

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ГЕОСИСТЕМЫ

REGIONAL GEOSYSTEMS

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Том 45, № 4

16+

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ГЕОСИСТЕМЫ

2021. Том 45, № 4

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).

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)

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

Луто 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)

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 Л.П. Котенко. Корректурa, компьютерная верстка и оригинал-макет Л.П. Котенко. E-mail: goleusov@bsu.edu.ru. Гарнитуры Times New Roman, Arial, Impact. Уч.-изд. л. 18,6. Дата выхода 30.12.2021. Оригинал-макет подготовлен отделом объединенной редакции научных журналов НИУ «БелГУ». Адрес: 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85.

СОДЕРЖАНИЕ

- 459 **Кулагина В.И., Сунгатуллина Л.М., Рязанов С.С., Шагидуллин Р.Р., Андреева А.А.**
Информативность микробиологических и биохимических параметров для мониторинга почв при органическом земледелии
- 471 **Чемякина В.Н.**
Функциональное зонирование и планирование территории как источник возникновения реестровых ошибок
- 481 **Усманов Б.М., Гайнуллин И.И., Гафуров А.М., Иванов М.А., Хомяков П.В., Губайдуллин А.М., Ермолаев О.П., Абдуллин Х.М., Саламатина Н.С., Касимов А.В.**
Страна городов: комплексные исследования городищ Волжской Булгарии
- 505 **Терехин Э.А.**
Особенности многолетней динамики вегетационного индекса залежных земель на территории Центрального Черноземья
- 516 **Марунич Н.А.**
Геознергетический баланс гео- и урбосистем Приднестровья
- 525 **Братков В.В., Мелкий В.А., Верхотуров А.А., Лукьяненко Н.Д.**
Анализ основных климатических параметров и составление климатической карты острова Сахалин
- 545 **Акимов Л.М., Акимов Е.Л.**
Сезонная динамика и пространственное распределение концентраций антропогенных загрязнителей в воздухе г. Воронеж
- 558 **Клевцова М.А., Михеев А.А.**
Изменение морфометрических параметров листовых пластинок *Populus italica* (Du Roi) Moench под влиянием эмиссии загрязняющих веществ промышленных предприятий
- 576 **Двуреченская Е.Б.**
Опыт полевого экспериментального моделирования воздействия разливов нефти и высокоминерализованных вод в средней тайге Западной Сибири
- 590 **Денисова И.В., Турков Н.А.**
Проблемы выделения границ водоохранных зон Вычегды от г. Сыктывкара до устья
- 601 **Широкова В.А., Юрова Ю.Д.**
Комплексная геоэкологическая оценка водосборной территории р. Осетр в условиях антропогенного воздействия
- 617 **Кумани М.В., Шульгина Д.В., Киселев В.В.**
Многолетняя динамика основных элементов стока рек в пределах Центрального Черноземья

REGIONAL GEOSYSTEMS

2021. Volume 45, No. 4

Until 2020, the magazine 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).

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 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 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)

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 L.P. Kotenko. Pag Proofreading, computer imposition L.P. Kotenko. E-mail: goleusov@bsu.edu.ru. Typefaces Times New Roman, Arial, Impact. Publisher's signature 18,6. Date of publishing 30.12.2021. 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

- 459 **Kulagina V.I., Sungatullina L.M., Ryazanov S.S., Shagidullin R.R., Andreeva A.A.**
Informative Value of Microbiological and Biochemical Parameters for Soil Monitoring in Organic Farming
- 471 **Chemyakina V.N.**
Functional Zoning and Territory Planning as a Source of Registry Errors
- 481 **Usmanov B.M., Gainullin I.I., Gafurov A.M., Ivanov M.A., Khomyakov P.V., Gubaidullin A.M., Yermolaev O.P., Abdullin K.M., Salamatina N.S., Kasimov A.V.**
Country of Cities: Comprehensive Research of the Fortified Settlements of the Volga Bulgaria
- 505 **Terekhin E.A.**
Long-term Dynamics of the Vegetation Index for Abandoned Farmlands in the Central Chernozem Region of Russia
- 516 **Marunich N.A.**
Geoenergetic Balance of Geo- and Urban Systems of Pridnestrovien
- 525 **Bratkov V.V., Melkiy V.A., Verkhoturov A.A., Luk'yanenko N.D.**
Analysing of the Main Climatic Variables and Compilation of Climate Map of Sakhalin Island
- 545 **Akimov L.M., Akimov E.L.**
Seasonal Dynamics and Spatial Distribution of Anthropogenic Pollutants Concentrations in the Air of Voronezh
- 558 **Klevtsova M.A., Mikheev A.A.**
The Change in the Morphometric Parameters of Leaves *Populus italica* (Du Roi) Moench Under the Influence of Emissions of Pollutants of Industrial Enterprises
- 576 **Dvurechenskaya E.B.**
Experimental Modeling of the Impact of Oil and Wastewater Spills in the Middle Taiga of Western Siberia
- 590 **Denisova I.V., Turkov N.A.**
Problems of Allocation of Borders of Water Protection Areas of Vycheгда River from Syktyvkar City to the Mouth
- 601 **Shirokova V.A., Yurova Y.D.**
Comprehensive Geoecological Assessment of the Catchment Area of the Osetr River Under Anthropogenic Impact
- 617 **Kumani M.V., Shulgina D.V., Kiselev V.V.**
Long-term Dynamics of the Main Elements of River Flow Within the Central Chernozem Region



УДК 631.46
DOI 10.52575/2712-7443-2021-45-4-459-470

Информативность микробиологических и биохимических параметров для мониторинга почв при органическом земледелии

**Кулагина В.И., Сунгатуллина Л.М., Рязанов С.С.,
Шагидуллин Р.Р., Андреева А.А.**

Институт проблем экологии и недропользования АН РТ,
Россия, 420087, г. Казань, ул. Даурская, 28
E-mail: viksoil@mail.ru

Аннотация. Органическое земледелие призвано не только обеспечить население полезными продуктами питания, но и улучшить плодородие и эколого-биологическое состояние почв. В связи с этим мониторинг эколого-биологического состояния почв, предназначенных для ведения органического сельскохозяйственного производства, становится все более актуальным. В то же время параметры и критерии, позволяющие отследить изменения эколого-биологического состояния почв при переходе от традиционного земледелия к органическому, изучены недостаточно. Целью работы является проверка информативности биохимических и микробиологических параметров почв, а также рассчитанного на их основе интегрального показателя при выявлении отличий между полями с органическим, традиционным земледелием и фоновыми участками. Исследования выполнены на серых лесных почвах в Республике Татарстан. Информативность микробиологических и биохимических параметров определялась по величине коэффициента корреляции каждого изученного параметра с уровнем антропогенной нагрузки в ряду: почвы фоновых участков – почвы органических полей – почвы полей с традиционным земледелием. Также определялась информативность интегрального показателя биологической активности почв, рассчитанного по 3–5 параметрам. В результате проведенных исследований установлено, что информативность параметров отличалась для образцов почв, отобранных в июне и сентябре 2020 г. Значимая корреляционная зависимость с изменениями антропогенной нагрузки хотя бы в один из сезонов года наблюдалась для пяти параметров: обилие бактерий рода *Azotobacter*, численность микромицетов, активность ферментов каталазы, инвертазы и уреазы. Оптимальным набором параметров для расчета интегрального показателя эколого-биологического состояния почв, если рассматривать его информативность и устойчивость по сезонам года, является совокупность четырех параметров: обилие бактерий рода *Azotobacter*, активность ферментов инвертазы, каталазы и уреазы.

Ключевые слова: мониторинг земель, почва, органическое земледелие, ферментативная активность, численность микроорганизмов.

Для цитирования: Кулагина В.И., Сунгатуллина Л.М., Рязанов С.С., Шагидуллин Р.Р., Андреева А.А. 2021. Информативность микробиологических и биохимических параметров для мониторинга почв при органическом земледелии. Региональные геосистемы, 45 (4): 459–470. DOI: 10.52575/2712-7443-2021-45-4-459-470



Informative Value of Microbiological and Biochemical Parameters for Soil Monitoring in Organic Farming

Valentina I. Kulagina, Lutsia M. Sungatullina, Stanislav S. Ryazanov,
Rifgat R. Shagidullin, Anita A. Andreeva

Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use
of Tatarstan Academy of Sciences,
28 Dauruskaya St, Kazan 420087, Russia
E-mail: viksoil@mail.ru

Abstract. Organic farming is designed not only to provide the population with healthy food, but also to improve the fertility and ecological and biological state of soils. In this regard, monitoring of the ecological and biological state of soils intended for organic agricultural production is becoming more and more important. At the same time, parameters and criteria that make it possible to track changes in the ecological and biological state of soils during the transition from traditional farming to organic farming have not yet been studied enough. The aim of the work is to check the information content of the biochemical and microbiological parameters of soils, as well as the integral indicator calculated on their basis, when identifying differences between fields with organic, traditional farming and background plots. The study was carried out on gray forest soils in the Republic of Tatarstan. The informativeness of microbiological and biochemical parameters was determined by the value of the correlation coefficient of each studied parameter with the level of anthropogenic load in the series: soils of background plots – soils of organic fields – soils of fields with traditional farming. Also, the informativeness of the integral indicator of the soils biological activity, calculated by 3–5 parameters, was determined. As a result of the study, it was found that the informativeness of the parameters differed for soil samples taken in June and September 2020. A significant correlation with changes in anthropogenic load at least in one of the seasons of the year was observed for five parameters: the abundance of bacteria of the genus *Azotobacter*, the number of micromycetes, the activity of the enzymes catalase, invertase and urease. The optimal set of parameters for calculating the integral indicator of the ecological and biological state of soils, if we consider its informativeness and stability by seasons, is a combination of four parameters: the abundance of bacteria of the genus *Azotobacter*, the activity of the enzymes invertase, catalase, and urease.

Key words: land monitoring, soil, organic farming, enzymatic activity, number of microorganisms.

For citation: Kulagina V.I., Sungatullina L.M., Ryazanov S.S., Shagidullin R.R., Andreeva A.A. 2021. Informative Value of Microbiological and Biochemical Parameters for Soil Monitoring in Organic Farming. Regional geosystems, 45 (4): 459–470 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2021-45-4-459-470

Введение

Мониторинг состояния земель, предназначенных для органического земледелия, становится все более актуальной задачей в связи с расширением органического производства как в России, так и в мире. Площадь сертифицированных земель в мире под органическое сельское хозяйство с 2001 по 2019 г. выросла в 4 раза [Гурнович и др., 2019]. В России также постепенно увеличивается количество сертифицированных производителей органической продукции и площади земель, используемых для её производства или находящихся в конверсионном периоде.

Говоря об органическом земледелии, чаще всего внимание уделяют получению продуктов питания, хотя на самом деле, согласно определению, приведенному в ГОСТ

«Продукция органического производства» [ГОСТ 33980-2016], органическое сельское хозяйство – это, кроме всего прочего, производственная система, которая сохраняет и улучшает плодородие почвы, и, принимая во внимание местные условия и опираясь на экологические циклы, сохраняет биологическое разнообразие.

Поскольку благоприятное эколого-биологическое состояние почв при органическом земледелии – это важнейшая его характеристика, то весьма актуальными становятся оценка и мониторинг этого состояния.

Определить эколого-биологическое благополучие почв по какому-то одному параметру невозможно, так как один параметр не способен отразить разнообразие биологических и биохимических процессов в почве [Казеев, Колесников, 2012], однако использовать очень широкий набор показателей для целей мониторинга также нецелесообразно.

К.Ш. Казеев, С.И. Колесников и В.Ф. Вальков [2003] предложили использовать для оценки эколого-биологического состояния почв при разных видах антропогенного воздействия интегральный показатель биологического состояния почв (ИПБС), при расчете которого используется несколько параметров. При этом рекомендуется из всего многообразия выбрать наиболее информативные параметры. Авторы понимали под информативностью тесную корреляцию между признаком и каким-либо проявлением антропогенного фактора, хотя отличия между почвами при органическом и традиционном земледелии ими не рассматривались [Казеев, Колесников, 2012].

Целью работы была проверка информативности биохимических и микробиологических параметров почв, а также рассчитанного на их основе интегрального показателя при выявлении отличий между полями с органическим, традиционным земледелием и фоновыми участками.

Объекты и методы исследования

Республика Татарстан расположена в пределах двух природных зон – лесной и лесостепной. Серые лесные почвы являются характерными для физико-географических и биоклиматических условий РТ и занимают около 40 % площади сельхозугодий [Атлас..., 2005]. Объектами исследования являлись серые лесные почвы фермерского хозяйства Высокогорского района Республики Татарстан между селами Большие Ковали и Чувашли. Исследованы почвы трех пар полей, расположенных в непосредственной близости друг от друга, на которых выращивались одни те же культуры (табл. 1). Отличались эти поля только тем, что на одном использовалась традиционная система земледелия, а на другом – органическая, без применения минеральных удобрений и пестицидов (4–6 лет непрерывной практики). Опыт проводился заинтересованными фермерами. К каждой паре полей был отобран образец на фоновом необрабатываемом участке с естественной растительностью, расположенном как можно ближе к исследуемым полям. Отбор смешанных образцов произведен 8 июня 2020 г. и 28 сентября 2020 г. Каждый смешанный образец составлен из 20–40 точечных проб с элементарного участка. Список всех обследованных полей и участков представлен в табл. 1.

Уреазная активность почв определялась методом А.Ш. Галстяна с окончанием, предложенным Ф.Х. Хазиевым [2005], основанном на колориметрическом определении аммиака реактивом Несслера.

Инвертазная активность определялась методом Т.А. Щербаковой [1968] с 3,5-динитросалициловой кислотой.

Каталазная активность почв определялась методом Джонсона и Темпле в мл 0,1 н $\text{KMnO}_4/\text{г}$ сухой почвы за 20 мин [Хазиев, 2005].

Обилие азотобактера определялось методом обрастания комочков на среде Эшби [Методы почвенной микробиологии..., 1991].



Определение численности групп микроорганизмов проводилось при помощи посева разведениями почвенных взвесей на плотных питательных средах:

- 1) аммонифицирующих – на мясо-пептонный агар (МПА);
- 2) амилотических – на крахмал-аммиачный агар (КАА);
- 3) актиномицетов – на КАА;
- 4) микроскопических грибов (микромикетов) – на среду Чапека.

Расчет ИПБС производился по методике, предложенной К.Ш. Казеевым, С.И. Колесниковым и В.Ф. Вальковым [2003].

Достоверность разницы между органическими, традиционными полями и фоновыми участками оценивали с помощью теста Стьюдента, уровень значимости $\alpha = 0,05$.

Таблица 1
Table 1

Перечень обследованных полей
List of surveyed fields

Обозначение	Описание и история
Поле 1	Органическое (по органической технологии с 2017 г): в 2015 и 2016 гг. поле было занято посевами ячменя, вносилось по 80 кг азофоски на 1 га. С 2017 г. – удобрения не вносились. В 2017 г. посеян клевер на сидерат под покров ячменя; в 2018 г. – озимая рожь, в 2019 г. – картофель (урожай 100 ц/га), в 2020 г. – полба. Ближайший населенный пункт – с. Большие Ковали.
Поле 2	Традиционное (с удобрениями): в 2015 и 2016 гг. также как на поле № 1 – ячмень, 80 кг/га азофоски. В 2017 г. – клевер на сидерат под покров ячменя; 2018 г. – озимая рожь, в 2019 г. – картофель. Под картофель внесено 250 кг/га диаммофоски. Урожай картофеля – 300 ц/га. В 2020 г. – полба.
Фон 1	Фоновый участок с естественной луговой растительностью между полями 1 и 2
Поле 3	Традиционное (с удобрениями): в 2015 г. – занято картофелем. Под картофель внесено 200–250 кг/га диаммофоски. В 2016 г. – яровая пшеница, внесено 100 кг азофоски при посеве. В 2017 г. – гречиха, внесено 80 кг/га диаммофоски, в 2018 г. – ячмень, 80 кг/га азофоски, с подсевом клевера. Клевер плохо взшел, поэтому осенью был осуществлен подсев трав, смесь, чтобы поле не пустовало. В 2019 г. – запахан зеленый пар. В 2020 г. – полба. На этом поле урожайность на 30 % выше, чем на поле без минеральных удобрений.
Поле 4	Органическое (без удобрений с 2015 г.): в 2015 г. занято картофелем, в 2016 г. – гречихой, в 2017 г. – овес с подсевом клевера, 2018 – клевер запахан на сидерат, в 2019 г. – озимая рожь, 25 ц/га; в 2020 г. – полба.
Фон 2	Фоновый участок между полями 3 и 4 – лесопосадка.
Поле 5	Органическое (без удобрений): в 2017 и 2018 гг. в залежи, в 2019 г. посеяна озимая рожь, в 2020 г. – убрана.
Поле 6	Традиционное (с удобрениями): В 2017 и 2018 гг. в залежи, в 2019 г. – посеяна озимая рожь, при посеве внесено 80 кг/га азофоски и 100 кг/га аммиачной селитры. В 2020 г. озимая рожь убрана.
Фон 3	Фоновый участок – между полями 5 и 6, смешанная лесопосадка

Объективное определение информативности микробиологических и биохимических параметров, пригодных для мониторинга эколого-биологического состояния почв, требует расчета коэффициента корреляции с уровнем антропогенного воздействия. Антропогенная нагрузка последовательно уменьшается в ряду: традиционные поля – органические поля – фоновые участки. На полях с традиционным земледелием применяются минеральные удобрения и пестициды, на полях с органическим земледелием – не применяются, а на фоновых участках не применяется и механическая обработка почв. Но антропо-

генный прессинг в данном случае не имеет числового выражения, в отличие, например, от количества попавших в почву нефтепродуктов или расстояния до источника загрязнения. Согласно рекомендациям В.Г. Вольфа, проведено ранжирование антропогенного прессинга по грациям: антропогенный прессинг на фоновом участке был обозначен как «1», на органическом поле – «2», традиционном поле – «3» [Вольф, 1966], а далее вычислялся ранговый коэффициент корреляции Спирмена с микробиологическими и биохимическими параметрами почв.

Результаты и их обсуждение

Микробиологические и биохимические параметры почв чаще других используются для расчета ИПБС.

Микробиологические параметры почв очень чувствительны к изменению внешних условий, в том числе к антропогенному прессингу, но, одновременно, отличаются высокой вариабельностью в пространстве и изменчивостью во времени [Казеев, Колесников, 2012; Churkina et al., 2012; Кулагина и др., 2021].

Общее микробное число (ОМЧ), оно же – численность аммонификаторов, позволяет судить об общей микробиологической активности почв.

Проведенные исследования позволили установить, что серые лесные почвы Высокогорского района Республики Татарстан, согласно шкале Д.Г. Звягинцева [1978], очень богаты микроорганизмами, общее микробное число (ОМЧ) – более 10 млн/г (табл. 2).

Таблица 2
Table 2

Численность групп микроорганизмов в серых лесных почвах фермерского хозяйства Высокогорского района Республики Татарстан (среднее ± ошибка среднего)
The number of groups of microorganisms in gray forest soils of farms of the Vysokogorsky district of the Republic of Tatarstan (mean ± mean error)

Угодье	ОМЧ, 10 ⁶ КОЕ/г	Амилолитики, 10 ⁵ КОЕ/г	Актиномицеты, 10 ⁵ КОЕ/г	Микромицеты, 10 ⁴ КОЕ/г	Азотобактер, % обрастания почвенных ко- мочков
Поле 1 орг	<u>30,90 ± 2,57*</u>	<u>139,97 ± 21,62</u>	<u>57,38 ± 1,54</u>	<u>16,39 ± 1,03</u>	<u>58,5</u>
	37,63 ± 3,41	182,50 ± 7,76	69,90 ± 0,49	16,73 ± 0,10	37,5
Поле 2	<u>38,13 ± 5,61</u>	<u>136,88 ± 1,53</u>	<u>80,00 ± 11,23</u>	<u>15,63 ± 2,55</u>	<u>100,0</u>
	15,70 ± 3,95	121,40 ± 19,27	49,52 ± 2,96	12,50 ± 0,05	100,0
Фон 1	<u>20,43 ± 3,13</u>	<u>88,12 ± 7,30</u>	<u>68,33 ± 8,86</u>	<u>8,30 ± 1,56</u>	<u>0,0</u>
	40,50 ± 18,45	186,85 ± 21,35	89,25 ± 4,86	14,85 ± 0,45	100,0
Поле 3	<u>15,00 ± 1,02</u>	<u>77,50 ± 3,06</u>	<u>30,63 ± 2,55</u>	<u>4,38 ± 1,53</u>	<u>100,0</u>
	37,55 ± 3,80	112,10 ± 9,06	41,50 ± 1,22	6,51 ± 1,87	100,0
Поле 4 орг	<u>24,38 ± 10,72</u>	<u>75,00 ± 0,01</u>	<u>25,00 ± 0,01</u>	<u>5,63 ± 1,53</u>	<u>62,8</u>
	34,70 ± 12,00	294,65 ± 32,13	114,65 ± 16,86	5,35 ± 0,53	100,0
Фон 2	<u>38,46 ± 1,08</u>	<u>108,75 ± 21,66</u>	<u>144,24 ± 28,72</u>	<u>33,16 ± 4,33</u>	<u>0,0</u>
	35,50 ± 2,86	65,50 ± 4,08	37,00 ± 2,45	17,75 ± 0,42	7,5
Поле 5 орг	<u>22,67 ± 2,06</u>	<u>165,62 ± 4,63</u>	<u>62,34 ± 3,60</u>	<u>11,96 ± 1,54</u>	<u>100,0</u>
	20,67 ± 8,93	109,50 ± 9,96	39,55 ± 2,49	3,59 ± 0,25	100,0
Поле 6	<u>27,60 ± 1,02</u>	<u>147,43 ± 7,68</u>	<u>65,87 ± 13,83</u>	<u>5,02 ± 1,02</u>	<u>100,0</u>
	44,65 ± 2,49	219,00 ± 4,90	86,30 ± 1,47	8,88 ± 0,75	100,0
Фон 3	<u>13,93 ± 2,71</u>	<u>173,08 ± 31,95</u>	<u>68,30 ± 4,87</u>	<u>1,33 ± 0,01</u>	<u>0,0</u>
	15,20 ± 3,84	54,50 ± 6,12	35,05 ± 1,92	12,30 ± 0,90	0,0

* В числителе – данные за июнь, в знаменателе – за сентябрь.



В июне 2020 г. статистически значимая разница по численности аммонифицирующих микроорганизмов наблюдалась только между фоновым участком 2 и традиционным полем 3 (тест Стьюдента, $p < 0,05$). На поле с применением удобрений численность аммонифицирующих микроорганизмов была ниже. В сентябре статистически значимая разница по численности аммонифицирующих микроорганизмов наблюдалась только между почвами органического поля 5 и фонового участка 3, причем на органическом поле она была выше. В остальных случаях разница между фоновыми участками и соответствующими им полями, а также между парами полей (органическое-традиционное) была статистически незначима.

Коэффициент корреляции между ОМЧ и антропогенной нагрузкой в июне составил 0,128, а в сентябре – 0,225, что не позволяет говорить о наличии связи между этими параметрами. В почвах данного хозяйства ОМЧ не проявило себя в качестве информативного признака.

Численность амилолитических микроорганизмов (использующих минеральный азот). Установлено, что численность амилолитических микроорганизмов на полях и фоновых участках в июне 2020 г. не имела статистически значимых отличий. В сентябре статистически значимая разница проявилась между полями недавно поднятой залежи: поле 5 (органическое) и поле 6 (традиционное), также фоновым участком 3 и полем 5 (тест Стьюдента, $p < 0,05$).

Коэффициент корреляции между численностью амилолитиков и уровнем антропогенной нагрузки по данным за июнь был равен 0,090, за сентябрь 0,067. Величина коэффициента корреляции свидетельствует об отсутствии взаимосвязи между признаками.

Актиномицеты – одна из групп амилолитических микроорганизмов. Закономерности распределения численности актиномицетов в почвах полей и участков Высокогорского района РТ в целом повторяют закономерности распределения всех амилолитических микроорганизмов

Коэффициент корреляции между численностью актиномицетов и уровнем антропогенного прессинга на исследуемые почвы составил в июне –0,376, что свидетельствует о слабой взаимосвязи. Коэффициент, рассчитанный на основе сентябрьских данных, равен –0,154, что свидетельствует об отсутствии взаимосвязи между изучаемыми параметрами.

Азотобактер (*Azotobacter*) – род свободно живущих в почве бактерий, способных усваивать атмосферный азот, тем самым обогащая почву доступным для растений азотом.

Исследования показали, что в серых лесных почвах Высокогорского района РТ минимальное обилие бактерий рода *Azotobacter* обнаруживалось на фоновых целинных участках (см. табл. 2). В образцах почв полей с традиционным земледелием обрастание комочков азотобактером оказалось максимальным. Органические поля занимали промежуточное положение между фоновыми участками и традиционными полями по данному показателю. Однако закономерность четко прослеживалась только в образцах почв, отобранных в июне, во время активной вегетации растений. Полученные результаты согласуются с данными других исследователей, которые отмечали, что *Azotobacter* может развиваться только в окультуренных почвах и обычно его обилие увеличивается с дозой вносимых удобрений [Забелина, 2014; Зинченко и др., 2017а; Газиев и др., 2019; Игнашев, Рыжих, 2020].

Коэффициент корреляции обилия бактерий рода *Azotobacter* с уровнем антропогенного воздействия в ряду: почвы фоновых участков – почвы органических полей – традиционных полей в июне составил 0,93, что свидетельствует об очень высокой и прямой зависимости между признаками. Коэффициент корреляции по сентябрьским данным составил 0,64, что соответствует средней зависимости между параметрами.

Все чаще для оценки эколого-биологического состояния почв используют активность различных почвенных ферментов.

Ферменты в почве – это продукты метаболизма почвенного биоценоза. Ферменты поступают в почву в результате деятельности почвенной микробиоты, растений и животных. В отличие от численности трофических групп микроорганизмов, ферментативная активность изменяется медленнее. Ферменты в почве стабилизируются и длительное время сохраняют свою активность [Хазиев, 2005; Абдулаева, 2018].

Инвертазная активность. Самая высокая активность инвертазы в исследованных серых лесных почвах фермерского хозяйства Высокогорского района РТ в июне 2020 г. наблюдалась на фоновом участке 2 (табл. 3), а среди пахотных почв – на полях 5 и 6, находившихся до недавнего времени в залежи. Инвертазная активность почв полей 3 и 4 статистически значимо отличалась от инвертазной активности почвы фонового участка 2 (тест Стьюдента, $p < 0,05$). Такие закономерности согласуются с данными К.Ш. Казеева с соавторами [2012], которые отмечали высокую чувствительность инвертазы к сельскохозяйственному использованию, то есть пригодность инвертазы для сравнения целинных (залежных) и пахотных земель. Почвы остальных исследованных полей и фоновых участков в июне 2020 г. статистически значимых отличий по уровню инвертазной активности не имели.

Таблица 3
Table 3

Ферментативная активность серых лесных почв фермерского хозяйства
Высокогорского района Республики Татарстан (среднее \pm ошибка среднего)
Enzymatic activity of gray forest soils of the farm of the Vysokogorsk district
of the Republic of Tatarstan (mean \pm error of the mean)

Угодье	Инвертаза, мг глюкозы/г почвы за 4ч	Каталаза, мл O ₂ /г почвы в мин.	Уреаза, N мкг/г в час
Поле 1 орг	<u>1,15 \pm 0,01*</u>	<u>1,20 \pm 0,02</u>	<u>28,05 \pm 3,95</u>
	2,50 \pm 0,06	0,95 \pm 0,01	22,1 \pm 0,64
Поле 2	<u>1,50 \pm 0,04</u>	<u>0,76 \pm 0,02</u>	<u>20,55 \pm 0,43</u>
	2,80 \pm 0,06	2,17 \pm 0,01	25,9 \pm 1,53
Фон 1	<u>1,43 \pm 0,10</u>	<u>0,89 \pm 0,03</u>	<u>21,75 \pm 2,68</u>
	5,95 \pm 0,03	1,65 \pm 0,05	42,4 \pm 0,29
Поле 3	<u>0,63 \pm 0,01</u>	<u>1,01 \pm 0,03</u>	<u>8,75 \pm 0,72</u>
	2,10 \pm 0,01	1,09 \pm 0,05	7,95 \pm 0,66
Поле 4 орг	<u>1,48 \pm 0,11</u>	<u>0,99 \pm 0,01</u>	<u>18,4 \pm 1,96</u>
	2,15 \pm 0,09	0,98 \pm 0,05	13,3 \pm 0,35
Фон 2	<u>3,25 \pm 0,05</u>	<u>1,74 \pm 0,01</u>	<u>58,55 \pm 0,72</u>
	5,70 \pm 0,17	2,07 \pm 0,09	84,5 \pm 2,42
Поле 5 орг	<u>2,53 \pm 0,01</u>	<u>0,98 \pm 0,02</u>	<u>49,9 \pm 0,00</u>
	3,70 \pm 0,01	1,06 \pm 0,03	26,15 \pm 2,11
Поле 6	<u>2,31 \pm 0,01</u>	<u>1,12 \pm 0,03</u>	<u>38,6 \pm 0,17</u>
	2,60 \pm 0,01	1,12 \pm 0,01	29,7 \pm 1,56
Фон 3	<u>2,45 \pm 0,02</u>	<u>1,27 \pm 0,01</u>	<u>32,6 \pm 0,06</u>
	3,50 \pm 0,01	1,20 \pm 0,02	32,75 \pm 0,43

* В числителе – данные за июнь, в знаменателе – за сентябрь

В сентябре 2020 г. отличия между полями и фоновыми участками по активности фермента инвертазы стали более заметны. Максимальная активность фермента наблюда-



лась на фоновых необрабатываемых участках (см. табл. 3). Полученные данные подтверждают результаты исследований М.К. Зинченко с соавторами [2017б], которые выявили, что инвертазная активность на необрабатываемых участках выше по сравнению с пашней, причем, иногда в 2–3 раза.

