берга, Н.Л. Беручашвили, В.А. Бокова, А.А. Величко, А.М. Грина, Л.Н. Гумилева, В.С. Жекулина, А.И. Жирова, А. Г. Исаченко, А.П. Левича, Г.В. Лейбница Ф.Н. Лисецкого, С.В. Мейена, В.С. Преображенского, Ю.Г. Пузаченко, А.Ю. Пузаченко, В.Н. Солнцева, В.Б. Сочавы, В.О. Таргульяна, Д. Харвей, Н.А. Хотинского, Ю.Г. Чендева, В. Эбелинг и многих др. Независимо от роста числа ученых, проявляющих интерес к хронологическим исследованиям, пробел в науке сохраняется. В предмете исторической геоэкологии следует отметить наличие специфических аспектов исследования: 1) в области экологических отношений и процессов в прошлые исторические периоды; 2) учет опыта предшественников в характере пользования природной средой, изменение исторического природопользования во времени; 3) временные срезы, на которые приходится своя локальная и региональная система хозяйствования, оказывающая воздействие на ландшафт в соответствии с уровнем развития производительных сил.

При характеристике компонентов природы всегда анализируются результаты временного изучения, что связано с условиями формирования объекта, с исследованием динамики изменения его структуры. Понятие времени в научных направлениях имеет определенную функцию: один отрезок времени свидетельствует о состоянии объекта; другой – о продолжительности процесса его преобразования под влиянием конкретного события. Понятие «характерное время» было введено в науку о почвах [Арманд, Таргульян, 1974; Геннадиев, 1990; и др.], а впоследствии использовано в других отраслевых направлениях, а также комплексных, например, в ландшафтоведении [Пузаченко, 1986]. Исследования геолого-географических наук включают самостоятельные изыскания, предусматривающие повышенное внимание к категории времени, что связано с изменением геосистем и их компонентов под влиянием природных и антропогенных факторов. Смысл хронологических исследований сводится к ретроспективному анализу изменения природных компонентов и к интегральному изучению системной организации хозяйства, населения, природной среды для каждой временной эпохи. Значимо установить время становления антропогенного фактора для морфологических единиц конкретного ландшафта, с какими событиями это было связано. Важно проследить событийную историю в природопользовании с целью выявле-



ния давности, длительности, масштабов, характера антропогенной нагрузки на природные комплексы. В историко-геоэкологических исследованиях рассмотрение взаимосвязей в триаде «природа – население – хозяйство» осуществляется через событийные процессы, благодаря которым создается историко-геоэкологическая периодизация. Ретроспективный анализ природопользования за историческое время позволит оценить размеры изъятия из природной среды ресурсов, приведшие к нарушению естественного баланса вещества и энергии в геосистемах. Для поддержания динамических равновесий в биосфере А.М. Алпатьевым [1977] предложен принцип геоэквивалентов, необходимого возврата в ландшафт изымаемых вещества и энергии, заимствованных в процессе хозяйственной деятельности. Результаты ретроспективного анализа хозяйственной деятельности получают применение в создании моделей управления природопользованием в регионе.

Методические подходы к изучению категории времени в отраслевых природных направлениях

Изучение временного аспекта в географических науках становится все более актуальным в связи с нарастающей длительностью и интенсивностью процесса хозяйственного освоения природной среды. Составить обзор хронологических (временных) исследований всех компонентов природы в условиях ограничения объема статьи затруднительно, поэтому среди шести компонентов формирования ландшафта (литогенная основа – породы и рельеф, климат, воды, растительность, почвы, животный мир) [Преображенский, 1982; Преображенский и др., 1988; Исаченко, 1991; Казаков, 2008] автором были выбраны два: литогенная основа и почвы, для которых констатируется многообразие происходящих процессов, состояний в соответствии с дифференциацией компонента в пространстве и времени. В геолого-геоморфологических исследованиях (литогенной основы ландшафта) время используется для определения возраста отложений и стадий развития рельефа. Геохронологическая (стратиграфическая) шкала представляет собой геологическую летопись, календарь развития Земли, где получила отражение последовательность событий, формирующих облик земной поверхности [Малиновский, 1990]. Относительный геологический возраст определяется по остаткам вымерших организмов, содержащимся в горных породах. Последовательная смена фаунистических и флористических комплексов, этапность исторического развития территории выявляются посредством палеонтологического, спорово-пыльцевого, диатомового и геолого-стратиграфического методов исследования, основанных на использовании данных о времени (возрасте пород и останков).

Решение проблем палеогеоморфологии – учения о погребенном рельефе, связано с практикой: формы погребенного рельефа служат важным поисковым критерием, что подтверждает значимость изучения категории времени в геолого-геоморфологических науках. Ю.П. Селиверстов [1990] подтверждает существование хронологической последовательности группировок рельефа определенной морфологии и генезиса и необходимость применения временных методов исследования.

В трудах геоморфологов [Сваричевская, 1984] актуальны исследования по определению возраста рельефа, времени проявления процессов рельефообразования. Региональный историко-геоморфологический анализ и синтез, суть которого состоит в реконструкции условий формирования, функционирования, развития процессов рельефообразования за историческое время, позволяет выявить этапы хозяйственного преобразования рельефа, оценить масштабы его трансформации на разных этапах природопользования и установить тренды развития геоморфологических процессов. Разработка месторождений полезных ископаемых открытым способом, проектирование городов, дорог, гидротехнических сооружений, путепроводов – приводят к трансформации рельефа. Практическое значение длительности формирования рельефа и отложений важно с позиции определения возраста

ландшафта: молодые природные комплексы легче трансформируются, что значимо для проведения рекультивации нарушенных территорий.

В учении о почвах установлено, что важнейшим фактором почвообразования, наряду с пространством, обнаруживается нематериальная категория времени как необходимое условие эволюции почв. В.В. Докучаев [1951, 1953] отмечал, что время – «множитель», на который должно умножаться действие каждого из четырех факторов почвообразования. На значение категории времени в почвенных исследованиях указывали многие ученые [Полынов, 1956; Александровский, 1979; Геннадиев, 1990; Иванов, Лисецкий, 1995; Лисецкий, 2000; Степанов, 2003; Голеусов, Лисецкий, 2005; Чендев, 2005; Чендев, Петин, 2006; Абакумов, 2011; и др.]. С появлением термина «характерное время» [Арманд, Таргульян, 1974] последовательность развития почвы получила название хронорядов и хроносерий [Геннадиев, 1978], направление, связанное с изучением свойства эргодичности почв, когда пространственные аналоги соответствуют хронологическим стадиям развития [Абакумов, 2011]. Время измеряется при помощи конкретного процесса [Малиновский, 1990], его продолжительности. Процессы сопровождаются событиями, что влечет за собой пространственно-временные изменения. Изучение гидротермических условий почвообразования позволило выявить инвариантные структуры, получившие объяснение с позиции процессов-событий, протекающих в почвах и обусловленных различиями во времени [Степанов, 2003]. Обоснованные в почвоведении, термины длительности и интенсивности процессов при определении возраста почв, установление унаследованных признаков при исследовании погребенных почв следует заимствовать для развития теории исторической геоэкологии.

Особые заслуги в изучении фактора времени в почвоведении принадлежат И.В. Иванову [1992], инициатору создания социально-исторического направления в почвенных исследованиях. Его называют «прародителем» идей исследования почв и культурных слоев археологических объектов голоцена, в связи с развитием археологического почвоведения и выделением его в самостоятельный раздел науки. Известных почвоведов: Геннадиева А.Н. [1990], Иванова И.В. [1992], Демкина В.А. [1997], Александровского А.Л. [2018] называют основателями реконструкций – палеопочвенных, палеогеографических, палеоэкологических и прогнозных направлений состояния почв и почвенно-экологического мониторинга, в основе которых лежит показатель относительных величин изменения почв во времени [Геннадиев и др., 2006].

В докторской диссертации Ю.Г. Чендева [2005] выполнен анализ предшествующих научных исследований и обосновано значение категории времени в естественной и антропогенной эволюции лесостепных почв. Учет временного фактора произведен при установлении разновозрастности компонентов почвенной структуры в зональных широколиственно-лесных и лугово-степных ландшафтах лесостепи; изучении стадий эволюции серых лесостепных почв; определении возраста антропогенных трансформаций почв. Особое внимание автор уделяет категории времени и вводит в научный оборот новые понятия: «хроноструктура почвенного покрова», «хроноподзоны естественного почвенного покрова» «хроноэволюционные ареалы», что имеет определенное значение в расширении понятийно-терминологического аппарата эволюционно-генетического почвоведения [Чендев, 2005]. Для исторической геоэкологии временные категории, употребляемые при исследовании отдельных компонентов географической среды, интерпретируются при создании аксиоматической основы в методологии исследований.

Достижения научных направлений в исследовании категории времени

Среди интегральных направлений физико-географической науки для рассмотрения востребованности категории времени мы выбрали палеогеографию и ландшафтоведение. Палеогеография изучает природные обстановки и их динамику, происходившие на по-



верхности Земли в прошлом, закономерности их изменения во времени. Из всех научных направлений именно для палеогеографии на первое место выходит время, взгляд в прошлое. Цель палеогеографии – изучить особенности развития геосистем различного ранга в геохронологической шкале времени. Палеогеографическая наука наряду с изучением природы проявляет интерес к структуре хозяйственной деятельности в определенные исторические срезы. Поэтому палеогеографический анализ и реконструкции геосистем находят применение в обосновываемом нами направлении исторической геоэкологии.

В трудах основоположников русской палеогеографической школы П.А. Кропоткина, А.А. Криштофовича, Л.С. Берга, В.А. Обручева, В.Н. Сукачева нашли отражение основные направления развития палеогеографии, изучающей природные условия прошлого для понимания нынешней природы Земли. Современный этап развития палеогеографии насчитывает восемь направлений и связан с именами А.А. Борисяка, Л.Г. Бондарева, М.Ф. Веклича, А.А. Величко, К.К. Маркова, Г.Ф. Мирчинка, Д.В. Наливкина, М.И. Нейштадт, Н.А. Хотинского и др. Среди исследований: палеоэкологическое, палеобиогеографическое, терригенно-минералогическое, палеогеохимическое, палеотектоника, палеовулканология, палеогеоморфология, эволюция оболочек планеты. При использовании данных направлений в исторической геоэкологии особое значение имеет выделение хронологических пластов, изучение ритмики природных процессов и явлений. Основателем научной школы в области исследования проблем ритмичности природных процессов был А.В. Шнитников [1968], его последователи – В.А. Зубаков, Е.В. Максимов, Н.В. Ловелиус – обосновали причинно-следственные связи во взаимодействии компонентов географической оболочки.

Среди положений, обоснованных К.К. Марковым [1960], в развитии природы аргументированы три главные закономерности: направленность, ритмичность, метакронность в изменениях природы. Особое методологическое значение для развития теории пространства-времени имеет теория метакронности, предусматривающая «разнонаправленный ход развития однородных явлений» [Марков и др., 1967]. Учение о смене природных условий в голоцене создал А.А. Величко. Ценность палеогеографических выводов для исторической геоэкологии подчеркивается тем, что «анализ функциональной диагностики геосистем» еще не обеспечивает «анализа геосистем во времени» [Величко, 1991]. Эволюционный анализ геосистем приводит к заключениям, что «...ландшафтные компоненты обладают свойствами унаследованности, инерционности, лабильности, транзитивности, полихронности. Полихронность – каждый компонент ландшафта обладает своим характерным временем цикла развития и, следовательно, временем реакции на воздействие, производимое на ландшафт в целом» [Величко, 1991]. Это самое важное свойство геосистем, особенно для оценки возраста трансформации ландшафта под влиянием человека.

Роль палеогеографии, ее ценность в историко-геоэкологических исследованиях в ретроспективном анализе изменения природной среды, изменении климатической обстановки и др., позволяет различать влияние природного и антропогенного факторов на формирование ландшафтно-экологических ситуаций. Оценка влияния человеческого общества на природную среду за историческое время предусматривает использование знаний палеоэкологии, исторической экологии, исторического природопользования [Бондарев, 1998]. Применение палеогеографического подхода к исследованию предполагает соблюдение важнейшего принципа – эволюционности, палеогеографического (геологическое прошлое и закономерности его изменения во времени); ритмического (периодичность процессов); историко-географического – антропогенного (изменение ландшафтов под влиянием деятельности человека).

В классическом ландшафтоведении, где выделяется более 15 фундаментальных и 10 прикладных направлений, категория времени используется для определения возраста компонентов и ландшафта в целом. В части направлений исследователи обращаются ко времени от момента зарождения изучаемых объектов и явлений. Например, В.В. Докучаев

[1951, 1953] обосновал сущность ландшафта, как естественно-исторического феномена; Л.С. Берг [1952], продолжая учение В.В. Докучаева о естественно-исторических зонах, выделил динамику ландшафта, его обратимые и необратимые смены; Л.Г. Раменский [1971] и Н.А. Солнцев [1961, 2001] при разработке морфологии ландшафта подтверждали, что ландшафт связан со временем как с объективной формой своего бытия и будущее науки видится в изучении пространственно-временной структуры ландшафтной оболочки. Из направлений ландшафтоведения самыми «временёмкими», где основу изучения наряду с пространством составляет время, следует обозначить: динамику ландшафта, антропогенное ландшафтоведение и историческое ландшафтоведение.

Функционально-динамическое направление в ландшафтоведении первоначально было связано с именами Л.С. Берга, В.Р. Вильямса, А.Д. Гожева, А.А. Григорьева, С.В. Калесника, Б.Б. Польшова, Н.А. Солнцева, В.Н. Сукачева и др. Конкретизация и уточнение предположений относительно временных изменений ландшафта происходит во второй половине XX в. при появлении ландшафтных стационаров. Результаты таких исследований подтверждают идеи саморазвития, обратимых и необратимых изменений, изучение ландшафта во времени. Одновременно становится актуальной тема динамики ландшафтов, включающая изменение положения объекта в пространстве и во времени в ходе обратимых и короткопериодических вариаций. Это направление, разрабатываемое представителями ландшафтных школ: М.А. Глазовской, К.Н. Дьяконовым, А.Г. Исаченко, А.А. Крауклисом, А.А. Макуниной, И.И. Мамай, В.А. Николаевым, В.Б. Сочавой и др., представлено изучением различных видов динамики: функционирования, развития, восстановительных сукцессий, антропогенной и др. Используемые методы эргодичности, изучения специальных свойств динамических систем приводят к исследованиям ритмичности, цикличности и периодичности природных процессов; выявляются динамические факторы, исследуются процессы самоорганизации геосистем.

Особая заслуга в разработке теории динамики ландшафта принадлежит И.И. Мамай [1992], посвятившей этой теме значительную часть жизни. Проблемы динамики ландшафтов с обоснованными ею понятиями «состояния» и «смены» природно-территориальных комплексов (ПТК), методика их выявления, обоснование эволюционно-динамических рядов ПТК способствовали обнаружению дополнительных факторов устойчивости, связанных с их динамикой. И.И. Мамай [2005] предложена генетико-динамическая классификация ПТК. По результатам исследований установлено, что ландшафт представляет собой упорядоченную пространственно-временную систему, находящуюся в постоянном развитии, а состояния геосистем имеют различия во времени.

Комплекс временных исследований геосистем провел Н.Л. Беручашвили, руководитель Тбилисской ландшафтной школы. По теме «Время в ландшафте» разработана концепция пространственно-временного анализа и синтеза ПТК. По Н.Л. Беручашвили [1990] возраст ландшафта, четвертое измерение, начинается сразу после завершения стадии его формирования. Были введены новые базовые понятия «о геомассах, структурно-функциональных частях ПТК и скорости их изменения во времени», о геогоризонтах, об исследовании временных координат (стексовое состояние) в природной среде [Четыре ..., 2006]. Анализ динамики стексов в различных ПТК позволил изучить временную структуру физико-географических фаций и синтез стексов во времени [Беручашвили, 1990]. Методики временного исследования ландшафта находят применение в природных комплексах, в природно-хозяйственных, нарушенных системах, что непременно должно быть использовано для оценки разновременных состояний ландшафтно-экологических ситуаций.

Ландшафт – это сочетание природных ресурсов, имеющих временные характеристики: время возникновения, функционирования, динамики. С использованием ресурсов природные компоненты испытывают антропогенную трансформацию. Сегодня отсутствуют исследования хронологических рамок антропогенизации ландшафтов [Вампилова, Евдокимова, 2021].



С природной динамикой сегодня «соперничает» антропогенная динамика геосистем, формирование последних связано с хозяйственным воздействием человека на природу. Джорджа Перкинса Марша называют первым исследователем в области антропогенного преобразования ландшафта, в его книге человек выступает как разрушитель природы. Большинство проблем, спровоцированных хозяйственной деятельностью, связано с невежественным отношением человека к законам природы [Marsh, 1864]. Это направление близко к современному антропогенному ландшафтоведению Ф.Н. Милькова [1973], только возникло оно значительно раньше. Необходимость изучения антропогенно-нарушенных ландшафтов в нашей стране была мотивирована произошедшей засухой в центральных районах Европейской России в 1891 г. Результаты исследований показали, что длительная хозяйственная деятельность привела к засухам южнорусских степей, которые стали более частыми [Докучаев, 1953]. Это наслоения негативных последствий стихийного вмешательства человека в природу, о которых пишет А.И. Воейков [1949]. Позже Л.Г. Раменским [1971] высказана идея о морфологии антропогенного ландшафта. Эта дефиниция встречается в работах исследователей, предпринимаются попытки обоснования природно-антропогенных и природно-техногенных комплексов.

Классификации измененных ландшафтов были в разное время предложены: В.П. Семеновым-Тянь-Шанским, В.Л. Котельниковым, Д.В. Богдановым, С.В. Калесником, К.Г. Раманом, В.С. Жекулиным, А.Г. Исаченко, В.С. Преображенским и др. Циклические колебания природы разной продолжительности оказали воздействие на ландшафт, изучение такого воздействия на компоненты проводили Л.С. Берг, А.В. Шнитников, Л.Н. Гумилев, Е.В. Максимов, Е.П. Борисенков, В.М. Пасецкий и др.

Ф.Н. Мильковым [1973] в 70-х годах XX в. создана школа антропогенного ландшафтоведения, изложены подходы к классификации измененных ландшафтов, где основу составляет генезис антропогенных нарушений геосистем. Категория времени не использована в предложенной им классификации: нет учета возраста нарушенного ландшафта, оценки длительности и давности хозяйственного воздействия на ландшафт. Отсутствует учет времени от начала преобразования геокомплексов. По нашему мнению, классификация антропогенно-измененных комплексов должна включать хронологический аспект процесса антропогенизации, что подтверждается публикациями [Жекулин, 1982; Иванов, 2014]. Фактор времени при создании классификации антропогенно-нарушенных комплексов должен учитываться при оценке их современного состояния.

Наряду с рассмотренными направлениями динамики ландшафта и антропогенным ландшафтоведением, более близким к исторической геоэкологии оказывается историческое ландшафтоведение – междисциплинарное направление, объектами исследования которого служат ландшафты, измененные в процессе хозяйственного использования. Предмет исследования – все стадии преобразования ландшафта, следы антропогенного воздействия и прогноз возможных изменений в будущем [Жекулин, 1982]. Первоначально проводились работы по изучению отдельных компонентов ландшафта. Примером является монография М.А. Цветкова [1957] по истории изменения лесных ресурсов. Оценены во времени масштабы истребления лесов Европейской России в XVII–XX вв. Другой пример – монография С.В. Кирикова [1960], образец историко-географического изучения животного мира. Под влиянием хозяйственной деятельности происходили неоднократные смены лесов «диких» «лесами пашенными», что послужило причиной трансформации численности животных. В качестве причины автор указывает разные события: войны, эпидемии – приводившие к запустению земель. Исследование А.Т. Харитоньчева [1960] служит примером комплексного историко-географического изучения региона. Региональные воздействия человека на ландшафты Нижегородской области и специфические особенности преобразования природы показаны за последние 300–400 лет. Это пример историко-ландшафтного изучения конкретной территории, где антропогенные изменения природных комплексов отражены во временном аспекте.

В настоящее время историческая география ландшафтов представлена двумя направлениями: естественнонаучным (В.А. Боков, Л.Б. Вампилова, А.Б. Глебова, Т.Е. Исаченко, Ф.Н. Лисецкий, О.Н. Трапезникова и др.) и гуманитарным (Г.А. Исаченко, В.Н. Калуцков, Е.Ю. Колбовский, А.А. Соколова и др.). Сторонники второго направления используют методы гуманитарных наук, топонимические и диалектологические источники, занимаются пространственно-временным моделированием «образных картин географической реальности». В соответствии с двумя указанными направлениями также различаются источники и методы исторической географии ландшафтов, подробно рассмотренные в монографии Л.Б. Вампиловой [2008], которые разделены на две основные группы: исторические и естественнонаучные. В историческом ландшафтоведении широкое применение получили методы палеогеографии, палеонтологии и археологии, позволяющие комплексно изучать историю освоения и преобразования ландшафтов.

Синтез вышеперечисленных методов позволяет сформировать новый комплекс методов исследования – создание историко-геоэкологических моделей ландшафтов с учетом времени освоения, историко-геоэкологической периодизации, схем ландшафтной дифференциации территории на разные временные срезы – историко-геоэкологического районирования, где каждому временному срезу соответствует модель территориальной организации общества, и соответственно может быть показана степень освоенности и измененности ландшафтов.

Заключение

Развитие геоэкологии в нашей стране относится к 70-м гг. XX в., период формирования направления отличается быстрыми темпами развития. Заинтересованность большого числа специалистов в ее развитии подтверждается тем, что геоэкология сегодня представлена 23 направлениями. Рассмотренный в статье перечень направлений можно дополнить экологической географией, исторической географией, социальной экологией, ландшафтной экологией – с уточнением, что все направления имеют общую тенденцию к изучению пространственно-временных отношений в коэволюции природы и общества. Все сказанное имеет отношение к одной из линий исследования, называемой исторической геоэкологией.

А.И. Жиров определил историко-геоэкологическое направление на второе место по значимости, что подтверждает актуальность проблемы коадаптации ландшафта и человека за историческое время. Реальность появления этого направления обоснована трудами Л.И. Мечникова, Л.Н. Гумилева, Ю.Д. Дмитриевского, Д.Л. Арманда, В.А. Зубакова, В.С. Жекулина, А.Г. Исаченко, Ю.Г. Саушкина, А.И. Жирова и других. В трудах ученых содержатся теоретические и прикладные аспекты историко-геоэкологических исследований, обоснованные термины и понятия, с успехом используемые в исторической геоэкологии.

Историческая геоэкология – междисциплинарное научное направление, изучающее взаимодействие природных, населенческих и хозяйственных систем за историческое время, объединяемых в пространственно-временные территориальные системы. Предусматривается оптимизация хозяйственной деятельности, регламентация ресурсопотребления, моделирование последствий антропогенных воздействий и управление природопользованием. Это наука, изучающая специфику геоэкологических проблем за историческое время, занимающаяся их инвентаризацией и разработкой проектных решений по ликвидации существующих геоэкологических нарушений природной среды в наши дни.

В исторической геоэкологии необходимо проблему времени обозначить предметом специального исследования: разработать принципы историко-геоэкологической периодизации, относящиеся к сущности времени и его общим основным свойствам.

Объектом исследования исторической геоэкологии служат пространственно-временные территориальные системы взаимоотношений общества и природы за историче-



ское время. Предмет исторической геоэкологии – анализ и учет опыта предшественников прошлого в области экологических отношений общества и окружающей среды; развитие и расширение исторических аспектов геоэкологических исследований с целью прогноза геоэкологической обстановки в будущем. Для развития этого направления крайне важна стыковка исторической географии и геоэкологии. Историческая география, а именно ее природное направление (историческое ландшафтоведение) выявляет, изучает и констатирует возникающие за историю природопользования региона геоэкологические проблемы, но не занимается их решением. Разработкой рекомендаций к устранению геоэкологических проблем призвана заниматься историческая геоэкология. Роль времени в исследовании историко-геоэкологических изменений взаимодействия общества и природы проявляется как время в ландшафте, в этносе, в природопользовании – разные временные состояния: унаследованность, инерционность, транзитивность, полихронность, гетерохронность.