Коэффициент корреляции активности фермента инвертазы с антропогенным прессингом в июне составил $-0,471$ (слабая взаимосвязь), в сентябре взаимосвязь увеличилась до высокой – коэффициент корреляции равен $-0,759$. Взаимосвязь параметров в обоих случаях отрицательная, то есть с усилением антропогенного воздействия активность инвертазы уменьшалась.

Каталазная активность почв. Активность каталазы рекомендуется для определения эколого-биологического состояния почв наряду с активностью инвертазы и уреазы [Девятова, 2005]. Хотя отмечалось, что именно к сельскохозяйственному воздействию активность каталазы малочувствительна [Казеев, Колесников, 2012].

Согласно проведенным исследованиям, каталазная активность почв полей 1, 2 и фонового участка 1 с июня по сентябрь изменилась статистически значимо (тест Стьюдента, $p < 0,05$). Самый значительный рост каталазной активности отмечен на традиционном поле 2 – почти в три раза. Такой всплеск активности не всегда является хорошим признаком. По данным М.К. Зинченко с соавторами [2017а], возрастание активности фермента в почве характеризует интенсивную трансформацию гумусовых веществ в почве в сторону их минерализации, и может свидетельствовать о потере гумуса.

Значения каталазной активности на полях № 3, 4, 5, 6 и соответствующих им фоновых участках с июня по сентябрь не претерпели значительных изменений и сохранили одинаковые закономерности (см. табл. 3).

Коэффициент корреляции между активностью каталазы в почвах и антропогенной нагрузкой в июне составлял $-0,522$ и соответствовал средней отрицательной зависимости между признаками. В сентябре коэффициент корреляции был равен $-0,166$, то есть связь между параметрами не обнаруживалась.

Уреазная активность. В июне 2020 г. активность уреазы в двух случаях из трех выше в почвах органических полей, чем на соответствующих фоновых участках и полях с традиционным земледелием.

Статистическая обработка результатов показала, что в июне 2020 г. уреазная активность почв полей 3 и 4 статистически значимо отличалась от уреазной активности почвы фонового участка 2 (тест Стьюдента, $p < 0,05$). Почвы полей 5 и 6 статистически значимо отличались по уровню уреазной активности от соответствующего фонового участка и между собой. Поля 1, 2 и фоновый участок 1 статистически значимых отличий по активности уреазы не имели.

В сентябре 2020 г. максимальные значения уреазной активности отмечались на фоновых участках, хотя статистически значимые отличия между фоновыми участками и возделываемыми полями наблюдались не во всех случаях. Отличия статистически значимы между фоном 1 и полями 1 и 2, фоном 2 и полями 3 и 4 (тест Стьюдента, $p < 0,05$).

В июне взаимосвязь между уреазной активностью и уровнем антропогенного воздействия оценивалась как слабая (коэффициент корреляции равен $-0,407$), к сентябрю связь между параметрами усилилась и стала средней (коэффициент корреляции равен $-0,602$).

Среди микробиологических признаков наиболее информативным оказалось обилие бактерий рода *Azotobacter*. Численность микроскопических грибов проявила себя как информативный признак только в сентябре. Остальные микробиологические параметры в данном исследовании не проявили себя как информативные.

Среди биохимических признаков самым информативным оказалась активность инвертазы, но только в сентябре. Биохимические параметры более стабильны, чем микробиологические, хотя инвертаза и уреазы в сентябре больше коррелировали с уровнем антропогенного прессинга, чем в июне, а каталаза – наоборот.

Выполнение интегральной эколого-биологической оценки почв при различных формах землепользования подразумевает суммарную оценку по нескольким параметрам. При этом желательно, чтобы полученный интегральный показатель был также максимально информативным, то есть коэффициент его корреляции с уровнем антропогенного воздействия имел максимальные значения.

Для расчета ИПБС из всех изученных было выбрано пять наиболее информативных параметров: обилие азотобактера, численность микромицетов, активность каталазы, инвертазы, уреазы. Далее было рассчитано три варианта ИПБС: 1) по всем 5 параметрам, 2) по 4 параметрам без численности микромицетов, 3) по 3 биохимическим параметрам.

Коэффициенты корреляции интегральных показателей эколого-биологического состояния почв, рассчитанных по методике В.Ф. Казеева и К.Ш. Колесникова [2012], с ростом антропогенной нагрузки в ряду: фоновые участки – органические поля – традиционные поля, представлен в табл. 4. Судя по их значениям, оптимальным набором параметров для расчета интегрального показателя является набор, состоящий из 4 параметров: обилие азотобактера, активность ферментов инвертазы, каталазы и уреазы.

Таблица 4
Table 4

Коэффициенты корреляции интегральных показателей, рассчитанных по разным параметрам почв, с уровнем антропогенного прессинга
Correlation coefficients of integral indicators calculated for different soil parameters with the level of anthropogenic pressure

Интегральный показатель	Коэффициент корреляции	
	июнь	сентябрь
по 5 параметрам	–0,10	–0,66
по 4 параметрам	–0,74	–0,64
по 3 параметрам	–0,36	–0,52

Заключение

Проведенные исследования показали, что информативность микробиологических и биохимических параметров серых лесных почв Республики Татарстан при выявлении отличий между полями с органическим, традиционным земледелием и фоновыми участками отличается в июне и сентябре.

Установлено, что в июне информативность параметров уменьшалась в ряду: обилие бактерий рода *Azotobacter* – активность каталазы – активность инвертазы – активность уреазы – численность актиномицетов – численность микроскопических грибов – общее микробное число.

В сентябре информативность параметров уменьшалась в ряду: активность инвертазы – обилие бактерий рода *Azotobacter* – активность уреазы – численность микроскопических грибов – общее микробное число – активность каталазы – численность актиномицетов – численность амилитиков.

Оптимальным набором параметров для расчета интегрального показателя эколого-биологического состояния почв, если рассматривать его информативность и устойчивость по сезонам года, является совокупность четырех параметров: обилие бактерий рода *Azotobacter*, активность ферментов инвертазы, каталазы и уреазы.

Список источников

1. Атлас Республики Татарстан. 2005. М., ПКО «Картография», 211 с.
2. Вольф В.Г. 1966. Статистическая обработка опытных данных. М., Колос, 254 с.
3. ГОСТ 33980-2016. Продукция органического производства. Правила производства, переработки, маркировки и реализации. Дата введения 01.01.2018.
4. Методы почвенной микробиологии и биохимии. 1991. Под ред. Д.Г. Звягинцева. М., Изд-во МГУ, 304 с.

Список литературы

1. Абдуллаева Р.З. 2018. Ферментативная активность как один из факторов биологического потенциала почвы. Вестник Донского государственного аграрного университета, 2–1 (28): 65–71.
2. Газиев М.А., Турдалиев А.Т., Низомитдинова М.Ш.К., Шодмонов У.Б.У. 2019. Роль органических и минеральных удобрений в развитии физиологических групп микроорганизмов в системе севооборота. Современные фундаментальные и прикладные исследования, 2 (33): 9–12.
3. Гурнович Т.Г., Петров Н.Р., Ульянов А.В. 2019. Мировые тенденции и перспективы развития рынка органических продуктов в России. Вектор экономики, 10. Электронный ресурс. URL: http://www.vectoreconomy.ru/images/publications/2019/10/regionaleconomy/Gurnovich_Petrov_Ulyanov.pdf (дата обращения: 30 мая 2021).
4. Девятова Т.А. 2005. Биоэкологические принципы мониторинга и диагностики загрязнения почв. Вестник Воронежского Государственного Университета. Серия: Химия. Биология. Фармация, 1: 105–106.
5. Забелина О.Н. 2014. Оценка экологического состояния почвы городских рекреационных территорий на основании показателей биологической активности (на примере г. Владимира). Дис. ... канд. биол. наук. Владимир, 146 с.
6. Звягинцев Д.Г. 1978. Биологическая активность почв и шкалы для оценки некоторых ее показателей. Почвоведение, 6: 48–54.
7. Зинченко М.К., Зинченко С.И., Борин А.А., Камнева О.П. 2017а. Ферментативная активность аграрных почв Верхневолжья. Современные проблемы науки и образования, 3. Электронный ресурс. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=26458> (дата обращения: 30 мая 2021).
8. Зинченко М.К., Федулова И.Д., Шаркевич В.В. 2017б. Распространение diazotrophic микроорганизмов в агроландшафтах серой лесной почвы. Владимирский земледелец, 2 (80): 11–14.
9. Игнашев, Н.Е., Рыжих Л.Ю. 2020. Влияние систем земледелия на обилие аэробной азотфиксирующей микробиоты. Российский журнал прикладной экологии, 1: 30–32.
10. Казеев К.Ш., Колесников С.И. 2012. Биодиагностика почв: методология и методы исследований. Ростов-на-Дону, Изд-во Южного федерального университета, 260 с.
11. Казеев К.Ш., Колесников С.И., Вальков В.Ф. 2003. Биологическая диагностика и индикация почв: методология и методы исследований. Ростов-на-Дону, Изд-во РГУ, 204 с.
12. Кулагина В.И., Сунгатуллина Л.М., Рязанов С.С., Хайруллина А.М., Шагидуллин Р.Р., Рупова Э.Х. 2021. Проверка набора параметров для интегральной оценки эколого-биологического состояния почв при органическом земледелии. Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Биология. Химия, 7 (73): 90–102. DOI: 10.37279/2413-1725-2021-7-1-90-102.
13. Хазиев Ф.Х. 2005. Методы почвенной энзимологии. М., Наука, 192 с.
14. Щербакова Т.А. 1968. К методике определения активности инвертазы и амилазы в почве. Сборник докладов по ферментам почвы. Минск, 453–455.
15. Churkina G., Kunanbayev K., Akhmetova G. 2012. The taxonomic composition of soil microorganisms in the ecosystems of southern chernozems of Northern Kazakhstan. Applied Innovations and Technologies, 8 (3): 13–19.

References

1. Abdullaeva R.Z. 2018. Enzymatic Activity as One of Factors of Biological Capacity of the Soil. *Vestnik Don State Agrarian University*, 2 (28.1): 65–71 (in Russian).
2. Gaziev M.A., Turdaliev A.T., Nizomitdinova M.Sh.K., Shodmonov U.B.U. 2019. The Role of Organic and Mineral Fertilizers in the Development of Physiological Groups of Microorganisms in the Crop Rotation System. *Modern fundamental and applied researches*, 2 (33): 9–12 (in Russian).
3. Gurnovich T.G., Petrov N.R., Ulyanov A.V. 2019. World Trends and Prospects for the Development of the Organic Products Market in Russia. *Vektor Ekonomy*, 10. Electronic resource. URL: www.vectoreconomy.ru/images/publications/2019/10/regionaleconomy/Gurnovich_Petrov_Ulyanov.pdf (accessed: 30 May 2021) (in Russian).
4. Devyatova T.A. 2005. *Bioekologicheskkiye printsipy monitoringa i diagnostiki zagryazneniya pochv* [Bioecological Principles of Monitoring and Diagnostics of Pollution Grounds]. Proceedings of Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy, 1: 105–106 (in Russian).
5. Zabelina O.N. 2014. *Otsenka ekologicheskogo sostoyaniya pochvy gorodskikh rekreatsionnykh territoriy na osnovanii pokazateley biologicheskoy aktivnosti (na primere g. Vladimira)* [Assessment of the Ecological State of the Soil of Urban Recreational Areas on the Basis of Indicators of Biological Activity (on the Example of the City of Vladimir)]. Dis. ... cand. biol. sciences. Vladimir, 146 p.
6. Zvyagintsev D.G. 1978. *Biologicheskaya aktivnost' pochv i shkaly dlya otsenki nekotorykh yeye pokazateley* [Biological Activity of Soils and a Scale for Assessing Some of its indicators]. *Eurasian Soil Science*, 6: 48–54.
7. Zinchenko M.K., Zinchenko S.I., Borin A.A., Kamneva O.P. 2017. Enzymatic Activity Soils of the Upper Volga. *Modern problems of science and education*, 3. Electronic resource. URL: <https://s.science-education.ru/pdf/2017/3/26458.pdf> (accessed: 30 May 2021) (in Russian).
8. Zinchenko M.K., Fedulova I.D., Sharkevich V.V. 2017. Distribution of Diazotrophic Microorganisms in Agrolandscapes of the Forest Soil. *Vladimir Agricolist*, 2 (80): 11–14 (in Russian).
9. Ignashev N.E., Ryzhikh L.Yu. 2020. Influence of Farming Systems on the Abundance of Aerobic Nitrogen Fixing Microbiota. *Russian Journal of Applied Ecology*, 1: 30–32 (in Russian).
10. Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I. 2012. *Biodiagnostika pochv: metodologiya i metody issledovaniy* [Biodiagnostics of Soils: Methodology and Research Methods]. Rostov-na-Donu, Publ. Yuzhnogo federalnogo universiteta, 260 p.
11. Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I., Valkov V.F. 2003. *Biological Diagnostic and Indication of Soils: the Methodology and Methods of Researches*. Rostov-na-Donu, Publ. Russian State University, 216 p. (in Russian).
12. Kulagina V.I., Sungatullina L.M., Ryazanov S.S., Khairullina A.M., Shagidullin R.R., Rupova E.H. 2021. Assessment of the Set of Parameters for an Integral Evaluation of an Ecological and Biological State of Soils in Organic Agriculture. *Scientific Notes of V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*, 7 (73): 90–102 (in Russian). DOI: 10.37279 / 2413-1725-2021-7-1-90-102.
13. Khaziev F.Kh. 2005. *Methods of Soil Enzymology*. Moscow, Publ. Nauka, 192 p. (in Russian).
14. Shcherbakova T.A. 1968. *K metodike opredeleniya aktivnosti invertazy i amilazy v pochve* [On the Method of Determining the Activity of Invertase and Amylase in Soil]. *Sbornik dokladov po fermentam pochvy*. Minsk, 453–455.
15. Churkina G., Kunanbayev K., Akhmetova G. 2012. The Taxonomic Composition of Soil Microorganisms in the Ecosystems of Southern Chernozems of Northern Kazakhstan. *Applied Innovations and Technologies*, 8 (3): 13–19.

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

Кулагина Валентина Ивановна, кандидат биологических наук, доцент, зав. лабораторией экологии почв института проблем экологии и недропользования АН РТ, г. Казань, Россия

Сунгатуллина Люция Мансуровна, старший научный сотрудник лаборатории экологии почв института проблем экологии и недропользования АН РТ, г. Казань, Россия

Рязанов Станислав Сергеевич, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории экологии почв института проблем экологии и недропользования АН РТ, г. Казань, Россия

Шагидуллин Рифгат Роальдович, доктор химических наук, член-корреспондент АН РТ, директор института проблем экологии и недропользования АН РТ, г. Казань, Россия

Андреева Анита Алексеевна, младший научный сотрудник лаборатории экологии почв института проблем экологии и недропользования АН РТ, г. Казань, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Valentina I. Kulagina, candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Head. Laboratory of Soil Ecology of the Institute of Ecology and Subsoil Use of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan, Russia

Lutsia M. Sungatullina, senior researcher of the Laboratory of Soil Ecology of the Institute of Ecology and Subsoil Use of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan, Russia

Stanislav S. Ryazanov, candidate of Biological Sciences, senior researcher of the Laboratory of Soil Ecology of the Institute of Ecology and Subsoil Use of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan, Russia

Rifgat R. Shagidullin, doctor of Chemistry, Corresponding Member of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Director of the Institute of Ecology and Subsoil Use of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan, Russia

Anita A. Andreeva, junior researcher of the Laboratory of Soil Ecology of the Institute of Ecology and Subsoil Use of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan, Russia



УДК 332.2

DOI 10.52575/2712-7443-2021-45-4-471-480

Функциональное зонирование и планирование территории как источник возникновения реестровых ошибок

Чемякина В.Н.

Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН,
Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1
E-mail: VVV-38@yandex.ru

Аннотация. Практика ведения кадастровых работ показывает, что часть сведений о границах земельных участков в едином государственном реестре недвижимости не соответствует границам на местности. Основной причиной такого расхождения может послужить наличие реестровой ошибки. В статье рассмотрены в качестве примера кадастровые работы по уточнению границ ранее учтенного земельного участка индивидуальной жилой застройки с одновременным исправлением границ земельного участка федеральной собственности. Источником взаимного пересечения границ послужило неверное определение границ смежного земельного участка. Разрешить земельный спор в досудебном порядке не представилось возможным. Автором предложены пути решения проблемы наложения границ земельных участков путем проведения функционального зонирования территории по фактически используемым границам с последующим размежеванием используемых не по назначению территорий.

Ключевые слова: единый государственный реестр недвижимости, границы территории, кадастровая деятельность, земельный участок, реестровая ошибка.

Для цитирования: Чемякина В.Н. 2021. Функциональное зонирование и планирование территории как источник возникновения реестровых ошибок. Региональные геосистемы, 45(4): 471–480. DOI: 10.52575/2712-7443-2021-45-4-471-480

Functional Zoning and Territory Planning as a Source of Registry Errors

Viktoria N. Chemyakina

The V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS
1 Ulaanbaatar St, Irkutsk 664033, Russia
E-mail: VVV-38@yandex.ru

Abstract. The article considers cadastral works to clarify the boundaries of a previously registered land plot of individual residential development with simultaneous correction of the boundaries of a federal property land plot. The object of the study is a railway land plot. In the process of cadastral works, a discrepancy between the registered and actual information about the borders was revealed. The presence of a registry error within the boundaries of an adjacent land plot has been established. Based on the initial data, the functional zoning of the studied territory was performed. The analysis of rational use of the territory of the investigated land plot is carried out. The author suggests ways to solve the problem of overlapping the boundaries of land plots by carrying out functional zoning of the territory along the boundaries actually used, followed by the delimitation of territories used for other purposes. In turn, we recommend that the state authorities bring the boundaries of their land plots into compliance.

Keywords: unified state register of real estate, territory boundaries, cadastral activity, land plot, register error.



For citation: Chemyakina V.N. 2021. Functional Zoning and Territory Planning as a Source of Registry Errors. *Regional Geosystems*, 45(4): 471–480 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2021-45-4-471-480

Введение

При стремительном расширении границ Иркутской городской агломерации [Богданов и др., 2019] важной задачей становится упорядочение границ земельных участков индивидуальной жилой застройки как центра агломерации, так и пригородной территории. Интенсивное развитие социально-экономического состояния пригородной территории г. Иркутска, вследствие процессов субурбанизации [Григорьева, 2018], способствует повышению спроса на кадастровые работы на таких территориях.

Законодательство страны определяет исчерпывающий перечень объектов недвижимого имущества, подлежащих государственному кадастровому учету (далее – ГКУ). Основными объектами кадастровых работ для жителей частного сектора населенных пунктов являются земельные участки с расположенными на них индивидуальными жилыми домами.

При проведении кадастровых работ в отношении земельного участка необходимо, в первую очередь, определить его статус. В сведениях Единого государственного реестра недвижимости (далее – ЕГРН) может содержаться информация о статусе: временный, архивный, ранее учтенный, учтенный.

К ранее учтенным земельным участкам относятся земельные участки, кадастровый учет которых был осуществлен до 1 марта 2008 г. Как правило, границы таких земельных участков не уточнены, а площадь является декларированной. При проведении кадастровых работ по уточнению площади и границ таких земельных участков могут возникнуть проблемы, препятствующие осуществлению ГКУ [Об утверждении формы..., 2015]. Возможной причиной может послужить наличие реестровой ошибки в границах смежного земельного участка [Капралов и др., 2005; Колпакова, 2020]. Рассмотрим подробнее случай, когда исторически сложившиеся границы земельного участка под индивидуальной жилой застройкой имеют пересечение с уточненными границами земельных участков федеральной собственности.

Объекты и методы исследования

Анализ качества территориального развития посредством использования специализированного показателя информативности кадастрового картографирования показал, что доля земельных участков и объектов капитального строительства с установленными границами в г. Иркутске составляет 50,9 %. [Степанов, 2020а]. Корректное описание объектов недвижимости положительно влияет на территориальное развитие территории [Степанов, 2020б]. Однако общедоступные сведения публичной кадастровой карты позволяют сделать вывод, что не все зарегистрированные границы объектов недвижимости соответствуют фактическим сведениям на местности. В связи с этим рассмотрим причины и пути решения упорядочения кадастровых границ земельных участков на территории г. Иркутска.

Объектом исследования является земельный участок с кадастровым номером 38:36:000031:285, который входит в состав единого землепользования с кадастровым номером 38:36:000000:26. Земельный участок является собственностью Российской Федерации, сведения о местоположении границ внесены в ЕГРН. Статус земельного участка «ранее учтенный», площадь уточненная.

Исследование проведено методом геоинформационного картографирования [Лурье, 2002; Черкашин и др., 2002; Chang, 2002; Берлянт, 2005]. Основными источниками

картографического материала послужили данные правил землепользования и застройки территории, проект межевания, кадастровый план территории, сведения Публичной кадастровой карты, космические снимки. Дополнительно произведено визуальное обследование объектов недвижимого имущества на местности.

Результаты и их обсуждение

Градостроительной документацией ядро Иркутской городской агломерации разделено на две части:

– территория в границах исторического поселения город Иркутск (исторический центр города) [Об утверждении правил..., 2016];

– территория за исключением территории в границах исторического поселения город Иркутск [Об утверждении правил..., 2016].

Город Иркутск разделен на 71 планировочный элемент, в отношении большей части которых утверждены проекты межевания территории. В границах города проведено функциональное зонирование территории.

В рамках написания статьи произведен комплексный анализ части территории планировочного элемента С-04-31, занятой объектами железнодорожного транспорта. Согласно данным сервиса «Публичная кадастровая карта», железнодорожные пути в Свердловском районе располагаются на земельном участке с кадастровым номером 38:36:000000:26, который является единым землепользованием и состоит из восьми обособленных земельных участков [Публичная кадастровая..., 2021].

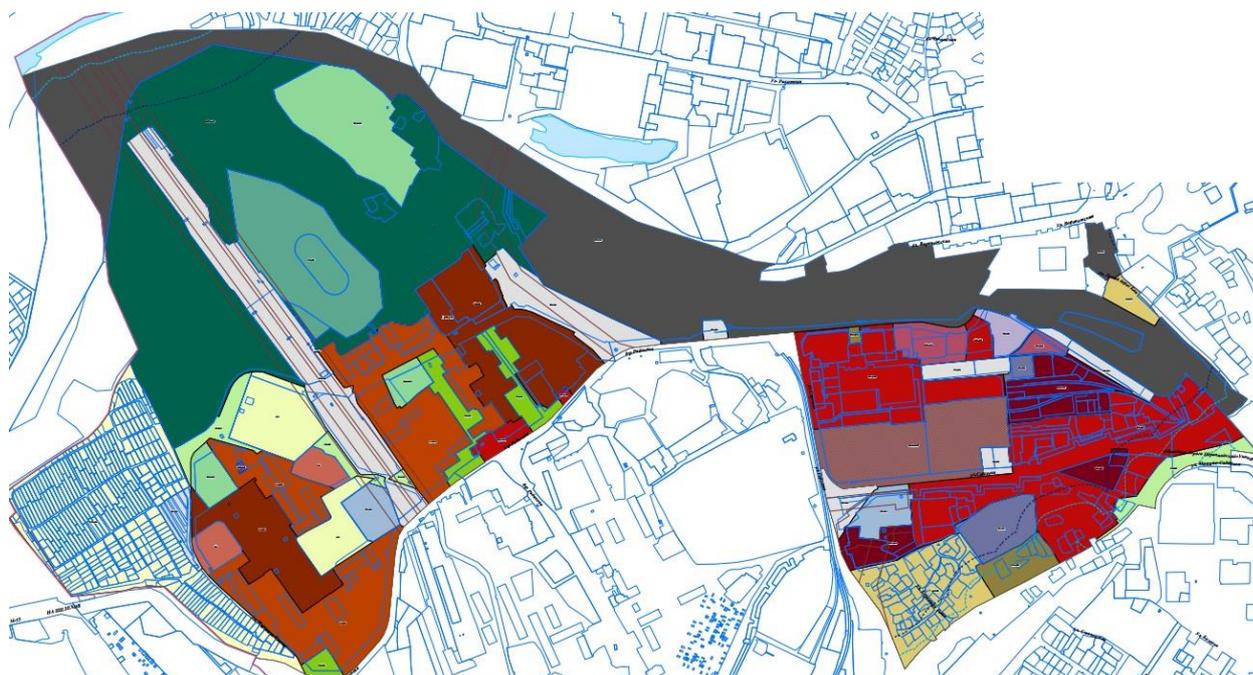
Рассмотрим подробнее один из контуров единого землепользования – земельный участок с кадастровым номером 38:36:000031:285. По данным ЕГРН, участок единого землепользования с кадастровым номером 38:36:000000:26 является федеральной собственностью и принадлежит АО «РЖД» на праве долгосрочной аренды. Описание местоположения границ обособленного земельного участка с кадастровым номером 38:36:000031:285 уточнено, площадь составляет 557 754 м².

На рис. 1 представлен контур исследуемого земельного участка.



Рис. 1. Границы исследуемого земельного участка
Fig. 1. Boundaries of the investigated land plot

Земельный участок располагается за границами исторического поселения города в пределах планировочного элемента С-04-31 (рис. 2).



**УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ
ТЕРРИТОРИАЛЬНЫЕ ЗОНЫ**

ЖИЛЫЕ ЗОНЫ

- ЖЗ-101 – зоны застройки индивидуальными и блокированными жилыми домами с приусадебными земельными участками (1-3 эт.)
- ЖЗ-101И – зоны застройки индивидуальными и блокированными жилыми домами с приусадебными земельными участками (1-3 эт.)И
- ЖЗ-102 – зоны застройки малоэтажными многоквартирными жилыми домами (до 4 эт.)
- ЖЗ-102И – зоны застройки малоэтажными многоквартирными жилыми домами (до 4 эт.)И
- ЖЗ-103 – зоны застройки среднеэтажными жилыми домами (5-8 эт.)
- ЖЗ-103/2 – зона застройки среднеэтажными жилыми домами (5-8 эт.)/2
- ЖЗ-103/19 – зона застройки среднеэтажными жилыми домами (5-8 эт.)/19
- ЖЗ-103/Р – зона застройки среднеэтажными жилыми домами (5-8 эт.)Р
- ЖЗ-104 – зоны застройки многоэтажными жилыми домами (9 эт. и более)
- ЖЗ-104/1 – зоны застройки многоэтажными жилыми домами (9 эт. и более)/1
- ЖЗ-104/2 – зона застройки многоэтажными жилыми домами (9 эт. и более)/2
- ЖЗ-104/38 – зона застройки многоэтажными жилыми домами (9 эт. и более)/38
- ЖЗ-104/И – зона застройки многоэтажными жилыми домами (9 эт. и более)И
- ЖЗ-104/РЗТ – зоны застройки многоэтажными жилыми домами (9 эт. и более)РЗТ
- ЖЗ-104/У – зона застройки многоэтажными жилыми домами (9 эт. и более)У
- ДЗ – зоны размещения объектов дошкольного образования
- ПЗ – зоны размещения объектов начального общего и среднего (полного) общего образования

ОБЩЕСТВЕННО-ДЕЛОВЫЕ ЗОНЫ

- ОДЗ-201 – зоны делового, общественного и коммерческого назначения
- ОДЗ-201/1 – зоны делового, общественного и коммерческого назначения/1
- ОДЗ-201/3 – зона делового, общественного и коммерческого назначения/3
- ОДЗ-201/И – зона делового, общественного и коммерческого назначенияИ
- ОДЗ-201/Т – зоны делового, общественного и коммерческого назначенияТ
- ОДЗ-201/Р – зона делового, общественного и коммерческого назначенияР
- ОДЗ-202 – зоны обслуживания объектов, необходимых для осуществления производственной и предпринимательской деятельности
- ОДЗ-203 – зоны размещения объектов здравоохранения и социального обеспечения
- ОДЗ-204 – зоны размещения научно-исследовательских учреждений
- ОДЗ-205 – зоны размещения объектов среднего и высшего профессионального образования
- ОДЗ-206 – зоны размещения объектов культуры
- ОДЗ-207 – зоны размещения культурных зданий

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ЗОНЫ

- ПЗ-301 – зоны промышленных объектов II, III классов опасности
- ПЗ-302 – зоны промышленных объектов IV, V классов опасности
- ПЗ-303 – зоны размещения коммунальных и складских объектов
- ПЗ-304 – зоны объектов инженерной инфраструктуры
- ПЗ-305 – зоны размещения объектов городского транспорта
- ПЗ-305/И – зона размещения объектов городского транспортаИ
- ПЗ-306 – зоны размещения объектов внешнего транспорта

ЗОНЫ РЕКРЕАЦИОННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

- РЗ-501 – зоны природного ландшафта
- РЗ-502 – зоны парков, скверов, бульваров
- РЗ-503 – зоны, предназначенные для отдыха, туризма, занятий физической культурой и спортом, зоны пляжей
- РЗ-503/1 – зона, предназначенная для отдыха, туризма, занятий физической культурой и спортом, зона пляжей/1
- РЗ-504 – зоны, занятые городскими лесами
- РЗ-505 – зоны объектов и сооружений физической культуры и спорта

ЗОНЫ РЕКРЕАЦИОННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

- РЗ-501 – зоны природного ландшафта
- РЗ-502 – зоны парков, скверов, бульваров
- РЗ-503 – зоны, предназначенные для отдыха, туризма, занятий физической культурой и спортом, зоны пляжей
- РЗ-503/1 – зона, предназначенная для отдыха, туризма, занятий физической культурой и спортом, зона пляжей/1
- РЗ-504 – зоны, занятые городскими лесами
- РЗ-505 – зоны объектов и сооружений физической культуры и спорта

ЗОНЫ ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ТЕРРИТОРИЙ

- ООТЗ-601 – зоны особо охраняемых территорий

ЗОНЫ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

- СХЗ-401 – зоны ведения сельскохозяйственного производства
- СХЗ-402 – зоны ведения садоводства

ЗОНЫ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

- СНЗ-701 – зоны кладбищ
- СНЗ-702 – зоны закрытых кладбищ
- СНЗ-703 – зоны режимных объектов
- СНЗ-704 – зоны объектов специального назначения

ИНЫЕ ЗОНЫ

- ИЗ-801-ИЗ-812 – зоны особого градостроительного регулирования

Рис. 2. Сведения из правил землепользования и застройки территории
Fig. 2. Information from the rules of land use and development of the territory

Земельный участок располагается в зоне размещения объектов внешнего транспорта и в зоне застройки индивидуальными и блокированными жилыми домами с приусадебными земельными участками (1–3 эт.) [Об утверждении правил..., 2016].

В рамках исследования произведен выезд на местность с целью изучения фактического месторасположения и функционального назначения объектов недвижимости. В ходе выполнения кадастрово-геодезических работ установлено, что в границах земельного

участка 38:36:000031:285, находящегося в федеральной собственности, расположен индивидуальный жилой дом 1938 г. постройки с кадастровым номером 38:36:000031:5453. Данный объект капитального строительства с 2002 г. принадлежит на правах собственности физическому лицу и располагается на ранее учтенном земельном участке с кадастровым номером 38:36:000031:468, вид разрешенного использования которого «земли под индивидуальной жилой застройкой». Целью проведения кадастровых работ является подготовка межевого плана по уточнению границ земельного участка с кадастровым номером 38:36:000031:468 с исправлением границ смежного земельного участка 38:36:000031:285 с последующим предоставлением в собственность бесплатно физическому лицу.

По данным ЕГРН, земельный участок с кадастровым номером 38:36:000031:285 поставлен на кадастровый учет в 2005 г., следовательно, при проведении землеустроительных работ в границы федерального земельного участка были ошибочно включены границы земельного участка, предназначенные для индивидуальной жилой застройки, вследствие чего индивидуальный жилой дом частной собственности оказался в границах земельного участка федеральной собственности. Данное обстоятельство противоречит главному принципу земельного законодательства, который определяет единство судьбы земельных участков и прочно связанных с ними объектов капитального строительства [Земельный кодекс, 2001] и свидетельствует о наличии реестровой ошибки в границах земельного участка с кадастровым номером 38:36:000031:285, входящего в состав единого землепользования 38:36:000000:26.

В процессе проведения камеральной обработки данных с помощью программного комплекса ГИС Rapogama создан крупномасштабный план, в который импортированы сведения кадастрового плана территории (далее – КППТ). Учитывая полученные данные и многолетний мониторинг местности, изученный с помощью программного обеспечения Google Earth, проведено функциональное зонирование территории.

Так, в пределах исследуемой территории выделены следующие территориальные зоны:

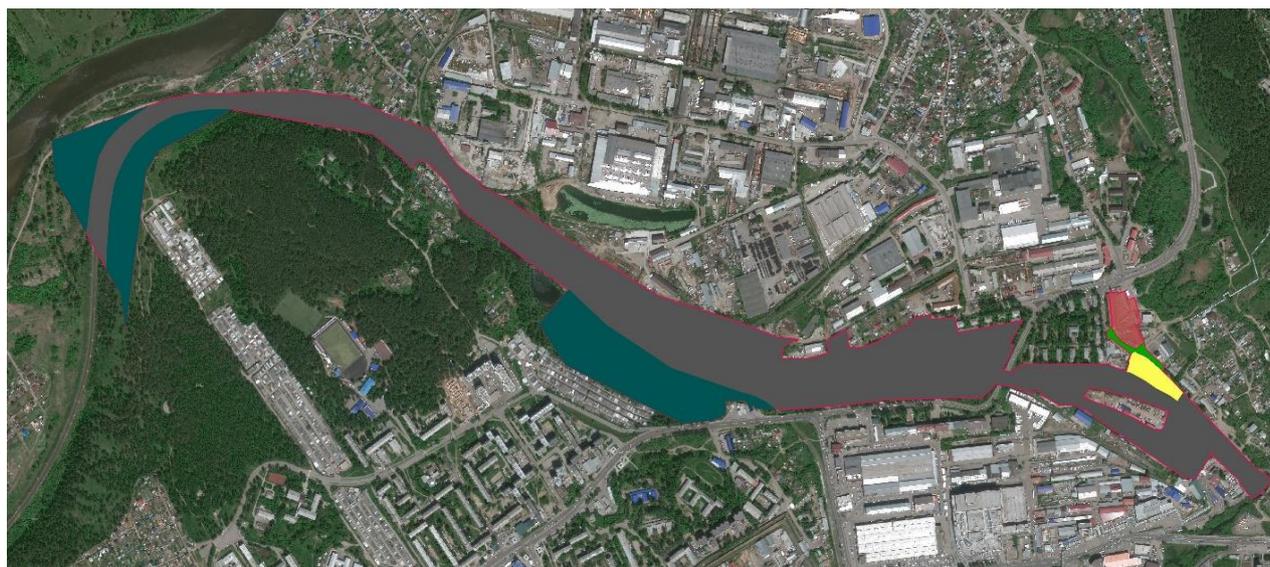
- зона делового, общественного и коммерческого назначения;
- зона застройки индивидуальными и блокированными жилыми домами с приусадебными земельными участками (1–3 эт.);
- зоны, занятые городскими лесами;
- зона размещения объектов городского транспорта;
- зона размещения объектов внешнего транспорта (рис. 3).

Анализ использования земель показал, что значительная часть территории (303 762 м²) земельного участка используется не по функциональному назначению (см. таблицу).

Причиной несоответствия площадей послужило то, что границы федерального земельного участка внесены в ЕГРН без учета фактически застроенной территории объектами иного назначения.

С целью упорядочения границ земельного участка необходимо провести кадастровые работы по размежеванию. Раздел земельного участка, находящегося в государственной собственности, допускается в соответствии с проектом межевания территории либо утвержденной схемой расположения земельного участка или земельных участков на кадастровом плане территории при отсутствии ПМТ [Земельный кодекс..., 2001].

Проект межевания территории обеспечивает точное и однозначное положение земельных участков на местности путем использования координатной привязки границ земельных участков и фиксации геометрических характеристик каждого полученного контура, а также определяются площадь и границы образуемых земельных участков.



Условные обозначения:

- зона делового, общественного и коммерческого назначения;
- зона застройки индивидуальными и блокированными жилыми домами с приусадебными земельными участками (1–3 эт.);
- зоны, занятые городскими лесами;
- зона размещения объектов городского транспорта;
- зона размещения объектов внешнего транспорта.

Рис. 3 Функциональное зонирование территории
Fig. 3. Functional zoning of the territory

Анализ функционального использования исследуемой территории
Analysis of the functional use of the studied territory

Территориальная зона	Площадь по данным ПЗЗ, м ²	Площадь, определенная в ходе исследования, м ²	Площадь территории, используемая не по назначению, м ²
Зона делового, общественного и коммерческого назначения	–	9 540	9 540
Зона застройки индивидуальными и блокированными жилыми домами с приусадебными земельными участками (1–3 эт.)	10 124	7 705	2 419
Зоны, занятые городскими лесами	–	139 504	139 504
Зона размещения объектов городского транспорта	–	2 837	2 837
Зона размещения объектов внешнего транспорта	547 630	398 168	149 462
Итого:	557 754	557 754	303 762

На территории планировочного элемента С-04-31 утвержден проект межевания территории [Об утверждении проекта..., 2018], поэтому кадастровые работы не могут быть проведены на основании иного документа (рис. 4).



Рис. 4. Сведения из проекта межевания территории
Fig. 4. Information from the land surveying project

Проектом межевания территории кадастровые работы по упорядочению границ по вновь проведенному функциональному зонированию не предусмотрены. Мы считаем, что возможной причиной несоответствия является безучастность федеральных органов государственной власти в размежевании своих земель. В связи с чем целесообразно внести изменения в проектную документацию и предусмотреть образование земельных участков в соответствии с их фактически используемыми границами [Семякин, 2017; Торсунова, 2018]. Одновременно при проектировании необходимо учитывать сведения о ранее учтенных земельных участках, границы которых не установлены в соответствии с земельным законодательством.

В настоящее время законодательство позволяет провести кадастровые работы по уточнению границ земельного участка, существование которых на местности закреплено 15 и более лет [О государственной регистрации..., 2015], с исправлением границ смежного земельного участка. Главным условием проведения таких работ является согласие правообладателя смежного земельного участка, которое оформляется в Акте согласования местоположения границ земельного участка (далее – Акт согласования). Кадастровый учет проводится без учета данных проекта межевания территории.

Практика ведения кадастровых работ на территории г. Иркутска позволяет сделать вывод, что подписать Акт согласования границ в досудебном процессе с правообладателями федеральной собственности практически невозможно. Так, проведение кадастровых работ по уточнению границ земельного участка с кадастровым номером 38:36:000031:468, предназначенного для размещения индивидуального жилого дома частной собственности, с одновременным исправлением границы земельного участка с кадастровым номером 38:36:000031:285, входящего в состав единого землепользования 38:36:000000:26, было



приостановлено. В согласовании границ смежного земельного участка орган, распоряжающийся землями федеральной собственности, отказал. Причиной отказа послужил факт уменьшения площади федерального земельного участка, что расценивалось как вред и нарушение интересов РФ [О кадастровой деятельности..., 2007]. В свою очередь, арендатор земельного участка предложил заключить договор субаренды земельного участка за плату. В данном случае права собственника жилого дома ущемлены, так как нарушают основной принцип земельного законодательства о единстве судьбы объектов недвижимости, в соответствии с которым все прочно связанные с земельными участками объекты следуют судьбе земельных участков [Земельный кодекс..., 2001]. Земельный спор возможно разрешить только в судебном порядке. При этом, отстаивая свои права, землепользователь понесет значительно большие расходы на проведение землеустроительной экспертизы.

Заключение

Практика ведения кадастровых работ показывает, что кадастр недвижимости несовершенен – в нем содержатся ошибки и расхождения, как и в любой регистрационной системе.

Нередко при уточнении границ земельных участков кадастровые инженеры сталкиваются с проблемой наложения границ объектов кадастрового учета с иными земельными участками. Закон о кадастровой деятельности позволяет провести кадастровые работы по уточнению границ ранее учтенного земельного участка с одновременным исправлением границ смежного. Главным препятствием может послужить отказ в согласовании границ собственника и арендатора исправляемого земельного участка. Конфликт интересов частной и государственной собственности зачастую решается в судебном порядке. Как правило, при разрешении земельных споров землевладельцы и землепользователи финансовое бремя берут на себя.

В целях уменьшения земельных споров и упорядочения границ земельных участков индивидуального жилищного строительства мы полагаем, что необходимо:

- провести функциональное зонирование территории города по фактически занимаемым границам, существующим на местности 15 и более лет;
- предусмотреть кадастровые работы по размежеванию земельных участков, которые располагаются в разных территориальных зонах.

В свою очередь, органам государственной власти рекомендуем привести границы своих земельных участков в соответствие и исключить территорию, которая фактически используется под индивидуальное жилищное строительство.

Список источников

1. Берлянт А.М. 2005. Картографический словарь. М., Научный мир, 423 с.
2. Земельный кодекс Российской Федерации от 25.10.2001 № 136-ФЗ (ред. от 02.07.2021). СПС КонсультантПлюс. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_33773/ (дата обращения: 03.09.2021).
3. Капралов Е.Г., Кошкарев А.В., Тикунов В.С., Глазырин В.В., Заварзин А.В., Замай С.С., Лурье И.К., Охонин В.А., Пырьев В.И., Рыльский И.А., Семин В.И., Серапинас Б.Б., Симонов А.В., Трофимов А.М., Флейс М.Э., Якубайлик О.Э., Яровых В.Б. 2005. Геоинформатика. М., Академия, 480 с.
4. Лурье И.К. 2002. Основы геоинформатики и создание ГИС: Дистанционное зондирование и географические информационные системы. М., ИНЭКС 92, 40 с.
5. О государственной регистрации недвижимости: Федеральный закон от 13.07.2015 № 218-ФЗ (ред. от 11.06.2021). СПС КонсультантПлюс. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_182661/ (дата обращения: 05.09.2021).

6. О кадастровой деятельности: Федеральный закон от 24.07.2007 № 221-ФЗ (ред. от 11.06.2021). СПС КонсультантПлюс. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_70088/ (дата обращения: 03.09.2021).

7. Об утверждении правил землепользования и застройки части территории города Иркутска, включающей территорию в границах исторического поселения город Иркутск: Решение Думы города Иркутска от 28 октября 2016 года № 006-20-260428/6 (изм. от 05.10.2021). Электронный ресурс. URL: <https://www.admirk.ru/authority/documents/element/104175/> (дата обращения: 20.10.2021).

8. Об утверждении правил землепользования и застройки части территории города Иркутска, за исключением территории в границах исторического поселения город Иркутск: Решение Думы города Иркутска от 28 октября 2016 года № 006-20-260430/6 (изм. от 05.10.2021). Электронный ресурс. URL: <https://docs.cntd.ru/document/444792594> (дата обращения: 20.10.2021).

9. Об утверждении проекта межевания территории планировочного элемента С-04-31: Постановление администрации г. Иркутска от 06.07.2018 № 031-06-631/8. Электронный ресурс. URL: <https://admirk.ru/authority/documents/element/68548/> (дата обращения: 20.10.2021).

10. Об утверждении формы и состава сведений межевого плана, требований к его подготовке: Приказ Минэкономразвития России от 08.12.2015 № 921 (ред. от 14.12.2018). СПС КонсультантПлюс. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_192842/ (дата обращения: 05.09.2021).

11. Публичная кадастровая карта. Электронный ресурс. URL: <https://pkk.rosreestr.ru/> (дата обращения 01.09.2021).

Список литературы

1. Богданов В.Н., Кoryтный Л.М., Емельянова Н.В., Антипина Ю.В. 2019. Социально-экологические особенности субурбанизации в Иркутской агломерации. Экология урбанизированных территорий, 3: 28–33. DOI: 10.24411/1816-1863-2019-13028.

2. Григорьева М.А. 2018. Социально-экономическое развитие Иркутского района как пригородной территории. Вестник Евразийской науки, 10 (6): 1–14. DOI: 10.15862/54ECVN618.

3. Колпакова О.П. 2020. Реестровые ошибки при постановке земельных участков на государственный кадастровый учет. Московский экономический журнал, 8: 6. DOI 10.24411/2413-046X-2020-10574.

4. Семякин Н.К. 2017. Экспертиза границ земельного участка. Science Time, 12 (48): 34–37.

5. Степанов К.Г. 2020а. О роли пространственных данных кадастра недвижимости в комплексном развитии территорий. Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле, 34: 113–130. DOI: 10.26516/2073-3402.2020.34.113.

6. Степанов К.Г. 2020б. Информативность кадастрового картографирования как показатель качества территориального развития. Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле, 30 (4): 484–495. DOI: 10.35634/2412-9518-2020-30-4-484-495.

7. Торсунова О.Ф. 2018. Земельно-кадастровое обеспечение установления границ территориальных зон. Интерэкспо Гео-Сибирь, 2 (3): 166–172.

8. Черкашин А.К., Китов А.Д., Бычков И.В., Васильев С.Н. 2002. Геоинформационная система управления территорией. Иркутск, Изд-во ИГ СО РАН, 151 с.

9. Chang K.T. 2002. Introduction to geographic information systems. Boston, McGraw-Hill, 348 p.

References

1. Bogdanov V.N., Korytnyy L.M., Emel'yanova N.V., Antipina Yu.V. 2019. Socio-Ecological Characteristics of Suburbanization in the Irkutsk Agglomeration. Ecology of Urban Areas, 3: 28–33 (in Russian). DOI: 10.24411/1816-1863-2019-13028.

2. Grigor'eva M.A. 2018. Socio-Economic Development of the Irkutsk District as a Suburban Area. Eurasian Scientific Journal, 10 (6): 1–14 (in Russian). DOI: 10.15862/54ECVN618.

3. Kolpakova O.P. 2020. Register Errors when Landing Land Plots for State Cadastral Accounting. Moscow journal, 8: 6 (in Russian). DOI 10.24411/2413-046Kh-2020-10574.



4. Semyakin N.K. 2017. Ekspertiza granits zemel'nogo uchastka [Expertise of the boundaries of the land plot]. *Science Time*, 12 (48): 34–37.
5. Stepanov K.G. 2020a. On the Role of Spatial Data of the Real Estate Cadaster in the Complex Development of Territories. *The Bulletin of Irkutsk State University. Series: Earth Sciences*, 34: 113–130 (in Russian). DOI: 10.26516/2073-3402.2020.34.113.
6. Stepanov K.G. 2020б. Informativeness of Cadastral Mapping as an Indicator of the Quality of Territorial Development. *Bulletin of Udmurt University. Series Biology. Earth Sciences*, 30 (4): 484–495 (in Russian). DOI: 10.35634/2412-9518-2020-30-4-484-495.
7. Torsunova O.F. 2018. Land and Cadastre for Ensuring Setting of Territorial Zone Boundaries. *Interexpo GEO-Siberia*, 2 (3): 166–172 (in Russian).
8. Cherkashin A.K., Kitov A.D., Bychkov I.V., Vasiliev S.N. 2002. Geoinformatsionnaya sistema upravleniya territoriy [Geographic information system of territory management]. Irkutsk, Publ. IG SO RAS, 151 p.
9. Chang K.T. 2002. Introduction to geographic information systems. Boston, McGraw-Hill, 348 p.

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

Чемакина Виктория Николаевна, аспирант лаборатории георесурсоведения и политической географии Института географии им В.Б. Сочавы СО РАН, г. Иркутск, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Viktoria N. Chemyakina, postgraduate student of the Laboratory of Georesource Studies and Political Geography of the V.B. Sochavy Institute of Geography SB RAS, Irkutsk, Russia



УДК 528.88
DOI 10.52575/2712-7443-2021-45-4-481-504

Страна городов: комплексные исследования городищ Волжской Булгарии

¹Усманов Б.М., ²Гайнуллин И.И., ¹Гафуров А.М., ¹Иванов М.А.,
¹Хомяков П.В., ³Губайдуллин А.М., ¹Ермолаев О.П., ³Абдуллин Х.М.,
¹Саламатина Н.С., ²Касимов А.В.

¹Казанский (Приволжский) федеральный университет,
Россия, 420097, г. Казань, ул. Товарищеская, 5

²Автономная некоммерческая организация
"Научно-исследовательский центр "Страна городов",
Россия, 420029, г. Казань, ул. 8 Марта, 12

³Институт археологии им. А.Х. Халикова академии наук Республики Татарстан,
Россия, 420012, г. Казань, ул. Бутлерова, 30

E-mail: busmanof@kpfu.ru, gainullis@gmail.com, gafurov.kfu@gmail.com

Аннотация. В рамках выполнения проекта РФФИ «Древности», на исторической территории Волжской Булгарии, одного из ранних средневековых государств на территории Восточной Европы, существовавшего в X – начале XIII вв., осуществлен сбор информации о средневековых городищах с использованием комплексного (мультидисциплинарного) подхода и современных методов исследований, проведены исследования пространственных взаимосвязей и региональных закономерностей размещения археологических памятников изучаемого региона, сделана оценка их трансформации негативными природными и антропогенными процессами. Впервые для исследуемой территории собрана и систематизирована разрозненная информация о средневековых городищах, заново интерпретированы археологические материалы, выявлены и количественно оценены риски разрушения средневековых городищ природно- и антропогенно-обусловленными процессами. Впервые создаются специализированная ГИС и геопортал открытого пользования для объектов археологического наследия – городищ Волжской Булгарии.

Ключевые слова: археологическое наследие, фортификационные сооружения, опасные экзогенные процессы, антропогенное воздействие, оценка состояния, данные дистанционного зондирования, геоинформационные системы, геопортал.

Благодарность: работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 18-09-40114.

Для цитирования: Усманов Б.М., Гайнуллин И.И., Гафуров А.М., Иванов М.А., Хомяков П.В., Губайдуллин А.М., Ермолаев О.П., Абдуллин Х.М., Саламатина Н.С., Касимов А.В. 2021. Страна городов: комплексные исследования городищ Волжской Булгарии. Региональные геосистемы, 45 (4): 481–504. DOI: 10.52575/2712-7443-2021-45-4-481-504



Country of Cities: Comprehensive Research of the Fortified Settlements of the Volga Bulgaria

¹Bulat M. Usmanov, ²Iskander I. Gainullin, ¹Artur M. Gafurov, ¹Maxim A. Ivanov,
¹Peter V. Khomyakov, ³Airat M. Gubaidullin, ¹Oleg P. Yermolaev,
³Khalim M. Abdullin, ¹Nadezhda S. Salamatina, ²Alexey V. Kasimov

¹Kazan Federal University,

5 Tovarishcheskaya St, Kazan 420097, Russia

²Autonomous non-profit organization "Research Center" Country of Cities",
12 March 8 St, Kazan 420029, Russia

³A.Kh. Khalikov Institute of Archaeology
of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan,
30 Butlerova St, Kazan 420012, Russia

E-mail: busmanof@kpfu.ru, gainullis@gmail.com, gafurov.kfu@gmail.com

Abstract. As part of the RFBR project "Antiquities", on the historical territory of Volga Bulgaria, one of the earliest medieval states in Eastern Europe, which existed in the 10th - early 13th centuries, studies of spatial relationships and regional patterns of placement of medieval settlements were carried out, their transformation was assessed as negative natural and anthropogenic processes, collected information about the archaeological sites of the studied region using an integrated (multidisciplinary) approach and modern research methods. For the first time for the study area, fragmentary information about medieval settlements was collected and organized, archaeological materials were re-interpreted, the risks of destruction of medieval settlements by natural and anthropogenically determined processes were identified and quantified. For the first time, a specialized GIS and an open-source geoportal are being created for objects of archaeological heritage – fortified settlements of the Volga Bulgaria.

Keywords: archaeological heritage, fortifications, hazardous exogenous processes, anthropogenic impact, state assessment, remote sensing data, geographic information systems, geoportal.

Acknowledgment: The reported study was funded by RFBR according to the research project № 18-09-40114.

For citation: Usmanov B.M., Gainullin I.I., Gafurov A.M., Ivanov M.A., Khomyakov P.V., Gubaidullin A.M., Yermolaev O.P., Abdullin Kh.M., Salamatina N.S., Kasimov A.V. 2021. Country of cities: comprehensive research of the fortified settlements of the Volga Bulgaria. Regional geosystems, 45 (4): 481–504. (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2021-45-4-481-504

Введение

Исследования городищ Волжской Булгарии занимают особую страницу в истории изучения археологических памятников периода средневековья территории Волго-Камья. В условиях полного отсутствия болгарских письменных источников периода X–XIII в. именно городища предоставляют уникальные свидетельства о городской жизни Волжской Булгарии, пространственного распределения военных, административных, торговых пунктов и их взаимосвязей, фортификационного зодчества и пр. Благодаря своим характерным отличительным чертам – фортификационным сооружениям, выделяющим их в окружающем ландшафте, уже с XVIII в. они привлекают внимание ученых.

Необходимо отметить, что до сих пор в археологической литературе указанные памятники рассматриваются по устаревшим и неточным планам и описаниям; полного обследования с учетом современных методов и подходов не проводится, также не учитывается их трансформация – разрушение оборонительных сооружений, являющихся уникальным признаком городищ, под воздействием негативных антропогенных и естественных

процессов, сокращение площади памятников, что приводит к утрате их формы и культурного слоя. В этих условиях исследователи оперируют неточными сведениями, приводящими к ошибкам в типологии. Уникальные свидетельства прошлого могут полностью исчезнуть, как, например, в течение последних 60 лет были полностью разрушены оборонительные сооружения Хулашского и Танай-Тураевского городищ.

В сложившейся ситуации, для совершенствования механизмов изучения археологического наследия, наш коллектив авторов предлагает использовать комплексный (мультидисциплинарный) подход, опираясь на современные неразрушающие методы полевых исследований с применением последних технических достижений в области наук о Земле и археологии, основанных на принципе изучения и сохранения археологических памятников с использованием данных дистанционного зондирования Земли и возможностью получения информации о расположении археологических объектов, оценки их формы, размеров и состояния без проведения археологических раскопок, также ведущих к разрушению памятников. Бурный рост цифровых технологий в последней четверти XX – начала XXI вв. привел к широкому их использованию в различных отраслях науки, включая археологию, что позволяет по-новому интерпретировать археологический материал, делая возможным быструю и эффективную обработку больших объемов информации. Можно выделить следующие направления, широко используемые в современной археологии: применение геоинформационных систем, пространственный анализ, обработка и интерпретация данных дистанционного зондирования, использование беспилотных летательных аппаратов, 3D-моделирование. Как показывает мировая практика, сочетание этих методов позволяет реализовывать комплексные (мультидисциплинарные) проекты по изучению археологического наследия [Коробов, 2012]. Мультидисциплинарный подход дает наиболее значимый результат при проведении полевых исследований, став повседневным для современных археологических работ [Афанасьев и др., 2004; Когобов, 2011]. Особенно актуально совершенствование механизмов комплексного обследования с использованием современных неразрушающих методов в изучении археологического наследия, что позволяет получать новые данные для уже выявленных памятников археологии без нанесения какого-либо ущерба. Инвентаризация уже выявленных памятников, их дообследование, получение точных данных о местоположении и размещении данных в ГИС позволяет изучать и заново интерпретировать археологические материалы, проводя моделирование исторических процессов и пространственно-исторический анализ культурных ландшафтов [Mares, Moschek, 2013].

В последнее время для решения задач археологии все чаще применяется концепция геопорталов – интерактивных карт, позволяющих отображать серию тематических материалов в виде точек, полилиний или полигонов, а также растровых объектов. Существующий опыт доказывает востребованность подобных геоинформационных решений. В качестве примера можно привести веб-ГИС «Atlas of Hillforts of Britain and Ireland» [Pouncett, 2019], геопортал Службы Национальных Памятников Ирландии [Lynch, 2008], геопортал музея Castello di Alceste, Италия, позволяющий «посетить» его в дополненной реальности [Cisternino et al., 2019], информационную систему с BIM-реконструкцией базилики Святого Амвросия в Милане, Италия [Banfi et al., 2019], геопортал объектов культурного наследия Австралии [Nishanbaev, 2020], веб-ГИС «Археологические памятники Крыма» [Lisetskii et al, 2018; Buryak et al., 2019] и многие другие.

В данной статье отражены исследования городищ Волжской Булгарии, проводимые в рамках проекта РФФИ 18-09-40114 «Страна городов» – комплексное изучение городищ Волжской Булгарии современными методами». Целью работы является разработка археологического геопортала, предоставляющего доступ к результатам оценки современного состояния средневековых городищ Волжской Булгарии на основе комплекса неразрушающих методов.



Объекты и методы исследования

Городище – это место, сохранившее следы (остатки) древнего поселения, укрепленного оборонительными сооружениями. Объектами нашего исследования являются городища Волжской Булгарии и последующего золотоордынского периода (X–XV вв.).

Территория исследования – историческая территория Волжской Булгарии, определенная археологическими исследованиями прошлых лет. Волжская Булгария была расположена в Среднем Поволжье и Заволжье (включая территорию нижнего Прикамья), где выделяется несколько географических зон, центральное место в которых занимает Казанское Поволжье. По заключению археологов, территория Волжской Булгарии простиралась от реки Казанки на севере до Самарской Луки на юге и от р. Суры на юго-западе до рек Шешмы и Черемшана на востоке и юго-востоке.

Объекты распределены на данной территории неравномерно, что исторически связано с освоением края болгарским населением в X–XV вв. Наибольшее количество городищ находится в географическом регионе Закамье на территории Республики Татарстан, где находились столицы Волжской Булгарии – Болгар и Биляр.