В процессе анализа исторического природопользования создается историко-геоэкологическая периодизация, согласно которой каждый хроносрез характеризуется использованием ландшафта, в связи со специфическим характером природопользования, которое формируется в определенном сообществе людей. Интенсивность освоения отображает способность человека влиять на изменения ландшафта в зависимости от характера природопользования и характеризуется уровнем производительных сил и степенью вовлеченности ресурсов ландшафта в хозяйственный оборот. От длительности, давности и интенсивности освоения напрямую зависит степень нарушенности ландшафта. Указанные параметры, связанные с категорией времени, предлагается рассматривать как индикатор степени антропоизации ландшафтов.

Формирующееся направление исторической геоэкологии опирается на понятийный аппарат, используемый в отечественной географии. В силу относительной молодости и недостаточности развития терминологический аппарат науки и аксиоматические основы исторической геоэкологии находятся в стадии формирования.

Список источников

- Бондарев Л.Г. 1998. Палеоэкология и историческая экология. М., Изд-во МГУ, 108 с.
Исаченко А.Г. 1991. Ландшафтоведение и физико-географическое районирование. М., Высшая школа, 365 с.
Казаков Л.К. 2008. Ландшафтоведение с основами ландшафтного планирования. М.: Издательский центр «Академия», 336 с.
Мамай И.И. 2005. Динамика и функционирование ландшафтов. М., Изд-во Московского университета, 138 с.
Преображенский В.С. 1982. Охрана ландшафтов. Толковый словарь. М., Прогресс, 270 с.

Список литературы

- Абакумов Е.В. 2011. Хронология онтогенеза первичных почв: обзор проблемы. Вестник Санкт-Петербургского Университета. Серия 3. Биология, 3: 114–119.
Александровский А.А. 1979. Методические подходы при изучении истории почв. В кн.: Общие методы изучения истории современных экосистем. М., Наука: 142–161.
Александровский А.Л. 2018. Культурный слой: генезис, география, систематика, палеоэкологическое значение. В кн.: Археология и естественные науки в изучении культурного слоя объектов археологического наследия. Материалы междисциплинарной научной конференции, 14–15 ноября 2018 года, Москва, Товарищество научных изданий КМК: 7–16.
Арманд Д.Л., Таргульян В.О. 1974. Принцип дополнительности и характерное время в географии. Системные исследования, 235: 146–153.
Алпатьев А.М. 1977. Принцип геоэквивалентов – возможная основа поддержания нормальных динамических равновесий в природе. Развитие и преобразование природной среды, 1: 3–9.
Берг Л.С. 1952. Географические зоны Советского Союза. М., Государственное Издательство географической литературы, 510 с.

- Беручашвили Н.Л. 1990. Геофизика ландшафта. М., Высшая школа, 287 с.
- Вампилова Л.Б. 2008. Региональный историко-географический анализ. Система методов исследований в исторической географии. СПб., ЛГУ им. А.С. Пушкина, 148 с.
- Вампилова Л.Б., Евдокимова Т.О. 2021. Ретроспективный анализ смены систем природопользования в ландшафтах Карелии. CARELICA, 2 (26): 1–27. DOI: 10.15393/j14.art.2021.161.
- Величко А.А. 1991. Полихронность геосистем и прогноз эволюции природы Земли. Новые идеи в палеогеографии. В кн.: Новое мышление в географии. М., Наука: 44–55.
- Воейков А.И. 1949. Воздействие человека на природу. М., Государственное издательство географической литературы, 256 с.
- Геннадиев А.Н. 1978. Изучение почвообразования методом хронорядов. Почвоведение, 12: 33–43.
- Геннадиев А.Н. 1990. Почвы и время: модели развития. М., Издательство МГУ, 227 с.
- Геннадиев А.Н., Чернянский С.С., Олсон К.Р. 2006. Количественная оценка фаз антропогенной эрозии курганных пахотных почв лесостепи. В кн.: Проблемы древнего земледелия и эволюции почв в лесных и степных ландшафтах Европы. Материалы Международного научного семинара, 19–21 октября 2006, Белгород, Белгородский государственный университет: 13–27.
- Голеусов П.В., Лисецкий Ф.Н. 2005. Воспроизводство почв в антропогенных ландшафтах лесостепи. Белгород, Издательство Белгородского государственного университета, 232 с.
- Демкин В.А. 1997. Палеопочвоведение и археология: интеграция в изучении истории природы и общества. Пущино, Пущинский Научный центр РАН, 213 с.
- Докучаев В.В. 1953. Наши степи прежде и теперь. М., Государственное издательство Сельскохозяйственной литературы, 150 с.
- Докучаев В.В. 1951. Место и роль современного почвоведения в науке и жизни. Варшава, Губ. тип., 424 с.
- Жекулин В.С. 1982. Историческая география: предмет и методы. Л., Наука, 223 с.
- Иванов И.В. 1992. Эволюция почв степной зоны в голоцене. М., Наука, 144 с.
- Иванов И.В., Лисецкий Ф.Н. 1995. Сверхвековая периодичность солнечной активности и почвообразование. Биофизика, 40 (4): 905–910.
- Иванов Е.А. 2014. Процесс антропогенизации ландшафтов: подходы, диагностирование, моделирование. Журнал научных публикаций аспирантов и докторантов, 2 (92): 321–327.
- Исаченко А.Г. 2008. Ландшафтная структура Земли, расселение, природопользование. СПб., Издательство Санкт-Петербургского Университета, 320 с.
- Кириков С.В. 1960. Изменение животного мира в природных зонах СССР (XIII–XIX вв.): Лесная зона и лесотундра. М., Изд-во АН СССР, 157 с.
- Лисецкий Ф.Н. 2000. Пространственно-временная организация агроландшафтов. Белгород, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, 304 с.
- Малиновский Ю.М. 1990. Недрa – летопись биосферы. М., Недрa, 160 с.
- Мамай И.И. 1992. Динамика ландшафтов: Методика изучения. М., Изд-во МГУ, 167 с.
- Марков К.К. 1960. Палеогеография. М., Изд-во Московского университета, 268 с.
- Марков К.К., Величко А.А. 1967. Четвертичный период. М., Недрa, 372 с.
- Мильков Ф.Н. 1973. Человек и ландшафты: очерки антропогенного ландшафтоведения. М., Мысль, 224 с.
- Полынов Б.Б. 1956. Время как фактор почвообразования. М., Изд-во АН СССР, 751 с.
- Преображенский В.С., Александрова Т.Д., Куприянова Т.П. 1988. Основы ландшафтного анализа. М., Изд-во Наука, 191 с.
- Пузаченко Ю.Г. 1986. Пространственно-временная иерархия геосистем с позиции теории колебаний. Вопросы географии, 213: 96–111.
- Раменский Л.Г. 1971. Проблемы и методы изучения растительного покрова. Л., Наука, 334 с.
- Сваричевская З.А. 1984. Эволюция рельефа и время (геоморфологическая хронология). Л., Изд-во ЛГУ, 240 с.
- Селиверстов Ю.П. 1990. Пространственно-временная организация геоморфологических систем. Л., Изд-во Ленинградского Университета, 291 с.
- Солнцев Н.А. 1961. Значение цикличности и ритмичности экзогенных ландшафтообразующих процессов. Вестник Московского университета, серия географическая, 4: 3–7.



- Солнцев Н.А. 2001. Учение о ландшафте (избранные труды). М., Изд-во Московского университета, 384 с.
- Степанов И.Н. 2003. Пространство и время в науке о почвах. Недокучаевское почвоведение. М., Наука, 184 с.
- Харитоньчев А.Т. 1960. Роль хозяйственной деятельности человека в изменении ландшафтов Горьковского правобережья. Горький, ГГПИ им. А.М. Горького, 150 с.
- Цветков М.А. 1957. Изменение лесистости Европейской России с конца XVII столетия по 1914 год. М., Изд-во АН СССР, 214 с.
- Чендев Ю.Г. 2005. Естественная и антропогенная эволюция лесостепных почв Среднерусской возвышенности в голоцене. Автореф. дис. ... док. геогр. наук. М., 47 с.
- Чендев Ю.Г., Петин А.Н. 2006. Естественные изменения и техногенная трансформация компонентов окружающей среды староосвоенных регионов (на примере Белгородской области). М., Изд-во Московского университета, 124 с.
- Четыре измерения ландшафта. Двадцать лет спустя. 2006. Под ред. Г.А. Исаченко, А.В. Кушлин, Н.К. Элизбарашвили. М., «Алекс», 168 с.
- Шнитников А.В. 1968. Внутривековая изменчивость компонентов общей увлажненности. Л., Наука, 246 с.
- Marsh G.P. 1864. Man and Nature. New-York, C. Scribner, 560 p.
- Vampilova L.B. 2020. Geocological analysis of temporary changes in the special composition of Karelia forest. International Multidisciplinary Scientific GeoConference, 20 (3.1): 679–686. DOI:10.5593/sgem2020/3.1/s14.087.

References

- Abakumov E.V. 2011. Chronology of Primary Soil Ontogenesis: A Problem Review. Vestnik of Saint-Petersburg University. Series 3. Biology, 3: 114–119 (in Russian).
- Alexandrovsky A.A. 1979. Metodicheskiye podkhody pri izuchenii istorii pochv [Methodological Approaches in the Study of Soil History]. In: Obshchiye metody izucheniya istorii sovremennykh ekosistem [General Methods of Studying the History of Modern Ecosystems]. Moscow, Publ. Nauka: 142–161.
- Alexandrovsky A.L. 2018. Kulturnyy sloy: genesis, geografiya, sistematika, paleoekologicheskoye znachenie [Cultural Layer: Genesis, Geography, Systematics, Paleoecological Significance]. In: Arkheologiya i estestvennyye nauki v izuchenii kulturnogo sloya obyektov arkheologicheskogo naslediya [Archaeology and Natural Sciences in the Study of the Cultural Layer of Archaeological Heritage Sites]. Materials of the interdisciplinary scientific conference, 14–15 November 2018, Moscow, Publ. Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK: 7–16.
- Armand D.L., Targulyan V.O. 1974. Printsip dopolnitelnosti i kharakternoye vremya v geografii [The Principle of Complementarity and Characteristic Time in Geography]. Sistemnyye issledovaniya, 235: 146–153.
- Alpatiev A.M. 1977. Printsip geoekvivalentov – vozmozhnaya osnova podderzhaniya normalnykh dinamicheskikh ravnovesiy v prirode [The Principle of Geoequivalents is a Possible Basis for Maintaining Normal Dynamic Equilibria in Nature]. Razvitiye i preobrazovaniye prirodnoy sredy, 1: 3–9.
- Berg L.S. 1952. Geograficheskiye zony Sovetskogo Soyuza [Geographical Zones of the Soviet Union]. Moscow, Publ. Gosudarstvennoye Izdatelstvo geograficheskoy literatury, 510 p.
- Beruchashvili N.L. 1990. Geofizika landshafta [Geophysics of Landscape]. Moscow, Publ. Vysshaya shkola, 287 p.
- Vampilova L.B. 2008. Regionalnyy istoriko-geograficheskiy analiz. Sistema metodov issledovaniy v istoricheskoy geografii [Regional Historical and Geographical Analysis. The System of Research Methods in Historical Geography]. St. Petersburg, LGU im. A.S.Pushkina, 148 p.
- Vampilova L.B., Evdokimova T.O. 2021. Retrospective Analysis of the Change in Environmental Management Systems in the Landscapes of Karelia. CARELICA, 2 (26): 1–27 (in Russian). DOI: 10.15393/j14.art.2021.161.
- Velichko A.A. 1991. Polikhronnost geosistem i prognoz evolyutsii prirody Zemli. Novyye idei v paleogeografii [Polychronicity of Geosystems and Prediction of the Evolution of the Earth's Nature]. In: Novoye myshleniye v geografii [New Ideas in Paleogeography]. Moscow, Publ. Nauka: 44–55.



- Voeykov A.I. 1949. *Vozdeystviye cheloveka na prirodu* [Human Impact on Nature]. Moscow, Gosudarstvennoye izdatelstvo geograficheskoy literatury, 256 p.
- Gennadiev A.N. 1978. *Izucheniye pochvoobrazovaniya metodom khronoryadov* [The Study of Soil Formation by the Method of Chronorads]. *Pochvovedeniye*, 12: 33–43.
- Gennadiev A.N. 1990. *Pochvy i vremya: modeli razvitiya* [Soils and Time: Models of Development]. Moscow, Publ. MSU, 227 p.
- Gennadiev A.N., Chernyansky S.S., Olson K.R. 2006. *Kolichestvennaya otsenka faz antropogennoy erozii kurgannykh pakhotnykh pochv lesostepi* [Quantitative Assessment of the Phases of Anthropogenic Erosion of Kurgan Arable Soils of the Forest-Steppe]. In: *Problemy drevnego zemledeliya i evolyutsii pochv v lesnykh i stepnykh landshaftakh Evropy* [Problems of Ancient Agriculture and Soil Evolution in Forest and Steppe Landscapes of Europe]. Materials of the International Scientific, 19–21 October 2006, Belgorod, Publ. Belgorodskiy gosudarstvennyy universitet: 13–27.
- Goleusov P.V., Lisetsky F.N. 2005. *Vosproizvodstvo pochv v antropogennykh landshaftakh lesostepi* [Reproduction of Soils in Anthropogenic Landscapes of Forest-Steppe]. Belgorod, Publ. Belgorod State University, 232 p.
- Demkin V.A. 1997. *Paleopedology and Archaeology: Integration for Study of History of Nature and Society*. Pushchino, Publ. Pushchinskiy Nauchnyy tsentr RAN, 213 p. (in Russian).
- Dokuchaev V.V. 1953. *Nashi stepi prezhde i teper* [Our Steppes Before and Now]. Moscow, Publ. State Agricultural Literature, 150 p.
- Dokuchaev V.V. 1951. *Mesto i rol sovremennogo pochvovedeniya v nauke i zhizni* [The Place and Role of Modern Soil Science in Science and Life]. Varshava, Publ. Gub. tip., 424 p.
- Zhekulin V.S. 1982. *Istoricheskaya geografiya: predmet i metody* [Historical Geography: Subject and Methods]. Leningrad, Publ. Nauka, 223 p.
- Ivanov I.V. 1992. *Evolyutsiya pochv stepnoy zony v golotsene* [Evolution of Steppe Zone Soils in the Holocene]. Moscow, Publ. Nauka, 144 p.
- Ivanov A.V., Lisetsky F.N. 1995. *Ultracentennial Periodicity of Solar Activity and Soil Formation*. *Biophysics*, 40 (4): 903–908 (in Russian).
- Ivanov E.A. 2014. *Protsess antropogenizatsii landshaftov: podkhody, diagnostirovaniye, modelirovaniye* [The Process of Anthropogenization of Landscapes: Approaches, Diagnostics, Modeling]. *Zhurnal nauchnykh publikatsiy aspirantov i doktorantov*, 2 (92): 321–327.
- Isachenko A.G. 2008. *Landshaftnaya struktura Zemli, rasseleniye, prirodopolzovaniye* [Landscape Structure of the Earth, Settlement, Nature Management]. St. Petersburg, Publ. St. Petersburg University, 320 p.
- Kirikov S.V. 1960. *Izmeneniye zhiivotnogo mira v prirodnykh zonakh SSSR (XIII–XIX vv.): Lesnaya zona i lesotundra* [The Change of the Animal World in the Natural Zones of the USSR (XIII–XIX Centuries): Forest Zone and Forest Tundra]. Moscow, Publ. USSR Academy of Sciences, 157 p.
- Lisetsky F.N. 2000. *Spatio-Temporal Agrolandscape Organization*. Belgorod, Publ. Belgorod National Research University, 304 p. (in Russian).
- Malinovsky Yu.M. 1990. *Nedra – letopis biosfery* [Nedra – Chronicle of the Biosphere]. Moscow, Publ. Nedra, 160 p.
- Mamai I.I. 1992. *Dinamika landshaftov: Metodika izucheniya* [Dynamics of Landscapes: Methodology of Study]. Moscow, Publ. Moskovskiy gosudarstvennyy universitet, 167 p.
- Markov K.K. 1960. *Paleogeografiya* [Paleogeography]. Moscow, Publ. Moskovskiy universitet, 268 p.
- Markov K.K., Velichko A.A. 1967. *Chetvertichnyy period* [Quaternary Period]. Moscow, Publ. Nedra, 372 p.
- Milkov F.N. 1973. *Chelovek i landshafty: ocherki antropogennoy landshaftovedeniya* [Man and Landscapes: Essays of Anthropogenic Landscape Studies]. Moscow, Publ. Mysl, 224 p.
- Polynov B.B. 1956. *Vremya kak faktor pochvoobrazovaniya* [Time as a Factor of Soil Formation]. Moscow, Publ. USSR Academy of Sciences, 751 p.
- Preobrazhensky V.S., Alexandrova T.D., Kupriyanova T.P. 1988. *Osnovy landshaftnogo analiza* [Fundamentals of Landscape Analysis]. Moscow, Publ. Nauka, 191 p.
- Puzachenko Yu.G. 1986. *Prostranstvenno-vremennaya iyerarkhiya geosistem s pozitsii teorii kolebaniy* [Spatial-Temporal Hierarchy of Geosystems from the Perspective of the Theory of Oscillations]. *Voprosy geografii*, 213: 96–111.



- Ramensky L.G. 1971. Problemy i metody izucheniya rastitelnogo pokrova [Problems and Methods of Studying Vegetation Cover]. Leningrad, Publ. Nauka, 334 p.
- Svarichevskaya Z.A. 1984. Evolyutsiya relyefa i vremya: (Geomorfologicheskaya khronologiya) [The Evolution of Relief and Time: (Geomorphology Chronology)]. Leningrad, Publ. LSU, 240 p.
- Seliverstov Yu.P. 1990. Prostranstvenno-vremennaya organizatsiya geomorfologicheskikh sistem [Spatial-Temporal Organization of Geomorphological Systems]. Leningrad, Publ. Leningradskiy universitet, 291 p.
- Solntsev N.A. 1961. Znachenie tsiklichnosti i ritmichnosti ekzogennykh landshaftoobrazuyushchikh protsessov [The Importance of Cyclicity and Rhythmicity of Exogenous Landscape-Forming Processes]. Vestnik Moskovskogo universiteta, seriya geograficheskaya, 4: 3–7.
- Solntsev N.A. 2001. Ucheniye o landshafte (izbrannyye trudy) [The Doctrine of the Landscape (Selected Works)]. Moscow, Publ. Moskovskiy universitet, 384 p.
- Stepanov I.N. 2003. Prostranstvo i vremya v nauke o pochvakh. Nedokuchayevskoye pochvovedeniye [Space and Time in Soil Science. Non-Dokuchaev Soil Science]. Moscow, Publ. Nauka, 184 p.
- Kharitonychev A.T. 1960. Rol khozyaystvennoy deyatelnosti cheloveka v izmenenii landshaftov Gorkovskogo pravoberezhia [The Role of Human Economic Activity in Changing the Landscapes of the Gorky Right Bank]. Gorkiy, Publ. GGPI im. A.M. Gorkogo 150 p.
- Tsvetkov M.A. 1957. Izmeneniye lesistosti Evropeyskoy Rossii s kontsa XVII stoletiya po 1914 god [The Change in the Forest Cover of European Russia from the End of the XVII Century to 1914]. Moscow, Publ. USSR Academy of Sciences, 214 p.
- Chendev Yu.G. 2005. Estestvennaya i antropogennaya evolyutsiya lesostepnykh pochv Srednerusskoy vozvysheynosti v golotsene [Natural and Anthropogenic Evolution of Forest-Steppe Soils of the Central Russian Upland in the Holocene]. Abstract. dis. ... doc. geogr. sciences. Moscow, 47 p.
- Chendev Yu.G., Petin A.N. 2006. Estestvennyye izmeneniya i tekhnogennaya transformatsiya komponentov okruzhayushchey sredy staroosvoyennykh regionov (na primere Belgorodskoy oblasti) [Natural Changes and Technogenic Transformation of Environmental Components of the Old-Developed Regions (by the Example of the Belgorod Region)]. Moscow, Publ. Moskovskiy universitet, 124 p.
- Chetyre izmereniya landshafta. Dvadsat let spustya [Four Dimensions of the Landscape. Twenty Years Later]. 2006. Ed. by G.A. Isachenko, A.V. Kushlin, N.K. Elizbarashvili. Moscow, Publ. Alex, 168 p.
- Shnitnikov A.V. 1968. Vnutrивekovaya izmenchivost komponentov obshchey uvlazhnennosti [Intrasecular Variability of the Components of Total Moisture]. Leningrad, Publ. Nauka, 246 p.
- Marsh G.P. 1864. Man and Nature. New-York, C. Scribner, 560 p.
- Vampilova L.B. 2020. Geocological analysis of temporary changes in the special composition of Karelia forest. International Multidisciplinary Scientific GeoConference, 20 (3.1): 679–686. DOI:10.5593/sgem2020/3.1/s14.087.

*Поступила в редакцию 16.02.2022;
поступила после рецензирования 15.03.2022;
принята к публикации 27.04.2022*

*Received February 16, 2022;
Revised March 15, 2022;
Accepted April 27, 2022*

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.
Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Вампилова Людмила Борисовна, кандидат географических наук, доцент кафедры водно-технических изысканий факультета гидрологии и океанологии, Российский государственный гидрометеорологический университет, г. Санкт-Петербург, Россия

Lyudmila B. Vampilova, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor of the Department of Water Engineering Surveys of the Faculty of Hydrology and Oceanology, Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia



УДК 502.7:581.526 (477.62)
DOI 10.52575/2712-7443-2022-46-2-267-283

Оценка экологического каркаса Донецкого региона на основе первичной инвентаризации его природных и квазиприродных территорий

Блакберн А.А.

Государственное учреждение «Донецкий ботанический сад»
Донецкая Народная Республика, 83059, г. Донецк, пр-т Ильича, 110
E-mail: blackburn.fox@mail.ru

Аннотация. С целью оценки экологического каркаса Донецкого региона была проведена первичная инвентаризация его природных и квазиприродных участков: условно степных (*grassland habitat*), лесопокрытых и участков с болотно-луговой растительностью. Оценивалось восемь административно-территориальных подразделений (АТП) региона – пять районов: Шахтерский, Амвросиевский, Старобешевский, Тельмановский, Новоазовский и три города: Донецк, Макеевка и Мариуполь. По всем трем типам участков были получены следующие количественные характеристики: их количество, общая и средняя площади, относительная площадь в АТП и показатели фрагментации. Был проведен сравнительный анализ исследованных АТП по данным характеристикам находящихся в них природных и квазиприродных участков, а также сравнительный их анализ по диапазонам занимаемых природными участками площадей, пространственному их распределению в виде дифференциации всего полигона исследования на квадраты (7×7 км²), различающихся по плотности концентрации площадей рассматриваемых типов природных территорий. Полученные результаты показывают, что исследованная часть Донецкого региона имеет в своем составе центральное мегадро регионального уровня и экологические коридоры регионального и субрегионального уровней проектируемой экологической сети.

Ключевые слова: Донецкий регион, степные, лесопокрытые и болотно-луговые участки, административно-территориальное подразделение, экологический каркас, экологическая сеть, инвентаризация природных территорий

Для цитирования: Блакберн А.А. 2022. Оценка экологического каркаса Донецкого региона на основе первичной инвентаризации его природных и квазиприродных территорий. Региональные геосистемы, 46(2): 267–283. DOI 10.52575/2712-7443-2022-46-2-267-283

The Assessment of Ecological Framework of the Donetsk Region Based on Primary Inventory of Its Natural and Quasi-Natural Territories

Andrey A. Blackburn

State Institution "Donetsk Botanical Garden"
Donetsk People's Republic, 83059, Donetsk, Ilyich Avenue, 110
E-mail: blackburn.fox@mail.ru

Abstract. In order to optimize the ecological framework of the Donetsk region, a primary inventory of its natural and quasi-natural areas was carried out, representing three main types of its natural vegetation: conditionally steppe (*grassland habitats*), forested areas and those with marsh-meadow vegetation. The research area included eight administrative-territorial divisions (ATDs) of the region: five administrative districts – Shakhtersk, Amvrosievka, Starobeshevo, Telmanovo, Novoazovsk districts and three cities – Donetsk, Makeyevka and Mariupol. Quantitative characteristics of natural and quasi-natural sites in each



ATD were assessed: their number, total and average areas, relative area within the ATD. A comparative analysis of the studied ATDs focused on the range of sites occupied by natural areas and the relative share of steppe and forested areas. The analysis showed that according to the areas of both steppe and forested areas, the Shakhtersk district is the leading one, followed by the Amvrosievsky district. The proportion of steppe areas in the Telmanovo and Starobeshevo regions is relatively large. In the entire southern half of the research site forests are practically absent, forested areas being represented only by artificial forest belts along roads and fields. A comparative geographical analysis of the studied site was also carried out according to the differentiation of squares ($7 \times 7 \text{ km}^2$), differing by concentration density of the above-mentioned types of natural areas. The results obtained show that the studied part of the Donetsk region includes the central mega-core of the regional level – the Shakhtersk district and the northern part of the Amvrosievka district – the main watershed of the region, and the ecological corridors of the regional and subregional levels, namely the Kalmius and Gruzsky Elanchik rivers of the projected ecological network.

Keywords: Donetsk region, steppe, forested and marsh-meadow areas, administrative-territorial subdivision, ecological framework, ecological network, inventory of natural areas

For citation: Blackburn A.A. 2022. The Assessment of Ecological Framework of the Donetsk Region Based on Primary Inventory of Its Natural and Quasi-Natural Territories. *Regional Geosystems*, 46(2): 267–283. DOI 10.52575/2712-7443-2022-46-2-267-283

Введение

Современная природоохранная парадигма предполагает сохранение всего биологического и ландшафтного разнообразия Земли, а также всех ее регионов и стран с целью обеспечения устойчивого сосуществования человеческого общества и окружающей его природной среды. На десятой встрече сторон-участников Международной Конвенции по биологическому разнообразию (в 2010 г.) было провозглашено, что к 2020 г. не менее 17 % площади суши и 10 % прибрежных морских вод планеты должны быть представлены природными и близкими к ним экосистемами. Стратегическая цель Конвенции – обеспечить к 2050 г. представленность не менее 50 % суши Земли такими экосистемами⁶. Основная роль в реализации этой стратегии принадлежит системе особо охраняемых природных территорий (ООПТ). Однако в силу ряда причин, связанных с различиями в природном и социально-экономическом состоянии разных стран и регионов мира, полагаться только на функционирование системы ООПТ вряд ли возможно. Во многих странах и регионах нашей планеты имеет место существенный дефицит территорий и объектов, подходящих для включения их в состав ООПТ. Выход здесь возможен только в более широком охвате природоохранной политикой участков суши и водной поверхности с той или иной степенью антропогенной трансформации своей структуры и функциональных процессов, то есть полуприродных, или квазиприродных эко(гео)систем⁷ [Стишов, Дадли, 2018].

Донецкий регион, являясь одним из самых густонаселенных и урбанизированных регионов мира, как раз может быть примером территории с острым дефицитом участков с нетронутой или малозатронутой человеческой деятельностью природой. Несмотря на довольно густую сеть ООПТ в бывшей Донецкой области, на сегодняшний день ими охвачено только 3,47 % территории региона (в границах ДНР) [Стрябкова и др., 2021]. Причиной этому является высокий уровень антропогенной трансформации его ландшафтов и, как следствие, крайне высокая степень фрагментации его природных и квазиприродных территорий.

⁶ Explore the Worlds Protected Areas. Electronic resource. URL: <http://protectedplanet.net> (date of the application: 20.09.2021).

⁷ Черных Д.В. 2014. Особо охраняемые природные территории и основы территориальной охраны природы. Барнаул, Изд-во Алт. ун-та, 227 с.

Поэтому единственным, на наш взгляд, способом реализации природоохранной стратегии в Донецком регионе является применение экосетевого подхода в виде охвата природоохранными мероприятиями по возможности всех сохранившихся природных и квазиприродных участков территории региона с целью сохранения его ландшафтного и биологического разнообразия и оптимизации средоподдерживающих функций его структурных компонентов.

Экосетевой подход широко используется в оценке биологического и ландшафтного разнообразия территорий различных уровней пространственной организации. Начавшись с континентального и субконтинентального уровня [Bennett, 1991; Van Opstal, 2000; Bennett, Wit, 2001; Соболев, 2009], экосетевой подход распространился затем на региональный [Брылев, Рябинина, 2000; Паженков и др., 2005; Елизаров, 2008; Панченко, Дюкарев, 2010; Михно и др., 2018] и субрегиональный [Травлеев и др., 2005; Блэкберн, Синельщиков, 2006; Сидоренко, Юнина, 2018] уровни, а затем на местные и локальные уровни территориального подразделения [Блэкберн, 2013; Калманова, 2016].

Помимо количественной оценки состава природных и квазиприродных участков на территории Донецкого региона, для полного выяснения картины ландшафтного и биологического его разнообразия необходима также оценка взаимного пространственного их распределения относительно друг друга, а также географический анализ этого распределения. Кроме того, в условиях сложной мозаичной структуры природных и квазиприродных комплексов, обусловленной азональными особенностями своей ландшафтной структуры – относительно высокой лесистостью из-за влияния орографических и микроклиматических факторов холмисто-овражно-балочной структуры Донецкого кряжа с одной стороны, и также относительно высокой долей искусственных лесов и лесопосадок – с другой, представляет значительный интерес оценка характера взаимного пространственного влияния двух основных типов природных сообществ в регионе – степной и лесной растительности.

Вопросам взаимодействия степной и лесной растительности, или более широко – степей и лесов как биомных комплексов, посвящено немало научных исследований [Авдеев, 2008; Янтранова и др., 2008; Гришко, 2014; Золотарева, Золотарев, 2016; Малышева, 2018]. С точки зрения включения их как составляющих компонентов экологического каркаса в соответствующую региональную экологическую сеть актуальными являются вопросы как об их пространственном соотношении на уровне отдельных степных и лесопосаженных участков на территории региона, так и выявление наиболее значимых территориальных его подразделений, имеющих наибольшую плотность таких участков.

Целью данной работы является оценка пространственной структуры экологического каркаса Донецкого региона (в рамках Донецкой Народной Республики) в виде первичной инвентаризации природных и квазиприродных участков его территории как единого полигона.

Исходя из цели были поставлены следующие задачи:

- 1) получить количественную характеристику рассматриваемых типов природных и квазиприродных территорий, а именно, их число, общую и среднюю площадь, относительную долю площади (в %) от общей площади исследуемых административно-территориальных подразделений (АТП);
- 2) оценить степень фрагментации всех типов природных и квазиприродных территорий;
- 3) дать сравнительную оценку исследованным АТП по вышеназванным количественным характеристикам, а также по диапазонам занимаемых площадей рассматриваемых природных и квазиприродных участков;
- 4) провести сравнительный анализ изучаемых АТП по относительному распределению в них площадей двух основных типов природных территорий – степных и лесных



участков на основе сравнения концентрации их площадей, приходящихся на квадраты ($7 \times 7 \text{ км}^2$), на которые разбивалась вся территория каждого АТП;

5) получить общую пространственно-географическую характеристику всей исследуемой территории полигона и на основе этого выявить наиболее приоритетные ее участки с точки зрения формирования экологической сети региона.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования являются три основных типа природных и квазиприродных территорий (далее природных (участков) территорий), которые являются типичными для Донецкого региона:

– условно степные и квазистепные участки (далее степные), под которыми были приняты все участки, визуализированные как участки (территории) с преимущественно травяной растительностью (*grassland habitat*), не распаханые на данный момент, не имеющие селитебных, промышленных и других инфраструктурных элементов антропогенного ландшафта. На данном этапе исследования выделенные нами степные участки не дифференцировались на подтипы степей (степной растительности), равно как и по их происхождению (природного или антропогенного), стадии восстановительной сукцессии (возрастные категории залежей и/или пастбищной дегрессии);

– лесопокрываемые участки (далее лесные) – участки территории с преобладанием древесно-кустарниковой растительности, также независимо от их происхождения (природного или антропогенного), подтипа и класса растительной формации, размера, конфигурации, местонахождения;

– участки с болотно-луговой растительностью (БЛР) – участки территории с явно выраженной гидрофильной растительностью, главным образом тростниковые заросли, а также прилегающие к ним участки с луговой растительностью.

Кроме указанных выше трех типов территорий, как сопутствующий был также взят и четвертый тип – приморские пляжи и косы с преимущественно псаммофитной растительностью. Всего несколько таких участков были нами выделены на побережье Азовского моря в Новоазовском районе.

Исследование проведено дифференцированно по восьми административно-территориальным подразделениям (АТП) Донецкой Народной Республики – пяти районам (с севера на юг): Шахтерском, Амвросиевском, Старобешевском, Тельмановском, Новоазовском и трем городам: Донецк, Макеевка и Мариуполь. Весь исследованный полигон составил примерно 90 % территории ДНР.

Методом визуального выделения и оконтуривания на космоснимках из открытого доступа выше названных типов участков, определяемых по цвету и текстуре изображения, был проведен анализ их пространственной структуры с помощью компьютерной программы QGIS 3.4.1⁸.

Показатели фрагментации выделенных природных участков определялись по методикам, широко распространенным в подобных исследованиях [Jaeger, 2000; Esswein et al., 2003; Schupp, 2005; Esswein, Schwarz von Raumer, 2006; Усова, 2007; Jaeger et al., 2007; Jaeger et al., 2011; Walz, 2011; Украинский, 2013; Биатов и др., 2014; Ключев, Аверин, 2014; Захаров, 2015].

Оценка пространственной сопряженности степных и лесных участков проводилась с помощью метода ординации квадратов ($7 \times 7 \text{ км}^2$), различающихся по соотношению в них площадей степной и лесопокрываемой растительности.

⁸ QGIS Development Team, 2019. Electronic resource. URL: <https://qgis.org>. (date of the application: 20.09.2021).

Результаты исследования и их обсуждение

Полигон исследованных АТП региона с их административными границами и выделенными природными участками и ООПТ представлен на рис. 1.

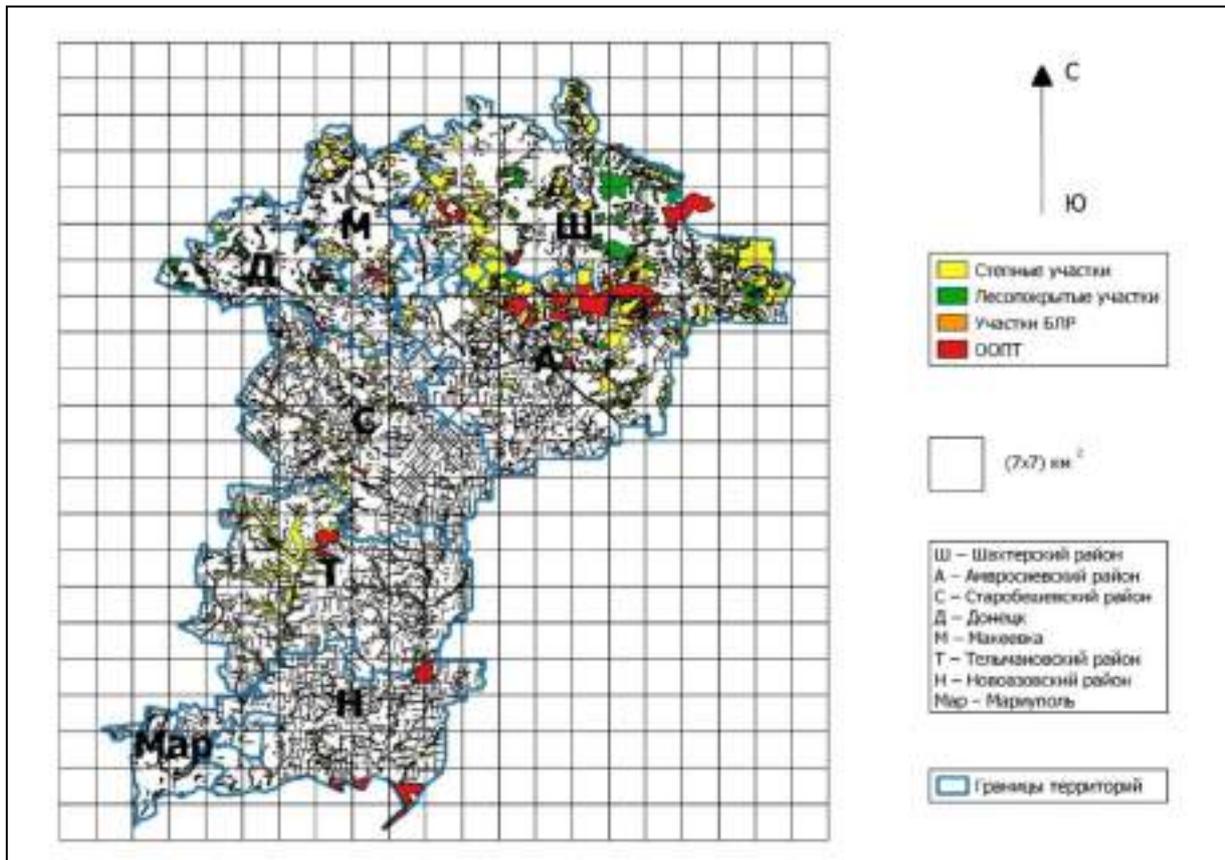


Рис. 1. Полигон исследованных АТП Донецкого региона
Fig. 1. Polygon of the investigated ATDs of the Donetsk region

Количественные характеристики и показатели фрагментации природных участков территории исследованных АТП приведены в табл. 1. По показателям фрагментированности видно, что все три типа природных территорий сильно фрагментированы во всех АТП. Наименее фрагментированы степные участки, наиболее – участки БЛР.

Из табл. видно, что нет четкой сопряженности между количеством степных участков в АТП и занимаемой ими общей площади. Наибольшее их количество выявлено в Тельмановском и Старобешевском районах. Напротив, по общей площади, равно как и по средней площади степных участков, выделяются Шахтерский и Амвросиевский районы. Очевидно, что большое количество степных участков при относительно небольшой их площади также свидетельствует о высокой степени их фрагментации в данных АТП.

Всего на всем полигоне исследованных АТП насчитывается 1392 степных участка общей площадью 97123,27 га, что составляет 12,13 % от площади всего полигона. Средняя площадь степного участка по полигону равна 69,8 га.

Так же, как и по степным участкам, по лесным участкам нет какой-либо сопряженности между их количеством и занимаемой площадью в АТП. По общей площади лесных участков на первом месте находится Шахтерский район. Почти в два раза ему уступает по этому показателю следующий за ним Амвросиевский район. Далее за ним и также уступающий ему в 1,7 раза по лесопокрытым площадям следует г. Донецк, занимающий в этом рейтинге третье место.



Еще больше о лесистости АТП говорит рейтинг средних площадей лесных участков и отношение общей площади лесопокрываемых площадей к площади АТП. Здесь также на первом месте находится Шахтерский район. В полтора раза ему уступает по средней площади лесного участка Амвросиевский район, а последнему примерно в полтора раза уступают г. Макеевка и Донецк, имеющие близкие по этому показателю значения.

Количественные характеристики природных участков в составе АТП
Донецкого региона и показатели их фрагментации
Quantitative characteristics of natural areas in the ATDs composition
of the Donetsk region and indicators of their fragmentation

Тип территории/ участки:	Количественные показатели						
	N	S _{об} (га) / в % от площади АТП	S _{ср} (га)	C	m _{eff}	m _{eff} / S _{ср}	LDI
Шахтерский район (167185,085 га)							
1) степные	227	34640,97 / 20,7	152,60	0,00082	136,81	0,90	0,0012
2) лесные	1307	23215,47 / 13,9	17,76	0,00047	78,63	4,43	0,0029
3) БЛР	56	192,94 / 0,12	3,45	–	0,0098	0,004	0,0008
Амвросиевский район (141823,68 га)							
1) степные	100	22385,24 / 15,8	223,85	0,0014	191,08	0,85	0,001
2) лесные	1048	12020,18 / 8,5	11,47	0,00008	10,75	0,94	0,004
3) БЛР	167	826,85 / 0,60	4,95	–	0,084	0,017	0,002
г. Донецк (55846,27 га)							
1) степные	51	1670,82 / 3,0	32,76	0,00006	3,29	0,10	0,0009
2) лесные	878	7046,12 / 12,6	8,03	0,00017	9,72	1,21	0,004
3) БЛР	142	277,12 / 0,50	1,95	–	0,032	0,016	0,002
г. Макеевка (50878,9 га)							
1) степные	77	6875,10 / 13,5	89,29	0,00075	37,91	0,43	0,0012
2) лесные	380	3249,57 / 6,4	8,55	0,00004	2,12	0,25	0,0035
3) БЛР	85	334,49 / 0,66	3,94	–	0,40	0,10	0,0013
Старобешевский район (125304,72 га)							
1) степные	338	9759,84 / 7,8	28,88	0,00009	10,93	0,38	0,0018
2) лесные	1828	3489,77 / 2,8	1,91	0,000015	0,19	0,10	0,0071
3) БЛР	271	1096,87 / 0,88	4,05	–	0,11	0,027	0,0024
Тельмановский район (133985,41 га)							
1) степные	342	15967,26 / 11,92	46,69	0,00045	61,09	1,31	0,002
2) лесные	1906	4234,90 / 3,16	2,22	0,000003	0,378	0,17	0,006
3) БЛР	318	879,52 / 0,66	2,77	–	0,065	0,024	0,003
Новоазовский район (99914,63 га)							
1) степные	233	5489,35 / 5,49	23,56	0,00013	13,16	0,56	0,002
2) лесные	1720	2108,33 / 2,11	1,23	0,000001	0,111	0,09	0,007
3) БЛР	263	671,78 / 0,67	2,55	–	0,043	0,017	0,003
4) приморские	6	1804,7 / 1,81	300,77	–	–	–	–
г. Мариуполь (25679,38 га)							
1) степные	24	334,69 / 1,3	13,95	0,00002	0,582	0,04	0,001
2) лесные	613	837,79 / 3,26	1,37	0,00002	0,519	0,38	0,007
3) БЛР	156	540,67 / 2,1	3,47	0,000014	0,359	0,104	0,003

Условные обозначения: N – количество участков; S_{об} – общая площадь участков; S_{ср} – средняя площадь участков; C – когерентность; m_{eff} – эффективный размер ячейки; LDI – индекс изрезанности ландшафта.

Напротив, районы, лежащие южнее линии Донецк – Макеевка – Амвросиевский район, имеют очень малые значения средних площадей своих лесных участков. Все это го-

ворит о крайне низкой лесистости этих АТП, что также подтверждает и отношение общей площади лесопокрытых площадей к площади АТП.

Всего на всем полигоне исследованных АТП насчитывается 9688 лесопокрытых участка общей площадью 56261,04 га, или 7,03 % от площади всего полигона. Средняя площадь лесопокрытого участка по полигону равна 5,81 га.

Характер распределения участков БЛР по полигону является почти полной противоположностью таковому по лесным участкам. Здесь лидерами как раз являются наименее лесистые АТП – Старобешевский, Новоазовский, Тельмановский районы, а аутсайдером, напротив, самый лесистый Шахтерский район. Особое положение в этом плане занимает Амвросиевский район, который по количеству и площади степных и лесных участков занимает второе место, а по количеству и занимаемым площадям БЛР находится примерно в середине по этим значениям в общем ряду исследованных АТП. Такое, противоположное лесопокрытому, распределение участков с БЛР, вероятно, объясняется характером рельефа территории полигона. В Шахтерском районе и на севере Амвросиевского района имеет место холмисто-грядчатая структура рельефа, типичная для всего Донецкого кряжа, где в поймах рек преобладают пойменные леса, а в овражно-балочных понижениях рельефа – байрачные леса. Напротив, в более южной и преимущественно равнинной остальной части региона поймы рек заняты в основном тростниковыми зарослями и луговыми сообществами.

Обращает внимание на себя и факт относительной высокой доли площади БЛР в городе Мариуполе. Здесь находится самая крупная во всем полигоне концентрация площадей БЛР – в нижнем течении рек Кальмиус и Кальчик и в месте впадения последнего в Кальмиус. Кроме того, если объединить г. Мариуполь с Новоазовским районом (что логически было бы верно, так как эти АТП представляют собой единый однородный ландшафт), то эта объединенная АТП заняла бы в полигоне первое место по количеству участков БЛР (416), общей их площади (1220,61 га) и относительной доли их площади к площади АТП (4,75 %).

Всего на территории полигона выделено 1458 участков БЛР общей площадью 4820,24 га, что составляет 0,60 % от площади полигона. Средняя площадь участка БЛР по полигону равна 3,31 га.

Что касается категории участков приморских пляжей и кос, то их было выделено всего шесть. Все они расположены в Новоазовском районе на побережье Азовского моря. Их общая площадь составляет 1804,7 га, средняя площадь – 300,8 га (самые крупные по данному показателю среди всех категорий природных территорий в полигоне), относительная доля – 1,81 % от площади Новоазовского района.

В совокупности по всем категориям природных территорий по количественным показателям в АТП картина их распределения следующая:

1) количество в АТП: Тельмановский район (2566) > Старобешевский район (2437) > Новоазовский район (2222) > Шахтерский район (1590) > Амвросиевский район (1315) > Донецк (1071) > Мариуполь (793) > Макеевка (550);

2) общая площадь (га): Шахтерский район (58049,38) > Амвросиевский район (35232,27) > Тельмановский район (21081,68) > Старобешевский район (14346,48) > Макеевка (10518,07) > Новоазовский район (10074,16) > Донецк (8994,06) > Мариуполь (1713,15);

3) средняя площадь (га): Шахтерский район (36,51) > Амвросиевский район (26,79) > Макеевка (19,12) > Донецк (8,40) > Тельмановский район (8,22) > Старобешевский район (5,89) > Новоазовский район (4,53) > Мариуполь (2,16);

4) отношение общей площади участков к площади АТП (в %): Шахтерский район (34,72) > Амвросиевский район (24,84) > Макеевка (20,67) > Донецк (16,11) > Тельмановский район (15,73) > Старобешевский район (11,45) > Новоазовский район (10,08) > Мариуполь (6,67).



Таким образом, видно, что по общим и средним площадям совокупности всех природных территорий, а также по их относительной доле в АТП на первом месте с большим отрывом от остальных АТП находится Шахтерский район. По общей площади природных территорий последовательный ряд АТП различается от одного к следующему в 1,4 – в 1,7 раза в сторону уменьшения этого показателя (кроме ряда Макеевка – Новоазовский район – Донецк, у которых общие площади природных территорий близки по своему значению). Последнее АТП – город Мариуполь – более чем в пять раз уступает по общей площади природных территорий предпоследнему АТП – городу Донецку.

Последовательные ряды АТП по уменьшению средней площади совокупности природных территорий и их относительной доли практически идентичны. Интересно, что города Макеевка и Донецк по этим значениям находятся в средней части рейтинга этих значений, оставляя после себя все южные АТП.

Всего на исследованном полигоне было выделено 12544 природных участка общей площадью 160009,25 га, что составляет 20,0 % от площади всего полигона. Средняя площадь природного участка по всей их совокупности равна 12,76 га.

Кроме абсолютных и относительных значений количественных параметров природных территорий интерес представляет и оценка их количественного распределения по диапазонам занимаемых площадей. Даная характеристика показывает характер количественного преобладания природных участков разного размерного ранга в каждом исследованном АТП. В свою очередь это также отражает и относительное положение каждого АТП в общей картине распределения природных территорий по всему исследованному полигону.

На рис. 2–4 показана относительная доля (в %) количества природных территорий трех основных типов – степных, лесных и участков БЛР в АТП определенных размерных диапазонов. Данные по Мариуполю вошли в состав данных по Новоазовскому району.