Хронологически большинство изучаемых памятников археологии относятся к домонгольскому – X–XIII вв. (60 %) и к золотоордынскому – XIII–XV вв. (20 %) периодам существования Волжской Булгарии. Малые городища имеют размеры 1–5 га, а самые большие – до 600 га. Большая часть городищ имеет площадь от 5 до 35 га [Руденко, 2014].

Болгарские городища привлекают внимание исследователей с конца XVIII в. Благодаря многолетним исследованиям дореволюционного, советского и постсоветского периодов, к началу XXI в. было выявлено около 200 болгарских городищ, на основе изучения которых был выпущен ряд обобщающих работ – монографий и статей [Gubajdullin, 2017]. На основании анализа материалов исследований XIX–XX вв., представленных в существующей археологической литературе, к изучению авторами было определено 125 городищ, из которых 119 находятся на территории Республики Татарстан, 2 – в Республике Чувашия и 4 – в Ульяновской области (рис. 1).

Городища с остатками земляных укреплений в их современном состоянии являются природно-антропогенными комплексами, образование которых обусловлено симбиозом приложения труда человека и сил природы [Чижевский, Хисьяметдинова, 2020]. Таким образом, природно-антропогенный характер изучаемых памятников обуславливает методы проводимого исследования, основой которых является комплексный подход, подразумевающий исследование и интерпретацию археологических материалов с момента выявления памятника археологии до настоящего времени, включающий изучение развития негативных процессов, разрушающих памятники археологии, а также прогноз развития изучаемых объектов и процессов в будущем и характеризующийся использованием естественно-научных и историко-археологических подходов в изучении выбранных объектов.

Исторические данные. Источниковой базой исследования явились материалы прошлых лет – архивные материалы, отчеты о проведенных археологических исследованиях и пр., которые предоставляют данные о памятниках на момент их выявления – площадь, характеристику оборонительных сооружений и пр.

В качестве основных исходных картографических материалов были использованы планы генерального межевания конца XVIII – начала XIX веков:

- 1) генеральный геометрический план города Свияжска и его уезда, состоящего в Казанской губернии (масштаб – 2 версты в 1 английском дюйме);
- 2) генеральный уездный план Тетюшского уезда (масштаб – 2 версты в 1 английском дюйме);
- 3) геометрический атлас Буинского уезда (масштаб – 2 версты в 1 английском дюйме);
- 4) генеральный план Казанского уезда (масштаб – 2 версты в 1 английском дюйме);
- 5) генеральный план Спасского уезда (масштаб – 2 версты в 1 английском дюйме);
- 6) генеральный план Елабужского уезда (масштаб – 2 версты в 1 английском дюйме);
- 7) карта Мамадышского уезда (масштаб – 4 версты в 1 английском дюйме).

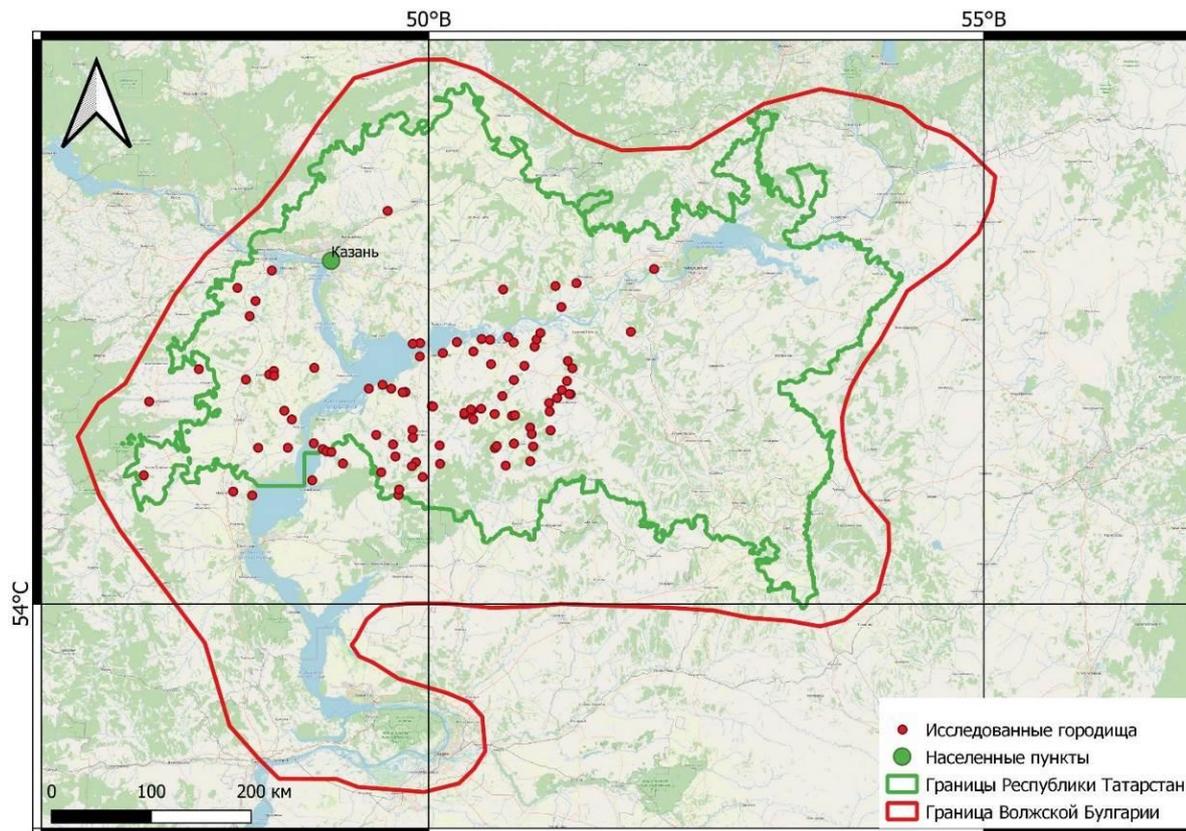


Рис. 1. Обзорная карта исследования в рамках проекта «Страна городов» с границами Волжской Булгарии по [Руденко, 2014]

Fig. 1. Overview map of the research in the "Country of cities" project with the boundaries of the Volga Bulgaria [Rudenko, 2014]

Данные дистанционного зондирования. При оценке изменения состояния укрепленных поселений важнейшим источником являются архивные данные дистанционного зондирования. Анализ аэрофото- и космоснимков 50–80 гг. прошлого столетия позволяет определить точное местоположение памятников археологии, в том числе разрушенных, что дает возможность проводить более достоверный пространственный анализ размещения городищ Волжской Булгарии, а также проводить оценку динамики их разрушения на протяжении последних 60 лет.

В специальном фонде библиотеки Казанского федерального университета были выявлены аэрофотоснимки (масштаб 1:17000, 1:25000) для 50 городищ, включая уже разрушенные. Из открытого архива Геологической службы США (USGS) были скачаны раскращенные снимки космической программы оборонного назначения Corona со спутников KeyHole-4, KeyHole-4A, KeyHole-9. Дата съемки – 1967 и 1975–1977 гг. Для анализа современной структуры земель были использованы безоблачные разносезонные снимки Landsat 8 (Surface Reflectance Level-2 Data Products) за бесснежный период 2015–2019 гг. В качестве рабочей проекции для всех материалов была выбрана Универсальная поперечная проекция Меркатора (UTM, Universal Transverse Mercator) на эллипсоиде WGS84, 39 зона северного полушария.

Привязка архивных данных. Была осуществлена пространственная привязка планов генерального межевания. В качестве основных опорных данных для привязки выступали мозаики Landsat TM размером 5 градусов по широте и 6 градусов по долготу (Tri-Decadal TM Mosaics) из открытого архива Геологической службы США (USGS) с пространственным разрешением 30 м. Поскольку ПГМ выполнены в масштабе 1–2 версты в



1 дюйме, что равно масштабам 1:420000 и 1:840000 соответственно, разрешения снимков Landsat 5 более чем достаточно для поиска опорных точек. В качестве дополнительных данных использовался лист топографической карты 1-N-39 масштаба 1:300000 1946 г., привязанный по регулярной координатной сетке. На данной топокарте отражено состояние местности до создания и заполнения Куйбышевского водохранилища (в отличие от спутниковых снимков), что позволило найти дополнительные опорные точки вблизи берегов р. Волги. Привязка ПГМ проводилась в программе ArcMAP с использованием инструмента «Georeferencing».

Поскольку планы генерального межевания (ПГМ) составлены в конце XVIII – начале XIX вв., поиск опорных точек достаточно затруднителен. В качестве таковых использовались характерные разветвления долинной и овражно-балочной сети, места слияния рек (в случае, если конфигурация на ПГМ и снимке или топокарте визуально совпадала), центры небольших населенных пунктов (опять же в случае максимальной неизменности границ), устья рек, впадающих в р. Волгу. Для каждого плана использовалось достаточно большое количество опорных точек (не менее 30). В силу больших искажений и неточности положения и конфигурации объектов на планах межевания количественная оценка точности привязки и ошибок практически теряет смысл. По этой же причине в качестве метода трансформации при осуществлении привязки использовался полином 3-го порядка, а в некоторых случаях сплайны. Оба метода применяются в подобных работах других исследователей [Cajthaml, 2011; Horodnic et al., 2018].

Так как уезды и их части имеют смежные границы, каждый привязанный план выступал в качестве опорных данных при привязке следующих растров. Поворотные точки на смежных границах использовались как опорные, что позволило с одной стороны увеличить точность привязки, с другой стороны – обеспечить максимально возможное совмещение границ соседних уездов (или их частей) [Иванов и др., 2020].

Так же, как и в случае с планами генерального межевания, привязка архивных аэроснимков и спутниковых снимков KeyHole производилась в программе ArcMAP с использованием инструмента «Georeferencing». Привязка последующих сцен осуществлялась с учетом уже привязанных для достижения максимальной точности. Была оценена как визуальная, так и количественная оценка точности привязки. Среднеквадратичная ошибка для всех сцен не превышает 5 м.

На основе привязанных ПГМ была проведена оценка структуры землепользования вблизи городищ на период конца XVIII – начала XIX вв. Для распознавания современной структуры землепользования по снимкам Landsat 8 был использован метод Random Forest, широко применяемый в настоящее время, в том числе и в историческом контексте [Liu et al., 2018].

Полевые исследования. В рамках реализации проекта был приобретен беспилотный летательный аппарат DJI Phantom 4 PRO v2, оснащенный 20-мегапиксельной камерой. В модификацию квадрокоптера были внесены изменения с использованием разработанной отечественной компанией TeoDrone системой синхронизации затвора камеры, также позволяющей заменить встроенную систему позиционирования на ГНСС-решение производства отечественной фирмы EMLID (рис. 2, А).

В качестве ГНСС-приемника выступал модуль EMLID Reach M+ со спиральной антенной TOPGNSS TOP508. Внесенные изменения позволяют осуществлять запись координат с частотой 1 Гц, а время срабатывания затвора камеры сокращено до 0,05 сек. В случае использования обычной, не ГНСС-версии коптера, на территории полигона раскладывались специальные марки, координаты которых определялись ГНСС-приемниками E-Survey (рис. 2, А) и Emlid RS+ (рис. 2, Б).



Рис. 2. БПЛА DJI Phantom 4 Pro v2: А – ГНСС-приемник E-Survey; Б – ГНСС-приемник Emlid RS+
Fig. 2. DJI Phantom 4 Pro v2: A – E-Survey GNSS receiver; B – and Emlid RS+ GNSS receiver

Полет и съемка объектов исследования производились полностью в автоматизированном режиме. Для этого с помощью мобильного ПО DroneDeploy в контроллер БПЛА загружалось полетное задание, включающее в себя высоту полета над точкой взлета, а также продольное и поперечное перекрытие между соседними снимками. Для соблюдения единства методики осуществления полетов на каждом объекте высота полета составила 150 м над точкой взлета, продольное и поперечное перекрытие соседних снимков составило 70 % [Gafurov, 2021].

При камеральной обработке полученных материалов в лог-файл ровера вносилась коррекция с учетом времени задержки срабатывания затвора с помощью ПО UAV Design Tools. RINEX-файл с внесенными изменениями обрабатывался методом PPK в специализированном геодезическом ПО для уравнивания базовых линий. Нами для этого была использована библиотека RTK LIB [Takasu, Yasuda, 2009].

Данные с ГНСС-ровера были пересчитаны на основе данных с базовой станции. Для этого выбиралась ближайшая к участку базовая станция сети SmartNet. Полученные координаты центров проекций снимков в дальнейшем сопоставлялись с файлами снимков с БПЛА, после чего обрабатывались в фотограмметрическом ПО Agisoft Metashape. Методика обработки данных с ГНСС-БПЛА в данном ПО принципиально не отличается от методики обработки с учетом наземных опорных точек.

Далее производилась фототриангуляция и создание плотного облака точек, после чего создаются ЦММ и ортофотоплан.

Методика оценки состояния городищ. Можно выделить 2 группы факторов, влияющих на современное состояние памятников археологии: природные и антропогенные. К природным относятся современные опасные экзогенные процессы, связанные с гравитационным движением масс (овраги, оползни, осыпи и т.п.), развитием флювиальных процессов (реки и водохранилища). К антропогенным относятся все виды антропогенного изменения территории, принятого называть функциональным использованием (распашка, сенокосно-пастбищный, селитебный, транспортный и др.) [Yermolaev et al., 2015]. Таким образом, для оценки рисков разрушения памятников был использован подход, основанный на учете антропогенных и экзогенных природных рисков.

Антропогенные риски рассчитывались на основе кумулятивной балльной оценки на основе типов землепользования на площадке городищ. Всего было выделено 6 преобладающих типов землепользования, представленных в табл. 1.

Таблица 1
 Table 1

Преобладающие типы землепользования на городищах Волжской Булгарии
 The dominant types of land use in the fortified settlements of Volga Bulgaria

Тип землепользования	Параметр	Балл воздействия (x_i)
Древесная и кустарниковая растительность	a	1
Сенокосные угодья	b	2
Пастбищные угодья	c	3
Дороги	d	3
Пашня	e	4
Застройка	f	5

Расчет итоговой оценки антропогенной нагрузки производился по формуле:

$$X_i = (S_i^a \times x_i^a) + (S_i^b \times x_i^b) + (S_i^c \times x_i^c) + (S_i^d \times x_i^d) + (S_i^e \times x_i^e) + (S_i^f \times x_i^f),$$

где S_i – площадь соответствующего типа землепользования.

Оценка экзогенных процессов производилась на основе модели рисков экзогенных процессов Республики Татарстан. Соответствующая карта рассчитывалась на основе регрессии опорных векторов с использованием показателей, представленных в табл. 2. Значения в соответствующей модели варьируются от 0 до 1 в соответствии с вероятностью риска возникновения экзогенного процесса (рис. 3).

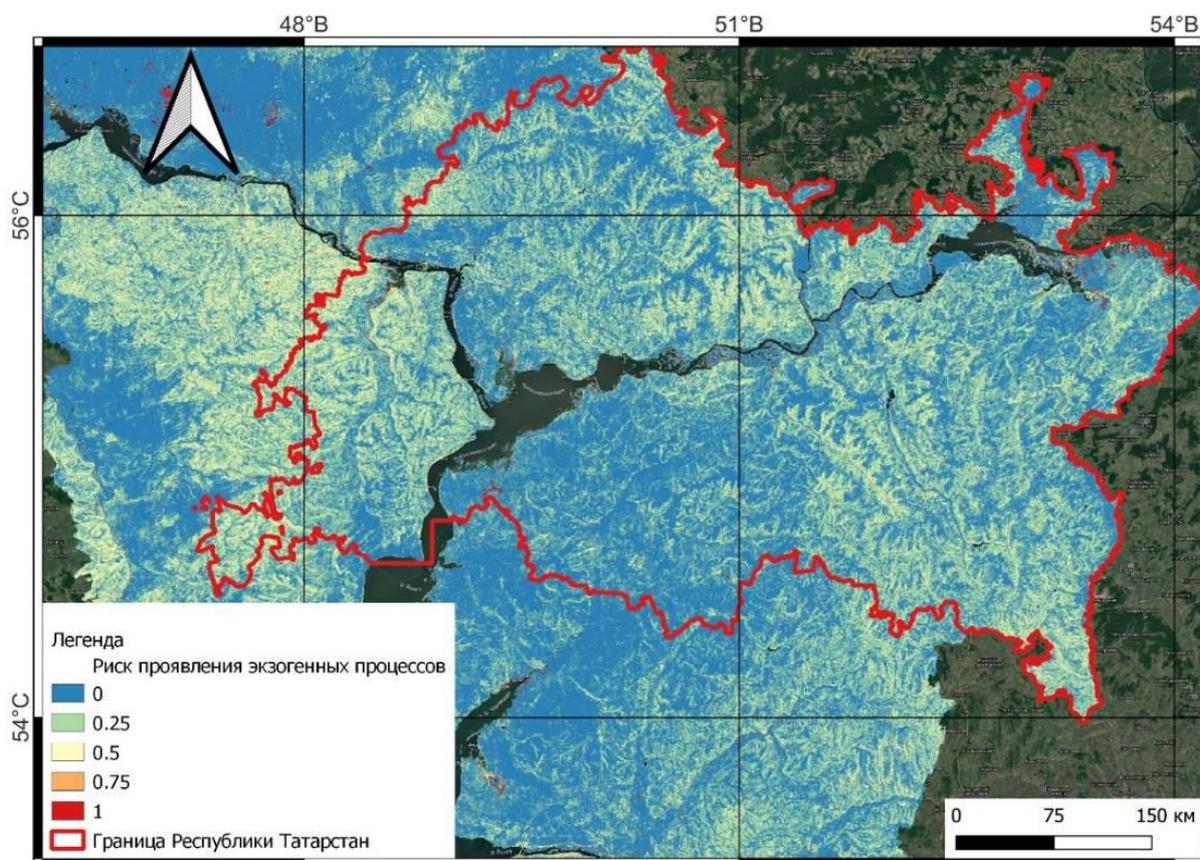


Рис. 3. Карта рисков проявления экзогенных процессов
 Fig. 3. Map of risks of exogenous processes development

Таблица 2
Table 2Параметры модели оценки экзогенных рисков Республики Татарстан
Parameters of the exogenous risk assessment model of the Republic of Tatarstan

Показатель	Источник данных
Высота	SRTM V3
Уклоны	SRTM V3
Экспозиция	SRTM V3
Землепользование	ESA WorldCover 10m v100
Топографический фактор LS	SRTM V3
Топографический индекс увлажнения (TWI)	SRTM V3
Профильная кривизна	SRTM V3
Плановая кривизна	SRTM V3
NDVI (среднегодовалая)	Landsat 8 Collection 1 Tier 1 32-Day NDVI Composite
NDVI (медианная)	Landsat 8 Collection 1 Tier 1 32-Day NDVI Composite
NDVI (максимальная)	Landsat 8 Collection 1 Tier 1 32-Day NDVI Composite
NDVI (суммарная)	Landsat 8 Collection 1 Tier 1 32-Day NDVI Composite
NDVI (стандартное отклонение)	Landsat 8 Collection 1 Tier 1 32-Day NDVI Composite

Создание геопортала. На основе информации, полученной в ходе анализа архивных данных и собранной в полевых условиях с использованием съемки с беспилотного летательного аппарата (БПЛА), была создана база данных, на основе которой был создан веб-ресурс «Страна Городов» [Gafurov, 2021]. В качестве источников архивных данных на портале представлены исторические карты, аэро- и космические снимки разных лет.

Для городищ Волжской Булгарии проводилось качественное описание, а проведенные полевые работы сопровождались фото- и видеофиксацией, как наземной, так и с воздуха.

Для увеличения скорости работы системы, а также тематического разделения функциональности веб-ресурса «Страна Городов» было решено разделить описательную и картографическую части, веб-портал и геопортал, соответственно. Для этого на каждое городище была создана отдельная страница, на которой были созданы тематические блоки: блок с полевыми фотографиями городища с разных ракурсов, снятыми с БПЛА, блок с основной описательной справкой, блок с серией тематических карт (карта с теневым рельефом городища, карта функционального зонирования, график профилей), блок с архивными материалами, а также блок с интерактивной текстурированной трехмерной моделью городища, полученной с помощью съемки с БПЛА.

Итоговая оценка рисков разрушения городищ складывается из суммы рисков развития экзогенных процессов и антропогенной нагрузки.

Картографическая часть представляет собой классический геопортал, реализованный с помощью библиотеки открытого пользования leaflet [Crickard, 2014]. Отличительной чертой библиотеки является ее модульность, что позволяет добавлять функциональность, не внося изменений в основное содержимое геопортала. В качестве исходной геоинформации выступает подготовленная база геоданных на городища Волжской Булгарии.

Результаты и их обсуждение

Анализ архивной информации

1. *Результаты исследования исторических описаний и карт.* В ходе архивных поисков был обнаружен целый блок документов, вошедших в рукопись «Списки курганов и

городищ, наиболее замечательных в Казанской губернии», составленную и подготовленную для представления на Антропологической выставке 1879 г. в Москве губернским статистическим комитетом под редакцией Председателя комитета Н.Н. Вечеслава. Рукопись, содержащая уникальные и подробные описания городищ Волжской Булгарии, сопровождается богатым картографическим материалом и является ценнейшим вновь выявленным источником по истории изучения археологического наследия в Российской империи в XIX в. Представленные материалы и описания, приведенные в обнаруженных материалах, до сих пор не потеряли своей актуальности для изучения истории Казанского края. Данный источник оказался особенно полезным для изучения динамики негативных процессов, поскольку для многих городищ появилась возможность провести анализ сохранности с 70-х годов XIX в. (рис. 4).

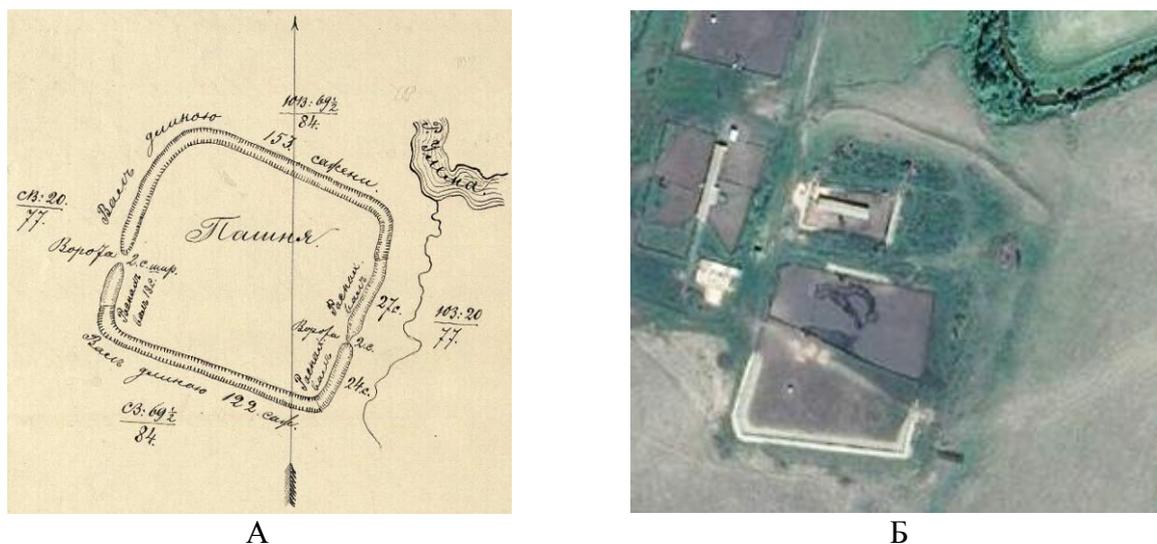


Рис. 4. Льяшевское городище 1878 г.: А – план с целыми оборонительными сооружениями;
Б – современное состояние на космоснимке Яндекс
Fig. 4. Lyashevskoe fortified settlement of 1878: A – plan with entire defensive structures;
Б – modern state on the Yandex satellite image

Исторические карты оказались полезны при анализе изменения структуры землепользования в районе размещения городищ. Были рассчитаны площади и доли различных типов землепользования на рубеже XVIII и XIX вв. и наше время и построены соответствующие карты (рис. 5).

Анализ изменения структуры землепользования показал, что вблизи большинства городищ преобладают пахотные земли, которые в первый рассматриваемый период занимают 45–74 % площади. В современный период наблюдается закономерный рост площади населенных пунктов. Для большей части участков также увеличилась площадь пашни на 13–85 % от площади соответствующей категории в первый период. Такое увеличение обусловлено в первую очередь масштабным сведением лесов на территории современной Республики Татарстан в последние 200 лет для расширения посевных площадей [Maltsev, Sharifullin, 2017]. Иная картина наблюдается на некоторых участках: отмечается незначительное (7–12 %) сокращение пахотных угодий, которое может быть связано с их забрасыванием, типичным для территории бывшего СССР в последние десятилетия [Люри и др., 2010; Prishchepov et al., 2012]. Изменение структуры землепользования (особенно увеличение площади пашни и населенных пунктов), выявленное в результате проведенного исследования, свидетельствует о высокой степени риска уничтожения изучаемых объектов культурного наследия [Nicu et al., 2021].



Рис 5. Сравнение структуры землепользования вблизи городищ по данным ПГМ (GSP) и результатам классификации Landsat 8 (2013–2019 гг.)

Fig. 5. Comparison of the land use structure around the fortified settlements according to the GSP data and the results of the Landsat 8 classification (2013–2019)

Как уже упоминалось выше, хозяйственная деятельность является одним из ключевых антропогенных факторов разрушения объектов культурного наследия. Об этом говорит современное состояние исследуемых городищ, большая часть из которых, наряду с природными факторами, разрушена в результате распашки (например, Большекляринское распашано более чем на 60 %, а Староеналейское – полностью).

2. *Анализ архивных снимков.* Архивные снимки незаменимы для исследований динамики рассматриваемых объектов. Анализ снимков также позволил как выявить уже полностью разрушенные памятники – Алексеевское городище, «Девичий Городок» (рис. 6, А), Бальмерское, Змеевское I, Старокуйбышевское, Староеналейское (рис. 6, Б) и др., так и определить точное местоположение на сегодняшний день залесенных объектов – Кубасского (Березовского) и Большетарханского городища. По результатам анализа космосъемки выявлено Еряпкинское городище, которое до сих пор было известно только по описанию в своде С.М. Шпилевского «Древние города и другие булгаро-татарские памятники в Казанской губернии» [1877] 1876 г. и не было обнаружено в последующем.

Также разновременные снимки использовались для оценки трансформации городищ под действием негативных природных и антропогенных факторов. В основном это городища, подверженные интенсивному антропогенному воздействию (см. рис. 6, Б и рис. 6, В) флювиальных систем (рис. 6, Г), интенсивных экзогенных процессов [Kuznetsova et al., 2012; Tariq et al., 2017; Lombardo et al., 2020].

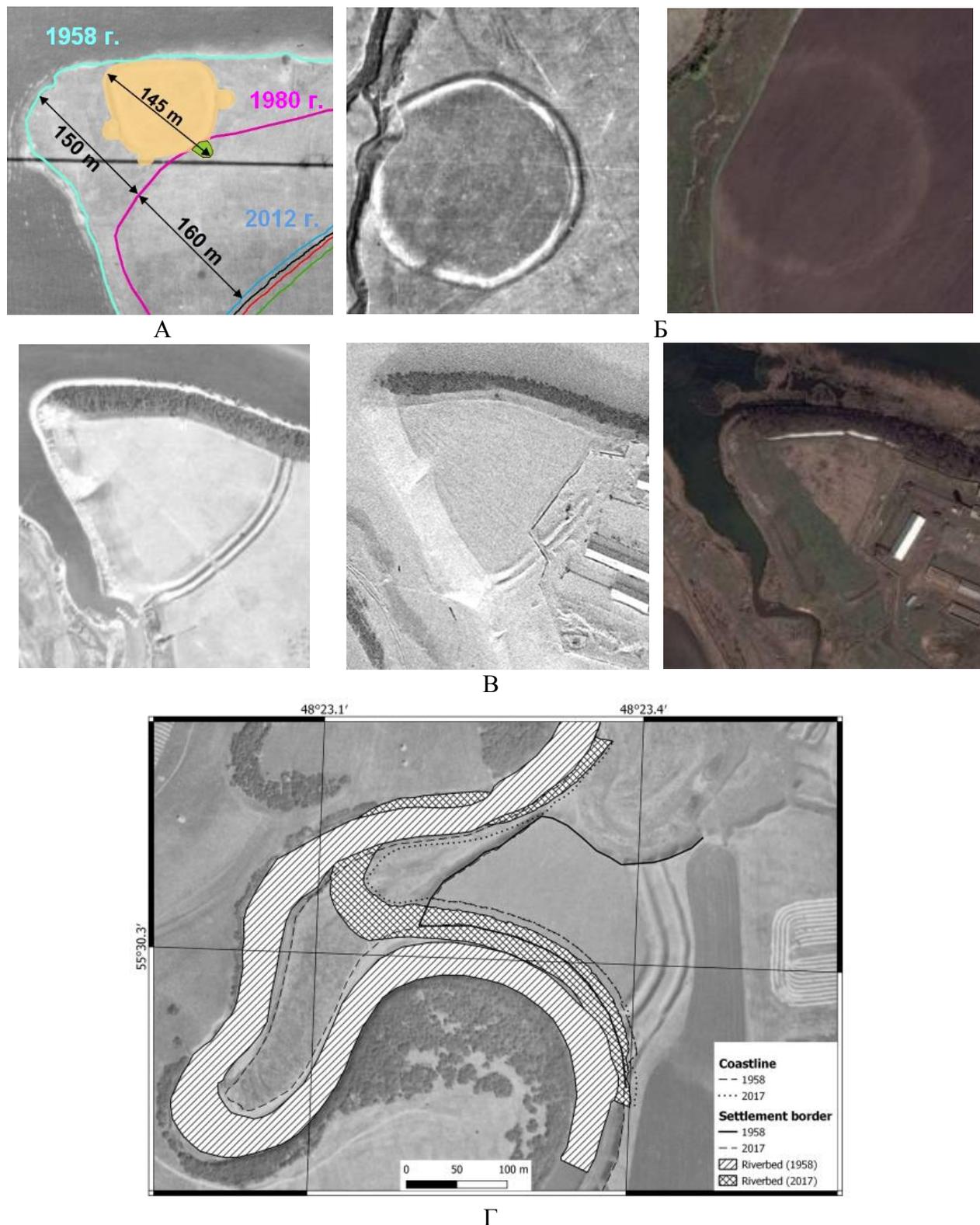


Рис. 6. Использование архивных снимков для выявления и оценки трансформации территории городищ: А – выявление границ размытого городища «Девичий городок»; Б – границы распаханного Староеналеиского городища; В – процесс застройки городища Джукетау; Г – разрушение Луковского городища речными водами
 Fig. 6. Using archival images to identify and assess the transformation of the ancient settlement territories: A – identification of the eroded fortified settlement “Maiden Town” boundaries; Б – identification of the plowed Staroenaleiskoe fortified settlement boundaries; В – building up of the Dzhuketau fortified settlement; Г – destruction of the Lukovskoe fortified settlement by river waters

Результаты полевых исследований. Из отобранных к исследованию 122 городищ полевое обследование было проведено на 88 объектах. В ходе проведенного анализа архивных материалов и современных космоснимков было определено, что 22 городища на сегодняшний день либо полностью разрушены, либо были выявлены в XIX–XX вв., однако их местоположение до сих пор неизвестно. 12 городищ полностью или частично залесены и были недоступны для съемки с использованием БПЛА. Из обследованных городищ 19 находятся в Предволжье, 10 – в Предкамье и 59 – в Закамье.

Методика полевых исследований обрабатывалась на городищах, расположенных в Предкамье и Предволжье. В результате разработана методика полевой съемки средневековых городищ разных типов и размеров беспилотными летательными аппаратами, представляющая собой универсальный набор рекомендаций, который может быть использован как для исследования городищ, так и других объектов. Определен порядок и параметры съемки, выбрано оптимальное программное обеспечение.

Помимо решения основных задач, решаемых с использованием БПЛА – уточнение границ памятников археологии, оценка состояния оборонительных сооружений и пр., при анализе цифровой модели рельефа, полученной в ходе выполнения полевых исследований, удалось выделить неизвестные до сих пор конструктивные особенности некоторых объектов. В частности, благодаря сохранности поверхности памятника, на территории Чуру-Барышевского городища выявлены следы первоначальных оборонительных сооружений и древняя дорога, проходящая вниз через площадку городища (рис. 7).

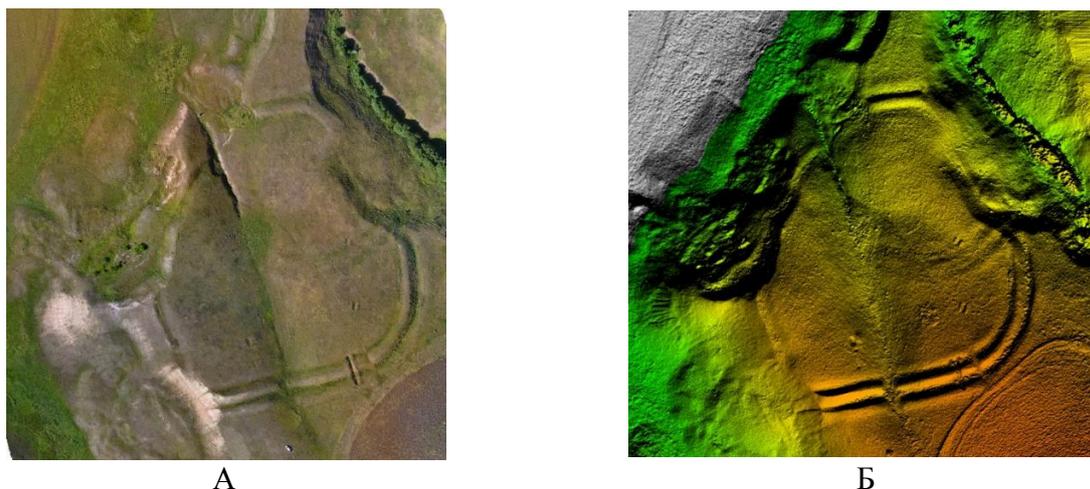


Рис. 7. Выявленные следы первоначальных укреплений Чуру-Барышевского городища:
А – на ортофотоплане; Б – ЦМР

Fig. 7. Identified traces of the original fortifications of the Churu-Baryshevskoye fortified settlement:
A – on the orthophoto; Б – DEM

База данных. Основным результатом полевых наблюдений являются данные, полученные с БПЛА, которые послужили основой для построения цифровых моделей высот (ЦМВ) сверхвысокого разрешения, а также спроецированных на них ортофотопланов. Данные ЦМВ очищаются от артефактов, зданий и лесных насаждений, после чего преобразуются в цифровую модель рельефа, которая, в свою очередь, используется для расчета различных морфометрических и статистических показателей, таких как крутизна, экспозиция, профильная и плановая кривизна, средние, максимальные и минимальные высоты рельефа городища.

Дешифрирование ортофотоплана позволяет выделить изъятые площади городищ, оценить землепользование и состояние конкретного городища [Banerjee, Srivastava, 2013; Lombardo et al., 2020]. На основе анализа ортофотопланов база данных наполняется такими атрибутами, как площадь городища, координаты центроидов, степень разрушенности,



землепользование и антропогенные нагрузки. Дополнительно привлекаются историографические данные, такие как тип городища по Раппопорту [1961], данные об изученности, территориальные признаки (отнесение к губернии, уезду и волости), а также данные ландшафтно-географического анализа – приуроченность к географическому и административным районам, отнесение к преобладающим типам ландшафта, почв и почвообразующих пород, оценка риска развития экзогенных процессов, антропогенная нагрузка, а также оценки риска разрушения городища [Gafurov, Yermolayev, 2020]. Полученные данные в дальнейшем используются для оценки риска разрушения городищ, что также вносится в базу данных (табл. 3).

Таблица 3
 Table 3

Структура геобазы данных «Страна Городов»
 Structure of the «Country of Cities» geodatabase

Поле	Тип поля	Параметр
Id	Целочисленное	Идентификатор городища
Name	Текстовое	Название городища
HistDate	Текстовое	Датировка
HistYear	Целочисленное	Год описания
X	Целочисленное	Координата X центроида
Y	Целочисленное	Координата Y центроида
region	Текстовое	Географический район
municip	Текстовое	Административный район
Hmean	Десятичное	Средние высоты
Hmax	Десятичное	Максимальные высоты
Hmin	Десятичное	Минимальные высоты
Hdelta	Десятичное	Размах высот
SLOPEmean	Десятичное	Средние уклоны
Aspect	Десятичное	Преобладающая экспозиция
Soil	Целочисленное	Преобладающий подтип почв
Geol	Целочисленное	Преобладающий тип четвертичных отложений
landscape	Целочисленное	Ландшафтные районы
morphocomp	Целочисленное	Морфогенетические комплексы
morphogr	Целочисленное	Морфогенетические группы
rappoport	Целочисленное	Тип городища по Раппопорту
TypeImpact	Целочисленное	Тип городища по характеру воздействия
domAntr	Целочисленное	Преобладающий тип землепользования
AreaTotal	Десятичное	Площадь городища (м ²)
AreaCrop	Десятичное	Площадь пашни на городище (%)
AreaPastur	Десятичное	Площадь пастбищ на городище (%)
AreaGrass	Десятичное	Площадь сенокосов на городище (%)
AreaForest	Десятичное	Площадь лесных насаждений на городище (%)
AreaDev	Десятичное	Площадь застройки на городище (%)
AreaRoad	Десятичное	Площадь дорог на городище (%)
Status	Целочисленное	Состояние городища
preserv	Целочисленное	Степень разрушенности городища
Exogen	Десятичное	Риск возникновения экзогенных процессов
impact	Десятичное	Степень антропогенной нарушенности
Risk	Целочисленное	Риск разрушения городища

Всего в базу данных включено 95 объектов. Из 86 обследованных в поле границы нескольких городищ не были обнаружены (Утернясьское, Уразлинское городища, Городище «Ежевичная стрелка», Тетюшские I и II). Границы необследованных залесенных городищ были определены по архивным снимкам.

Анализ состояния памятников. Оборонительные постройки выступали в качестве существенной структурообразной роли, определяющей архитектурный облик поселений, так как являлись их своеобразным «лицом», поэтому до сих пор основным признаком, по которому городища определяются на фоне окружающего рельефа, являются фортификационные сооружения, и, таким образом, в качестве основного критерия сохранности данного вида памятников мы выбрали целостность оборонительных сооружений (валы и рвы). Площадка городища, являясь неотъемлемой частью памятника, содержит культурный слой, сохраняющий материальные следы и остатки деятельности человека, с уничтожением которого будет потерян и сам объект археологического наследия. Однако именно с разрушением оборонительных сооружений теряются визуальные признаки городища – его форма и облик, поэтому хотя сохранившаяся площадка сама по себе еще будет представлять памятник археологии, благодаря сохранившемуся культурному слою, но без фортификационных сооружений уже не может считаться городищем (см. рис. 6, А и рис. 6, Б).

Нами была принята следующая градация сохранности (рис. 8), которая вычислялась на основе суммарной длины оборонительных сооружений (системы вал-ров), чтобы учесть трансформацию сложных 2–3 рядных фортификационных систем. Как видно из рис. 8, половина изученных городищ имеют высокую и полную степени сохранности, 30 % – среднюю, уничтожены или близки к этому – 19 %.

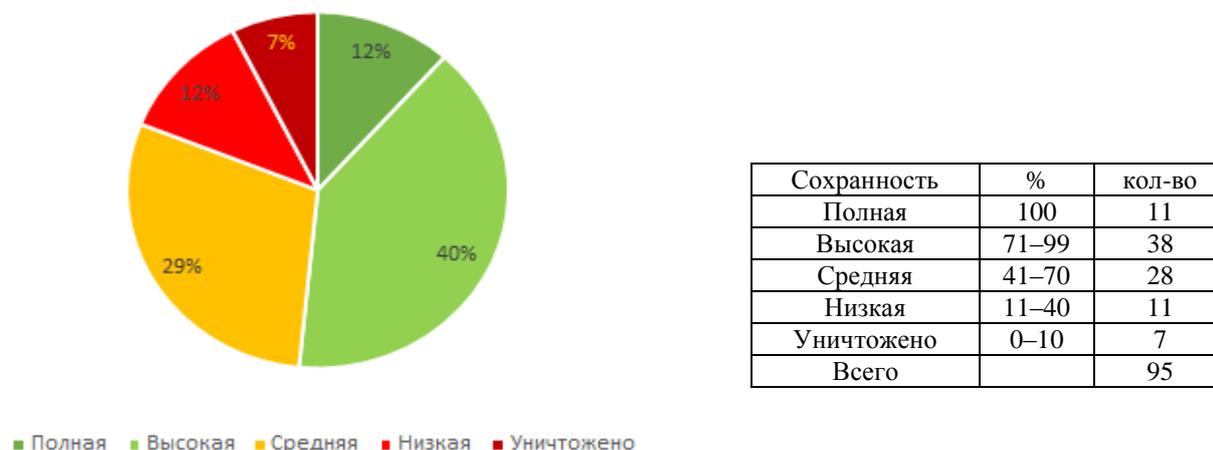


Рис. 8. Доля городищ Волжской Булгарии разной степени сохранности
Fig. 8. Proportion of Volga Bulgaria fortified settlements of different preservation levels

Важным фактором, определяющим подверженность памятников экзогенным процессам, является их приуроченность к тем или иным ландшафтам, а именно к морфогенетическим группам. Согласно ландшафтному районированию Республики Татарстан [Ermolaev et al., 2007], местоположение большинства исследуемых городищ относится к морфогенетическим группам «Средние» и «Нижние части склонов» – 30 городищ и 21 соответственно (рис. 9).

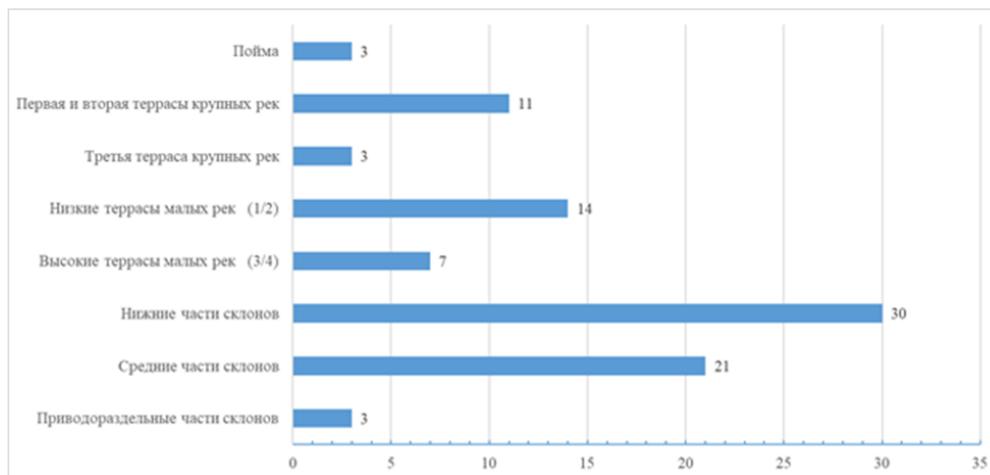


Рис. 9. Распределение местоположений городищ по морфогенетическим группам
 Fig. 9. Distribution of the fortified settlements by morphogenetic groups

Местоположение 6 городищ определяется как наиболее высотное – «Приводораздельные части склонов» (Балынгузское, Екатеринино-Слободкинское II, Утяшкинское городища) и «Третья терраса крупных рек» (Балымерское, Маклашеевское I, Танкеевское II городища). Среди исследованных объектов нет ни одного памятника, относящегося к наиболее высотным морфогенетическим группам – «Водоразделы» и «Четвертая терраса крупных рек». Вместе с тем, согласно тому же районированию, местоположение 24 городищ было отнесено к группе «Пойма», что не является логически верным и может быть объяснено значительной генерализацией используемой электронной ландшафтной карты. В данном случае на основании экспертной оценки местоположение большинства городищ было пересмотрено: 3 городища (Большеключаринское, Нижнекачевское, Чувашско-Бродское) остались в группе «Пойма», местоположение 13 городищ приурочено к «Низким террасам малых рек», 7 городищ – к «Высоким террасам малых рек», одно городище (Джукетауское) – приурочено к «Первым и вторым террасам крупных рек». В итоге распределение местоположений городищ по типам местностей выглядит следующим образом (см. рис. 9): наиболее распространённый тип местности (32,6 %) – «Нижние части склонов», 22,8 % городищ приурочено к средним частям склонов, 15,2 % городищ по типу местности относится к «Низким террасам малых рек» и 7,6 % к «Высоким террасам малых рек», 12 % городищ относится к «Первым и вторым террасам крупных рек» и по 3,3 % к трем остальным типам местности – «Приводораздельные части склонов», «Третья терраса крупных рек» и «Пойма».

Местоположение памятника относительно рельефа отражено в типологическом разделении городищ, составленном П.А. Раппопортом [1961] для древнерусских памятников, являющимся на сегодняшний день наиболее общепринятой классификацией, которая хорошо применяется и для Волжской Булгарии:

- I тип – городища с планировкой укреплений, подчиненной окружающему рельефу местности; в своем подавляющем большинстве – это мысовые памятники;
- II тип – городища с планировкой оборонительных сооружений, лишь частично использующей защитные свойства рельефа местности;
- III тип – городища, не подчиненные рельефу; располагаются на ровной местности или одной своей стороной примыкают к обрыву, краю террасы, обычно имеют относительно правильную геометрическую форму;
- IV тип – городища со сложным планом, относящиеся к сложно-мысовым и сложным; занимают несколько мысов или площадок, которые иногда объединены вместе

общей линией обороны или имеют самостоятельные укрепления, но составляют единое в хронологическом и культурном плане поселение.

Городища I типа подчинены рельефу (мысовые памятники) и по логике должны быть в большей степени подвержены воздействию экзогенных процессов из-за близости склонов и обрывов, служащих естественными укреплениями. III тип – не подчиненные рельефу городища, расположенные на ровной местности, и только с одной стороны могут примыкать к обрыву (табл. 4, рис. 10, А). Учитывая легкую доступность для хозяйственной деятельности, данный тип может с большей вероятностью быть подвержен антропогенному воздействию. II и IV типы классификации предполагают сложные, смешанные варианты расположения и, следовательно, разные типы воздействия.

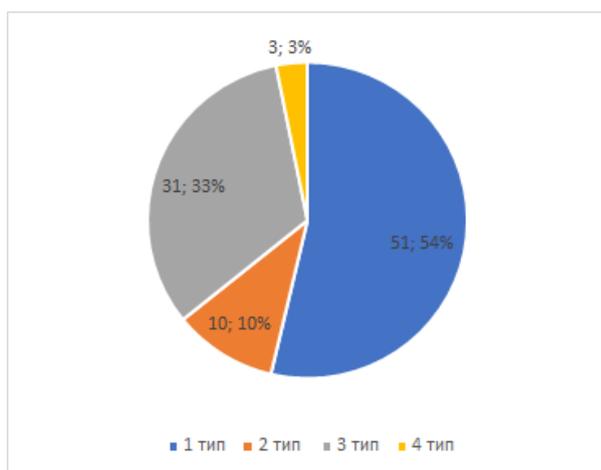
Для выявления данной взаимосвязи мы определили количество городищ, разрушаемых тем или иным типом воздействия, выделив 4 категории (рис. 10, Б):

- 1) экзогенные процессы;
- 2) антропогенные процессы;
- 3) смешанный тип – экзогенные + антропогенные;
- 4) следы воздействия отсутствуют.

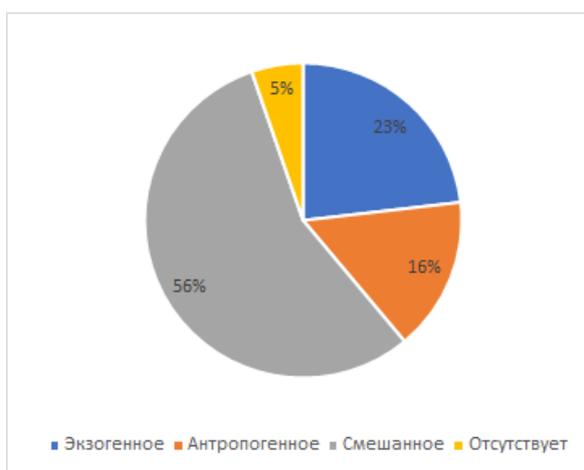
Таблица 4
Table 4

Распределение городищ по типизации Раппопорт [1961]
и по типам негативного воздействия
Distribution of the ancient settlements according to Rappoport [1961] typology
and by the type of negative impact

Типы по Раппопорт	Негативное воздействие				Всего
	1 – экзогенное	2 – антропогенное	3 – смешанное	4 – отсутствует	
I	17	4	26	4	51
II	1	1	8	0	10
III	4	10	16	1	31
IV	0	0	3	0	3
Всего	22	15	53	5	95



А



Б

Рис. 10. Распределение городищ:
А – по типизации Раппопорт [1961]; Б – по типам негативного воздействия
Fig. 10. Distribution of the fortified settlements:
А – according to Rappoport [1961] typology; Б – by the type of negative impact

Было выявлено, что к подчиненному рельефу типу относятся чуть более половины (51 %) городищ, к неподчиненному рельефу типу – 32 %. Выдвинутое ранее предположение о взаимосвязи типа городища с определенным характером воздействия подтвердилось результатами анализа – на городищах I типа чаще отмечается влияние природных (17 против 4), а на городищах III типа – антропогенных (10 против 4) факторов. 23 % городищ подвержены исключительно экзогенным процессам и всего 15 % только антропогенному воздействию. Но в целом преобладает смешанный тип воздействия – половина всех городищ, как в общем, так и по каждой категории подвержена разрушению вследствие как экзогенных процессов, так и антропогенного воздействия. Это свидетельствует о высоком уровне опасности разрушения исследуемых объектов. Об этом говорит и тот факт, что только 5 % городищ не подвержены значительному воздействию, разрушающему площадку и оборонительные сооружения.

Оценка рисков разрушения экзогенными процессами выявила, что для большинства городищ характерен средний риск разрушения под влиянием экзогенных процессов – 63 % (рис. 11, А), 37 % относится к низкому риску. Что касается риска разрушения в результате антропогенного воздействия, ситуация хуже – треть городищ (29 %) подвержены высокому риску, 64 % – среднему и только 7 % имеют низкий риск разрушения. Оценка рисков показывает более сильные риски разрушения под действием антропогенных факторов воздействия. Итоговая оценка риска разрушения городища, определенная по сумме экзогенных и антропогенных рисков разрушения опасности, говорит о средней степени риска у 56 % исследованных городищ, 43 % имеют низкий риск разрушения. Такая картина объясняется тем, что городища, находящиеся под сильным антропогенным прессом, не подвержены значимым воздействиям опасных природных процессов.

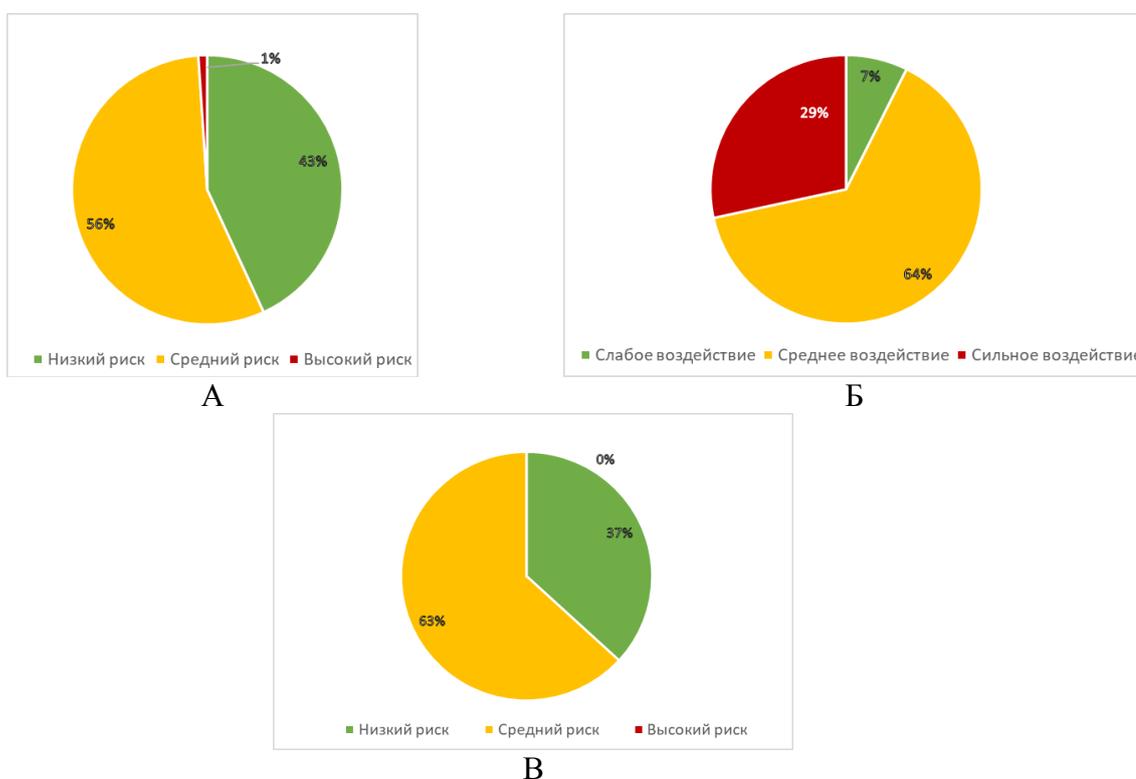


Рис. 11. Распределение городищ Волжской Булгарии по степени рисков разрушения в результате:
 А – экзогенных процессов; Б – антропогенных процессов; В – суммарного воздействия
 Fig. 11. Distribution of the Volga Bulgaria fortified settlements by the risk of destruction as a result of:
 А – exogenous processes; Б – anthropogenic processes; В – cumulative impact

Полученные риски представлены на картографической части Веб-ресурса «Страна городов» (web-drevnosti.archeogeo.ru) в виде тематических карт, где каждое городище обозначено цветом, соответствующим той или иной степени экзогенных, природных и суммарных рисков разрушения (рис. 12)

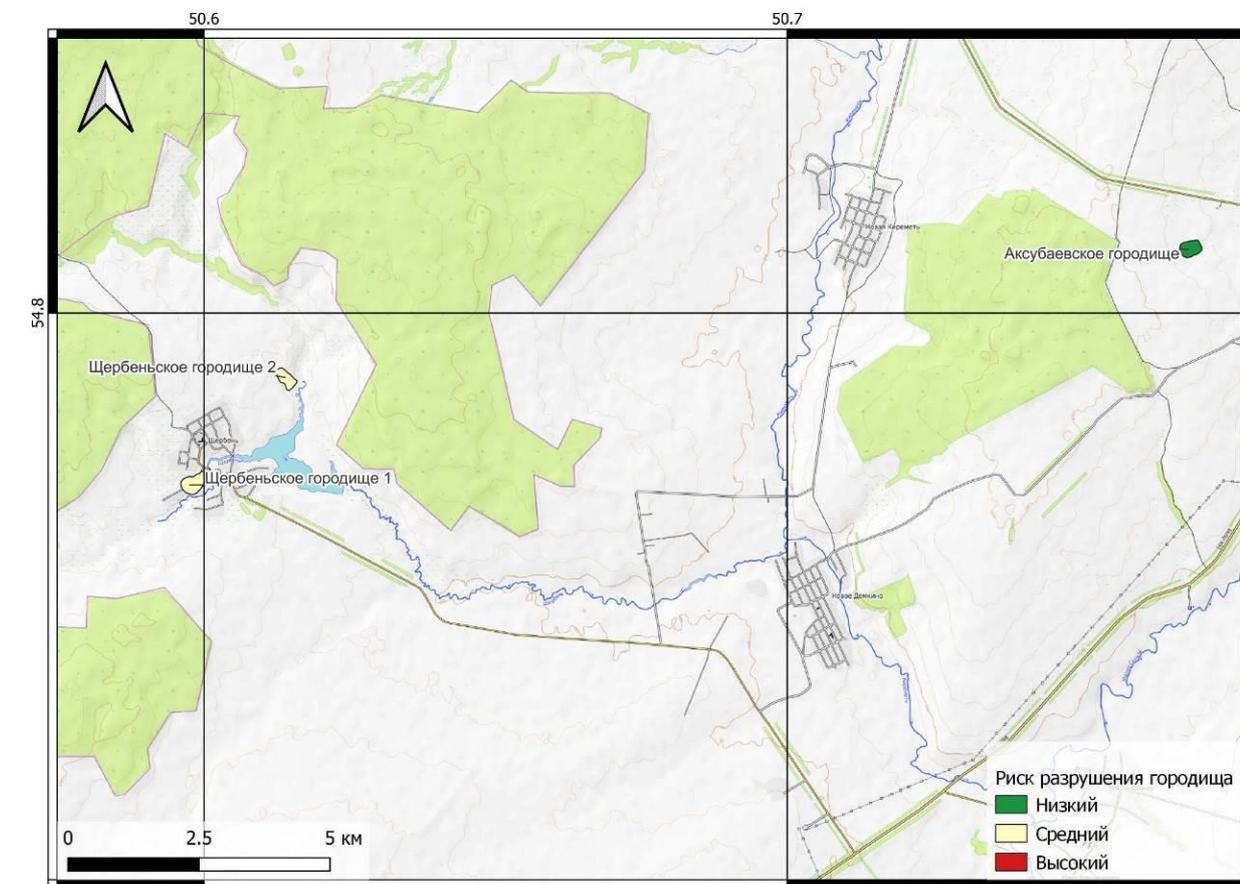


Рис. 12. Пример карты состояния памятников
Fig. 12. An example of a map of the state of monuments

Заклучение

По результатам проделанной работы была проведена систематизация и собрана информация для 95 городищ периода Волжской Булгарии. Проведенный анализ позволил уточнить местоположение и границы памятников, оценить современное состояние и риски разрушения под действием природно-антропогенных факторов. На основе полученных данных впервые для территории исследования создан веб-ресурс открытого пользования «Страна городов», который позволяет получить доступ к информации о каждом изученном укрепленном поселении Волжской Булгарии и наполнен аналитической и обобщающей информацией о городищах в целом по изучаемому региону. Это дает возможность специалистам и научным работникам проводить пространственный анализ на разных уровнях генерализации (от регионального до локального). Комбинация описательной составляющей и картографической части позволяет не только оценить закономерности размещения памятников на исследуемой территории, но и детально изучить отдельные объекты на основе интерактивных текстурированных трехмерных моделей. Интерактивность моделей, а также размещение информации в научно-популярной форме будет интересна широкому кругу пользователей – от школьников и студентов исторических факультетов до людей, интересующихся археологией средневековья и историей родного края. Полученные результаты исследования дают возможность их практического использования для



заинтересованных представителей научного сообщества, специалистов в сфере охраны памятников истории и культуры, при принятии управленческих решений на региональном уровне.