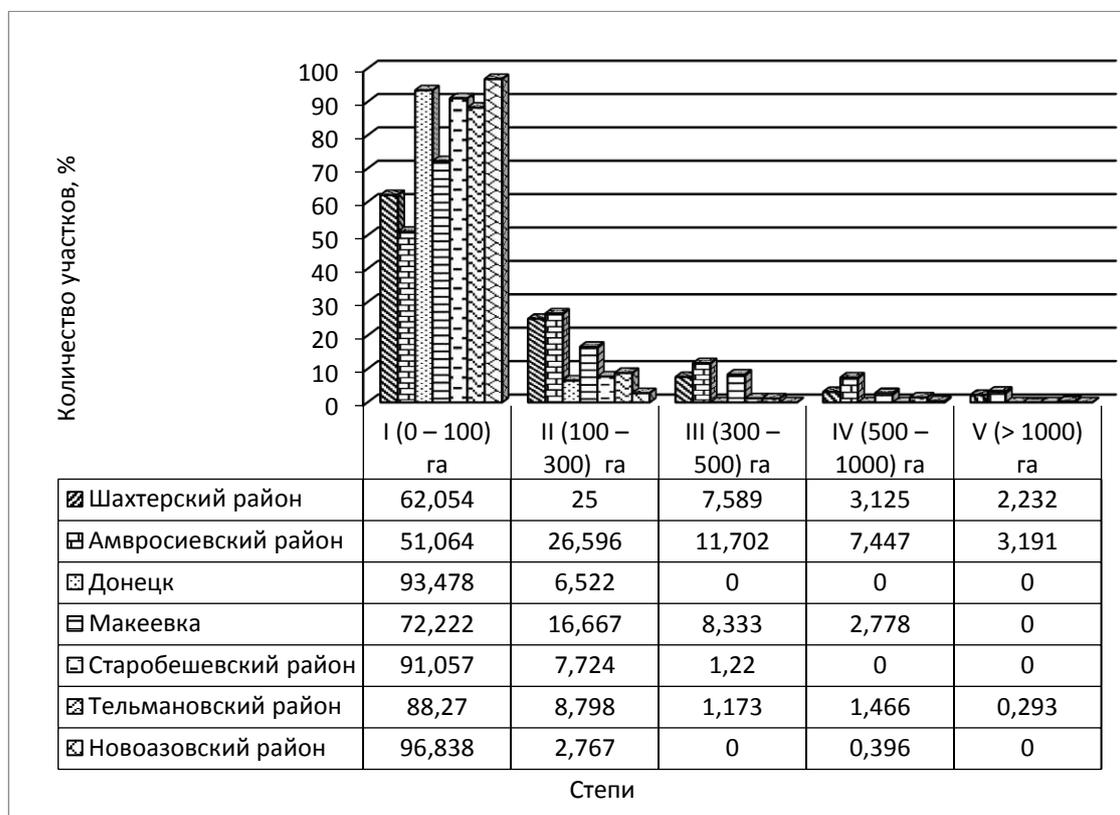


Рис. 2. Количественное распределение (в %) степных участков в АТП по диапазону занимаемых площадей

Fig. 2. Quantitative distribution (in%) of steppe sites in the ATD by the range of occupied areas

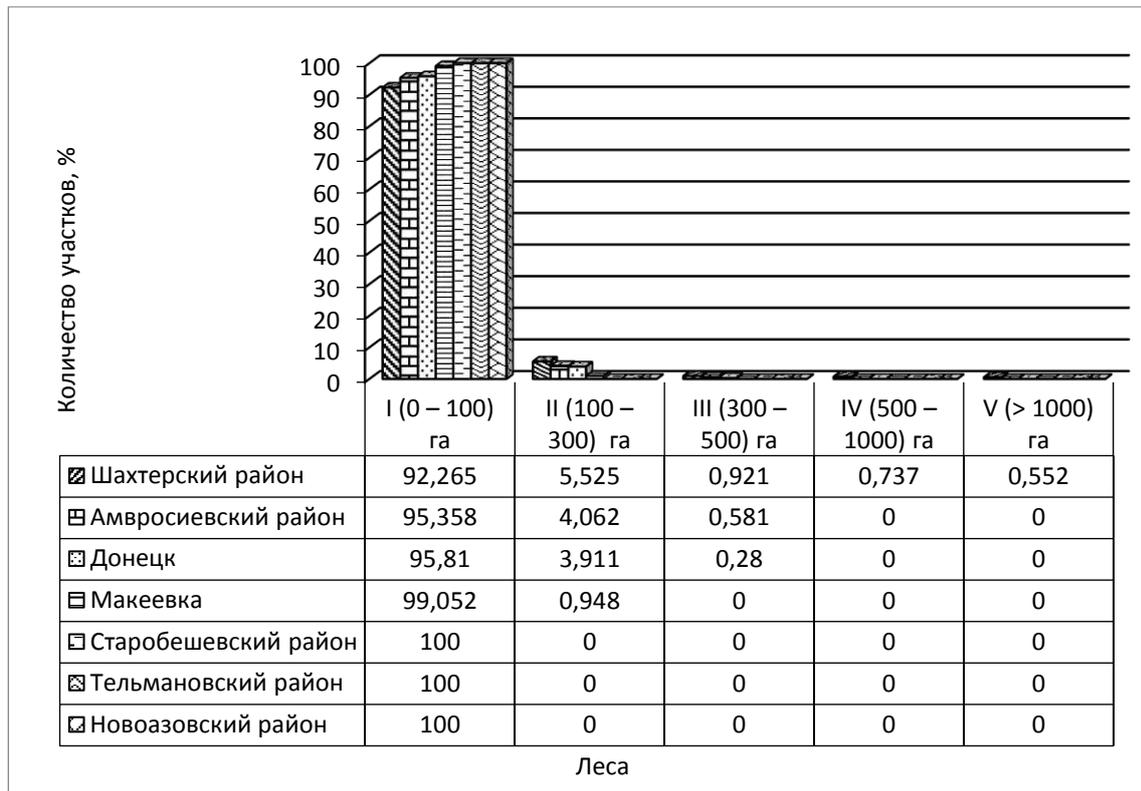


Рис. 3. Количественное распределение (в %) лесопокрытых участков в АТП по диапазону занимаемых площадей

Fig. 3. Quantitative distribution (in%) of forested sites in the ATD by the range of occupied areas

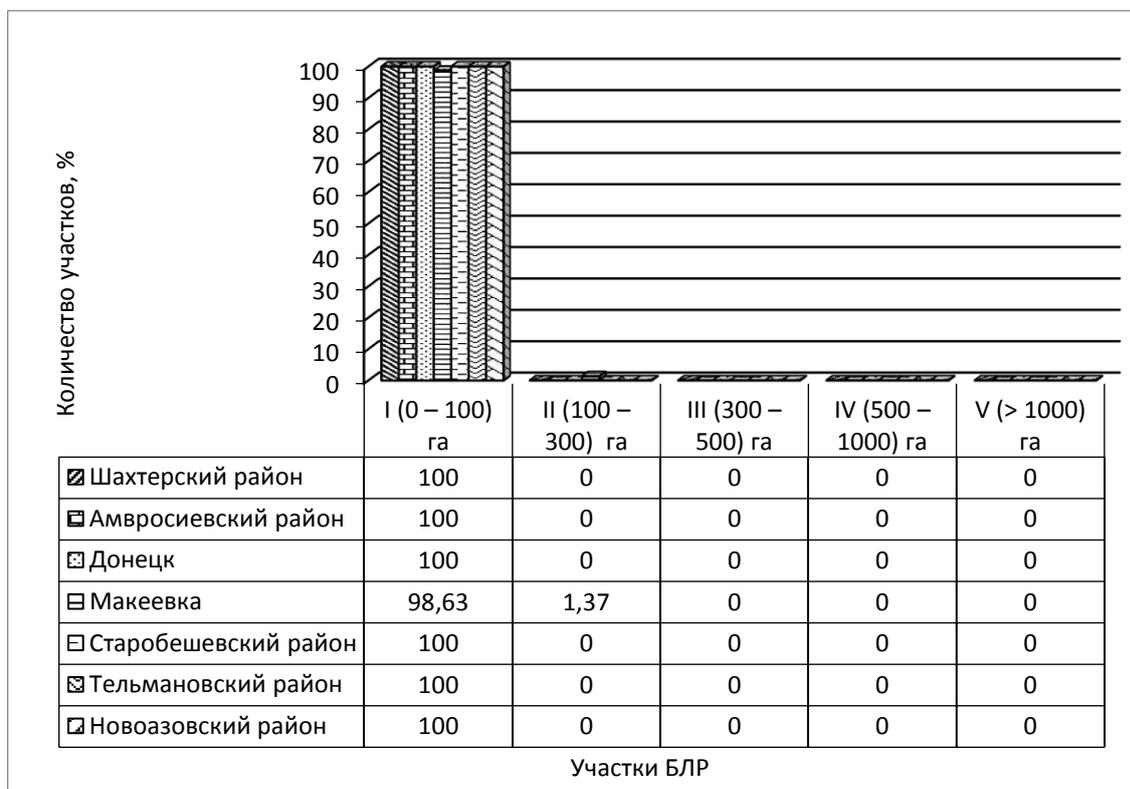


Рис. 4. Количественное распределение (в %) участков болотно-луговой растительности в АТП по диапазону занимаемых площадей

Fig. 4. Quantitative distribution (in %) of marsh-meadow vegetation sites in ATD by range of occupied areas

Как видно из рис. 2–4, по всем трем типам природных территорий абсолютное их большинство во всех без исключения АТП находится в первом размерном ранге – 0–100 га.

Практически все участки БЛР во всех АТП расположены в данном размерном ранге, за исключением одного участка в Макеевке, имеющего площадь 137,67 га. По лесным участкам лишь несколько из них находятся в следующем размерном ранге – 100–300 га (в Шахтерском, Амвросиевском районе и Донецке) и считанные единицы (менее 1 %) в следующем за ним размерном ранге – 300–500 га в Шахтерском и Амвросиевском районах. По степным участкам уже значительно больше участков крупных размеров имеются практически во всех АТП (кроме Донецка и Старобешевского района). Больше всего крупных степных участков находятся в Амвросиевском и Шахтерском районах.

Большой интерес в характеристике пространственной структуры природных территорий в отдельных АТП и по всему полигону в целом представляет картина соотношения двух основных типов природных территорий в регионе – степных и лесных участков, выраженная в соотношении их площадей по квадратам ($7 \times 7 \text{ км}^2$). Эта картина пространственного соотношения степных и лесных участков изображена на рис. 5 в виде диаграммы рассеивания квадратов по значениям площадей, расположенных на них степных и лесных участков. Данная картина показывает характер преобладания степных и лесных площадей в каждом квадрате и, соответственно, в каждом АТП в целом.

Из рис. 5 видно, что наибольший разброс площадей как степных, так и лесных участков наблюдается в Шахтерском районе. Но количество степных площадей в нем существенно превышает лесопокрытые. Тем не менее в Шахтерском районе довольно много квадратов с большими площадями как степных, так и лесных территорий. В Амвросиевском районе картина распределения степных и лесных площадей похожая, но уже резко снижается количество квадратов с крупными лесопокрытыми территориями. Это говорит о меньшей лесистости Амвросиевского района по сравнению с Шахтерским.

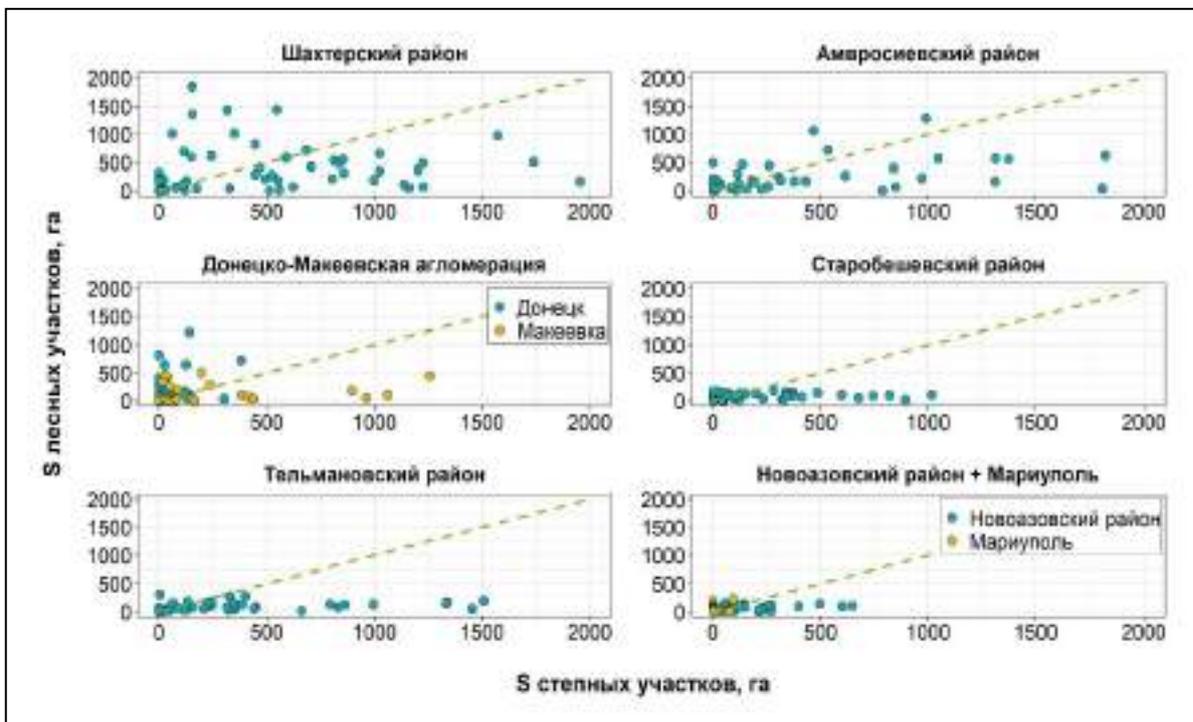


Рис. 5. Диаграммы рассеивания значений квадратов ($7 \times 7 \text{ км}^2$) по площадям степных и лесопокрытых участков АТП

Fig. 5. Scatterplots of the values of the squares ($7 \times 7 \text{ км}^2$) over the areas of the steppe and forested areas of the ATD

Совершенно иная картина распределения площадей степных и лесопокрытых территорий в Донецко-Макеевской агломерации (которая здесь из-за расположения в одном урбанокомплексе рассматривается как единое целое). Видно, что в Макеевке имеет место существенное преобладание степных площадей над лесопокрытыми, в то время как в Донецке, напротив, явное преобладание лесопокрытых площадей.

Остальные три АТП – Старобешевский, Тельмановский и Новоазовский (рассматриваемый здесь вместе с городом Мариуполем как единое целое) районы имеют сходную картину распределения в них степных и лесопокрытых территорий. Во всех этих АТП имеет место явное преобладание степных площадей. Причем степные участки, за исключением Тельмановского района, также незначительны по площади. Доля лесопокрытых территорий крайне низка. Почти все они представлены, главным образом, лесополосами вдоль дорог и полей. Иначе говоря, можно констатировать очень низкую лесистость этих АТП.

Заключительным этапом в сравнительной оценке АТП по наличию в них квазиприродных территорий является географический анализ пространственного размещения на их территории квадратов с различными диапазонами площадей всех рассмотренных типов природных участков и их совокупности, картограммы которых изображены на рис. 6.

По степным участкам квадраты с повышенной концентрацией их площадей расположены на большей части Шахтерского района (особенно в западной, восточной и юго-восточной его частях), на севере, северо-востоке и востоке Амвросиевского района, в южной и северной частях города Макеевка. В меньшей степени, но также достаточно много таких квадратов в Тельмановском и Старобешевском районах и в меньшей степени в Новоазовском районе – в основном вдоль русел рек Кальмиус и его притоках, Грузский Еланчик и других. Все это говорит о том, что в этих АТП пространственная структура степных участков имеет явно выраженный линейно-сетевой, или «коридорный» характер с точки зрения формирования экологической сети региона.

Квадраты с повышенной концентрацией площадей лесных участков также явно преобладают в центральной, северо-восточной и восточной частях Шахтерского района и на севере – северо-востоке и востоке Амвросиевского района, а также на большей части города Донецка и западной и северной частях Макеевки. Напротив, практически полностью отсутствуют такие квадраты в остальных АТП по причине крайне низкой их лесистости.

Картина распределения квадратов с различным распределением площадей БЛР в АТП имеет более равномерный вид. Почти все квадраты имеют самый низкий ранг диапазона площадей БЛР (0–100 га). Лишь несколько квадратов со следующим размерным рангом диапазона площадей (100–300 га) имеются в городе Мариуполе (в месте впадения Кальчика в Кальмиус и последнего в Азовское море). По одному-два таких квадратов имеются также на востоке Макеевки, на юге Амвросиевского и юго-востоке Старобешевского района.

По совокупности всех природных территорий квадраты с повышенной концентрацией их площадей (> 2000 га) в основном расположены на границе Шахтерского и Амвросиевского районов, а также в восточной части Шахтерского района. Квадраты с высокой плотностью площадей природных территорий занимают большую часть Шахтерского района, особенно на его западе, северо-западе и юго-востоке, а также в центральной и восточной частях Амвросиевского района. Также такие квадраты имеются на западе Донецка и в южной и северной частях Макеевки, а также в некоторых частях Тельмановского и Старобешевского районов, в местах, где расположена долина реки Кальмиус и его правых (западных) притоков.

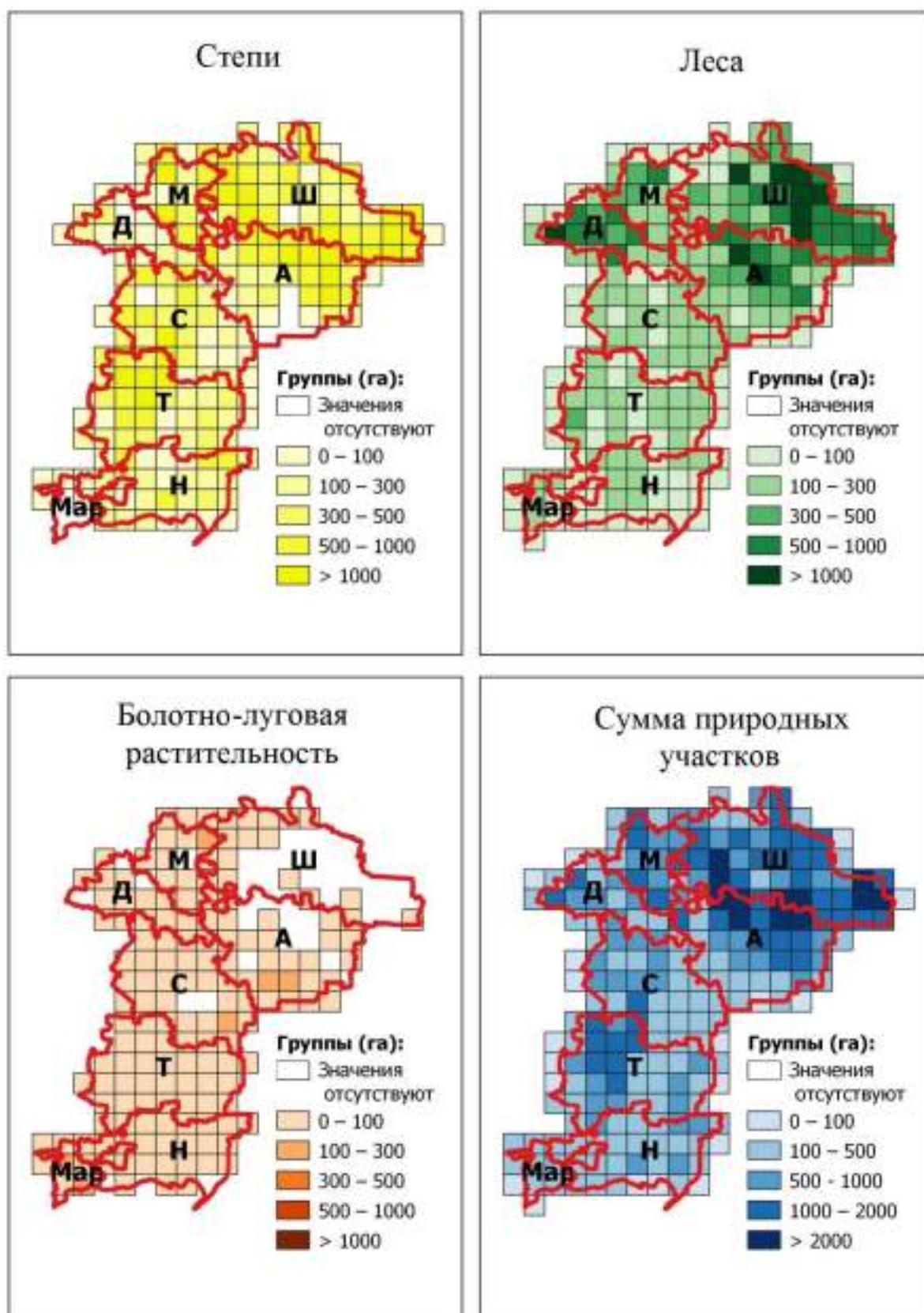


Рис. 6. Картограмма географического распределения квадратов в полигоне по концентрации в них природных территорий

Fig. 6. Cartogram of the geographical distribution of squares in the polygon by the concentration of natural areas in them

Заключение

Исходя из результатов исследований можно сделать следующие выводы:

1. В Донецком регионе имеется три основных типа природных территорий: квазистепные (условно степные), лесопокрытые (условно лесные) и участки с болотно-луговой растительностью (БЛР), которым соответствуют три типа растительности – травяная (*grassland habitat*), древесно-кустарниковая и болотно-луговая растительные сообщества.

2. Среди названных трех типов природных территорий абсолютно преобладают по занимаемой площади степные участки, относительная доля которых составляет 12,13 % от площади всех исследованных АТП. Исключение составляют только урбанизированные территории, где площадь лесопокрытых территорий существенно выше остальных. Относительная доля площади лесопокрытых участков и участков БЛР составляет, соответственно, 7,03 % и 0,60 % от площади АТП.

3. Среди исследованных АТП по величине как общей площади степных и лесных участков, так и по их относительной доле выделяется Шахтерский район. За ним по этим показателям следует Амвросиевский район. Относительно велика общая площадь степных участков в Тельмановском и Старобешевском районах.

4. Всего по совокупности всех типов природных территорий было выявлено 12544 квазиприродных участка общей площадью 160009,25 га, что составляет 20 % от всей площади полигона исследования. Средняя площадь квазиприродного участка равна 12,76 га.

5. С точки зрения формирования перспективной региональной экологической сети уже на данном этапе можно выделить основное ее мегаядро – на южных и юго-западных макросклонах Донецкого кряжа (почти весь Шахтерский район и северная и центральная части Амвросиевского района) – главный водораздел региона, то есть природное ядро регионального уровня, а в качестве экологических коридоров – экологический коридор регионального уровня – средняя часть долины Кальмиуса и его правых притоков (Старобешевский и особенно Тельмановский районы) и экологический коридор субрегионального уровня – долина реки Грузский Еланчик (включая заповедник «Хомутовская степь» как природное ядро регионального или субрегионального уровня).

Что касается остальных природных ядер и коридоров субрегионального и местного уровня, то вопрос их точного определения остается пока еще открытым и требует дальнейшего, более детального изучения.

Таким образом, в Донецком регионе имеется существенный ресурс природных и квазиприродных территорий, которые составляют его экологический каркас и обеспечивают средоподдерживающую функцию всей его территории. Необходимы дальнейшие исследования по выявлению наиболее ценных участков для внесения их в природно-заповедный фонд ДНР и разработке мероприятий по формированию официальной экологической сети Республики.

Список литературы

- Авдеев В.И. 2008. Этапы формирования степных ландшафтов в Евразии. 1. Общие аспекты проблемы. Известия Оренбургского государственного аграрного университета, 2 (18): 38–42.
- Биатов А.П., Украинский П.А., Нарожная А.Г. 2014. Сравнительный анализ фрагментированности ландшафтов Белгородской части бассейна Ворсклы и бассейна Мерлы (Харьковская область, Украина). Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия Естественные науки, 3 (174): 157–165.
- Блакберн А.А. 2013. Структура районных схем экологической сети северной части Донецкой области. Людина та довкілля. Проблеми неоекології, 1–2: 51–56.
- Блакберн А.А., Синельщиков Р.Г. 2006. Концептуальные подходы к формированию региональной экологической сети (на примере Донецкой области). Науковий журнал «Заповідна справа в Україні», 12 (1): 3–10.



- Брылев В.А., Рябинина Н.О. 2000. Ландшафтно-экологический каркас Волгоградской области. Вопросы степеведения, 2: 119–124.
- Гришко С.В. 2014. Историко-географические этапы взаимодействия леса и степи. Геополитика и экогеодинамика регионов, 10 (1): 115–119.
- Елизаров А.В. 2008. Экологический каркас – стратегия степного природопользования XXI века. Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии, 17 (2 (24)): 289–317.
- Захаров К.В. 2015. Оценка степени фрагментации местообитаний диких животных искусственными рубежами на примере Московского региона. Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический, 120 (2): 3–10.
- Золотарева Н.В., Золотарев М.П. 2016. Феномен облесения степных участков на Среднем Урале и его вероятные причины. Экология, 6: 414–425.
- Калманова В.Б. 2016. Экологический каркас урбанизированных территорий (на примере города Биробиджана). Известия Самарского научного центра Российской академии наук, 18 (2–2): 385–388.
- Клюев В.Е., Аверин Г.В. 2014. Оценка фрагментации экологической сети Луганской области. Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе, 1–2: 84–90.
- Малышева Г.С. 2018. Взаимоотношения леса и степи на Приволжской возвышенности (в порядке дискуссии). Фиторазнообразие Восточной Европы, 12 (2): 170–188.
- Михно В.Б., Горбунов А.С., Быковская О.П., Бевс В.Н. 2018. Геосистемный подход к формированию стабилизирующей ландшафтно-экологической сети Центрального Черноземья. Вестник Удмуртского университета. Серия «Биология. Науки о Земле», 28 (1): 64–76.
- Паженков А.С., Смелянский И.Э., Трофимова Т.А., Карякин И.В. 2005. Экологическая сеть Республики Башкортостан. Canadian International Development Agency, 191 с.
- Панченко Е.М., Дюкарев А.Г. 2010. Экологический каркас как природоохранная система региона. Вестник Томского государственного университета, 340: 216–221.
- Сидоренко М.В., Юнина В.П. 2018. Роль экологического каркаса в сохранении природных комплексов на примере Нижегородского Поволжья. Материалы международной конференции «Экологические проблемы бассейнов крупных рек», 6: 359–361.
- Соболев Н.А. 2009. Принципы и проблемы формирования экологических сетей в России. В кн.: Охрана природы и образование: на пути к устойчивому развитию. Новосибирск, ГЦРО: 7–10.
- Стишов М.С., Дадли Н. 2018. Охраняемые природные территории Российской Федерации и их категории. Москва, Всемирный фонд дикой природы (WWF), 248 с.
- Стрябова А.П., Молодан А.Г., Глухов А.З. 2021. Полифункциональность особо охраняемых природных территорий в антропогенно трансформированной среде. Промышленная ботаника, 21 (3): 66–72.
- Травлеев А.П., Белова Н.А., Боговин А.В., Дубина А.А. 2005. Байрачные леса бывшей порожистой части Днестра – составная часть экологической сети юга Украины. Экологія та ноосферологія, 16 (3–4): 75–94.
- Украинский П.А. 2013. Изучение фрагментации ландшафтов Белгородской части бассейна Ворсклы при помощи ГИС и ДДЗ. Материалы конференции «Экология. Экономика. Информатика». 8–13 сентября 2013, Ростов-на-Дону, Изд-во ЮФУ: 196–201.
- Усова И.П. 2007. Оценка фрагментации лесов с использованием ландшафтных индексов (на примере Восточно-Белорусской ландшафтной провинции). Материалы III Всероссийской школы-конференции. Петрозаводск, КарНЦ РАН: 250–253.
- Янтранова Н.В., Сымпилова Д.П., Корсунов В.М. 2008. Эколого-географический анализ контактной зоны тайги и степи Селенгинского среднегорья. География и природные ресурсы, 2: 179–181.
- Bennett G. (ed.) 1991. Towards a European Ecological Network, EECONET. Arnhem, Institute for European Environmental Policy, 75 p.
- Bennett G., Wit P. 2001. The development and applications of ecological networks. A review of proposals, plans and programs. Amsterdam, AIDEnvironment, 132 p.
- Esswein H., Jaeger J., Schwarz von Raumer H.-G. 2003. Der Grad der Landschaftszerschneidung als Indikator im Naturschutz: Unzerschnittene verkehrsarme (UZR) Räume oder effective Maschenweite. NNA-Berichte, 16 (2): 55–70.



- Esswein H., Schwarz von Raumer H.-G. 2006. Effektive Maschenweite und Unzerschnittene Verkehrsarme Räume über 100 km² als Umweltindikatoren für die BRD – GIS-Einsatz und vergleichende Analyse. In: *Angewandte Geoinformatik: Beiträge zum. Heidelberg, AGIT-Symposium Salzburg*, 18: 135–144.
- Jaeger J. 2000. Landscape division, splitting index, and effective mesh size: new measures of landscape fragmentation. *Landscape Ecology*, 15: 115–130. DOI: 10.1023/A:1008129329289.
- Jaeger J., Bertiller R., Schwick C. 2007. Degree of landscape fragmentation in Switzerland: Quantitative analysis 1885–2002 and implications for traffic planning and regional planning. Condensed Version. Bundesamt für Statistik, Neuchâtel: 36 p.
- Jaeger J., Soukup T., Madriñán L.F. 2011. Landscape fragmentation in Europe. Joint EEA-FOEN report. EEA Report. 2. Veröffentlicht von der Europäischen Umweltagentur (EEA) und dem Schweizerischen Bundesamt für Umwelt (FOEN). Luxembourg, Publications Office of the European Union: 87 p.
- Schupp D. 2005. Umweltindikator Landschaftszerschneidung – Ein zentrales Element zur Verknüpfung von Wissenschaft und Politik. *GAIA*, 14 (2): 101–106. DOI: 10.14512/gaia.14.2.8.
- Van Opstal A.J.F.M. 2000. The architecture of the Pan-European Ecological Network: Suggestions for Concept and Criteria. Wageningen, NL. ICN. Rapport IKS Natuurbeheer nr., 37: 100 p.
- Walz U. 2011. Landscape Structure, Landscape Metrics and Biodiversity. *Living Reviews in Landscape Research*, 5 (3): 1–35.

References

- Avdeyev V.I. 2008. Stages of steppe landscapes formation in Eurasia. General aspects of the problem. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*, 2 (18): 38–42 (in Russian).
- Biatov A.P., Ukrainskij P.A., Narozhnjaja A.G. 2014. Comparative Analysis of Landscape Fragmentation in the Vorskla and the Merla River Basins (Kharkov Region, Ukraine). *Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural Sciences Series*, 3 (174): 157–165 (in Russian).
- Blackburn A.A. 2013. The structure of district schemes of the ecological network schemes north of Donetsk region. *Man and environment. Issues of neocology*, 1–2: 51–56 (in Russian).
- Blackburn A.A., Sinelshchikov R.G. 2006. Conceptual approaches to formation of regional ecological network (at example of Donetsk region). *Nature Reserves in Ukraine*, 12 (1): 3–10 (in Russian).
- Brylyov V.A., Ryabinina N.O. 2000. Landscape-ecological hackberry of the Volgograd oblast. *Questions of steppe science*, 2: 119–124 (in Russian).
- Grishko S.V. 2014. Historical and geographical stages of the interaction of the forest and the steppe. *Geopolitics and ecogeodynamics of the regions*, 10 (1): 115–119 (in Russian).
- Elyzarov A.V. 2008. Ecological skeleton – strategy steppe of nature usage of XXI century. *Samarskaya Luka: problems of regional and global ecology*, 17 (2 (24)): 289–317 (in Russian).
- Zaharov K.V. 2015. Landscape Fragmentation in the Moscow Region. *Bulletin of Moscow Society of Naturalists. Biological series*, 120 (2): 3–10 (in Russian).
- Zolotareva N.V., Zolotarev M.P. 2016. The phenomenon of afforestation to steppe areas in the Middle Urals and its probable causes. *Ecology*, 6: 414–425 (in Russian).
- Kalmanova V.B. 2016. The ecological framework of the urbanized territories (on the example of Birobidzhan city). *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, 18 (2–2): 385–388 (in Russian).
- Kluev V.E., Averin G.V. 2014. Evaluation the Fragmentation of Ecological Network of Luhansk Region. *System analysis and information technology in the sciences of nature and society*, 1–2: 84–90 (in Russian).
- Malysheva G.S. 2018. The relations between the forest and steppe at the Volga upland (as a matter of discussion). *Phytodiversity of Eastern Europe*, 12 (2): 170–188 (in Russian).
- Mikhno V.B., Gorbunov A.S., Bykovskaya O.P., Bezv V.N. 2018. Geosystem approach to the formation of the stabilizing landscape-ecological network of Central Chernozem region. *Bulletin of Udmurt University. Series «Biology. Earth Sciences»*, 28 (1): 64–76 (in Russian).
- Pazhenkov A.S., Smelyansky I.E., Trofimova T.A., Karyakin I.V. 2005. Ecological Network (ECONET) of Bashkortostan Republic. *Canadian International Development Agency*, 191 p. (in Russian).
- Panchenko E.M., Dyukarev A.G. 2010. Ecological framework as the environmental system of the region. *Bulletin of Tomsk state university*, 340: 216–221 (in Russian).



- Sidorenko M.V., Yunina V.P. 2018. The role of the ecological framework in the preservation of the natural complexes on the example of Nizhny Novgorod region. Materials of the international conference «Ecological problems of large river pools», 6: 359–361 (in Russian).
- Sobolev N.A. 2009. Printsipy i problemy formirovaniya ekologicheskikh setey v Rossii [Principles and problems of formation of ecological networks in Russia]. In: Okhrana prirody i obrazovaniye: na puti k ustoychivomu razvitiyu [Environmental protection and education: on the way to sustainable development]. Novosibirsk, Publ. GtsRO: 7–10.
- Stishov M.S., Dudley N. 2018. Okhranyayemye prirodnyye territorii Rossiyskoy Federatsii i ikh kategorii [Protected natural areas of the Russian Federation and their categories]. Moscow, Publ. World Wildlife Fund (WWF), 248 p.
- Stryabkova A.P., Molodan A.G., Glukhov A.Z. 2021. Multifunctional use of special protected natural areas in anthropogenic transformed environment. Industrial Botany, 21 (3): 66–72 (in Russian).
- Travleyev A.P., Bilova N.A., Bogovin A.V., Dubina A.O. 2005. Valley Forests of the previous Dnipro River Rapids – as component of South Ukraine Ecological net. Ecology and Noospherology, 16 (3–4): 75–94. (in Russian)
- Ukrainskiy P.A. 2013. Izucheniye fragmentatsii landshaftov Belgorodskoy chasti basseyna Vorskly pri pomoshchi GIS i DDZ [Study of landscape fragmentation of the Belgorod part of the Vorskla basin using GIS and remote sensing data]. Materials of the conference “Ecology. Economy. Computer Science”. 8–13 September 2013, Rostov-on-Don, Publ. SFU: 196–201.
- Usova I.P. 2007. Assessment of forest fragmentation using landscape indices (for example, East-Belarusian landscape province). Materials of the III All-Russian School-Conference. Petrozavodsk, Publ. Kar.NC RAS: 250–253 (in Russian).
- Yantranova N.V., Sympilova D.P., Korsunov V.M. 2008. Ecologo-geographical analysis of the taiga-steppe contact zone in the Selenga medium-height mountains. Geography and natural resources, 2: 179–181 (in Russian).
- Bennett G. (ed.) 1991. Towards a European Ecological Network, EECONET. Arnhem, Institute for European Environmental Policy, 75 p.
- Bennett G., Wit P. 2001. The development and applications of ecological networks. A review of proposals, plans and programs. Amsterdam, AIDEnvironment, 132 p.
- Esswein H., Jaeger J., Schwarz von Raumer H.-G. 2003. Der Grad der Landschaftszerschneidung als Indikator im Naturschutz: Unzerschnittene verkehrsarme (UZR) Räume oder effective Maschenweite. NNA-Berichte, 16 (2): 55–70.
- Esswein H., Schwarz von Raumer H.-G. 2006. Effektive Maschenweite und Unzerschnittene Verkehrsarme Räume über 100 km² als Umweltindikatoren für die BRD – GIS-Einsatz und vergleichende Analyse. In: Angewandte Geoinformatik: Beiträge zum. Heidelberg, AGIT-Symposium Salzburg, 18: 135–144.
- Jaeger J. 2000. Landscape division, splitting index, and effective mesh size: new measures of landscape fragmentation. Landscape Ecology, 15: 115–130. DOI: 10.1023/A:1008129329289.
- Jaeger J., Bertiller R., Schwick C. 2007. Degree of landscape fragmentation in Switzerland: Quantitative analysis 1885–2002 and implications for traffic planning and regional planning. Condensed Version. Bundesamt für Statistik, Neuchâtel: 36 p.
- Jaeger J., Soukup T., Madriñán L.F. 2011. Landscape fragmentation in Europe. Joint EEA-FOEN report. EEA Report. 2. Veröffentlicht von der Europäischen Umweltagentur (EEA) und dem Schweizerischen Bundesamt für Umwelt (FOEN). Luxembourg, Publications Office of the European Union: 87 p.
- Schupp D. 2005. Umweltindikator Landschaftszerschneidung – Ein zentrales Element zur Verknüpfung von Wissenschaft und Politik. GAIA, 14 (2): 101–106. DOI: 10.14512/gaia.14.2.8.
- Van Opstal A.J.F.M. 2000. The architecture of the Pan-European Ecological Network: Suggestions for Concept and Criteria. Wageningen, NL. IKCN. Rapport IKS Natuurbeheer nr., 37: 100 p.
- Walz U. 2011. Landscape Structure, Landscape Metrics and Biodiversity. Living Reviews in Landscape Research, 5 (3): 1–35.

*Поступила в редакцию 28.01.2022;
поступила после рецензирования 15.02.2022;
принята к публикации 09.03.2022*

*Received January 28, 2022;
Revised February 15, 2022;
Accepted March 9, 2022*



Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Блакберн Андрей Альфредович, кандидат биологических наук, доцент, старший научный сотрудник отдела природной флоры и заповедного дела, Государственное учреждение «Донецкий ботанический сад», г. Донецк, Донецкая Народная Республика

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Andrey A. Blackburn, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Senior Researcher of the Department of natural flora and conservation of the state institution "Donetsk Botanical garden", Donetsk, Donetsk people's Republic



УДК 551.248.2,628.16
DOI 10.52575/2712-7443-2022-46-2-284-297

Эколого-гидрогеохимические особенности подземных вод геотектонических зон Липецкого горнодобывающего района

Бударина В.А., Косинова И.И., Лепендин Д.Г.
Воронежский государственный университет
Россия, 394018, г. Воронеж, Университетская пл., 1
E-mail: kosinova777@yandex.ru, budarinav@yandex.ru

Аннотация. Геотектоническая активность элементов земной коры формирует эколого-геохимические аномалии различного качественного и количественного характера. Как правило, в пределах платформенных областей тектоническая активность проявляется в виде разломной тектоники. Участки разломных зон являются путями проникновения на поверхность комплекса металлов и неметаллоидов глубинного происхождения. Их концентрирование в подземных водах формирует патогенные экологические эффекты. Целью настоящей работы является изучение эколого-гидрогеохимических особенностей подземных вод, которые приурочены к зонам активной геотектонической деятельности в пределах Липецкого горнопромышленного района. Представлен анализ основных неотектонических структур, даны пространственные характеристики разломных зон, их место в рельефе и особенности геологического строения. Значимость данных исследований определена дифференцированием загрязнений подземных вод природного и техногенного характера, формирующегося в пределах зон влияния объектов горнодобывающей деятельности. Методика исследований включала комплекс предполевых работ по выделению зон активной тектонической деятельности. Она базировалась на схеме неотектонических структур Липецкой области. Бор обозначен как маркирующий элемент, характеризующийся исключительно природным происхождением. Пробоотбор подземных вод неоген-четвертичного и девонского водоносных комплексов осуществлялся в пределах выделенных зон. Результаты исследований систематизированы в формате геоинформационной модели эколого-гидрогеохимических аномалий бора на территории Липецкой области. Выявлена их приуроченность к осевым линиям областей динамического влияния разломов фундамента, линеаментам. Помимо повышенных концентраций бора (до 15 ПДК), в подземных водах отмечены значительные превышения по лантану (до 1000 ПДК), бериллию (до 300 ПДК), титану (до 10 ПДК). Выявлены максимальные превышения для девонских водоносных комплексов. При анализе зон влияния горнодобывающей деятельности наличие бора и вышеперечисленных элементов является маркирующим комплексом природного происхождения.

Ключевые слова: экология, гидрогеохимия, подземные воды, горнодобывающая деятельность, бор, маркирование, элемент, модель

Благодарности: статья подготовлена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, договор № 20-55-00010 от 30.04.2020 г. и Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований, договор № X20P-284 от 04.05.2020 г.

Для цитирования: Бударина В.А., Косинова И.И., Лепендин Д.Г. 2022. Эколого-гидрогеохимические особенности подземных вод геотектонических зон Липецкого горнодобывающего района. Региональные геосистемы, 46(2): 284–297. DOI 10.52575/2712-7443-2022-46-2-284-297



Ecological and Hydrogeochemical Features of Groundwater of Geotectonic Zones of the Lipetsk Mining Region

Victoria A. Budarina, Irina I. Kosinova, Denis G. Lependin

Voronezh State University,

1 Universitetskaya Sq., Voronezh, 394018, Russia

E-mail: kosinova777@yandex.ru, budarinav@yandex.ru

Abstract. Geotectonic activity of the elements of the earth's crust forms ecological and geochemical anomalies of various qualitative and quantitative nature. As a rule, within the platform areas, tectonic activity manifests itself in the form of fault tectonics. Areas of fault zones are ways of penetration into the surface of the complex of metals and nonmetalloids of deep origin. Their concentration in groundwater forms pathogenic environmental effects. The purpose of this work is to study the ecological and hydrogeochemical features of groundwater, which are confined to the zones of active geotectonic activity within the Lipetsk mining region. The analysis of the main neotectonic structures is presented, the spatial characteristics of fault zones, their place in the relief and the features of the geological structure are given. The significance of these studies is determined by the differentiation of groundwater pollution of natural and man-made nature, formed in the nature of the mining activity within the zones of influence of the mining activity. The research methodology included a set of pre-field works on the allocation of zones of active tectonic activity. It was based on the scheme of neotectonic structures of the Lipetsk region. Boron is designated as a marking element characterized solely by natural origin. Groundwater sampling of the Neogene Quaternary and Devonian aquifer complexes was carried out within the selected zones. The results of the research are systematized in the format of a geoinformation model of ecological and hydrogeochemical anomalies of boron in the Lipetsk region. Their confinement to the centerlines of the areas of dynamic influence of foundation faults, laminae is revealed. In addition to increased concentrations of boron (up to 15 MPC), significant exceedances of lanthanum (up to 1000 MPC), beryllium (up to 300 MPC), titanium (up to 10 MPC) were noted in groundwater. Maximum exceedances for Devonian aquifer complexes were revealed. When analyzing the zones of influence of mining activities, the presence of boron and the above elements is a marking complex of natural origin.

Keywords: ecology, hydrogeochemistry, feature, underground water, mining, boron, marking, element, model

Acknowledgments: The article was prepared with the support of the Russian Foundation for Basic Research, contract №20-55-00010 of 30.04.2020 and the Belarusian Republican Foundation for Basic Research, contract №X20P-284 dated 04.05.2020.

For citation: Budarina V.A., Kosinova I.I., Lependin D.G. 2022. Ecological and Hydrogeochemical Features of Groundwater of Geotectonic Zones of the Lipetsk Mining Region. *Regional Geosystems*, 46(2): 284–297 (in Russian). DOI 10.52575/2712-7443-2022-46-2-284-297

Введение

Важной проблемой на национальном уровне является разработка и оценочные процедуры использования эколого-экономических показателей антропогенного воздействия на водные ресурсы, включающих оценки объемов используемых водных ресурсов с учетом экологической составляющей стока [Koronkevich et al., 2020]. В этой связи пока недооценённым аспектом проблемы управления водными ресурсами на водосборной площади является изучение взаимосвязи подземных и поверхностных вод, которая видоизменяется в связи с различиями геологического строения той или иной территории [Schyns et al., 2019; Siddique et al., 2020; Zhiltsov et al., 2020]. Это, в частности, обусловлено и тем, что при усилении антропогенных воздействий на ресурсы поверхностного стока происходит переход на использование подземных вод как основного источника для хозяйственно-



питьевого, промышленного и сельскохозяйственного водоснабжения. Различные аспекты рационального использования подземных вод (оценка и динамика их минерализации, вклад источников загрязнения, обоснование природных индикаторов для гидрогеологических исследованиях и др.) отражены в публикациях отечественных [Силин, 2007; Закутин и др., 2012; Новиков, 2014; Бочаров, Колесова, 2017] и зарубежных ученых [Coxito Afonso, 2003; Eliopoulos et al., 2012; Katsanou et al., 2012; Dragovic et al., 2014; Al-Hilal, 2016]. Дистанционное зондирование и ГИС применяют для первичного определения площадей и местоположений концентрации подземных вод с использованием различных модулей пространственного анализа в программах дистанционного зондирования и ГИС, таких как *ENVI 4.5*, *ARCGIS 9.3* [Thach et al., 2010]. Анализ временных рядов данных *GPS* и *InSAR* (интерферометрический радар с синтезированной апертурой) является важным инструментом для оценки деформации земной поверхности – локализации горизонтальных и вертикальных движений и получения новой информации в поддержку различных геодинамических моделей [Zoran et al., 2017].

Многоаспектный анализ геозкологических ситуаций в горнодобывающих комплексах Курской магнитной аномалии, пути выхода из складывающегося эколого-технологического кризиса находят отражение в исследованиях ученых Центрально-Черноземного экономического района¹ [Трубецкой и др., 2004; Лисецкий и др., 2004; Кравчук, Сергеев, 2012; Голик и др., 2013; Корнилов и др., 2015; и др.]. Многоотраслевая структура промышленности Липецкой области с ведущей ролью черной металлургии позволила региону занять первое место в ЦФО по объему промышленного производства на душу населения.

Липецкая область расположена на северо-восточном склоне Воронежской антеклизы Русской плиты в составе Восточно-Европейской платформы. Архейско-раннепротерозойский фундамент залегает на глубине менее 1 км. Осадочный чехол состоит из девонских и кайнозойских (неоген-четвертичных) отложений. Девонские отложения представлены известняками, доломитами, мергелями, песчаниками, глинами и алевролитами. Девонские отложения как правило залегают на глубине нескольких десятков метров, но вскрываются в долинах рек.

Липецкая область располагается в пределах двух тектонических структур: Среднерусской возвышенности и Окско-Донской низменности. Структурными элементами Среднерусской возвышенности (рис. 1) являются [Косинова и др., 2006; 2020]:

1. Новосильское поднятие;
2. Трубетчинская структурная терраса;
3. Кшень-Оскольская структурная терраса;
4. Елецко-Ливенский прогиб.

Данные структуры слагают западную и центральную части области.

Тектонические структуры Окско-Донской низменности включают:

5. Кривоборский прогиб;
6. Салтыковский прогиб;
7. Шуклавкинское поднятие.

Данные структуры залегают в восточной части Липецкой области. Следует подчеркнуть, что вся территория тектонически активна, о чем свидетельствует значительное количество разнонаправленных разломных зон. При этом основные тектонические структуры ориентированы меридионально. Соответственно, рисунок речной сети также, в основном, сориентирован в направлении север-юг.