Список литературы

1. Афанасьев Г.Е., Савенко С.Н., Коробов Д.С. 2004. Древности Кисловодской котловины. М., Научный мир, 240 с.
2. Иванов М.А., Абдуллин Х.М., Губайдуллин А.М., Гайнуллин И.И., Гафуров А.М., Усманов Б.М. 2020. Использование архивных пространственных данных при анализе истории землепользования территории болгарских городищ Предволжья Республики Татарстан. Региональные Геосистемы, 44 (4): 388–403. DOI: 10.18413/2712-7443-2020-44-4-388-403.
3. Коробов Д.С. 2012. Предисловие. Краткие Сообщения Института Археологии, 226: 3–7.
4. Люри Д.И., Горячкин С.В., Караваева Н.А., Денисенко Е.А., Нефедова Т.Г. 2010. Динамика сельскохозяйственных земель России в XX веке и постагрогенное восстановление растительности и почв. М., ГЕОС, 415 с.
5. Раппопорт П.А. 1961. Очерки по истории военного зодчества северо-восточной и северо-западной Руси X–XV вв. Материалы и исследования по археологии СССР (МИА). Москва, Изд-во Академии наук СССР, 242 с.
6. Руденко К.А. 2014. История археологического изучения Волжской Булгарии (X – начало XIII в). Казань, ГБУ «Республиканский центр мониторинга качества образования», 767 с.
7. Чижевский А.А., Хисяметдинова А.А. 2020. Оборонительные сооружения мысовых городищ Волго-Камья в раннем железном веке и раннем средневековье. Археология евразийских степей, 2: 6–277. DOI: 10.24411/2587-6112-2020-10003.
8. Шпилевский С.М. 1877. Древние города и другие болгарско-татарские памятники в Казанской губернии. Казань, Университетская типография, 624 с.
9. Banerjee R., Srivastava P.K. 2013. Reconstruction of contested landscape: Detecting land cover transformation hosting cultural heritage sites from Central India using remote sensing. Land Use Policy, 34: 193–203. DOI: 10.1016/j.landusepol.2013.03.005.
10. Banfi F., Previtali M., Stanga C., Brumana R. 2019. A layered-web interface based on HBIM and 360deg panoramas for historical, material and geometric analysis. ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 42: 73–80. DOI: 10.5194/isprs-archives-42-2-w9-73-2019.
11. Buryak Zh.A., Lisetskii F.N., Ilyashenko S.V. 2019. Geoinformation analytical system “Archaeological sites of Crimea”. Geodesy and Cartography, 79 (12): 29–40. DOI: 10.22389/0016-7126-2018-942-12-29-40.
12. Cajthaml J. 2011. Methods of georeferencing old maps on the example of Czech early maps. 25th international cartographic conference, Paris: CO-314.
13. Cisternino D., Gatto C., D’Errico G., De Luca V., Barba M.C., Paladini G.I., De Paolis L.T. 2019. Virtual Portals for a Smart Fruition of Historical and Archaeological Contexts. In: Augmented Reality, Virtual Reality, and Computer Graphics, Lecture Notes in Computer Science. Ed. B L.T. De Paolis, P. Bourdot. Cham, Springer International Publishing: 264–273. DOI: 10.1007/978-3-030-25999-0_23.
14. Crickard P. 2014. Leaflet.js essentials: create interactive, mobile-friendly mapping applications using the incredibly light yet powerful Leaflet.js platform. Birmingham, UK, Packt Pub., 162 p.
15. Ermolaev O., Igonin M., Bubnov A.Y., Pavlova S. 2007. Landscapes of Tatarstan Republic. Regional landscape and ecological analysis. Kazan, Slovo, 411 p.
16. Gafurov A. 2021. The Methodological Aspects of Constructing a High-Resolution DEM of Large Territories Using Low-Cost UAVs on the Example of the Sarycum Aeolian Complex, Dagestan, Russia. Drones, 5 (1): 7. DOI: 10.3390/drones5010007.
17. Gafurov A.M., Yermolayev O.P. 2020. Automatic Gully Detection: Neural Networks and Computer Vision. Remote Sensing, 12 (11): 1743. DOI: 10.3390/rs12111743.
18. Gubajdullin A.M. 2017. Fortification in the Middle Volga region in the X – first half of the XVI centuries (based on archaeological research). Kazan, 558 p.

19. Horodnic V.D., Graur D.S., Afloari M., Efros V. 2018. Geospatial analysis of land use dynamics using historical maps and GIS techniques. Case study of Rădăuți. Romania. International Scientific Conference GEOBALCANICA 2018. Albena, Bulgaria: 577–597. <http://dx.doi.org/10.18509/GBP.2018.63>.
20. Korobov D.S. 2011. Fundamentals of geoinformatics in archeology. Moscow, Publ. Moscow State University, 224 p.
21. Kuznetsova Y.S., Grigoreva T.M., Golosov V.N., Markelov M.V., Derkach A.A., Bolysov S.I. 2012. Monitoring of exogenic geomorphic processes in urban areas of the Sochi Region, the Caucasian Black Sea coast. In: Antropopresja w wybranych sreifach morfoklimatycznych – zapis zmian w rzeźbie i osadkach. Polonia, Publ. Sosnowec: 226–230.
22. Lisetskii F.N., Buryak Z.A., Zelenskaya E.Ya. 2018. The Infrastructure of Land Management in the Post–Antique Agrolandscapes of Crimea. Biogeosystem Technique, 5 (1): 71–86. DOI: 10.13187/bgt.2018.1.71.
23. Liu D., Toman E., Fuller Z., Chen G., Londo A., Zhang X., Zhao K. 2018. Integration of historical map and aerial imagery to characterize long-term land-use change and landscape dynamics: An object-based analysis via Random Forests. Ecological Indicators, 95: 595–605. DOI: 10.1016/j.ecolind.2018.08.004.
24. Lynch A. 2008. The national monuments service: (Department of the Environment, Heritage and Local Government). Archaeology Ireland, 22 (2): 10–12.
25. Lombardo L., Tanyas H., Nicu I.C. 2020. Spatial modeling of multi-hazard threat to cultural heritage sites. Engineering Geology, 277: 105776. DOI: 10.1016/j.enggeo.2020.105776.
26. Maltsev K.A., Sharifullin A.G. 2017. Morphological typology of small catchments in river basins on cultivated plains. Geomorphologiya, 3: 76–87. DOI: 10.7868/S0435428117030075.
27. Mares D., Moschek W. 2013. Place in Time: GIS and the Spatial Imagination in Teaching History. In: History and GIS: Epistemologies, Considerations and Reflections. Dordrecht, Springer Netherlands: 59–72. DOI: 10.1007/978-94-007-5009-8_5.
28. Nicu I.C., Rubensdotter L., Stalsberg K., Nau E. 2021. Coastal Erosion of Arctic Cultural Heritage in Danger: A Case Study from Svalbard, Norway. Water, 13 (6): 784. DOI: 10.3390/w13060784.
29. Nishanbaev I. 2020. A web repository for geo-located 3D digital cultural heritage models. Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage, 16: e00139. DOI: 10.1016/j.daach.2020.e00139.
30. Pouncett J. 2019. The Atlas of Hillforts of Britain and Ireland Online. In: Hillforts: Britain, Ireland and the Nearer Continent. Ed. B.G. Lock, I. Ralston. England, Archaeopress: 155–162.
31. Prishchepov A.V., Radeloff V.C., Baumann M., Kuemmerle T., Müller D. 2012. Effects of institutional changes on land use: agricultural land abandonment during the transition from state-command to market-driven economies in post-Soviet Eastern Europe. Environmental Research Letters, 7 (2): 024021. DOI: 10.1088/1748-9326/7/2/024021.
32. Takasu T., Yasuda A. 2009. Development of the low-cost RTK-GPS receiver with an open source program package RTKLIB. International Symposium on GPS/GNSS. International Convention Center Jeju, Korea, November 4–6.
33. Tariq A., Gillani S.O.A., Qureshi H.K., Haneef I. 2017. Heritage preservation using aerial imagery from light weight low cost Unmanned Aerial Vehicle (UAV). In: 2017 International Conference on Communication Technologies (ComTech). Pakistan, Rawalpindi, IEEE: 201–205.
34. Yermolaev O., Usmanov B., Muharamova S.S. 2015. The basin approach and mapping to the anthropogenic impact assessment on the east of the russian plain. International Journal of Applied Engineering Research, 10 (20): 41178–41184.

References

1. Afanas'ev G.E., Savenko S.N., Korobov D.S. 2004. Drevnosti Kislovodskoy kotloviny [Ancients of the Kislovodsk depression]. Moscow, Publ. Scientific world, 240 p.
2. Ivanov M. A., Abdullin H. M., Gubaidullin A. M., Gainullin I. I., Gafurov A. M., Usmanov B. M. 2020. Using archival spatial data in the analysis of land use history of the territory of Bulgarian



settlements in the PreVolga of Tatarstan. *Regional Geosystems*, 44 (4): 388–403 (in Russian). DOI: 10.18413/2712-7443-2020-44-4-388-403.

3. Korobov D.S. 2012. Introduction. *Kratkiye soobshcheniya Instituta arkhologii*, 226: 3–7 (in Russian).

4. Lurie D.I., Goryachkin S.V., Karavaeva N.A., Denisenko E.A., Nefedova T.G. 2010. *Dynamics of Agricultural Lands of Russia in XX Century and Postagrogenic Restoration of Vegetation and Soils*. Moscow, Publ. GEOS, 415 p. (in Russian).

5. Rappoport P.A. 1961. *Ocherki po istorii voyennogo zodchestva severo-vostochnoy i severo-zapadnoy Rusi X-XV vv. Materialy i issledovaniya po arkhologii SSSR (MIA) [Essays on the History of Military Architecture of North-Eastern and North-Western Russia of the 10th-15th centuries AD. Materials and Studies on the Archaeology of the USSR (MIA)]*. Moscow, Publ. Academy of Sciences of the USSR, 242 p.

6. Rudenko K.A. 2014. *History of archaeological study of Volga Bulgaria (10th – beginning of 13th century AD)*. Kazan, Publ. State Budgetary Institution "Republican Center for Monitoring of Education Quality", 767 p. (in Russian).

7. Chizhevskiy A.A., Khisyametdinova A.A. 2020. Defensive Structures of the Forts on Promontories of the Volga-Kama Region in the Early Iron. *Archaeology of the Eurasian Steppes*, 2: 6–277 (in Russian). DOI: 10.24411/2587-6112-2020-10003.

8. Spilevsky S.M. 1877. *Drevniye goroda i drugiye bulgarsko-tatarskiye pamyatniki v Kazanskoj gubernii [Ancient Cities and Other Bulgar-Tatar Monuments in the Kazan Province]*. Kazan, Publ. University Printing House, 624 p.

9. Banerjee R., Srivastava P.K. 2013. Reconstruction of contested landscape: Detecting land cover transformation hosting cultural heritage sites from Central India using remote sensing. *Land Use Policy*, 34: 193–203. DOI: 10.1016/j.landusepol.2013.03.005.

10. Banfi F., Previtali M., Stanga C., Brumana R. 2019. A layered-web interface based on HBIM and 360deg panoramas for historical, material and geometric analysis. *ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42: 73–80. DOI: 10.5194/isprs-archives-42-2-w9-73-2019.

11. Buryak Zh.A., Lisetskii F.N., Ilyashenko S.V. 2019. Geoinformation analytical system "Archaeological sites of Crimea". *Geodesy and Cartography*, 79 (12): 29–40. DOI: 10.22389/0016-7126-2018-942-12-29-40.

12. Cajthaml J. 2011. *Methods of georeferencing old maps on the example of Czech early maps*. 25th international cartographic conference, Paris: CO-314.

13. Cisternino D., Gatto C., D'Errico G., De Luca V., Barba M.C., Paladini G.I., De Paolis L.T. 2019. Virtual Portals for a Smart Fruition of Historical and Archaeological Contexts. In: *Augmented Reality, Virtual Reality, and Computer Graphics, Lecture Notes in Computer Science*. Ed. B L.T. De Paolis, P. Bourdot. Cham, Springer International Publishing: 264–273. DOI: 10.1007/978-3-030-25999-0_23.

14. Crickard P. 2014. *Leaflet.js essentials: create interactive, mobile-friendly mapping applications using the incredibly light yet powerful Leaflet.js platform*. Birmingham, UK, Packt Pub., 162 p.

15. Ermolaev O., Igonin M., Bubnov A.Y., Pavlova S. 2007. *Landscapes of Tatarstan Republic. Regional landscape and ecological analysis*. Kazan, Slovo, 411 p.

16. Gafurov A. 2021. The Methodological Aspects of Constructing a High-Resolution DEM of Large Territories Using Low-Cost UAVs on the Example of the Sarycum Aeolian Complex, Dagestan, Russia. *Drones*, 5 (1): 7. DOI: 10.3390/drones5010007.

17. Gafurov A.M., Yermolayev O.P. 2020. Automatic Gully Detection: Neural Networks and Computer Vision. *Remote Sensing*, 12 (11): 1743. DOI: 10.3390/rs12111743.

18. Gubajdullin A.M. 2017. *Fortification in the Middle Volga region in the X – first half of the XVI centuries (based on archaeological research)*. Kazan, 558 p.

19. Horodnic V.D., Graur D.S., Afloari M., Efros V. 2018. Geospatial analysis of land use dynamics using historical maps and GIS techniques. Case study of Rădăuți. Romania. *International Scientific Conference GEOBALCANICA 2018*. Albena, Bulgaria: 577–597. <http://dx.doi.org/10.18509/GBP.2018.63>.

20. Korobov D.S. 2011. *Fundamentals of geoinformatics in archeology*. Moscow, Publ. Moscow State University, 224 p.

21. Kuznetsova Y.S., Grigoreva T.M., Golosov V.N., Markelov M.V., Derkach A.A., Bolysov S.I. 2012. Monitoring of exogenic geomorphic processes in urban areas of the Sochi Region, the Caucasian Black Sea coast. In: *Antropopresja w wybranych sreifach morfoklimatycznych – zapis zmian w rzezbie I osadkach*. Polonia, Publ. Sosnowec: 226–230.
22. Lisetskii F.N., Buryak Z.A., Zelenskaya E.Ya. 2018. The Infrastructure of Land Management in the Post–Antique Agrolandscapes of Crimea. *Biogeosystem Technique*, 5 (1): 71–86. DOI: 10.13187/bgt.2018.1.71.
23. Liu D., Toman E., Fuller Z., Chen G., Londo A., Zhang X., Zhao K. 2018. Integration of historical map and aerial imagery to characterize long-term land-use change and landscape dynamics: An object-based analysis via Random Forests. *Ecological Indicators*, 95: 595–605. DOI: 10.1016/j.ecolind.2018.08.004.
24. Lynch A. 2008. The national monuments service: (Department of the Environment, Heritage and Local Government). *Archaeology Ireland*, 22 (2): 10–12.
25. Lombardo L., Tanyas H., Nicu I.C. 2020. Spatial modeling of multi-hazard threat to cultural heritage sites. *Engineering Geology*, 277: 105776. DOI: 10.1016/j.enggeo.2020.105776.
26. Maltsev K.A., Sharifullin A.G. 2017. Morphological typology of small catchments in river basins on cultivated plains. *Geomorphologiya*, 3: 76–87. DOI: 10.7868/S0435428117030075.
27. Mares D., Moschek W. 2013. Place in Time: GIS and the Spatial Imagination in Teaching History. In: *History and GIS: Epistemologies, Considerations and Reflections*. Dordrecht, Springer Netherlands: 59–72. DOI: 10.1007/978-94-007-5009-8_5.
28. Nicu I.C., Rubensdotter L., Stalsberg K., Nau E. 2021. Coastal Erosion of Arctic Cultural Heritage in Danger: A Case Study from Svalbard, Norway. *Water*, 13 (6): 784. DOI: 10.3390/w13060784.
29. Nishanbaev I. 2020. A web repository for geo-located 3D digital cultural heritage models. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 16: e00139. DOI: 10.1016/j.daach.2020.e00139.
30. Pouncett J. 2019. The Atlas of Hillforts of Britain and Ireland Online. In: *Hillforts: Britain, Ireland and the Nearer Continent*. Ed. B.G. Lock, I. Ralston. England, Archaeopress: 155–162.
31. Prishchepov A.V., Radeloff V.C., Baumann M., Kuemmerle T., Müller D. 2012. Effects of institutional changes on land use: agricultural land abandonment during the transition from state-command to market-driven economies in post-Soviet Eastern Europe. *Environmental Research Letters*, 7 (2): 024021. DOI: 10.1088/1748-9326/7/2/024021.
32. Takasu T., Yasuda A. 2009. Development of the low-cost RTK-GPS receiver with an open source program package RTKLIB. *International Symposium on GPS/GNSS*. International Convention Center Jeju, Korea, November 4–6.
33. Tariq A., Gillani S.O.A., Qureshi H.K., Haneef I. 2017. Heritage preservation using aerial imagery from light weight low cost Unmanned Aerial Vehicle (UAV). In: *2017 International Conference on Communication Technologies (ComTech)*. Pakistan, Rawalpindi, IEEE: 201–205.
34. Yermolaev O., Usmanov B., Muharamova S.S. 2015. The basin approach and mapping to the anthropogenic impact assessment on the east of the russian plain. *International Journal of Applied Engineering Research*, 10 (20): 41178–41184.

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

Усманов Булат Мансурович, старший преподаватель кафедры ландшафтной экологии Казанского федерального университета, г. Казань, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Bulat M. Usmanov, Senior Lecturer of the Department of Landscape Ecology of the Kazan Federal University, Kazan, Russia



- Гайнуллин Искандер Ильгизович**, директор АНО "Научно-исследовательский центр "Страна городов", г. Казань, Россия
- Искандер I. Gainullin**, Director of ANO "Research Center" Country of Cities", Kazan, Russia
- Гафуров Артур Маратович**, кандидат географических наук, ассистент кафедры ландшафтной экологии Казанского федерального университета, г. Казань, Россия
- Artur M. Gafurov**, PhD in Geography, assistant of the Department of Landscape Ecology of the Kazan Federal University, Kazan, Russia
- Иванов Максим Андреевич**, кандидат географических наук, доцент кафедры ландшафтной экологии Казанского федерального университета, г. Казань, Россия
- Maxim A. Ivanov**, PhD in Geography, Associate Professor of the Department of Landscape Ecology of the Kazan Federal University, Kazan, Russia
- Хомяков Петр Валериевич**, инженер кафедры ландшафтной экологии Казанского федерального университета, г. Казань, Россия
- Peter V. Khomyakov**, Engineer of the Department of Landscape Ecology of the Kazan Federal University, Kazan, Russia
- Губайдуллин Айрат Маратович**, доктор исторических наук, главный научный сотрудник отдела средневековой археологии Института археологии им. А.Х. Халикова АН РТ, г. Казань, Россия
- Airat M. Gubaidullin**, Doctor of Historical Sciences, Chief Researcher of the Department of Medieval Archeology of the Institute of Archaeology named after A.Kh. Khalikov Tatarstan Academy of Sciences, Kazan, Russia
- Ермолаев Олег Петрович**, доктор географических наук, профессор кафедры ландшафтной экологии Казанского федерального университета, г. Казань, Россия
- Oleg P. Yermolaev**, Doctor of Geographical Sciences, Professor of the Department of Landscape Ecology of the Kazan Federal University, Kazan, Russia
- Абдуллин Халим Миннуллович**, кандидат исторических наук, старший научный сотрудник информационно-редакционного отдела Института археологии им. А.Х. Халикова АН РТ, г. Казань, Россия
- Khalim M. Abdullin**, Candidate of Historical Sciences, Senior Researcher of the Information and Editorial Department of the A.Kh. Khalikov Institute of Archaeology Tatarstan Academy of Sciences, Kazan, Russia
- Саламатина Надежда Сергеевна**, магистр кафедры ландшафтной экологии Казанского федерального университета, г. Казань, Россия
- Nadezhda S. Salamatina**, Master of the Department of Landscape Ecology of the Kazan Federal University, Kazan, Russia
- Касимов Алексей Валерьевич**, научный сотрудник АНО "Научно-исследовательский центр "Страна городов", г. Казань, Россия
- Alexey V. Kasimov**, Researcher of the ANO "Research Center" Country of Cities", Kazan, Russia



УДК 528.88
DOI 10.52575/2712-7443-2021-45-4-505-515

Особенности многолетней динамики вегетационного индекса залежных земель на территории Центрального Черноземья

Терехин Э.А.

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

Аннотация. Анализ многолетних изменений растительного покрова является одной из ключевых задач в оценке состояния залежных земель, особенно в регионах активного аграрного использования. В настоящее время одним из перспективных вариантов решения этой задачи выступает изучение рядов вегетационных индексов, измеряемых по спутниковым данным. В статье проанализирована динамика вегетационного индекса NDVI для залежных земель в областях Центрального Черноземья в период 2000–2018 гг. Исследование проведено на залежах с различными типами лесных насаждений. Установлено, что для оставленных аграрных земель с лиственными породами во всех изученных областях наблюдается положительная динамика вегетационного индекса. При этом значимость тенденции в разных областях региона различна. Для залежей с лиственными породами статистически значимые трендовые составляющие выявлены в областях, расположенных наиболее близко к лесной зоне. Для оставленных аграрных земель с хвойными и смешанными лесными насаждениями установлена статистически значимая, положительная динамика в большинстве изученных областей. Залежи с хвойными насаждениями характеризуются наибольшей интенсивностью роста межгодовых значений вегетационного индекса в исследуемый период. Коэффициент наклона трендовой линии NDVI достаточно существенно различается между областями ЦЧР для залежей как с лиственными, так и с хвойными породами. С учетом высокой корреляции вегетационного индекса и величины покрытия залежей древесной растительностью выявленные изменения характеризуют процесс лесовозобновления на оставленных аграрных землях.

Ключевые слова: залежные земли, многолетние ряды, вегетационные индексы, лесовозобновление, Центральное Черноземье, данные дистанционного зондирования.

Для цитирования: Терехин Э.А. 2021. Особенности многолетней динамики вегетационного индекса залежных земель на территории Центрального Черноземья. Региональные геосистемы, 45(4): 505–515. DOI: 10.52575/2712-7443-2021-45-4-505-515

Long-term Dynamics of the Vegetation Index for Abandoned Farmlands in the Central Chernozem Region of Russia

Edgar A. Terekhin

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

Abstract. Analysis of long-term changes in vegetation is one of the key tasks in assessing the state of abandoned lands, especially in regions of active agricultural use. Estimating the satellite-derived time-series of vegetation indices is one of the options for solving this problem. The article analyzes NDVI vegetation index dynamic of abandoned lands in the Central Chernozem Region of Russia in the period 2000–2018. The research was carried out on abandoned farmlands with various types of forests. The positive dynamics of the vegetation index for the abandoned lands with deciduous tree species was revealed in all parts of the Region.



At the same time, the trend significance is different in the oblasts of the region. For the abandoned lands with deciduous trees, statistically significant trends were established in the areas located closest to the forest zone. The abandoned farmlands with coniferous and mixed forests are characterized by statistically significant, positive dynamics in most of the studied oblasts. The abandoned agrarian lands with coniferous forests are characterized by the highest intensity of the increase in the vegetation index values during the study period. The slope coefficient of the vegetation index trend differs significantly between the oblasts of the region for both abandoned lands with deciduous and coniferous species. Taking into account the high correlation between NDVI and the forest cover, the revealed changes characterize the reforestation on these lands.

Keywords: abandoned agricultural lands, long-term dynamics, vegetation indices, reforestation, Central Chernozem Region, remote sensing data.

For citation: Terekhin E.A. 2021. Long-term Dynamics of the Vegetation Index for Abandoned Farmlands in the Central Chernozem Region of Russia. *Regional Geosystems*, 45(4): 505–515 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2021-45-4-505-515

Введение

Исследование многолетних изменений в растительном покрове выступает одной из ключевых задач географических исследований, связанных с оценкой динамических процессов в природной среде. В регионах активного аграрного использования, где значительная часть земель занята пашней, только некоторые участки ландшафтов могут быть использованы для анализа динамики естественной растительности. Залежные земли или оставленные аграрные угодья выступают одними из таких земель. С конца XX в. они получили достаточно широкое распространение в разных природных зонах европейской территории России [Левыкин и др., 2013; Ледовский, Ходячих, 2015; Королева и др., 2018], а также в Сибири [Шпедт, 2007; Вараксин и др., 2012]. Анализ изменений, происходящих на них вследствие сукцессий, позволяет получить представление о современных тенденциях динамики естественной растительности и природной среды. Сукцессии на залежных землях выступают процессами, приводящими к смене видового состава территории, динамике величины надземной биомассы и к изменению внешнего облика ландшафтов.

Протекающие на залежах сукцессионные процессы при отсутствии антропогенного вмешательства происходят непрерывно на протяжении периода активной вегетации. Соответственно, чем выше частота проводимых оценок состояния растительности, тем выше их объективность. В настоящее время значительные возможности для решения этой проблемы предоставляют регулярно получаемые многозональные спутниковые данные.

Спектрально-отражательные характеристики, извлекаемые из спутниковых снимков, могут быть использованы для распознавания залежных земель [Prishchepov et al., 2012; Yoon, Kim, 2020]. Вместе с этим значительные перспективы связаны и с анализом сукцессионных процессов на основе данных дистанционного зондирования. Применение информационных продуктов, создаваемых на основе снимков, прошедших атмосферную и радиометрическую коррекцию [Justice et al., 2002], позволяет проводить сравнение спектрально-отражательных характеристик, измеренных в разные временные срезы [Барталев, Лупян, 2013; Lopresti et al., 2015; Pasolli et al., 2015; He et al., 2018].

Вместе с этим применение спутниковой информации для решения подобных задач обуславливает необходимость предварительных количественных оценок между параметрами растительности и спектрально-отражательными характеристиками. Ранее на основе исследования залежных земель лесостепной зоны установлены особенности зависимостей между величиной покрытия оставленных аграрных земель древесной растительностью и спектрально-отражательными свойствами, включая вегетационный индекс NDVI [Терехин, 2020]. На примере Центрального Черноземья было показано, что многолетние изме-

нения вегетационного индекса могут выступать индикатором лесовозобновления на залежных землях [Терехин, 2021]. Тем не менее, остается актуальной оценка многолетних рядов вегетационного индекса в границах отдельных областей Центрального Черноземья. Обусловлено это тем, что в этом случае появляется возможность анализа различной информации, что в перспективе может позволить более полно подойти к описанию внутри-региональных различий в естественной динамике растительности на залежах.

Цель исследования заключалась в анализе многолетних рядов вегетационного индекса NDVI (2000–2018 гг.) для залежных земель, расположенных в разных областях Центрально-Черноземного региона.

Объекты и методы исследования

Исследование проведено на территории Центрального Черноземья, включая Орловскую область. В пределах анализируемой территории условия меняются от северной лесостепи на северо-западе и северо-востоке до степной зоны на юге [Физико-географическое районирование..., 1961].

Получение объективных представлений о динамике вегетационного индекса NDVI в областях региона предполагало формирование выборки залежных земель, учитывающей их региональные особенности и характеристики спутниковых данных, на основе которых осуществлялась оценка значений вегетационного индекса.

В связи с этим подбор залежных земель проводился с учетом ряда критериев. Во-первых, в анализируемой выборке должны были репрезентативно представлены залежные земли с основными типами лесных насаждений, формирующихся на них: лиственными, хвойными, смешанными. Во-вторых, анализируемые угодья стремились подбирать таким образом, чтобы они были выведены из сельскохозяйственного оборота в начале 2000-х гг. и оставаться в состоянии залежи как минимум до 2018 г. Площадь анализируемых земель должна быть не менее 20 га для обеспечения возможности оценки спектрально-отражательных характеристик с учетом пространственного разрешения используемых спутниковых данных MODIS. Угодья подбирали таким образом, чтобы они располагались примерно в аналогичных геоморфологических условиях. Формирование выборки осложнялось тем, что залежи на территории региона представлены неравномерно.

Выявление угодий, а также соответствие их обозначенным критериям было осуществлено на основе спутниковых данных сверхвысокого пространственного разрешения (1 м), полученных из интернет-архивов открытого доступа, в первую очередь из Google Earth, а также с использованием спутниковых данных высокого пространственного разрешения Landsat (источник данных <https://earthexplorer.usgs.gov/>).

В общей сложности было выявлено и изучено 474 оставленных аграрных угодья суммарной площадью свыше 31000 га (табл. 1).