¹ Лисецкий Ф.Н., Голусов П.В., Чепелев О.А., Близнюк М.В., Кухарук Н.С., Свиридова А.В. 2006. База данных эколого-геохимического обследования территории Курской магнитной аномалии (в границах Губкинского и Старооскольского районов Белгородской области). Свидетельство о регистрации базы данных № 2006620102 RU

В геологическом разрезе Липецкой области принимают участие породы неоген-четвертичного возраста, залегающие на отложениях девона.

Неоген-четвертичные отложения имеют в основном ледниковый и водноледниковый генезис и представлены песками, супесями и суглинками. Девонские отложения представлены карбонатными породами: известняками, мергелями, доломитами [Бочаров, 2009; Косинова, Ляпин, 2020].

Для питьевого водоснабжения Липецкой области в основном эксплуатируются неоген-четвертичный (N-Q), задонско-елецкий (D_3 zd-el), евланово-ливенский (D_3 ev-lv) и верхнефаменский (D_3 fm₂) водоносные комплексы. Все водоносные горизонты и комплексы, кроме неоген-четвертичного, являются хорошо защищёнными. Воды по химическому составу в основном гидрокарбонатные, кальциево-магниевые.

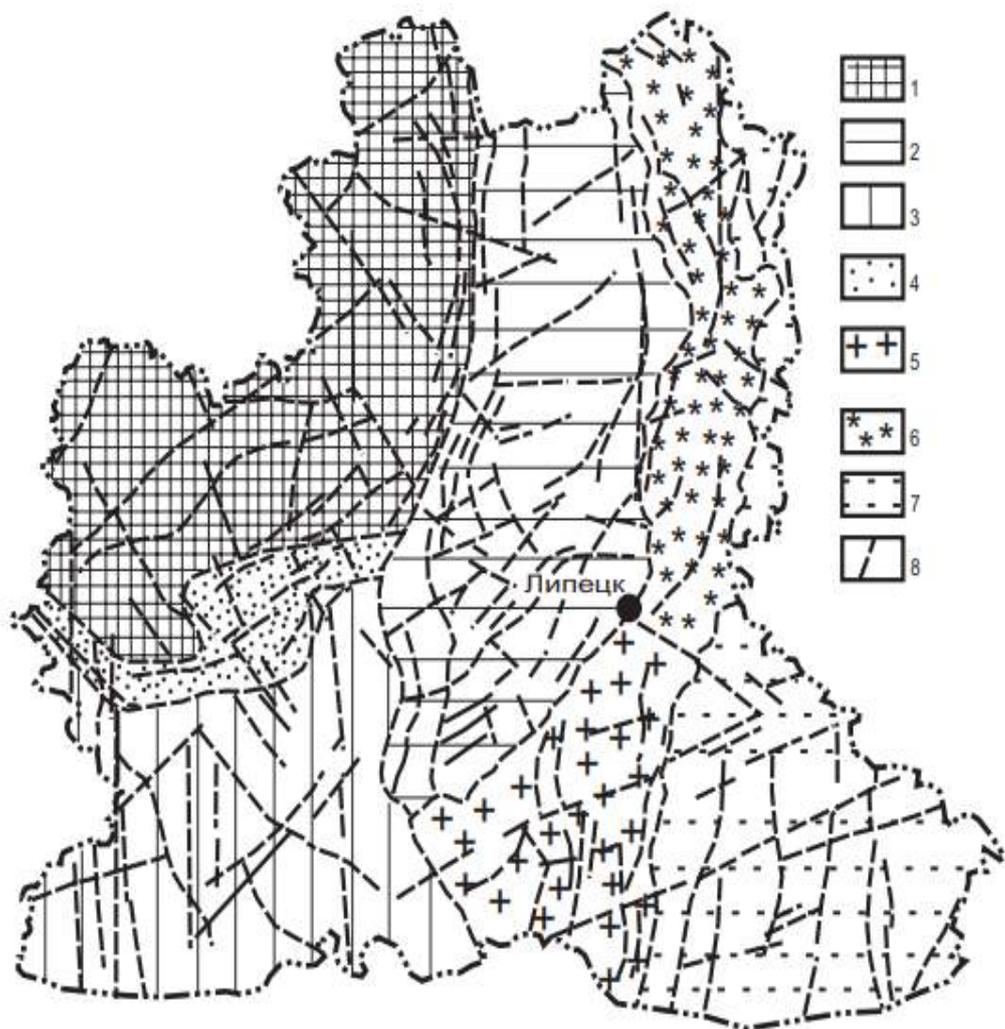


Рис. 1. Схема неотектонических структур Липецкой области. Структурные элементы в пределах Среднерусской возвышенности: 1 – Новосильское поднятие; 2 – Трубетчинская структурная терраса; 3 – Кшень-Оскольская структурная терраса; 4 – Елецко-Ливенский прогиб. Структурные элементы в пределах Окско-Донской низменности: 5 – Кривоборский прогиб; 6 – Салтыковский прогиб; 7 – Шукавкинское поднятие; 8 – осевые линии областей динамического влияния разломов фундамента

Fig. 1. Scheme of neotectonic structures of the Lipetsk region. Structural elements within the Central Russian Upland: 1 – Novosilskoe uplift; 2 – Trubetchinskaya structural terrace; 3 – Kshen-Oskolskaya structural terrace; 4 – Yelets-Livensky trough. Structural elements within the Oka-Don lowland: 5 – Krivobor trough; 6 – Saltykovsky trough; 7 – Shukavka uplift; 8 – axial lines of areas of dynamic influence of foundation faults



Объекты и методы исследования

Часть **Новосильского поднятия** располагается в северо-западной части Липецкой области. Высоты колеблются в диапазоне от 200 до 220 м, доходя до 240 м на некоторых локальных поднятиях. Потенциальная энергия рельефа на большей части варьируется от 40 до 60 м/км² и в некоторых местах достигает значений 80 м/км². Тектонические поднятия составляют в среднем +140 м, доходя до +150 м и +160 м на локальных поднятиях. Четвертичный комплекс представлен ледниковыми и водно-ледниковыми отложениями, которые перекрыты лёссово-почвенными отложениями. Для западной части Новосильского поднятия характерно отсутствие морены, а водно-ледниковые отложения сформированы на высотах больше 220 м. Речные долины состоят из балочного аллювия и аллювия малых рек. Первый состоит из супесей и суглинков, второй – по большей части из глинистых песков. Отложения дочетвертичного возраста представлены тремя комплексами: верхнефаменским, нижнекаменноугольным-среднемеловым и нижнемеловым. В западной части поднятия каменноугольные и юрские отложения отсутствуют. Литогенетическая трещиноватость характеризуется субмеридиональной направленностью в восточной части и северо-западной – в западной. Наиболее всего на характер трещиноватости оказывают влияние девонские карбонатные породы (известняки и доломиты). Наибольшее динамическое воздействие фиксируется вдоль южной границы Новосильского поднятия и по долине Дона (восточная граница). Зона динамического воздействия имеет ширину от 5 до 10 км. Неотектоническое влияние зоны динамического воздействия выражается в формировании сбросов, которые характеризуются субширотными осями растяжения и субмеридиональными – сжатия. Таким образом, именно эти процессы объясняют расположение карстовых образований и положение оползневых стенок срыва в нижнекаменноугольном комплексе. Южнее Новосильского поднятия находится Елецко-Ливенский прогиб. Для границы этих двух структур характерны сбросы с правым сдвигом.

Трубетчинская структурная терраса расположена в центральной части Липецкой области восточнее Новосильского поднятия. Тектонические колебания на её территории достигают +75 м, а средняя высота составляет в среднем 200 м. Базис эрозии находится на абсолютной высоте 120–140 м. Потенциальная энергия колеблется в диапазоне от 25 до 45 м/км², локально увеличиваясь до 60 м/км². Энергия рельефа растёт за счёт расчленения рельефа в условиях слабых поднятий. Отложения в условиях междуречий характеризуется покровными суглинками (мощность 3–5 м), ниже которых залегает морена донского горизонта. Для северной части Трубетчинской террасы характерны те же комплексы дочетвертичных отложений, что и для Новосильского поднятия. Верхнефаменские отложения, характеризующиеся карбонатными породами, проявляются только в нижних частях разреза некоторых рек и оврагов. Второй ярус представлен глинами и мергелями преимущественно неокомского возраста. В некоторых местах ниже неокомских отложений залегают отложения юрского и каменноугольного возраста. На большей части территории террасы распространены песчаники и пески альбского и аптского возрастов, в которых встречаются линзы глин и крупнозернистых песчаников. Третий комплекс пород представлен неогеновым аллювием, а также верхнемиоценовыми песками на южной части террасы. Трещиноватости в основном имеют северо-западную, северо-восточную, а также субширотную (на севере террасы) направленность. Динамическое влияние разломов проявляется в формировании сбросов и сдвигов. Для сбросов характерна юго-восточная направленность, а в целом горизонтальное сжатие локальных тектонических напряжений имеет северо-восточную ориентировку.

Кшень-Оскольская структурная терраса занимает юго-запад Липецкой области. Тектонические колебания находятся в промежутке от +80 до +100 м. Наибольшие возвышенности имеют абсолютную высоту 200 м, а базис эрозии – 160 м. Потенциальная энергия доходит до 60 м/км² при средних значениях от 35 до 40 м/км². Рассматривая террасу в

контексте разреза четвертичных отложений, можно разделить её на западную и восточную часть. Западная часть сложена суглинками и лёссами, возраст которых варьируется в достаточно большом диапазоне. Осадконакопление восточной части связано с влиянием ледника. Над мореной донского горизонта, представленной суглинками и глинами, залегают покровные суглинки. Локально встречаются пески и песчаники флювиогляциального генезиса. Долины рек сложены аллювиальными отложениями преимущественно песчаного состава. Мощность этих отложений не превышает трёх метров. Дочетвертичные отложения также представлены тремя комплексами. Ниже всех залегает верхнедевонский комплекс, который сложен карбонатными породами. Выше залегающий комплекс сформирован преимущественно глинами и мергелями неокомского возраста. И самый верхний – сложен песками нижнего мела, а также песками и мергелями сеноманского и сантонского возрастов и неоген-палеогеновыми песками в западной части. Аллювий долин рек представлен песками верхнего плиоцена. Трещиноватость преимущественно имеет северо-западную и северо-восточную направленность. Тектонические разрывы направлены меридионально. Воздействие разломных зон выражено в виде трещиноватости сбросового типа, однако точные параметры этих явлений установить не удалось. Эти разломные зоны связаны с трещинами в кристаллическом фундаменте и имеют ширину от 1 до 2 км.

Елецко-Ливенский прогиб находится в западной части Липецкой области. Он располагается вдоль реки Сосна и ограничен Новосильским поднятием с севера и Кшень-Оскольской структурной террасой – с юга. Формирование прогиба связано с Рыльско-Елецкой зоной трещиноватости в докембрийском фундаменте. Тектонические колебания находятся в промежутке от +50 до +75 м. Максимальные высоты имеют абсолютные значения около 170 м, а базис эрозии приурочен к абсолютной высоте 130 м. Потенциальная энергия рельефа доходит до 75 м/км^2 при средних значениях от 35 до 55 м/км^2 . Четвертичные отложения междуречий представлены гляциальными и флювиогляциальными породами, выше которых залегают лёссово-почвенные отложения. Аллювиальные отложения р. Сосны представлены песчаными и суглинистыми породами. Из пород дочетвертичного возраста наибольшее распространение имеют карбонатные породы верхнефаменского возраста. Тектонические напряжения имеют субмеридиональную направленность. Зона трещиноватости фундамента обуславливает растяжения с левым сдвигом.

В восточной части Липецкой области находится северо-западное крыло Окско-Донской низменности. К низменности относятся следующие структуры, находящиеся на территории области: Кривоборский и Салтыковский прогибы, а также Шукавкинское поднятие.

Кривоборский и Салтыковский прогибы находятся в восточной и северо-восточной части Липецкой области, протягиваясь вдоль реки Дон. Амплитуда тектонических движений этих двух структур не превышает 0 м. Максимальные высоты имеют абсолютные значения около 200 м. Потенциальная энергия доходит до 80 м/км^2 при средних значениях от 40 до 60 м/км^2 . Четвертичный разрез представлен аллювиальными отложениями различного возраста, от эоплейстоцена и неоплейстоцена до голоцена, а также отложениями флювиогляциальными, которые относятся к донскому горизонту нижнего плейстоцена. Дочетвертичные отложения плавно переходят в четвертичные, представлены в основном песками. В некоторых местах девонские известняки перекрываются аллювием плиоценового возраста. Литогенетическая трещиноватость имеет северо-восточную направленность, что совпадает с ориентацией осей прогибов.

Шукавкинское поднятие занимает юго-восточную оконечность Липецкой области. Тектонические колебания находятся в промежутке от 0 до +25 м. Максимальные высоты имеют абсолютные значения около 160 м, а базис эрозии приурочен к абсолютной высоте 110 м. Максимальная потенциальная энергия рельефа составляет 35 м/км^2 при средних значениях около 5 м/км^2 в восточной части и 15 м/км^2 – в западной. Для восточной части поднятия характерно увеличивающееся вертикальное расчленение, в то время, как западная часть скорее характеризуется постепенным гипсометрическим усреднением



при увеличении высоты базиса эрозии и динамическом равновесии. В восточной части четвертичные отложения представлены мореной донского возраста, поверх которой залегают водно-ледниковые и ледниково-озёрные отложения, представленные глинами и мергелями. Ещё выше залегают покровные суглинки. Дочетвертичные отложения представлены плиоценовыми песками и глинами [Трегуб и др., 2008].

Геохимия бора в подземных водах во многом определяется его зависимостью от химического состава подземных вод и соотношений основных макрокомпонентов [Закутин, Вавичкин, 2010]. В качестве основы для исследований по изучению борного загрязнения подземных вод был проведен комплекс полевых эколого-гидрогеохимических работ, проанализирован водный кадастр Липецкой области. Было выявлено, что на территории Липецкой области зафиксировано 74 случая превышения ПДК по бору ($0,5 \text{ мг/дм}^3$) в скважинах наблюдательной сети (рис. 2).

Пространственно повышенные концентрации бора были зафиксированы преимущественно в пределах структуры положительного знака – Среднерусской возвышенности в пределах Кшень-Оскольской структурной террасы. Также превышения бора в подземных водах отмечены в пределах Елецко-Ливенского, Кривоборского и Салтыковского прогибов.

На основе полученной информации в качестве объекта исследований была обозначена южная часть области. Полевые наблюдения и пробоотбор осуществлялся западнее и юго-западнее г. Задонска вдоль излучины реки Дон. Выбор был обусловлен достаточно высокой плотностью скважин с превышением ПДК по бору на относительно небольшой территории (около 200 км^2), а также высокой неотектонической активностью данного участка.

Результаты и их обсуждение

В 50 % отобранных проб были зафиксированы содержания бора, превышающие ПДК (рис. 2). Гидрогеохимические аномалии были сопоставлены с рисунком неотектонических нарушений. Для выделения линеаментов был использован набор контрастных SRTM снимков рельефа Липецкой области. Ярко выраженные на карте рельефа линейные структуры были сопоставлены с осевыми линиями областей динамического влияния разломов фундамента (см. рис. 1). В результате была создана геоинформационная модель, демонстрирующая взаимосвязь выявленных гидрогеохимических аномалий с неотектонической характеристикой района исследований (рис. 3)

В октябре 2021 г. было проведено дополнительное исследование химического состава загрязнённых подземных вод. Для обследования была выбрана реперная скважина, в которой ранее уже было обнаружено превышение ПДК бора. Скважина расположена в восточной части посёлка Локтево в 4,5 км западнее Задонска. Посёлок расположен на левом борту оврага, который спускается к Дону (рис. 4). Овраг имеет глубину около двадцати метров и ширину чуть более двухсот. Такой размер свидетельствует о величине проходящего в этом месте неотектонического нарушения.

Сухой остаток был отправлен в лабораторию для проведения спектрального атомно-эмиссионного химического анализа на расширенный список компонентов. Полученное массовое содержание компонентов было пересчитано с учётом изначального объёма воды и сопоставлено с нормативными лимитами для питьевой воды. Результаты лабораторных исследований представлены в таблице.

В пробе было обнаружено девять компонентов в объёме, превышающем минимальный предел измерения для прибора. Результаты химического анализа позволяют обозначить комплекс химических элементов, наполняющих подземные воды в местах активной разломной тектоники. В их числе бор, бериллий, кобальт, лантан, литий, молибден, стронций, титан, ванадий. Бериллий относится к веществам первого класса опасности. Кобальт, литий, бор, молибден и стронций по характеру токсичности отнесены ко второму классу опасности.

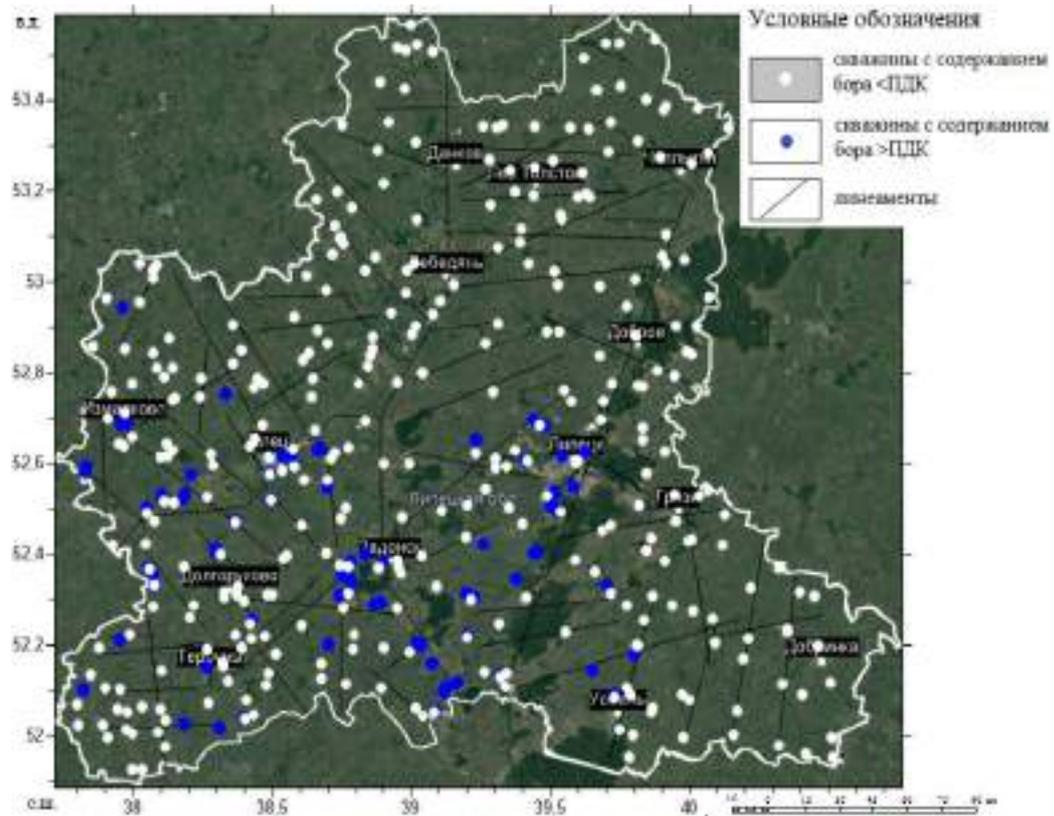


Рис. 2. Эколого-гидрогеохимическая карта содержания бора в подземных водах Липецкой области
Fig. 2. Ecological and hydrogeochemical map of boron content in groundwater of the Lipetsk region

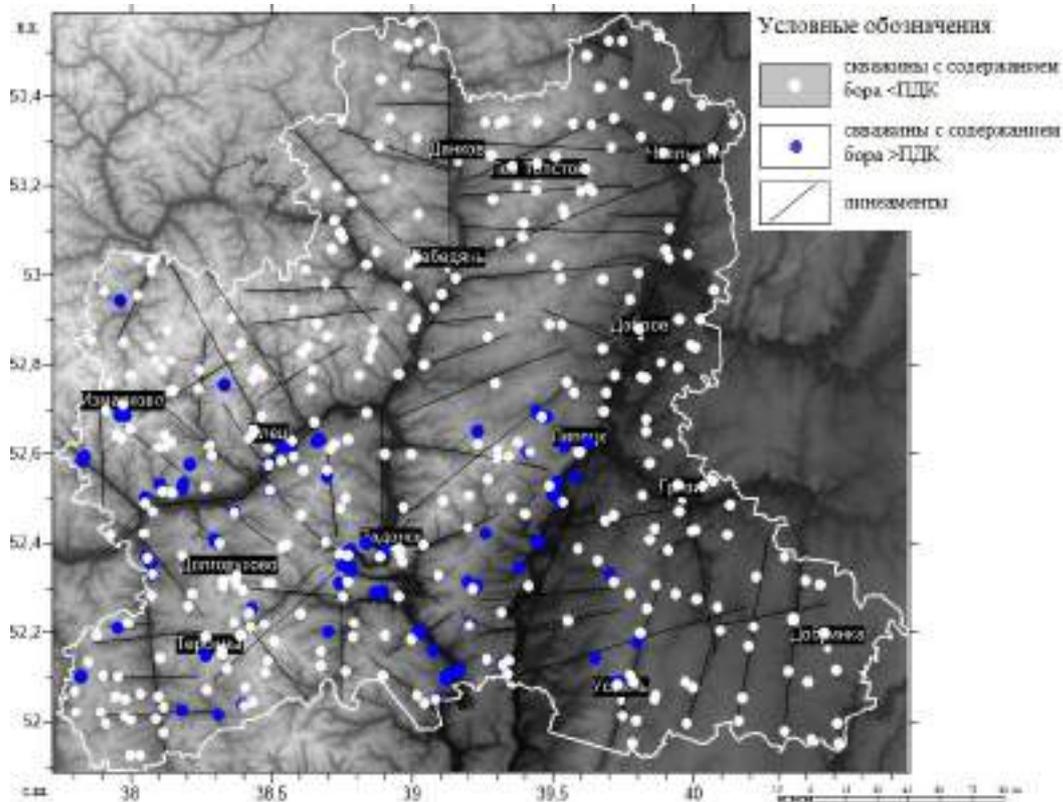


Рис. 3. Геоинформационная модель эколого-гидрогеохимических аномалий бора на территории Липецкой области
Fig. 3. Geoinformation model of ecological and hydrogeochemical anomalies of boron in the territory of the Lipetsk region

Содержание тяжелых металлов в подземных водах, приуроченных к разломной зоне
 The content of heavy metals in groundwater confined to the fault zone

Показатели	B	Be	Co	La*	Li*	Mo	Sr	Ti*	V
ПДК, мг/л	0,5	0,0002	0,10	0,002	0,7	0,25	7,00	0,1	0,10
Концентрация в пробе, мг/л	7,4	0,07	0,06	1,24	0,7	0,01	10,6	1,2	0,02

*В отечественном СанПин отсутствуют эти элементы, лимитирующие значения взяты из зарубежных нормативных документов и научных исследований.



Рис. 4. Местоположение маркерной скважины
 Fig. 4. Location of the marker well

Анализ полученных данных позволяет сделать следующие обобщения:

– максимальные превышения зафиксированы для лантана и бериллия. Для лантана зафиксированы превышения относительно ПДК более чем в 1000 раз. Свойством лантана является его активная способность образовывать токсические соединения. В частности, нитрат лантана – сильный окислитель, образует едкое вещество, токсичное при проглатывании, пожароопасное. Бериллий отнесен к 1 классу опасности, его концентрации превышают ПДК в 300 раз. В растворенном виде он оказывает аллергическое, канцерогенное, общетоксическое действие. Бериллий является мутагенным элементом, взаимодействует с ДНК, вызывает генные трансформации.

– бор и титан превышают ПДК в 10–15 раз. Механизм влияния титана на организм изучен плохо. Возможно его проникновение при имплантации, однако он не является активным. Дефицит бора меняет интенсивность мозговых импульсов, а его повышенные концентрации оказывает негативное воздействие на репродуктивные органы.

– молибден и стронций обнаружены в концентрациях, превышающих ПДК в несколько раз.

Подобные превышения ряда металлов и металлоидов свидетельствуют об активной тектонической деятельности, способствующей эманациям обозначенных элементов в газовой и растворенной формах. Эколого-гидрогеохимические исследования, проведенные в

пределах области, выявили приуроченности повышенных концентраций бора к подземным водам, расположенным в пределах локальных линейных неотектонических структур (линеаментов). При этом большая часть таких скважин сконцентрирована вблизи самых крупных рек Липецкой области, а именно Дона, Воронежа и Сосны (см. рис. 2). Следует учитывать, что указанные реки протекают по разломным нарушениям, ограничивающим локальные неотектонические структуры [Лукиянов, Трегуб, 2006]. Река Воронеж разделяет Трубетчинскую структурную террасу и Салтыковский прогиб. Сосна протекает по тектонически ослабленной зоне Елецко-Ливенского прогиба. Дон является естественной границей между Среднерусской возвышенностью и Окско-Донской низменностью [Трегуб, 2006]. Аналогичная ситуация с превышением бора в скважинах также зафиксирована в пределах Среднего Дона на территории Воронежской области. Следует подчеркнуть, что наличие бора не связано с каким-либо техногенным воздействием. Гидрогеохимия бора в девонских отложениях формируется с восходящими потоками высокоминерализованных подземных вод, поднимающихся из более глубоко расположенных водоносных горизонтов по зонам крупных разломов и ослабленным трещиноватым зонам, связанным с локальной неотектонической активностью.

При этом наиболее явно борное загрязнение проявляет себя в скважинах девонского возраста, по большей части в наиболее глубоком евланово-ливенском водоносном комплексе. На юге области имеют место единичные скважины с превышениями бора, эксплуатирующие неоген-четвертичный водоносный горизонт, однако в целом бор проявляется в глубоких (около и более 100 м) скважинах.

При этом присутствует ряд факторов, которые осложняют ситуацию и увеличивают риски для населения. Среди них: недостаточная изученность воздействия бора на организм, сложность в очистке воды от бора, а также сам факт уникальности этого компонента для данного региона, чья основная деятельность связана с горнодобывающей, перерабатывающей промышленностью, сельским хозяйством. Следует также учитывать, что в данном случае бор является лишь одним из индикаторов процесса, связанного с неотектонической деятельностью в регионе. Помимо бора в исследуемой воде обнаружены бериллий, лантан, литий, стронций и титан в количествах, превышающих предельно допустимые.

Заключение

В качестве выводов по проведенной работе следует отметить следующее:

1. Тектоническая и неотектоническая деятельность в пределах платформ является активным фактором преобразования компонентов геологической среды. Разломная тектоника формирует особенности рельефа платформ, ведет к развитию экзогенных и инженерно-геологических процессов и явлений.

2. Глубинная неотектоническая деятельность проявляется в присутствии в подземных водах комплекса металлов и металлоидов, среди которых бериллий, лантан, титан, молибден, стронций. Бор является маркирующим элементом, свидетельствующим о природном происхождении эколого-гидрогеохимической аномалии неотектонического происхождения.

3. Геоинформационное моделирование территории Липецкой области продемонстрировало взаимосвязь выявленных эколого-гидрогеохимических аномалий с неотектонической характеристикой района исследований. Глубинное поступление химических элементов, включая бор, в подземные воды приурочено к областям активной неотектонической деятельности в пределах Липецкой и Воронежской областей, относящихся к Восточно-Европейской платформе. Комплексное картирование данных процессов является важным фактором при принятии решений о определении зон воздействия горнодобывающих объектов Липецкой области на водоносные горизонты и комплексы.



Список литературы

- Бочаров В.Л. 2009. Ландшафтно-экологические условия и гидрогеохимия бассейна Среднего Дона. Статья 2. Факторы формирования, гидрогеохимия и экологическая оценка подземных вод. Вестник Воронежского Государственного Университета. Серия: Геология, 1: 134–141.
- Бочаров В.Л., Колесова Д.А. 2017. Гидрогеохимия пресных подземных вод и рассолов Новохопёрского никеленосного Района (Воронежский кристаллический массив). Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология, 3: 111–115.
- Голик В.И., Полухин О.Н., Петин А.Н., Комащенко В.И. 2013. Экологические проблемы разработки рудных месторождений КМА. Горный журнал, 4: 91–94.
- Закутин В.П., Вавичкин А.Ю. 2010. Основные особенности геохимии бора в пресных подземных водах. Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология, 1: 30–39.
- Закутин В.П., Голицын М.С., Швец В.М. 2012. Актуальные проблемы изучения и оценки качества подземных питьевых вод. Водные ресурсы, 39 (5): 485–495.
- Корнилов А.Г., Дроздова Е.А., Добровольская О.А. 2015. Современная геохимическая ситуация в районе с интенсивной горнодобывающей деятельностью КМА. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки, 9 (206): 147–153.
- Косинова И.И., Силкин К.Ю., Лепендин Д.Г. 2020. Неотектонический анализ территории Липецкой области как способ прогнозирования борного загрязнения подземных вод. В кн.: Закономерности трансформации экологических функций геосфер крупных горнопромышленных регионов. Материалы Международной научно-практической конференции, 17–19 ноября 2020, Воронеж, Истоки: 144–148.
- Косинова И.И., Ляпин Р.А. 2020. Система экологического менеджмента состояния неоген-четвертичного и верхнедевонского водоносных комплексов территории Липецкой области. Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология, 2: 83–89. DOI: 10.17308/geology.2020.2/2862.
- Косинова И.И., Ильяш В.В., Косинов А.Е. 2006. Эколого-геологический мониторинг техногенно нагруженных территорий. Воронеж, Воронежский государственный университет, 103 с.
- Кравчук Т.Н., Сергеев С.В. 2012. Прогноз загрязнения подземных вод при разработке железорудных месторождений КМА методами численного моделирования. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки, 15 (134): 168–172.
- Лисецкий Ф.Н., Чендев Ю.Г., Голушов П.В., Чепелев О.А. 2004. Загрязнение почвы тяжелыми металлами в зоне Курской магнитной аномалии. Научные труды Федерального научного центра гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана, 10: 286–291.
- Лукьянов В.Ф., Трегуб А.И. 2006. Девонская рифтогенная зона в пределах Воронежской антеклизы и ее проявление в подстилающих и перекрывающих структурно-вещественных комплексах. В кн.: Активные геологические и геофизические процессы в литосфере. Методы, средства и результаты изучения. Материалы XII международной конференции, 18–23 сентября 2006, Воронеж, Воронежский государственный университет, Т. 1: 299–302.
- Новиков Д.А. 2014. Гидрогеохимия и механизмы формирования состава подземных вод Арктических районов Сибири. Интерэкспо Гео-Сибирь, 2 (1): 109–114.
- Силин И.И. 2007. Природно-техногенные гидрогеохимические аномалии вблизи промышленных центров (на примере г. Обнинск Калужской области). Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология, 6: 518–530.
- Трегуб А.И. 2006. Карта новейшей тектоники территории Воронежского кристаллического массива. Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология, 1: 5–16.
- Трегуб А.И., Корабельников Н.А., Трегуб С.А., Старухин А.А. 2008. Территориальный прогноз развития опасных экзогенных геологических процессов в Липецкой области. Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология, 1: 147–152.
- Трубецкой К.Н., Каплунов Д.Р., Чаплыгин Н.Н., Котенко Е.А. 2004. КМА: долговременное и экологически сбалансированное недропользование. Горный журнал, 1: 4–9.
- Al-Hilal M. 2016. Establishing the range of background for radon variations in groundwater along the Serghaya fault in southwestern Syria. Geofisica Internacional, 55 (4): 255–266. DOI: 10.19155/geofint.2016.055.4.3.

- Coxito Afonso M.J. 2003. Hidrogeologia de rochas gráficas da região do Porto (NW de Portugal). *Cadernos do Laboratorio Xeoloxico de Laxe*, 28: 173–192.
- Dragovic R., Dordevic M., Martic-Bursac N., Dragovic S., Jankovic-Mandic L., Radivojevic A., Filipovic I. 2014. Groundwater in Serbia: Resources, environmental impacts and sustainable management. In: *Groundwater: Hydrogeochemistry, Environmental Impacts and Management Practices*. New York, Nova Science Publishers: 95–112.
- Eliopoulos D.G., Economou-Eliopoulos M., Apostolikas A., Golightly J.P. 2012. Geochemical features of nickel-laterite deposits from the Balkan Peninsula and Gordes, Turkey: The genetic and environmental significance of arsenic. *Ore Geology Reviews*, 48: 413–427. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2012.05.008.
- Katsanou K., Siavalas G., Lambrakis N. 2012. The thermal and mineral springs of Aitolokarnania Prefecture: Function mechanism and origin of groundwater. *Environmental Earth Sciences*, 65 (8): 2351–2364. DOI: 10.1007/s12665-011-1451-8.
- Koronkevich N.I., Barabanova E.A., Georgiadi A.G., Zaitseva I.S. 2020. Environmental and Economic Indicators of Anthropogenic Impacts on Water Resources in Russia and the World. *Herald of the Russian Academy of Sciences*, 90 (4): 428–436. DOI: 10.1134/S1019331620040103.
- Schyns J.F., Hoekstra A.Y., Booij M.J., Hogeboom R.J., Mekonnen M.M. 2019. Limits to the world's green water resources for food, feed, fiber, timber, and bioenergy. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 116 (11): 4893–4898. DOI: 10.1073/pnas.1817380116.
- Siddique J., Menggui J., Shah M.H., Shahab A., Rehman F., Rasool U. 2020. Integrated Approach to Hydrogeochemical Appraisal and Quality Assessment of Groundwater from Sargodha District, Pakistan. *Geofluids*, 2020: 6621038. DOI: 10.1155/2020/6621038.
- Thach N.N., Hai P.N., Lam N.V., Thuy D.T.T. 2010. Application of multimedia technology with remote sensing, GPS and GIS for Discovering karst ground water in Haging Province. *31st Asian Conference on Remote Sensing 2010, ACRS 2010*: 1265–1273.
- Zhiltsov S.S., Zonn I.S., Semenov A.V., Grishin O.E., Markova E.A. 2020. Role of water resources in the modern world. *Handbook of Environmental Chemistry*, 105: 13–29. DOI: 10.1007/978_2020_598.
- Zoran M.A., Savastru R.S., Savastru D.M., Serban F.S., Teleaga D.M., Mateciuc D.N. 2017. Surface deformation analysis over Vrancea seismogenic area through radar and GPS geospatial data. *Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering*, 10428: 1042817. DOI: 10.1117/12.2278012.

References

- Bocharov V.L. 2009. Landscape-Ecological Conditions and Hydrogeochemistry of Average Don Pool. Article II. Factors of Formation, Hydrogeochemistry and Ecological Estimation of Underground Waters. *Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 1: 134–141 (in Russian).
- Bocharov V.L., Kolesova D.A. 2017. Hydrogeochemistry of Fresh Underground Waters and Brines Nickel Novokhoperskogo Rajjona (Voronezh Crystalline Massif). *Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 3: 111–115 (in Russian).
- Golik V.I., Polukhin O.N., Petin A.N., Komashchenko V.I. 2013. *Ekologicheskiye problemy razrabotki rudnykh mestorozhdeniy KMA* [Environmental problems of development of ore deposits of KMA]. *Gornyy zhurnal*, 4: 91–94.
- Zakutin V.P., Vavichkin A.Yu. 2010. The Main Geochemical Speciecs of Boron in Fresh Groundwater. *Geocology. Engineering Geology. Hydrogeology. Geocryology*, 1: 30–39 (in Russian).
- Zakutin V.P., Golitsyn M.S., Shvets V.M. 2012. Aktualnyye problemy izucheniya i otsenki kachestva podzemnykh pityevykh vod [Actual problems of studying and assessing the quality of underground drinking water]. *Vodnyye resursy*, 39 (5): 485–495.
- Kornilov A.G., Drozdova E.A., Dobrovolskaya O.A. 2015. Modern Geochemical Conditions in Regions with Intensive Mining Activities of KMA. *Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural Sciences Series*, 9 (206): 147–153 (in Russian).
- Kosinova I.I., Silkin K.Y., Lependin D.G. 2020. Neotectonic Analysis of Lipetsk Region as a Way to Predict Ground Water's Contamination by Boron. In: *Patterns of transformation of ecological functions of the geosphere of large mining regions. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference*, 17–19 November 2020, Voronezh, Publ, Istoki: 144–148 (in Russian).



- Kosinova I.I., Lyapin R.A. 2020. The environmental management system of the Neogene-Quaternary and Upper Devonian aquifers in the Lipetsk region. *Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2: 83–89 (in Russian). DOI: 10.17308/geology.2020.2/2862.
- Kosinova I.I., Iliash V.V., Kosinov A.E. 2006. *Ekologo-geologicheskii monitoring tekhnogenno nagruzhennykh territoriy* [Ecological and geological monitoring of technogenically loaded territories]. Voronezh, Publ. Voronezhskiy gosudarstvennyy universitet, 103 p.
- Kravchuk T.N., Sergeev S.V. 2012. Undergroundwaters Contaminationforecast for Iron Ore Development of KMA by Methods of Numerical Simulation. *Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural Sciences Series*, 15 (134): 168–172.
- Lisetskii F.N., Chendev Yu.G., Goleusov P.V., Chepelev O.A. 2004. Zagryazneniye pochvy tyazhelymi metallami v zone Kurskoy magnitnoy anomalii [Soil contamination with heavy metals in the zone of the Kursk magnetic anomaly]. *Nauchnyye trudy Federalnogo nauchnogo tsentra gigiyeny im. F.F. Erismana*, 10: 286–291.
- Lukianov V.F., Tregub A.I. 2006. Devonskaya riftogennaya zona v predelakh Voronezhskoy anteklizy i ee proyavleniye v podstilayushchikh i perekryvayushchikh strukturno-veshchestvennykh kompleksakh [Devonian rift zone within the Voronezh antecline and its manifestation in the underlying and overlying structural-material complexes]. In: *Aktivnyye geologicheskiye i geofizicheskiye protsessy v litosfere. Metody, sredstva i rezultaty izucheniya* [Active geological and geophysical processes in the lithosphere. Methods, means and results of the study]. *Proceedings of the XII International Conference*, 18–23 September 2006, Voronezh, Publ. Voronezhskiy gosudarstvennyy universitet, V. 1: 299–302.
- Novikov D.A. 2014. Hydrogeochemistry and Mechanisms of Groundwater Formation in Siberian Arctic. *Interexpo GEO-Siberia*, 2 (1): 109–114 (in Russian).
- Silin I.I. 2007. Prirodno-tekhnogennyye gidrogeokhimicheskiye anomalii vblizi promyshlennykh tsentrov (na primere g. Obninsk Kaluzhskoy oblasti) [Natural and technogenic hydrogeochemical anomalies near industrial centers (on the example of the city of Obninsk, Kaluga region)]. *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya*, 6: 518–530.
- Tregub A.I. 2006. The Recent Tectonic Map of the Voronezh Crystalline Massif. *Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 1: 5–16 (in Russian).
- Tregub A.I., Korabelnikov N.A., Tregub S.A., Staruchin A.A. 2008. Territorial Prognosis of Development of Dangerous Exogenous Processes in the Lipeck Area. *Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 1: 147–152 (in Russian).
- Trubetskoy K.N., Kaplunov D.R., Chaplygin N.N., Kotenko E.A. 2004. KMA: dolgovremennoye i ekologicheskii sbalansirovannoye nedropolzovaniye [KMA: long-term and environmentally balanced subsoil use]. *Gornyy zhurnal*, 1: 4–9.
- Al-Hilal M. 2016. Establishing the range of background for radon variations in groundwater along the Serghaya fault in southwestern Syria. *Geofisica Internacional*, 55 (4): 255–266. DOI: 10.19155/geofint.2016.055.4.3.
- Coxito Afonso M.J. 2003. Hidrogeologia de rochas graníticas da região do Porto (NW de Portugal). *Cadernos do Laboratorio Xeoloxico de Laxe*, 28: 173–192.
- Dragovic R., Dordevic M., Martic-Bursac N., Dragovic S., Jankovic-Mandic L., Radivojevic A., Filipovic I. 2014. Groundwater in Serbia: Resources, environmental impacts and sustainable management. In: *Groundwater: Hydrogeochemistry, Environmental Impacts and Management Practices*. New York, Nova Science Publishers: 95–112.
- Eliopoulos D.G., Economou-Eliopoulos M., Apostolikas A., Golightly J.P. 2012. Geochemical features of nickel-laterite deposits from the Balkan Peninsula and Gordes, Turkey: The genetic and environmental significance of arsenic. *Ore Geology Reviews*, 48: 413–427. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2012.05.008.
- Katsanou K., Siavalas G., Lambrakis N. 2012. The thermal and mineral springs of Aitolokarnania Prefecture: Function mechanism and origin of groundwater. *Environmental Earth Sciences*, 65 (8): 2351–2364. DOI: 10.1007/s12665-011-1451-8.
- Koronkevich N.I., Barabanova E.A., Georgiadi A.G., Zaitseva I.S. 2020. Environmental and Economic Indicators of Anthropogenic Impacts on Water Resources in Russia and the World. *Herald of the Russian Academy of Sciences*, 90 (4): 428–436. DOI: 10.1134/S1019331620040103.



- Schyns J.F., Hoekstra A.Y., Booij M.J., Hogeboom R.J., Mekonnen M.M. 2019. Limits to the world's green water resources for food, feed, fiber, timber, and bioenergy. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 116 (11): 4893–4898. DOI: 10.1073/pnas.1817380116.
- Siddique J., Menggui J., Shah M.H., Shahab A., Rehman F., Rasool U. 2020. Integrated Approach to Hydrogeochemical Appraisal and Quality Assessment of Groundwater from Sargodha District, Pakistan. *Geofluids*, 2020: 6621038. DOI: 10.1155/2020/6621038.
- Thach N.N., Hai P.N., Lam N.V., Thuy D.T.T. 2010. Application of multimedia technology with remote sensing, GPS and GIS for Discovering karst ground water in Haging Province. 31st Asian Conference on Remote Sensing 2010, ACRS 2010: 1265–1273.
- Zhiltsov S.S., Zonn I.S., Semenov A.V., Grishin O.E., Markova E.A. 2020. Role of water resources in the modern world. *Handbook of Environmental Chemistry*, 105: 13–29. DOI: 10.1007/978-3-030-598-598_598.
- Zoran M.A., Savastru R.S., Savastru D.M., Serban F.S., Teleaga D.M., Mateciuc D.N. 2017. Surface deformation analysis over Vrancea seismogenic area through radar and GPS geospatial data. *Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering*, 10428: 1042817. DOI: 10.1117/12.2278012.

*Поступила в редакцию 22.02.2022;
поступила после рецензирования 14.03.2022;
принята к публикации 25.03.2022*

*Received February 22, 2022;
Revised March 14, 2022;
Accepted March 25, 2022*

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Бударина Виктория Александровна, кандидат юридических наук, доцент кафедры экологической геологии геологического факультета, Воронежский государственный университет, г. Воронеж, Россия

Косинова Ирина Ивановна, доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующая кафедрой экологической геологии геологического факультета, Воронежский государственный университет, г. Воронеж, Россия

Лепендин Денис Геннадьевич, аспирант кафедры экологической геологии геологического факультета, Воронежский государственный университет, г. Воронеж, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Victoria A. Budarina, Candidate of Law, Associate Professor of the Department of Environmental Geology, Geological Faculty of the Voronezh State University, Voronezh, Russia

Irina I. Kosinova, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Head of the Department of Environmental Geology of the Geological Faculty of the Voronezh State University, Voronezh, Russia

Denis G. Lependin, Postgraduate Student of the Department of Environmental Geology, Faculty of Geology, Voronezh State University, Voronezh, Russia



УДК 504.054
DOI 10.52575/2712-7443-2022-46-2-298-306

Оптимизация учета источников загрязнения атмосферного воздуха при нормировании выбросов автозаправочных станций

¹Боровлев А.Э., ²Колосова И.В., ¹Никулина А.С.

¹Белгородский государственный национальный исследовательский университет
Россия, 3080150, Белгород, ул. Победы, 85

²Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, 46
E-mail: borovlev@bsu.edu.ru

Аннотация. Автозаправочные станции оказывают воздействие на окружающую среду в результате испарения нефтепродуктов в процессе их приемки, хранения, отпуска и очистки резервуаров. При нормировании выбросов автозаправочной станции максимальный выброс (г/с) обычно рассчитывается только для операции заправки нефтепродукта в резервуары. Расчетным путем доказано, что однозначный выбор источника выбросов в пользу операции заправки нефтепродукта в резервуары при расчете максимально разового выброса является ошибочным. На основе анализа результатов вариантных расчетов рассеивания выбросов загрязняющих веществ в атмосферном воздухе установлено, что выбор результирующего источника выбросов зависит от количества одновременно работающих топливно-раздаточных колонок автозаправочной станции. Для дизельного топлива загрязнение атмосферного воздуха в некоторых направлениях будет более опасным при заправке баков автомобилей, чем от заправки топлива в резервуары уже при двух одновременно работающих колонках, а для неэтилированного бензина – при трех колонках. Указанный критерий выбора результирующего источника выброса паров нефтепродуктов автозаправочной станции предложено использовать при проведении работ по установлению нормативов предельно допустимых выбросов и сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха.

Ключевые слова: автозаправочная станция (АЗС), бензол, загрязняющее вещество (ЗВ), нефтепродукты, предельно-допустимая концентрация (ПДК), топливно-раздаточная колонка (ТРК), углеводороды

Для цитирования: Боровлев А.Э., Колосова И.В., Никулина А.С. 2022. Оптимизация учета источников загрязнения атмосферного воздуха при нормировании выбросов автозаправочных станций. Региональные геосистемы, 46(2): 298–306. DOI 10.52575/2712-7443-2022-46-2-298-306

Optimization of Accounting for Sources of Atmospheric Air Pollution when Rationing Gas Station Emissions

¹Andrey E. Borovlev, ²Irina V. Kolosova, ¹Anna S. Nikulina

¹Belgorod National Research University,
85 Pobedy St, Belgorod, 308015, Russia

²Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov
46 Kostyukova St, Belgorod, 308012, Russia
E-mail: borovlev@bsu.edu.ru

Abstract. Filling stations have an impact on the environment as a result of the evaporation of petroleum products during their acceptance, storage, release and cleaning of tanks. When rationing gas station emissions, the maximum emission (g/s) is usually calculated only for the operation of pumping petroleum products into tanks. It is proved by calculation that the unambiguous choice of the source of emissions in

favor of the operation of pumping petroleum products into tanks when calculating the maximum single emission is erroneous. Based on the analysis of the results of variant calculations of the dispersion of emissions of pollutants in the atmospheric air, it was found that the choice of the resulting source of emissions depends on the number of simultaneously operating fuel dispensers of a gas station. For diesel fuel, atmospheric air pollution in some directions will be more dangerous when filling the tanks of cars than from pumping fuel into tanks already with two simultaneously operating columns, and for unleaded gasoline – with three columns. It is proposed to use the specified criterion for selecting the resulting source of oil vapor emissions from a gas station when carrying out work to establish standards for maximum permissible emissions and summary calculations of atmospheric air pollution.