Таблица 1
Table 1

Характеристики проанализированных залежных земель, использованных
для анализа многолетней динамики NDVI
Parameters of the analyzed abandoned lands used to assess the NDVI dynamics

Область	Число объектов	Площадь средняя, га	Площадь общая, га
Белгородская область	63	39,6	2494,0
Воронежская область	84	54,3	4559,1
Курская область	66	61,5	4059,5
Липецкая область	28	51,3	1435,7
Орловская область	84	55,0	4621,3
Тамбовская область	149	92,9	13846,2
Всего	474	65,4	31015,8



Для каждого угодья был подготовлен векторный контур и сформирован перечень информации, включающий данные о площади, особенностях покрытия древесной растительностью на конечную анализируемую дату, типе формирующегося лесного насаждения (лиственный, хвойный, смешанный).

На следующем этапе был осуществлен подбор и анализ спутниковых данных. Оценка многолетних рядов NDVI была выполнена с использованием информационных продуктов MOD13Q1, создаваемых на основе регулярно получаемых снимков MODIS с пространственным разрешением 250 м/пиксель. Вегетационный индекс NDVI основан на коэффициентах отражения в красном и ближнем инфракрасном диапазонах. Ключевое преимущество этого показателя связано с возможностью его вычисления по регулярно получаемым спутниковым данным, накопление архивов которых ведется уже не одно десятилетие, что позволяет оценивать многолетние ряды его значений. В связи с этим он был выбран для анализа.

Данные MOD13Q1 содержат 16-дневные композитные изображения вегетационного индекса, полученные на основе снимков, прошедших атмосферную и радиометрическую коррекцию. На текущий момент данные с сенсора MODIS выступают единственным типом спутниковой информации, позволяющим для конкретных угодий проанализировать многолетние ряды NDVI, охватывающие сотни измерений, полученных с высокой периодичностью. Вместе с этим они предоставляют возможность анализа изменений в состоянии растительности в течение периода вегетации [Pan et al., 2012; Pringle et al., 2012; le Maire et al., 2014].

Временной интервал охватывал данные с 2000 г., т.е. с начала работы сенсора MODIS, по 2018 г. На каждый год подбирались серии изображений, полностью охватывающие период вегетационной активности с начала апреля по конец октября, по 13 временных срезов в год. В общей сложности было подобрано и проанализировано 247 изображений MOD13Q1, которые позволили для каждой залежи рассчитать многолетний ряд с соответствующим числом измерений.

На заключительном этапе был выполнен статистический анализ временных рядов вегетационного индекса, включающий оценку коэффициента наклона трендовой линии, оценку значимости трендовой составляющей. Она была проведена на основе непараметрического теста Манна-Кендалла, являющегося индикатором статистически значимой тенденции. Учитывая, что спектрально-отражательные характеристики залежей с различными типами лесных насаждений отличаются [Терехин, 2020], оценка многолетних рядов NDVI была выполнена отдельно для каждого типа оставленных аграрных угодий.

Результаты и их обсуждение

Оценка многолетней динамики вегетационного индекса NDVI для залежных земель с формирующимися древесными сообществами листовного породного состава показала, что по его характеристикам в областях Центрального Черноземья наблюдаются отличия по ряду параметров (рис. 1). Эти отличия связаны с наклоном трендовой линии в период 2000–2018 гг. и ее статистической значимостью.

Согласно полученным данным, наибольший наклон тренда NDVI выявлен для залежей Орловской области, наименьший – для Воронежской области. Учитывая, что комплекс ландшафтных условий залежей был примерно одинаков, полученные результаты отражают региональные различия, связанные с изменением природных условий в регионе от северной лесостепи на северо-западе Орловской области до южной лесостепи и степной зоны на юге Воронежской области. Территориальные изменения в спектрально-отражательных характеристиках залежей проявляются при пространственно-временном картографировании коэффициента наклона тренда NDVI [Терехин, 2021] и при сравнении этого показателя на уровне отдельных областей (рис. 1).

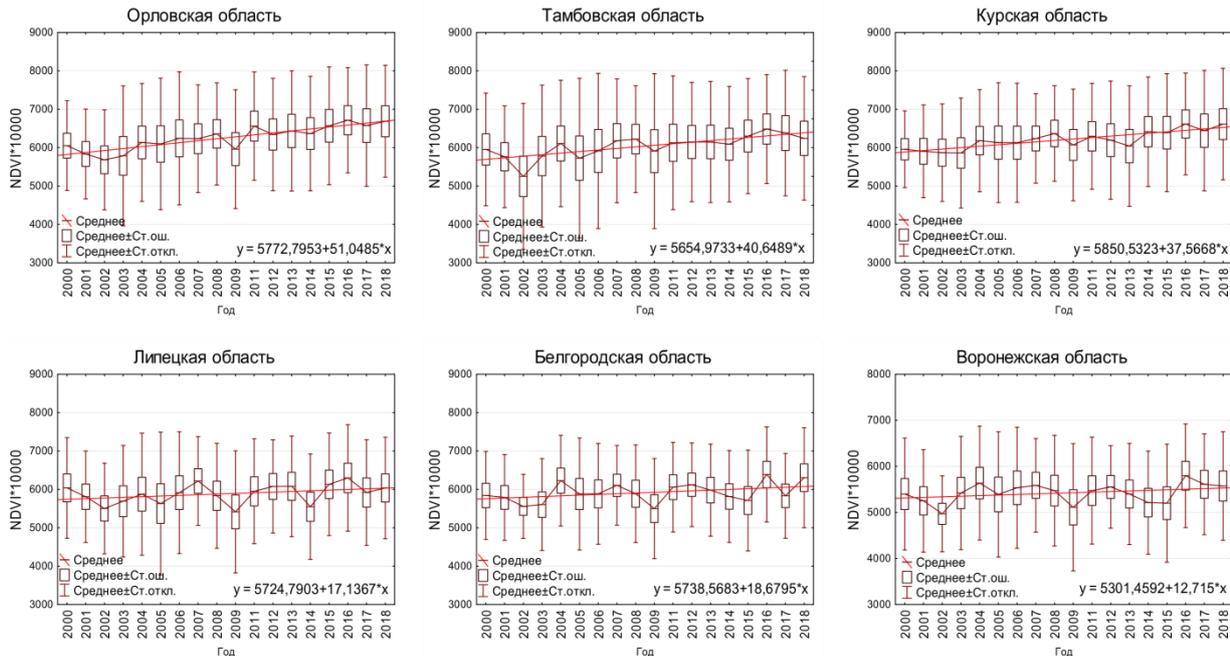


Рис. 1. Динамика вегетационного индекса NDVI залежных земель в областях Центрального Черноземья в 2000–2018 гг. Залежи с лиственными породами
Fig. 1. Dynamics of the NDVI vegetation index for abandoned lands in the Central Chernozem Region in 2000–2018. Abandoned lands with deciduous tree species

Статистическая значимость тренда NDVI, оцененная по критерию Манна-Кендалла, показала, что значимые изменения индекса в исследуемый период произошли в Орловской и Курской областях. В эту же категорию (уровень значимости 0,05) можно отнести и Тамбовскую область.

Учитывая достаточно тесную связь вегетационного индекса с долей древесной растительности на залежах, из полученных данных следует, что для этих областей характерна наибольшая интенсивность лесовозобновления на оставленных аграрных угодьях.

Следует отметить, что положительная динамика вегетационного индекса на залежных землях с лиственными древесными сообществами наблюдается во всех областях Центрального Черноземья. Положительные абсолютные значения коэффициента наклона тренда NDVI и положительные величины tau (по тесту Манна-Кендалла) зафиксированы в каждой из них (табл. 2).

Таблица 2
Table 2

Параметры величины tau Манна-Кендалла, характеризующей наличие статистически значимого тренда NDVI в областях ЦЧР для залежей с лиственными древесными сообществами
Parameters for Mann-Kendall tau of NDVI trends for abandoned lands with deciduous forests

Регион	Абсолютное значение	Уровень значимости
Белгородская область	0,05	0,25
Воронежская область	0,03	0,53
Курская область	0,13	0,00
Липецкая область	0,03	0,49
Орловская область	0,15	0,00
Тамбовская область	0,08	0,05



Величина tau между областями существенно различается, а тренд значим в половине из них, что можно интерпретировать как следствие различий в скорости лесовозобновления на залежах.

Для залежных земель с хвойными лесными насаждениями характерным отличием от залежей с лиственными древесными сообществами выступает меньшая величина вариации NDVI, наблюдающаяся для годовых значений (рис. 2). Положительная динамика вегетационного индекса выявлена во всех областях Центрального Черноземья.

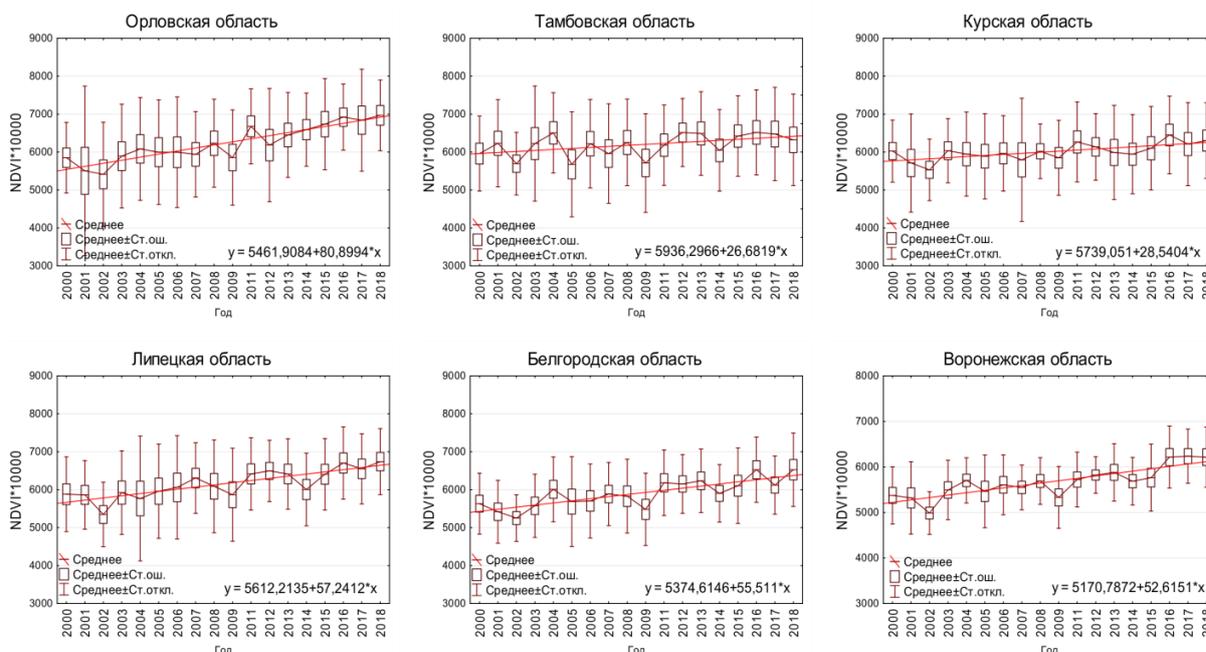


Рис. 2. Динамика вегетационного индекса NDVI залежных земель в областях Центрального Черноземья в 2000–2018 гг. Залежи с хвойными породами
Fig. 2. Dynamics of the NDVI vegetation index for abandoned lands in the Central Chernozem Region in 2000–2018. Abandoned lands with coniferous tree species

Для залежей этого типа наибольшая интенсивность роста межгодовых значений вегетационного индекса в период 2000–2018 гг. зафиксирована для Орловской области, т.е. северо-западной части региона, располагающейся значительной частью в условиях северной лесостепи на границе с лесной зоной.

Другой отличительной особенностью оставленных аграрных угодий с хвойными лесными насаждениями является статистическая значимость трендовой линии NDVI практически во всех областях Центрального Черноземья (табл. 3).

Таблица 3
Table 3

Параметры величины tau Манна-Кендалла, характеризующей наличие статистически значимого тренда NDVI в областях ЦЧР для залежей с хвойными древесными сообществами
Parameters for Mann-Kendall tau of NDVI trends for abandoned lands with coniferous forests

Регион	Абсолютное значение	Уровень значимости
Белгородская область	0,22	0,00
Воронежская область	0,28	0,00
Курская область	0,11	0,01
Липецкая область	0,18	0,00
Орловская область	0,23	0,00
Тамбовская область	0,07	0,09

Абсолютные значения τ для залежей с хвойными породами отличаются также более высокими абсолютными значениями. Полученные результаты можно интерпретировать как более высокую интенсивность процесса лесовозобновления на залежах с хвойными породами, чем с лиственными. Следует отметить, что коэффициент корреляции NDVI с величиной покрытия древесной растительностью для залежей этого типа составляет 0,91 при уровне значимости 0,05 [Терехин, 2020]. Более высокая интенсивность лесовозобновления на залежах с хвойными породами может быть обусловлена биологическими особенностями сосны обыкновенной, которая отличается неприхотливостью и высокой интенсивностью роста.

Залежи со смешанными лесными насаждениями, как и предыдущие типы залежей, характеризуются положительной динамикой вегетационного индекса, являющейся индикатором процессов формирования древесных сообществ (рис. 3).

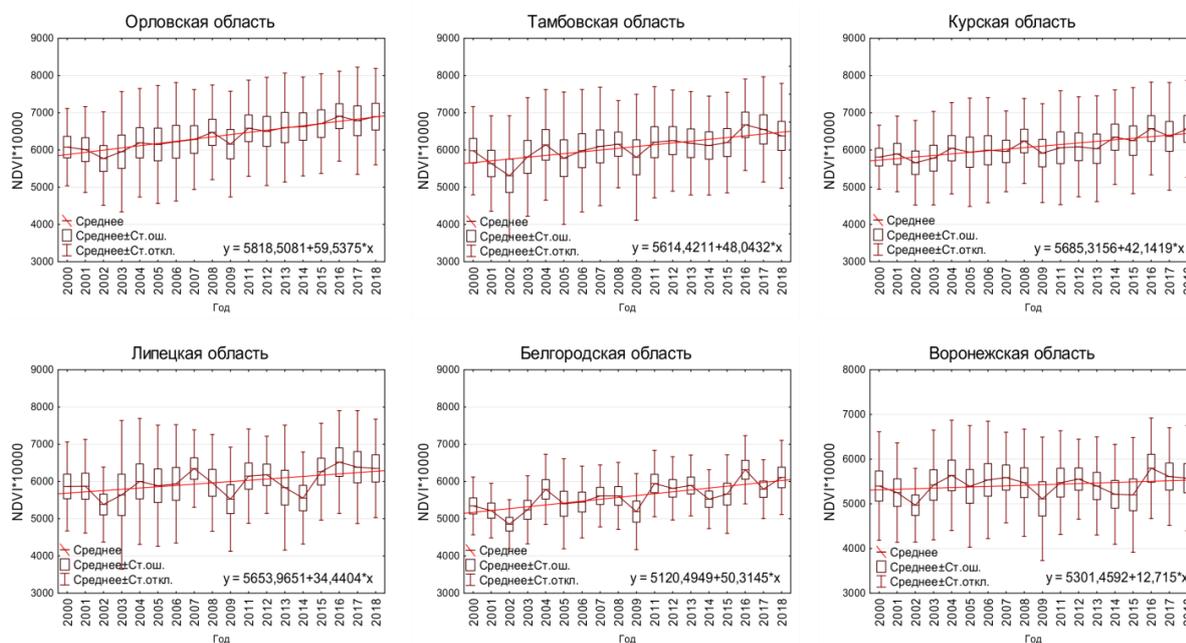


Рис. 3. Динамика вегетационного индекса NDVI залежных земель в областях Центрального Черноземья в 2000–2018 гг. Залежи со смешанными лесными насаждениями
Fig. 3. Dynamics of the NDVI vegetation index for abandoned lands in the Central Chernozem Region in 2000–2018. Abandoned lands with mixed forest stands

Залежные земли со смешанными лесными насаждениями во всех областях Центрального Черноземья характеризуются наличием статистически значимого тренда (по тесту Манна-Кендалла). При этом абсолютные значения τ преимущественно больше, чем для залежей с лиственными породами, но меньше, чем для залежей с хвойными насаждениями (табл. 4).

Таблица 4
Table 4

Параметры величины τ Манна-Кендалла, характеризующей наличие статистически значимого тренда NDVI в областях ЦЧР для залежей со смешанными насаждениями
Parameters for Mann-Kendall tau of NDVI trends for abandoned lands with mixed forests

Регион	Абсолютное значение	Уровень значимости
Белгородская область	0,19	0,00
Воронежская область	0,10	0,02
Курская область	0,16	0,00
Липецкая область	0,09	0,04
Орловская область	0,18	0,00
Тамбовская область	0,12	0,00



Для залежей со смешанными лесными насаждениями не наблюдается таких выраженных различий между областями Центрального Черноземья, как для залежей с лиственными породами. Вместе с этим следует отметить, что территориально в ЦЧР залежи со смешанными и хвойными насаждениями представлены значительно меньше, чем залежи с лиственными древесными сообществами.

Оценка коэффициента наклона трендовой линии NDVI в областях Центрального Черноземья наглядно показывает, что в большинстве областей этот показатель наиболее высок для залежей с хвойными породами. Далее идут залежи со смешанными и лиственными древесными сообществами (табл. 5).

Таблица 5
Table 5

Коэффициенты наклона трендовой линии NDVI, характеризующей скорость увеличения вегетационного индекса залежных земель в 2000–2018 гг.
NDVI trend slopes characterizing the rate of vegetation index increase for abandoned agricultural lands in 2000–2018

Область	Тип формирующихся лесных насаждений		
	Лиственные	Хвойные	Смешанные
Белгородская область	18,7	55,5	48,0
Воронежская область	12,7	53,2	50,1
Курская область	37,5	28,5	29,2
Липецкая область	17,1	57,2	42,1
Орловская область	51,0	80,8	34,4
Тамбовская область	40,6	16,9	59,5
В среднем по региону	32,1	50,0	42,2

Значительные различия между областями ЦЧР по величине наклона трендовой линии NDVI можно интерпретировать как различия в интенсивности лесовозобновления на залежных землях региона.

Заключение

Изучена динамика вегетационного индекса NDVI для залежных земель Центрального Черноземья в период 2000–2018 гг. Многолетние ряды индекса вычислены на основе информационных продуктов MOD13Q1. Для залежей с формирующимися лесными насаждениями лиственного, хвойного и смешанного породного состава в исследуемый период выявлена положительная динамика спектрального показателя. С учетом высокой корреляции NDVI с долей древесной растительности, присутствующей на залежах, установленная динамика является индикатором процессов лесовозобновления, протекающих на них. Для залежей с лиственными породами статистически значимые тренды NDVI выявлены в областях, наиболее близко расположенных к лесной зоне: Орловской, Курской и Тамбовской. Для залежей с хвойными и смешанными лесными насаждениями статистически значимые тренды вегетационного индексы установлены в большинстве областей региона.

Список литературы

1. Барталев С.А., Лупян Е.А. 2013. Исследования и разработки ИКИ РАН по развитию методов спутникового мониторинга растительного покрова. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 10 (1): 197–214.
2. Вараксин Г.С., Вайс А.А., Байкалов Е.М. 2012. Заращение древесной растительностью земель сельскохозяйственного назначения. Вестник КрасГАУ, 5 (68): 201–205.

3. Королева Н.В., Тихонова Е.В., Ершов Д.В., Салтыков А.Н., Гаврилюк Е.А., Пугачевский А.В. 2018. Оценка масштабов зарастания нелесных земель в национальном парке «Смоленское Поозерье» за 25 лет по спутниковым данным Landsat. *Лесоведение*, 2: 83–96. DOI: 10.7868/S0024114818020018.
4. Левыкин С.В., Чибилев А.А., Казачков Г.В., Яковлев И.Г., Грудинин Д.А. 2013. Проблемы восстановления зональных степных экосистем на постцелинном пространстве России и Казахстана. *Степной Бюллетень*, 37: 5–8.
5. Ледовский Н.В., Ходячих И.Н. 2015. Эколого-фитоценотическая характеристика разновозрастных залежей степной зоны Южного Урала. *Вестник Оренбургского государственного университета*, 10 (185): 341–343.
6. Терехин Э.А. 2020. Пространственный анализ особенностей формирования древесной растительности на залежах лесостепи Центрального Черноземья с использованием их спектральных признаков. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*, 17 (5): 142–156. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-5-142-156.
7. Терехин Э.А. 2021. Индикация многолетних изменений в растительном покрове залежных земель лесостепи на основе рядов вегетационного индекса NDVI. *Компьютерная оптика*, 45: 245–252. DOI: 10.18287/2412-6179-CO-797.
8. Физико-географическое районирование центральных черноземных областей. 1961. Под ред. Ф.Н. Милькова. Воронеж, Изд-во Воронежского университета, 263 с.
9. Шпедт А.А., Александрова С.В. 2007. Экономическая оценка почв залежных и пахотных земель в условиях Красноярского края. *Вестник Красноярского государственного аграрного университета*, 6: 62–65.
10. He M., Kimball S.J., Maneta P.M., Maxwell D.B., Moreno A., Beguería S., Wu X. 2018. Regional Crop Gross Primary Productivity and Yield Estimation Using Fused Landsat-MODIS Data. *Remote Sensing*, 10 (3): 372. DOI: 10.3390/rs10030372.
11. Justice C.O., Townshend J.R.G., Vermote E.F., Masuoka E., Wolfe R.E., Saleous N., Roy D.P., Morisette J.T. 2002. An overview of MODIS Land data processing and product status. *Remote Sensing of Environment*, 83 (1–2): 3–15. DOI: 10.1016/S0034-4257(02)00084-6.
12. le Maire G., Dupuy S., Nouvellon Y., Loos R.A., Hakamada R. 2014. Mapping short-rotation plantations at regional scale using MODIS time series: Case of eucalypt plantations in Brazil. *Remote Sensing of Environment*, 152: 136–149. DOI: 10.1016/j.rse.2014.05.015.
13. Lopresti M.F., Di Bella C.M., Degioanni A.J. 2015. Relationship between MODIS-NDVI data and wheat yield: A case study in Northern Buenos Aires province, Argentina. *Information Processing in Agriculture*, 2 (2): 73–84. DOI: 10.1016/j.inpa.2015.06.001.
14. Pan Y., Li L., Zhang J., Liang S., Zhu X., Sulla-Menashe D. 2012. Winter wheat area estimation from MODIS-EVI time series data using the Crop Proportion Phenology Index. *Remote Sensing of Environment*, 119: 232–242. DOI: 10.1016/j.rse.2011.10.011.
15. Pasolli L., Asam S., Castelli M., Bruzzone L., Wohlfahrt G., Zebisch M., Notarnicola C. 2015. Retrieval of Leaf Area Index in mountain grasslands in the Alps from MODIS satellite imagery. *Remote Sensing of Environment*, 165: 159–174. DOI: 10.1016/j.rse.2015.04.027.
16. Pringle M.J., Denham R.J., Devadas R. 2012. Identification of cropping activity in central and southern Queensland, Australia, with the aid of MODIS MOD13Q1 imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 19: 276–285. DOI: 10.1016/j.jag.2012.05.015.
17. Prishchepov A.V., Radeloff V.C., Dubinin M., Alcantara C. 2012. The effect of Landsat ETM/ETM + image acquisition dates on the detection of agricultural land abandonment in Eastern Europe. *Remote Sensing of Environment*, 126: 195–209. DOI: 10.1016/j.rse.2012.08.017.
18. Yoon H., Kim S. 2020. Detecting abandoned farmland using harmonic analysis and machine learning. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 166: 201–212. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2020.05.021.

References

1. Bartalev S.A., Loupian E.A. 2013. R&D on methods for satellite monitoring of vegetation by the Russian Academy of Sciences' Space Research Institute. *Current problems in remote sensing of the Earth from space*, 10 (1): 197–214 (in Russian).



2. Varaksin G.S., Vais A.A., Baikalov E.M. 2012. Agricultural land colonization by tree vegetation. *Bulletin of KrasGAU*, 5 (68): 201–205 (in Russian).
3. Koroleva N.V., Tikhonova E.V., Ershov D.V., Saltykov A.N., Gavrilyuk E.A., Pugachevskiy A.V. 2018. 25 Years of Reforestation on Non-forest Lands in Smolenskoye Poozerye National Park Assessed from LANDSAT. *Lesovedenie*, 2: 83–96 (in Russian). DOI: 10.7868/S0024114818020018
4. Levykin S.V., Chibilev A.A., Kazachkov G.V., Yakovlev I.G., Grudin D.A. 2013. Problemy vosstanovleniya zonalnykh stepnykh ekosistem na posttselinnom prostranstve Rossii i Kazakhstana [Spontaneous restoration of steppe on abandoned croplands within virgin lands developed in Russia and Kazakhstan during the mid-20th century]. *Steppe bulletin*, 37: 5–8.
5. Ledovskiy N.V., Khodyachikh I.N. 2015. Ekologo-fitotsenoticheskaya kharakteristika raznovozrastnykh zalezhey stepnoy zony Yuzhnogo Urala [Ecological and phytocenological characteristic of southern urals uneven deposits of steppe zone]. *Vestnik Orenburg State University*, 10 (185): 341–343.
6. Terekhin E.A. 2020. Spatial analysis of tree vegetation of abandoned arable lands using their spectral response in forest-steppe zone of Central Chernozem Region. *Current problems in remote sensing of the Earth from space*, 17 (5): 142–156 (in Russian). DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-5-142-156.
7. Terekhin E.A. 2021. Indication of long-term changes in the vegetation of abandoned agricultural lands for the forest-steppe zone using NDVI time series. *Computer Optics*, 45: 245–252 (in Russian). DOI: 10.18287/2412-6179-CO-797.
8. Fiziko-geograficheskoe rayonirovanie tsentral'nykh chernozemnykh oblastey [Physical and geographical zoning of the central chernozem regions]. 1961. Ed. F.N. Mil'kov. Voronezh, Publ. Voronezhskiy universitet, 263 p.
9. Shpedt A.A., Aleksandrova S.V. 2007. Ekonomicheskaya otsenka pochv zalezhnykh i pakhotnykh zemel v usloviyakh Krasnoyarskogo kraya [Economic assessment of soils of fallow and arable lands in the conditions of the Krasnoyarsk Krai]. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 6: 62–65.
10. He M., Kimball S.J., Maneta P.M., Maxwell D.B., Moreno A., Begueria S., Wu X. 2018. Regional Crop Gross Primary Productivity and Yield Estimation Using Fused Landsat-MODIS Data. *Remote Sensing*, 10 (3): 372. DOI: 10.3390/rs10030372.
11. Justice C.O., Townshend J.R.G., Vermote E.F., Masuoka E., Wolfe R.E., Saleous N., Roy D.P., Morisette J.T. 2002. An overview of MODIS Land data processing and product status. *Remote Sensing of Environment*, 83 (1–2): 3–15. DOI: 10.1016/S0034-4257(02)00084-6.
12. le Maire G., Dupuy S., Nouvellon Y., Loos R.A., Hakamada R. 2014. Mapping short-rotation plantations at regional scale using MODIS time series: Case of eucalypt plantations in Brazil. *Remote Sensing of Environment*, 152: 136–149. DOI: 10.1016/j.rse.2014.05.015.
13. Lopresti M.F., Di Bella C.M., Degioanni A.J. 2015. Relationship between MODIS-NDVI data and wheat yield: A case study in Northern Buenos Aires province, Argentina. *Information Processing in Agriculture*, 2 (2): 73–84. DOI: 10.1016/j.inpa.2015.06.001.
14. Pan Y., Li L., Zhang J., Liang S., Zhu X., Sulla-Menashe D. 2012. Winter wheat area estimation from MODIS-EVI time series data using the Crop Proportion Phenology Index. *Remote Sensing of Environment*, 119: 232–242. DOI: 10.1016/j.rse.2011.10.011.
15. Pasolli L., Asam S., Castelli M., Bruzzone L., Wohlfahrt G., Zebisch M., Notarnicola C. 2015. Retrieval of Leaf Area Index in mountain grasslands in the Alps from MODIS satellite imagery. *Remote Sensing of Environment*, 165: 159–174. DOI: 10.1016/j.rse.2015.04.027.
16. Pringle M.J., Denham R.J., Devadas R. 2012. Identification of cropping activity in central and southern Queensland, Australia, with the aid of MODIS MOD13Q1 imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 19: 276–285. DOI: 10.1016/j.jag.2012.05.015.
17. Prishchepov A.V., Radeloff V.C., Dubinin M., Alcantara C. 2012. The effect of Landsat ETM/ETM + image acquisition dates on the detection of agricultural land abandonment in Eastern Europe. *Remote Sensing of Environment*, 126: 195–209. DOI: 10.1016/j.rse.2012.08.017.
18. Yoon H., Kim S. 2020. Detecting abandoned farmland using harmonic analysis and machine learning. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 166: 201–212. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2020.05.021.



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

Терехин Эдгар Аркадьевич, кандидат географических наук, старший научный сотрудник отдела геоинформатики Федерально-регионального центра аэрокосмического и наземного мониторинга объектов и природных ресурсов, доцент кафедры природопользования и земельного кадастра Института наук о Земле Белгородского государственного национального исследовательского университета, г. Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Edgar A. Terekhin, PhD in Geography, Senior Researcher, Department of Geoinformatics, Federal Regional Center for Aerospace and Ground Monitoring of Objects and Natural Resources, Associate Professor, Department of Natural Resources and Land Cadastre, Institute of Earth Sciences, Belgorod National Research University, Belgorod, Russia



УДК 911.3:630
DOI 10.52575/2712-7443-2021-45-4-516-524

Геоэнергетический баланс гео- и урбосистем Приднестровья

Марунич Н.А.

Бендерский политехнический филиал ПГУ им. Т.Г. Шевченко
Приднестровье, 3200, г. Бендеры, ул. Бендерского Восстания, 7
E-mail: maruni484@mail.ru

Аннотация. Без оценки энергетических затрат урбосистем и сопоставления энергетических возможностей геосистем невозможно прийти к реализации принципов рационального природопользования. Энергетический баланс территории не выполнен в полной мере. Геоэнергетический подход позволяет сформировать единый энергетический баланс различных по энергопотреблению систем. Авторами выдвинута гипотеза о наличии критического геоэкологического дисбаланса между потреблением энергии урбосистемами и возможностями лесных геосистем. Используя методику, основанную на геоэнергетическом подходе, авторы определяют геоэнергетические потребности человека в урбосистеме Приднестровья. При помощи уникальной системы количественной геоэнергетической оценки по ряду позиций потребления в единых единицах энергии джоулях вычислен геоэнергетический баланс жителя урбосистемы. Дана оценка доли экологически опасных, исчерпаемых источников энергии в рассчитанном геоэнергетическом балансе человека в современных условиях города. На основе полученных данных, на примере территории Приднестровья определен геоэнергетический баланс территории, дана оценка соотношений потенциала природных систем и потребностей урбосистем, определена степень геоэнергетического дисбаланса. Практическая апробация разработанной методики оценки геоэнергетических потребностей и потенциала позволяет сделать вывод о срочной необходимости реализовать геоэнергетическую оптимизацию природно-антропогенных ландшафтов с целью изменить сложившуюся кризисную ситуацию, выраженную в разнице до 600 раз между показателями потребления и потенциалов лесных геосистем региона и сопредельных территорий.

Ключевые слова: геоэнергетический баланс, урбосистема, лесная геосистема, энергетическая безопасность, геоэнергетическая оптимизация.

Для цитирования: Марунич Н.А. 2021. Геоэнергетический баланс гео- и урбосистем Приднестровья. Региональные геосистемы, 45 (4): 516–524. DOI: 10.52575/2712-7443-2021-45-4-516-524

Geoenergetic Balance of Geo- and Urban Systems of Pridnestrovien

Nicolai A. Marunich

T.G. Shevchenko Bender polytechnic branch PSU
7 Bender Rebellion St, Bender 3200, Pridnestrovien Moldavian Republic
E-mail: maruni484@mail.ru

Abstract. Without assessing the energy costs of urban systems and comparing the energy capabilities of geosystems, it is impossible to come to the realization of the principles of rational nature management. The energy balance of the territory is not fully fulfilled. The geoenergetic approach makes it possible to form a unified energy balance of various energy-consuming systems. The authors hypothesize that there is a critical geoecological imbalance between the

energy consumption of urban systems and the capabilities of forest geosystems. Using a methodology based on the geoenergetic approach, the authors determine the geoenergetic needs of a person in the urban system of Pridnestrovie. With the help of a unique author's system of quantitative geoenergetic assessment for a number of consumption positions in single units of energy joules, the geoenergetic balance of a resident of the urban system is calculated. The assessment of the share of environmentally hazardous, exhaustible energy sources in the calculated geoenergy balance of a person in modern urban conditions is given. Based on the data obtained, on the example of the territory of Pridnestrovie, the geo-energy balance of the territory is determined, the correlation of the potential of natural systems and the needs of urban systems is assessed, the degree of geo-energy imbalance is determined. Practical testing of the developed methodology for assessing geo-energy needs and potential allows us to conclude that there is an urgent need to implement geo-energy optimization of natural and anthropogenic landscapes in order to change the current crisis situation, expressed in a difference of up to 600 times between the indicators of consumption and potentials of forest geosystems of the region and adjacent territories.

Keywords: geoenergy balance, urban system, forest geosystem, energy security, geoenergy optimization.

For citation: Marunich N.A. 2021. Geoenergetic balance of geo- and urban systems of Pridnestrovien. *Regional geosystems*, 45 (4): 516–524 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2021-45-4-516-524

Введение

Несмотря на повсеместные призывы и декларируемую государствами политику энергосбережения, мировые удельные затраты потребляемой энергии, в том числе био-генной (каменный уголь, торф, дрова и др.) за последнее столетие возросли в 10 и более раз [Иванова, 2010].

Современные урбосистемы представляют собой энергетически неустойчивые, нарушенные природно-антропогенные системы. Количество потребляемой энергии отдельным человеком является важным показателем для моделирования и прогноза энергозатратности урбосистемы. Геоэнергетический подход и основанная на нем авторская методика позволяет выполнить расчет баланса энергопотребления жителя урбосистемы в единых энергетических единицах джоулях [Кочуров, Марунич, 2016]. Этот подход позволяет оценить энергетические потребности жителя урбосистемы и выработать действенные пути оптимизации для достижения синергетического эффекта в системе. Данная работа является частью в построении геоэнергетического баланса природно-антропогенного ландшафта и ставит своей главной задачей определить геоэнергетические потребности человека в системе современного города.

Объекты и методы исследования

Геоэнергетический подход включает в себя ряд последовательных процедур для оценки и геоэнергетической оптимизации сложных систем:

- 1) общая характеристика природных условий;
- 2) оценка геоэкологического состояния геосистем и ландшафтов [Кочуров, 2003];
- 3) эколого-географический и сравнительно географический анализы изучаемой территории;



- 4) пространственная типологизация;
- 5) геоэнергетическая оценка солнечной энергии, энергии атмосферных осадков, почвы, биомассы [Odum, 1971; 1996];
- 6) формирование геоэнергетической матрицы различных лесных геосистем для определения силы эмерджентного эффекта.

Для расчета энергетического потенциала необходимого количества зеленых насаждений использовалась авторская формула:

$$E_{pe} = Z \times K_p, \quad (1)$$

где: E_{pe} – энергетический потенциал лесной экосистемы, Дж; Z – запас древесины в лесной экосистеме, $\text{м}^3/\text{га}$; K_p – коэффициент перевода запаса древесины в джоули (в зависимости от древостоя), Дж/ м^3 .

При вычислении усредненных норм потребления ресурсов человеком в урбосистеме (вода, электрическая энергия, природный газ и необходимая калорийность дневного рациона питания гражданина, а также нормы зеленых насаждений на одного человека) были использованы открытые источники информации. [Об электроэнергетике ..., 2003; Горохов, 2005; СНиП 23-01-99, 2006; МР 2.3.1.2432-08, 2008; О предоставлении коммунальных ..., 2011].

Для оценки в единицах энергии потребленной воды жителем урбосистемы использовалась формула, выведенная авторами [Кочуров, Марунич, 2018]:

$$E_{es} = V_s \times G, \quad (2)$$

где: V_s – объем стока реки, $\text{м}^3/\text{год}$; G – свободная химическая энергия Гиббса, Дж/г.

Для перевода других энергетических затрат в геоэнергетические показатели использовались соотношения перевода видов энергии в джоули.

Главная цель геоэнергетического подхода, в отличие от ранее разработанных эколого-энергетических и энергетических подходов, – определить действенные пути снижения антропогенной энергии в природно-технической системе, приведя её к равновесному состоянию, оценить потоки природной и антропогенной энергии, всесторонне изучить, представить исследуемую систему как географический трехмерный объект с определенным геоэнергетическим потенциалом [Кочуров и др., 2017].

Результаты и их обсуждение

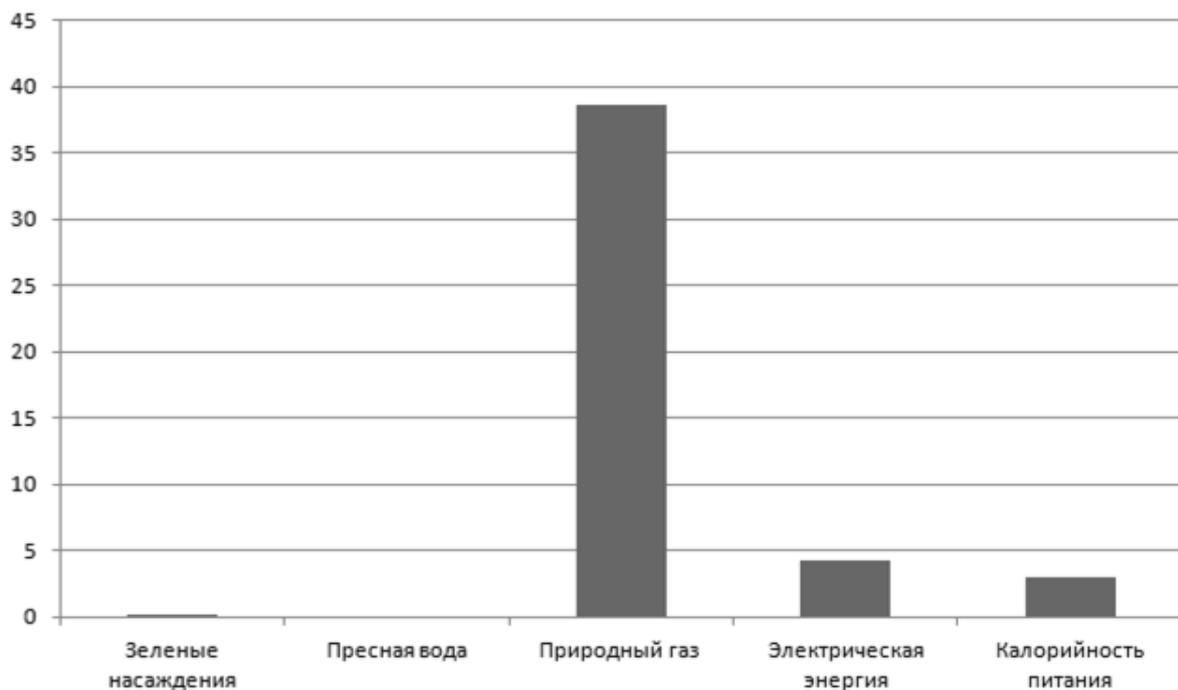
Задача исследования – оценить энергетические потребности жителя современного города Приднестровья в единых энергетических единицах, джоулях, сравнить полученные результаты с геоэнергетическим потенциалом лесных геосистем, определить величину энергетического дисбаланса в соотношении гео- и урбосистем в Приднестровье.

В Республике нет четко утвержденных лимитов потребления ресурсов жителями города, в связи с этим авторами были взяты средние нормы потребления ресурсов жителями города по нормативным документам Российской Федерации (для оценки потребления электрической энергии и природного газа были использованы лимиты потребления по Ростову-на-Дону) без учета возраста и полового признака граждан. Проведена геоэнергетическая оценка потребностей: в количестве зеленых насаждений, пресной воды, природного газа на приготовление пищи и отопление, электрической энергии и калорийности пищевого рациона. Результаты расчетов в единых единицах энергии сведены в табл. 1.

Таблица 1
Table 1Геоэнергетические потребности жителя урбосистемы
Geoenergetic needs of the inhabitant of the urban system

Статьи потребностей	Геоэнергетические затраты
Зеленые насаждения	$0,23 \times 10^7$ Дж в год
Пресная вода	$15,35 \times 10^4$ Дж в год
Природный газ	$38,59 \times 10^9$ Дж в год
Электрическая энергия	$4,32 \times 10^9$ Дж в год
Калорийность питания	$3,05 \times 10^9$ Дж в год
Итого	$45,97 \times 10^9$ Дж в год

Количество энергии $45,97 \times 10^9$ Дж в год – это средние геоэнергетические потребности человека в урбосистеме – геоэнергетический баланс, большую часть из которых составляют затраты невозобновляемых источников энергии (природный газ, электрическая энергия и т.д.) – рис. 1.

Рис. 1. Геоэнергетические затраты жителя урбосистемы, ГДж в год
Fig. 1. Geoenergetic costs of a resident of the urban system, GJ per year

Результаты расчётов позволяют энергетически оценить антропогенную напряженность ландшафта с учетом количества потребителей энергии в урбосистеме, сопоставить антропогенный и природный энергетические эквиваленты, определив геоэнергетический баланс территории, обозначить геоэнергетические потребности мегаполиса, города, республики, региона и т.д. Важным представляется тот факт, что при выполнении расчетов по энергетической безопасности региона данные показатели являются базовыми, особенно в свете использования альтернативных источников зеленой энергетики и проведения политики энергосбережения. Большую часть энергетических расходов в наших расчетах



составляют источники энергии, грубо нарушающие экологическое благополучие региона и планеты.

Практическая апробация геоэнергетического баланса территории была реализована на примере Приднестровья [Кочуров, Марунич, 2020]. Авторы рассчитали и оценили геоэнергетические потребности основных уброконгломератов республики, полученные данные представлены в табличном виде (табл. 2).

Таблица 2
Table 2

Геоэнергетические потребности населения городов Приднестровья, ТДж
Geoenergetic needs of the population of the cities of Pridnestrovien, TJ

Город	Геоэнергетические потребности, ТДж
Слободзея	1150,0
Бендеры	6440,0
Первомайск	1150,0
Тирасполь	9200,0
Григориополь	2300,0
Дубоссары	2760,0
Рыбница	3680,0
Каменка	1150,0

Для создания геоэнергетического баланса территории, была выполнена оценка геоэнергетического потенциала наиболее крупных лесных урочищ с преобладанием лесобразующей породы региона – дуба черешчатого (табл. 3) [Яворский, Детлаф, 1968; Миндрин, 1997; Сотников, 2010].

Таблица 3
Table 3

Геоэнергетический потенциал лесных урочищ Приднестровья, ТДж
Geoenergetic potential of forest tracts of Pridnestrovien, TJ

Лесное урочище	Геоэнергетический потенциал, ТДж
Градешты	29,0
Деменчак	39,8
Марьина Роща	34,8
Ягорлык	34,8
Калагур	104,4
Валя-Адынкэ	15,5

Перечисленные лесные массивы составляют геоэнергетический скелет региона, представленный естественными растительными ассоциациями, выполняющими важнейшие геоэкологические функции в ландшафте [Куза, 2010; Маяцкий, 2010]. В этих ассоциациях уникальным образом сохраняется банк редких растений и лесобразующих древесных пород. Пространственное соотношение природных и антропогенных геоэнергетических массивов представлено в графическом виде (рис. 2).



Рис. 2. Пространственная типологизация геоэнергетических потребностей городов и потенциалов лесов, $10 \times \text{ТДж}$

Fig. 2. Spatial typology of geoenvironmental needs of cities and forest potentials, $10 \times \text{TJ}$

Географическая локализация энергетических потребителей (городов) и зеркальное расположение крупных лесных массивов (геоэнергетических оазисов), которые на порядки меньше в своем энергетическом потенциале, отображены на карте в выбранном масштабе: потенциалы дубрав обозначены точками, а потребности городов крупными кругами (энергетическими воронками). Если представить, что современные жители Приднестровья будут использовать ресурсы леса для своих геоэнергетических потребностей, хотя бы только для отопления, то меньше чем за месяц все основные дубовые урочища республики исчезнут – данный катастрофический дисбаланс отчетливо показывает кризисную геоэкологическую ситуацию в регионе, изменить которую возможно только путем качественной и количественной оптимизации лесных геосистем по вариантам, основанным на геоэнергетической оптимизации ландшафтов [Хорошев, 2017].



Заключение

Используя методику, основанную на геоэнергетическом подходе (методе количественной оценки природно-антропогенных систем с учетом качественных показателей), авторы выполнили расчет геоэнергетического баланса жителя урбосистемы Приднестровья. Один житель урбосистемы республики потребляет $45,97 \times 10^9$ Дж в год, это показатель для расчета энергетической потребности населенного пункта в зависимости от его численности. Регионально и для практических нужд экономики или сферы ЖКХ полученные данные возможно детализировать. Рассчитанная величина геоэнергетических затрат позволила реализовать практическую апробацию методики расчета геоэнергетического баланса территории. Сопоставив полученные данные с имеющимися наработками по оценке геоэнергетического потенциала лесных геосистем региона, был реализован, а также математически и графически структурирован геоэнергетический баланс территории. Практически доказано – существует критический дисбаланс до 600 раз между урбоэнергопотребностями и энергетической возможностью имеющихся лесных геосистем. В случае дефицита исчерпаемых источников энергии для нужд города, население за считанные месяцы уничтожит все леса Приднестровья только для обогрева. Зеркальное расположение геоэнергетических потребностей городов и потенциалов леса позволяет говорить о том, что есть возможность переломить сложившуюся ситуацию, применяя геоэнергетический подход и основанную на нем методику для геоэнергетической оптимизации природно-антропогенного ландшафта, а также более широко используя возобновляемые источники энергии, изменив качественную структуру природных сообществ и природно-антропогенных ландшафтов Приднестровья и сопредельных стран Молдовы, Украины, Беларуси и России. Цель исследования достигнута в полной мере, дана оценка потребления энергии урбосистем в джоулях, определен критический дисбаланс энергетических затрат урбосистем и потенциала лесных геосистем Приднестровья.

Список источников

1. Горохов В.А. 2005. Зеленая природа города : учеб. пособие. М., Архитектура-С, 592 с.
2. Кочуров Б.И. 2003. Экодиагностика и сбалансированное развитие : учеб. пособие. М., Маджента, 381 с.
3. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. Методические рекомендации. М., Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009, 36 с.
4. О предоставлении коммунальных услуг собственникам и пользователям помещений в многоквартирных домах и жилых домов: Постановление Правительства РФ от 06.05.2011 № 354 (ред. от 29.12.2020). Собр. законодательства Российской Федерации от 30 мая 2011 г. № 22 ст. 3168.
5. Об электроэнергетике: Федеральный закон от 26 марта 2003 г. № 35-ФЗ. Собр. законодательства Российской Федерации от 31 марта 2003 г. № 13 ст. 1177.
6. СНиП 23-01-99. Строительная климатология. 2006. М., 74 с.
7. Яворский Б.М., Детлаф А.А. 1968. Справочник по физике. М., Наука, 471 с.

Список литературы

1. Иванова М.М. 2010. Эколого-энергетический анализ процессов восстановления лесов Томской области (на примере сосны обыкновенной). Вестник Томского государственного университета, 336: 187–191.
2. Кочуров Б.И., Марунич Н.А. 2018. Геоэнергетическая оценка потерь стока Днестра в связи с зарегулированием реки. В кн.: Экология речных бассейнов. Труды IX Международной научно-практической конференции, 5–8 сентября 2018. Суздаль, Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых: 52–57.

3. Кочуров Б.И., Марунич Н.А. 2016. Эколого-энергетический анализ экосистем. М., Инфра-М, 144 с.
4. Кочуров Б.И., Марунич Н.А. 2020. Оценка эмерджентных свойств ландшафтов Приднестровья методами геоэнергетического подхода. Экологические системы и приборы, 5: 35–41. DOI: 10.25791/esip.05.2020.1156.
5. Кочуров Б.И., Марунич Н.А., Хазиахметова Ю.А., Краснов Е.В. 2017. Экологически сбалансированная структура земель и энергоэффективность ведения лесного хозяйства в Приднестровье. География и природные ресурсы, 4: 197–202. DOI: 10.21782/GIPR0206-1619-2017-4(197-202).
6. Куза П.А. 2010. Особенности роста генеративного потомства дуба черешчатого в Молдове. Лесоведение, 1: 31–37.
7. Маяцкий И.Н. 2010. Технология восстановления насаждений с преобладанием дуба. Экологические проблемы Приднестровья: Бендеры, 79–94.
8. Миндрин А.С. 1997. Энергоэкономическая оценка сельскохозяйственной продукции. М., ВОСХОД-А, 187 с.
9. Сотников В.В. 2010. Современное состояние лесного фонда, проблемы лесной отрасли Приднестровья. Экологические проблемы Приднестровья: Бендеры, 48–56.
10. Хорошев А.В. 2017. Эмерджентные эффекты пространственной структуры ландшафта. В кн.: Ландшафтоведение: теория, методы, ландшафтно-экологическое обеспечение природопользования и устойчивого развития. Материалы XII Международной ландшафтной конференции, 22–25 августа 2017, Тюмень-Тобольск, Тюменский государственный университет: 154–158.
11. Odum H. 1971. Environment, Power and Society. New York, Wilay, 336 p.
12. Odum H. 1996. Environmental accounting: emergy and environmental decision making. New York, Wilay, 370 p.

References

1. Ivanova M.M. 2010. Ekologo-energeticheskij analiz processov vosstanovleniya lesov Tomskoj oblasti (na primere sosny obyknovlennoj). Tomsk State University Journal, 336: 187–191 (in Russian).
2. Kochurov B.I., Marunich N.A. 2018. Geoenergy Estimation of Loss of the Dniester Flow in Connection with the River Registration. Ecology of the river's basins. Proceedings IX International Scientific Conference, 5–8 September 2018, Suzdal, Vladimirskiy gosudarstvennyy universitet im. A.G. i N.G. Stoletovykh: 52–57 (in Russian).
3. Kochurov B.I., Marunich N.A. 2016. Ekologo-energeticheskij analiz ekosistem [Ecological and energy analysis of ecosystems]. Moscow, Publ. Infra-M, 144 p.
4. Kochurov B.I., Marunich N.A. 2020. Estimation of Emergent Properties of Pridnestrovien Landscapes by Methods of a Geoenergy Approach. Ecological Systems and Devices, 5: 35–41 (in Russian). DOI: 10.25791/esip.05.2020.1156.
5. Kochurov B.I., Marunich N.A., Khaziakhmetova Yu.A., Krasnov E.V. 2017. The Ecologically Balanced Structure of Lands and Energy Efficiency of Forestry Management in Transnistria. Geography and Natural Resources, 4: 197–202 (in Russian). DOI: 10.21782/GIPR0206-1619-2017-4(197-202).
6. Kuza P.A. 2010. Specific Features of Generative Oak Progeny Growth in Moldova. Russian Journal of Forest Science, 1: 31–37 (in Russian).
7. Mayatsky I.N. 2010. Tekhnologiya vosstanovleniya nasazhdeniy s preobladaniyem duba [Technology of restoration of plantations with a predominance of oak]. Ekologicheskiye problemy Pridnestrovia: Bendery, 79–94.
8. Mindrin A.S. 1997. Energoekonomicheskaya otsenka selskokhozyaystvennoy produktsii [Energy-economic assessment of agricultural products]. Moscow, Publ. Voshod-A, 187 p.
9. Sotnikov V.V. 2010. Sovremennoye sostoyaniye lesnogo fonda. problemy lesnoy otrasli Pridnestrovia [The current state of the forest fund, problems of the forest industry of Transnistria]. Ekologicheskiye problemy Pridnestrovia: Bendery, 48–56.
10. Horoshev A.V. 2017. Emerdzhentnyye efekty prostranstvennoy struktury landshafta [Emergent effects of the spatial structure of the landscape]. In: Landshaftovedeniye: teoriya. metody. landshaftno-ekologicheskoye obespecheniye prirodopolzovaniya i ustoychivogo razvitiya [Landscape



Science: Theory, Methods, Landscape and Ecological Support of Nature Management and Sustainable Development]. Proceedings of the XII International Landscape Conference, 22–25 August 2017, Tyumen-Tobolsk, Publ. Tyumen State University: 154–158.

11. Odum H. 1971. Environment, Power and Society. New York, Wiley, 336 p.

12. Odum H. 1996. Environmental accounting: energy and environmental decision making. New York, Wiley, 370 p.

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

Марунич Николай Андреевич, кандидат географических наук, заведующий кафедрой информационных и электроэнергетических систем Бендерского политехнического филиала Приднестровского Государственного Университета им. Т.Г. Шевченко, г. Бендеры, Молдова

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Nicolai A. Marunich, Candidate of Geographical Sciences, Head of the Department of Information and Electric Power Systems of the Bendery Polytechnic Branch of the T.G. Shevchenko Pridnestrovian State University Bendery, Moldova



УДК 528.946: 57.045

DOI 10.52575/2712-7443-2021-45-4-525-544

Анализ основных климатических параметров и составление климатической карты острова Сахалин

¹Братков В.В., ²Мелкий В.А., ²Верхотуров А.А., ¹Лукьяненко Н.Д.

¹Московский государственный университет геодезии и картографии,
Россия, 105064, г. Москва, Гороховский пер., 4;

²Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН,
Россия, 693022, г. Южно-Сахалинск, ул. Науки, 1Б

E-mail: vbratkov@mail.ru; vamelkiy@mail.ru; ussr-91@mail.ru

Аннотация. Изменение климата оказывает влияние на комфортность проживания и возможность ведения отдельных видов хозяйственной деятельности на той или иной территории. Увеличение среднегодовой температуры на несколько градусов способно привести к деградации темнохвойных лесов на о. Сахалин, на смену которым могут прийти широколиственные леса или травяная растительность. Глобальные изменения климата губельны для многих видов растительности и животного мира. Необходимо с определенной периодичностью проводить картографирование современных климатических условий на заданной территории для пространственного анализа климатических данных. Целью работы является анализ климатических условий острова Сахалин и составление климатической карты при помощи программных средств ArcGIS, MapInfo, Adobe Illustrator. В результате исследования разработан проект климатической карты о. Сахалин, которая может входить в состав атласа Сахалинской области. Результаты работы могут применяться в качестве образца составления аналогичных карт для других территорий.

Ключевые слова: геоинформационное картографирование, климатические условия, климатическая карта, моделирование, о. Сахалин, ArcGIS.

Для цитирования: Братков В.В., Мелкий В.А., Верхотуров А.А., Лукьяненко Н.Д. 2021. Анализ основных климатических параметров и составление климатической карты острова Сахалин. Региональные геосистемы, 45 (4): 525–544. DOI: 10.52575/2712-7443-2021-45-4-525-544

Analysing of the Main Climatic Variables and Compilation of Climate Map of Sakhalin Island

**¹Vitaly V. Bratkov, ²Vyacheslav A. Melkiy, ²Alexey A. Verkhoturov,
¹Nikolay D. Luk'yanenko**

¹Moscow State University of Geodesy and Cartography,
4 Gorokhovskiy Per., Moscow 105064, Russia

²Institute Marine Geology and Geophysics, FEB RAS,
1B Nauki St, Yuzhno-Sakhalinsk 693022, Russia

E-mail: vbratkov@mail.ru; vamelkiy@mail.ru; ussr-91@mail.ru

Abstract. Climate change affects the comfort of living and the possibility of carrying out certain types of economic activities in a particular territory. Increase in the average annual temperature by several degrees can lead to a de-gradation of dark coniferous forests on Sakhalin Island, which can be replaced by broad-



leaved forests or grass vegetation. Global climate changes are fatal for many species of flora and fauna. It is necessary to carry out mapping of modern climatic conditions for given territory with certain frequency in order to perform spatial analysis of climatic data. The purpose of the work was to analyze the climatic conditions of Sakhalin Island and compile a climate map using software tools ArcGIS, MapInfo, Adobe Illustrator. As a result of the researches, a draft climate map of Sakhalin Island, which may be part of the atlas of the Sakhalin region. The results of the work can be used as a sample for drawing up similar maps for other territories.

Keywords: geoinformation mapping, climate conditions, climatic map, Sakhalin, modeling, ArcGIS.

For citation: Bratkov V.V., Melkiy V.A., Verkhoturov A.A., Luk'yanenko N.D. 2021. Analysing of the Main Climatic Variables and Compilation of Climate Map of Sakhalin Island. *Regional geosystems*, 45 (4): 525–544 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2021-45-4-525-544

Введение

Климат оказывает существенное влияние на многие сферы жизнедеятельности человека. С точки зрения исследователей глобальных планетарных процессов, наибольший интерес представляет не столько анализ динамики основных климатических параметров (температуры и осадков), сколько изменения характера их воздействия на живые организмы и возможности прогностического моделирования эволюции экосистем [Ivanov, Lisetskii, 1995]. Среди причин глобальных изменений отмечается ряд факторов, среди которых можно выделить основные. В качестве причин основных современных изменений климата признанными считают парниковый эффект, возникающий за счет антропогенного увеличения содержания углекислого газа в тропосфере или за счет 11- и 80-летнего циклов солнечной активности, а также истончение озонового слоя [Груздев, 2014; Братков и др., 2021].

Недостаточная изученность процессов в околоземном пространстве, влияющих на динамику климата, вызывает потребность проведения постоянных инструментальных наблюдений за изменениями основных характерных параметров, в связи с чем организован мониторинг окружающей среды. Анализ данных мониторинга позволяет выявить разнообразие климатических условий на территории о. Сахалин, который располагается в умеренном климатическом поясе [Körpen, Wegener, 1924; Алисов, 1936; Берг, 1947; Хромов, Петросянц, 2006; Братков, Воронин, 2015].

Объекты и методы исследования

Основные параметры, которые характеризуют динамику условий острова Сахалин и их современное состояние, проанализированы по данным рядов инструментальных наблюдений, имеющихся в свободном доступе на сайтах <https://meteoinfo.ru> и <http://www.pogodaiklimat.ru> [Климат городов..., 2021; Сахалинская область..., 2021], выполненных на метеостанциях «Москальво», «Погиби», «Ноглики», «Александровск-Сахалинский», «Тымовское», «Пограничное», «Невельск», «Южно-Сахалинск» (рис. 1).