Keywords: gas station, benzene, polluting substance, petroleum products, maximum permissible concentration, fuel distribution column, hydrocarbons

For citation: Borovlev A.E., Kolosova I.V., Nikulina A.S. 2022. Optimization of Accounting for Sources of Atmospheric Air Pollution when Rationing Gas Station Emissions. *Regional geosystems*, 46(2): 298–306 (in Russian). DOI 10.52575/2712-7443-2022-46-2-298-306

Введение

В настоящее время загрязнение атмосферного воздуха в техногенных и технологических зонах, вследствие пиковой рекордной компактности народонаселения и концентрации базового сегмента техносферы, приобрело рисковый небезопасный ярус и показатели, с каковыми реализуется понижение защищенности в технополисах и регресс добротности функционирования и обеспечения жизненного процесса урбанистического электората [Боровлев, 2016; Borovlev, Zelenskaya, 2018; О качестве атмосферного ..., 2022]. В последние годы широко проводятся исследования по оценке риска здоровью населения крупных урбанизированных регионов [Епринцев и др., 2020; Shekoan et al., 2020]. Для такого рода оценок широко используются сводные (комплексные) расчеты загрязнения атмосферного воздуха [Боровлев, 2020]. Они регламентируются рядом нормативных документов [Правила установления..., 2014; Об утверждении правил ..., 2019; Об утверждении методики ..., 2020]. Однако распространённой ошибкой является их ограничение только крупными производственными объектами [Волкодаева и др., 2018; Volkodaeva et al., 2018; Карелин и др., 2019]. Так при проведении сводных расчетов целесообразно учитывать также и АЗС, оказывающих воздействие на окружающую среду в результате испарения нефтепродуктов в процессе их приемки, хранения, отпуска и очистки резервуаров. Наиболее приоритетным ЗВ в выбросах АЗС является бензол, относящийся ко 2-му классу опасности. Его приземные концентрации превышают установленные нормативы на границах санитарно-защитных зон АЗС и в близлежащей жилой застройке ряда крупных мегаполисов [Correa et. al., 2012; Asadi, Mirmohammadi, 2017; Кошкарев и др., 2020; Кошкарев и др., 2022].

В связи с тем, что одновременная закачка нефтепродукта в резервуары и баки автомобилей не осуществляется, то при проведении расчёта рассеивания выбросов ЗВ в атмосферном воздухе один из этих источников не учитывается. Максимальный выброс (г/с) обычно рассчитывается только для операции закачки нефтепродукта в резервуары [Методическое пособие ..., 2012]. Данный выбор является ошибочным, так как при большом количестве топливно-раздаточных колонок (ТРК) может быть неверно оценена степень воздействия предприятия на окружающую среду. Поэтому важно определить четкий критерий выбора результирующего источника выброса паров нефтепродуктов АЗС для выполнения расчетов загрязнения атмосферного воздуха.



Объекты исследования

Определение величин выбросов ЗВ в атмосферный воздух типовой автозаправочной станции (на примере АЗС ООО «Лукойл-Югнефтепродукт») выполнено на основе утвержденных Минприроды России методик [Методические указания ..., 1997; Дополнение к «Методическим указаниям ...», 1999].

Доставка топлива на АЗС производится автоцистернами для последующего его слива самотеком в резервуар. В результате слива моторных топлив в резервуары, а также при заправке баков автомобилей через ТРК в атмосферу поступает ряд загрязняющих веществ. Для автоматизированного расчета загрязнения атмосферы выбросами АЗС использована программа «ЭКОЛОГ» (версия 4.60.8.), разработанная фирмой «Интеграл» на основе [Методы расчета рассеивания..., 2017].

Результаты и их обсуждение

Согласно методик [Методические указания..., 1997; Дополнение к «Методическим указаниям ...», 1999] при заправке резервуаров и баков автомобилей дизельным топливом в атмосферу выделяется ряд ЗВ (представлены в табл. 1–2). На основе исходных данных загрузки резервуаров типовой АЗС получены результаты расчетов выбросов по источнику выделения – при закачке одного резервуара бензином (табл. 1) и одного резервуара – дизельным топливом (табл. 2).

Таблица 1
Table 1

Результаты расчетов по источнику выделения – закачка одного резервуара бензином
The results of calculations based on the source of the release – the injection of one tank with gasoline

Код	Название вещества	Содержание, %	Максимальный выброс, г/с	Валовый выброс, т/год
0415	Смесь углеводородов предельных C1-C5	67,67	0,3488764	0,341270
0416	Смесь углеводородов предельных C6-C10	25,01	0,1289404	0,126129
0501	Пентилены (Амилены – смесь изомеров)	2,50	0,0128889	0,012608
0602	Бензол	2,30	0,0118578	0,011599
0616	Ксилол	0,29	0,0014951	0,001463
0621	Метилбензол (Толуол)	2,17	0,0111876	0,010944
0627	Этилбензол	0,06	0,0003093	0,000303

Таблица 2
Table 2

Результаты расчетов по источнику выделения – закачка одного резервуара дизельным топливом
The results of calculations based on the source of discharge – injection of one tank with diesel fuel

Код	Название вещества	Содержание, %	Максимальный выброс, г/с	Валовый выброс, т/год
0333	Дигидросульфид (Сероводород)	0,28	0,0000047	0,000161
2754	Углеводороды предельные C12-C19	99,72	0,0016664	0,057356

На основании результатов расчетов максимальных приземных концентраций ЗВ для операции закачки нефтепродукта в резервуары установлено, что максимальная величина приземной концентрации при закачке бензина наблюдается по бензолу, а при закачке дизельным топливом – по углеводородам предельным C12-C19 (табл. 3). Таким образом, дальнейшие исследования целесообразно проводить только для указанных приоритетных ЗВ.

Для выполнения расчетов загрязнения атмосферного воздуха в районе размещения АЗС с учетом количества одновременно работающих ТРК определены выбросы (г/с) приоритетных ЗВ АЗС (табл. 4).

Таблица 3
Table 3

Результаты расчета максимальных приземных концентраций загрязняющих веществ для операции закачки нефтепродукта в резервуары
The results of calculating the maximum surface concentrations of pollutants for the operation of pumping petroleum products into tanks

Код	Вещество Наименование	ПДК _{м.р.}	Расчетная максимальная приземная концентрация ЗВ, доли ПДК
0333	Дигидросульфид (Сероводород)	0,008	0,01
2754	Углеводороды предельные С12-С19	1,0	0,02
0415	Смесь углеводородов предельных С1-С5	200,0	0,02
0416	Смесь углеводородов предельных С6-С10	50,0	0,03
0501	Пентилены (Амилены - смесь изомеров)	1,5	0,11
0602	Бензол	0,3	0,50
0616	Ксилол	0,2	0,10
0621	Метилбензол (Толуол)	0,6	0,24
0627	Этилбензол	0,02	0,20

Таблица 4
Table 4

Выбросы приоритетных загрязняющих веществ АЗС в зависимости от выбора источника выделения и вида топлива
Emissions of priority pollutants from gas stations, depending on the choice of the source of emission and type of fuel

Количество одновременно работающих ТРК, шт.	Выброс углеводородов предельных С12-С19, г/с	Выброс бензола, г/с
1	0,0008687	0,0045085
2	0,0017373	0,0090169
3	0,0026060	0,0135254
4	0,0034747	0,0180338
5	0,0043434	0,0225423

Для анализа результатов расчётов рассеивания выбросов ЗВ в атмосферном воздухе выбраны контрольные точки на границе санитарно-защитной зоны АЗС (50 м) с учетом требований [Правила установления .., 2014; Об утверждении методики .., 2020]. Согласно результатам вариантных расчетов (табл. 5) в некоторых направлениях для дизельного топлива загрязнение атмосферного воздуха будет более высоким от заправки баков автомобилей, чем от закачки топлива в резервуары уже при двух ТРК, а для неэтилированного бензина – при трех ТРК.

Для более наглядной картины результатов вариантных расчетов рассеивания выбросов ЗВ в атмосферном воздухе в зависимости от выбора результирующего источника выброса и вида топлива была построена зона влияния выбросов ЗВ АЗС, определяемая согласно [Об утверждении методики .., 2020] как территория ограниченная изолинией 0,05 ПДК (рис.). Зона влияния выбросов ЗВ рассчитывается по каждому вредному веществу (комбинации вредных веществ с суммирующимся вредным действием) отдельно [Об утверждении методики .., 2020].



Таблица 5
Table 5

Результаты вариантных расчетов загрязнения атмосферного воздуха
в зависимости от выбора источника выброса и вида топлива
Results of variant calculations of atmospheric air pollution depending
on the choice of emission source and fuel type

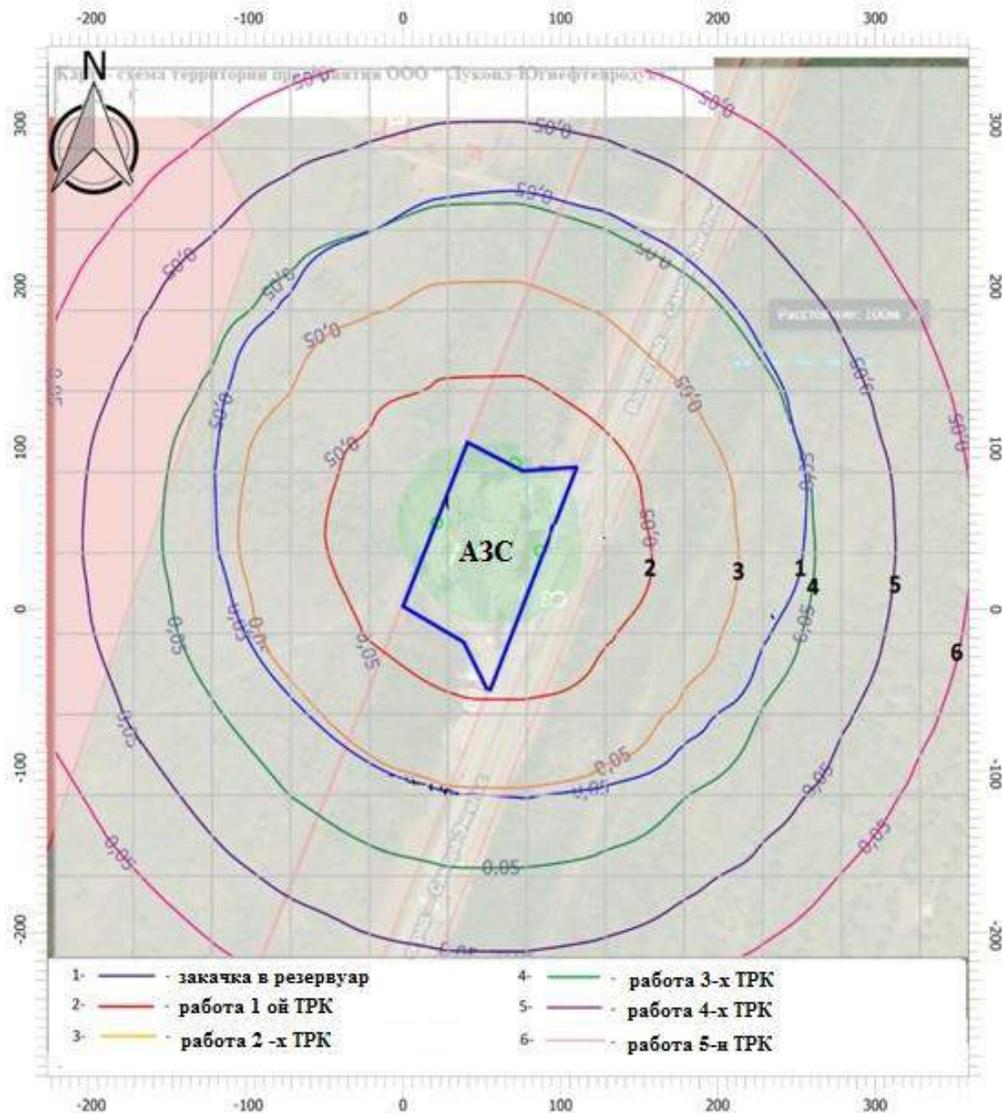
Наименование ЗВ	Максимальная приземная концентрация ЗВ (C_{\max}), доли ПДК						КВРИВ* (кол-во ТРК), шт.
	Закачка в резервуары	Заправка баков автомобилей					
		Работа 1-й ТРК	Работа 2-х ТРК	Работа 3-х ТРК	Работа 4-х ТРК	Работа 5-ти ТРК	
Контрольная точка №1 Северное направление							
Углеводороды предельные C12-C19	0,02	0,00239	0,01	0,021	0,021	0,03	3
Бензол	0,5	0,12	0,24	0,36	0,48	0,60	5
Контрольная точка №2 Восточное направление							
Углеводороды предельные C12-C19	0,02	0,00302	0,021	0,026	0,03	0,04	2
Бензол	0,38	0,15	0,3	0,36	0,61	0,76	3
Контрольная точка №3 Западное направление							
Углеводороды предельные C12-C19	0,02	0,003	0,021	0,03	0,03	0,04	2
Бензол	0,32	0,15	0,3	0,45	0,60	0,75	3

Примечание: * – критерий выбора результирующего источника выброса для выполнения расчетов загрязнения атмосферного воздуха (количество одновременно работающих ТРК АЗС с учетом выбора конкретного вида топлива), при котором C_{\max} ЗВ при работе ТРК превышает C_{\max} при закачке в резервуар.

На рисунке показана зона влияния (0,05 ПДК) только для бензола. Для углеводородов предельных C12-C19 зона влияния не выходит за границы территории рассматриваемого объекта, в связи с чем, не рассматривается. На данном рисунке четко видно, что изолиния 0,05 ПДК при заправке баков автомобилей полностью поглощает изолинию 0,05 ПДК от закачки в резервуары, только при четырех одновременно работающих ТРК.

В связи с тем, что уровень загрязнения атмосферы от заправки баков автомобилей превышает загрязнение от закачки в резервуары при маленьком количестве одновременно работающих ТРК не во всех направлениях, то при выборе результирующего источника выбросов, необходимо учитывать направление нормируемых объектов, расположенных вблизи АЗС. В результате проведенного исследования источников выбросов АЗС было установлено, что при наличии:

- одной работающей колонки результирующим источником работы АЗС является закачка в резервуары для любого вида топлива;
- двух работающих колонок для дизельного топлива, результирующий источник стоит выбирать в зависимости от расположения нормируемых объектов, для неэтилированного бензина – закачка в резервуары;
- трех работающих колонок для неэтилированного бензина результирующий источник целесообразно выбирать в зависимости от расположения нормируемых объектов, для дизельного топлива – при заправке баков автомобилей;
- четырех и более работающих колонок результирующим источником работы АЗС является заправка баков автомобилей для любого вида топлива.



Зона влияния выбросов ЗВ АЗС
Zone of influence of pollutant emissions from filling stations

Заключение

На сегодняшний день работа заправок станций (АЗС) является важным элементом функционирования всех систем жизнедеятельности человека. Оптимизация определения источников АЗС в расчетах загрязняющих веществ дает нам возможность правильно оценить экологическую ситуацию. На основании результатов расчетов рассеивания выбросов ЗВ в атмосферном воздухе доказано, что однозначный выбор источника выбросов в пользу операции заправки нефтепродукта в резервуары при расчете максимально разового выброса является ошибочным. Установлено, что выбор результирующего источника выбросов зависит от количества колонок на АЗС. Для дизельного топлива уровень загрязнения атмосферного воздуха в некоторых направлениях будет более высоким при заправке баков автомобилей, чем от заправки топлива в резервуары уже при двух одновременно работающих ТРК, для неэтилированного бензина – при трех ТРК. Указанные критерии могут быть использованы при разработке нормативов предельно допустимых выбросов автозаправочных станций и проведении сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха.



Список источников

- Дополнение к «Методическим указаниям по определению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу из резервуаров (Новополоцк, 1997)». 1999. СПб., НИИ Атмосфера, 26 с.
- Методическое пособие по расчету, нормированию и контролю выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух (Дополненное и переработанное). 2012. СПб., НИИ Атмосфера, 222 с.
- Методические указания по определению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу из резервуаров (утв. приказом Госкомприроды РФ 12 мая 1998 г.). Электронный ресурс. URL: <https://base.garant.ru/2163005/b89690251be5277812a78962f6302560/> (дата обращения 01.04.2022).
- Методы расчета рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе (утв. Приказом Минприроды РФ от 06.06.2017 г. № 273). Электронный ресурс. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201708110012> (дата обращения 01.04.2022).
- О качестве атмосферного воздуха и мерах его очистки. Директива № 2008/50/ЕС Европейского парламента и Совета Европейского Союза (Принята в г. Страсбурге 21.05.2008). Электронный ресурс. URL: <https://base.garant.ru/2568235/> (дата обращения: 01.04.2022).
- Об утверждении методики разработки (расчета) и установления нормативов допустимых выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух (утв. приказом Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 11.08.2020 № 581). Электронный ресурс. URL: <https://base.garant.ru/400164922/> (дата обращения: 01.04.2022).
- Об утверждении правил проведения сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха, включая их актуализацию (утв. приказом Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 29 ноября 2019 г. № 813). Электронный ресурс. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201912260018> (дата обращения: 01.04.2022).
- Правила установления допустимых выбросов загрязняющих веществ промышленными предприятиями. ГОСТ 17.2.3.02-2014. 2014. М., 14 с.

Список литературы

- Боровлев А.Э. 2016. Оценка устойчивости городских почв к аэротехногенному воздействию (на примере города Белгорода). Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки, 4 (225): 138–144.
- Боровлев А.Э. 2020. Проблемные вопросы оценки риска здоровью населения Белгородской области на основе сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха. Управление городом: Теория и практика, 4 (38): 53–56.
- Волкодаева М.В., Таранина О.А., Канчан Я.С. 2018. О возможных ошибках при определении величины мощности выбросов загрязняющих веществ. Системы контроля окружающей среды, 12 (32): 122–127.
- Карелин А.О., Ломтев А.Ю., Волкодаева М.В., Еремин Г.Б. 2019. Совершенствование подходов к оценке воздействия антропогенного загрязнения атмосферного воздуха на население в целях управления рисками для здоровья. Гигиена и санитария, 98 (1): 82–86. DOI: 10.18821/0016-9900-2019-98-1-82-86.
- Епринцев С.А., Куролап С.А., Клепиков О.В., Шекоян С.В. 2020. Оценка воздействия техногенного загрязнения воздушной среды на медикодемографические процессы крупных урбанизированных регионов. Геополитика и экогеодинамика регионов, 6 (3): 43–50. DOI: 10.37279/2309-7663-2020-6-3-43-50.
- Кошкарев С.А., Заурова Ф.Х., Кузубова А.А., Хаустова Е.П., Кошкарев К.С. 2020. К результатам исследования уровня загрязнения воздуха в районе расположения АЗС для снижения выбросов углеводородов. Инженерный вестник Дона, 3 (63): 32.
- Кошкарев С.А., Кошкарев К.С., Брехов А.А., Перницкий А.Д., Курасов А.Н. 2022. К совершенствованию устройств очистки выбросов и снижению отходов образования АЗС. Инженерный вестник Дона, 1(85): 336–348.
- Asadi M, Mirmohammadi M. 2017. Experimental Study of Benzene, Toluene, Ethylbenzene, and Xylene (BTEX) Contributions in the Air Pollution of Tehran, Iran. Environmental Quality Management, 27 (1): 83–93. DOI: 10.1002/tqem.21510.



- Borovlev A.E., Zelenskaya E.Ya. 2018. Use of the Air Pollution Summary Calculations for Industrial Emission Regulation in the City of Belgorod. *Biogeosystem Technique*, 5 (2): 149–158. DOI: 10.13187/bgt.2018.2.149.
- Correa S.M., Arbilla G., Marques M.R., Oliveira K.M. 2012. The Impact of BTEX Emissions from Gas Stations Into the Atmosphere. *Atmospheric pollution research*, 3 (2): 163–169. DOI: 10.5094/APR.2012.016.
- Shekoyan S.V., Yeprintsev S.A., Vinogradov P.M., Lepeshkina L.A., Voronin A.A. 2020. Environmental Quality Assessment of Urban Areas Using Geoinformation Technologies (on Example of the Cities of Central Russia). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 543: 012025. DOI: 10.1088/1755-1315/543/1/012025.
- Volkodaeva M.V., Taranina O.A., Kuznecov V.A. 2018. Measuring of industrial emission parameters. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 194: 062035. DOI: 10.1088/1755-1315/194/6/062035.

References

- Borovlev A.E. 2016. Evaluation of Stability of Urban Soils to Technogenic Impact (on Example of the Town Belgorod). *Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural Sciences Series*, 4 (225): 138–144 (in Russian).
- Borovlev A.E. 2020. Problematic Issues of Health Risk Assessment in the Belgorod Region Based on Summary Calculations of Air Pollution. *Upravleniye gorodom: Teoriya i praktika*, 4 (38): 53–56 (in Russian).
- Volkodaeva M.V., Taranina O.A., Kanchan Y.S. 2018. On Possible Mistakes at Determining the Amount of Pollutant Emissions Efficiency. *Monitoring systems of environment*, 12 (32):122–127 (in Russian).
- Karelin A.O., Lomtev A.Yu., Volkodaeva M.V., Yeregin G.B. 2019. The Improvement of Approaches to the Assessment of Effects of the Anthropogenic Air Pollution on the Population in Order to Management the Risk for Health. *Hygiene and Sanitation*, 98 (1): 82–86 (in Russian). DOI: 10.18821/0016-9900-2019-98-1-82-86.
- Yeprintsev S.A., Kurolap S.A., Klepikov O.V., Shekoyan S.V. 2020. Assessment of the Impact of Man-Made Air Pollution on the Medical and Demographic Processes of Large Urbanized Regions. *Geopolitics and Ecogeodynamics of regions*, 6 (3): 43–50 (in Russian). DOI: 10.37279/2309-7663-2020-6-3-43-50.
- Koskarev S.A., Zaurova F.H., Kuzubova A.A., Haustova E.P., Koskarev K.S. 2020. To Research Results of Level's Pollution of the Air at the Area of Location of Gas Feeling Station to Decrease Exhaust of Hydrocarbons' Vapors. *Engineering journal of Don*, 3 (63): 32 (in Russian).
- Koshkarev S.A., Koshkarev K.S., Brekhov A.A., Pernitsky A.D., Kurasov A.N. 2022. To Improve Emission Treatment Devices and Reduce the Generation of Gas Station's Waste. *Engineering journal of Don*, 1 (85): 336–348.
- Asadi M, Mirmohammadi M. 2017. Experimental Study of Benzene, Toluene, Ethylbenzene, and Xylene (BTEX) Contributions in the Air Pollution of Tehran, Iran. *Environmental Quality Management*, 27 (1): 83–93. DOI: 10.1002/tqem.21510.
- Borovlev A.E., Zelenskaya E.Ya. 2018. Use of the Air Pollution Summary Calculations for Industrial Emission Regulation in the City of Belgorod. *Biogeosystem Technique*, 5 (2): 149–158. DOI: 10.13187/bgt.2018.2.149.
- Correa S.M., Arbilla G., Marques M.R., Oliveira K.M. 2012. The Impact of BTEX Emissions from Gas Stations Into the Atmosphere. *Atmospheric pollution research*, 3 (2): 163–169. DOI: 10.5094/APR.2012.016.
- Shekoyan S.V., Yeprintsev S.A., Vinogradov P.M., Lepeshkina L.A., Voronin A.A. 2020. Environmental Quality Assessment of Urban Areas Using Geoinformation Technologies (on Example of the Cities of Central Russia). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Current Problems and Solutions*, 543: 012025. DOI: 10.1088/1755-1315/543/1/012025.
- Volkodaeva M.V., Taranina O.A., Kuznecov V.A. 2018. Measuring of industrial emission parameters. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 194: 062035. DOI: 10.1088/1755-1315/194/6/062035.



*Поступила в редакцию 05.04.2022;
поступила после рецензирования 04.05.2022;
принята к публикации 17.05.2022*

*Received April 05, 2022;
Revised May 04, 2022;
Accepted May 17, 2022*

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.
Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Боровлев Андрей Эдуардович, кандидат географических наук, доцент кафедры географии, геоэкологии и безопасности жизнедеятельности, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Колосова Ирина Владимировна, кандидат физико-математических наук, старший преподаватель кафедры высшей математики, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Никулина Анна Сергеевна, магистрант института наук о Земле, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Andrey E. Borovlev, candidate of Geographical Sciences, Associate Professor of the Department of Geography, geo-ecology and life safety of the Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

Irina V. Kolosova, candidate of Physical and Mathematical Sciences, Senior Lecturer of the Department of Higher Mathematics, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhova

Anna S. Nikulina, master student of the Department of the Institute of Earth Sciences, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia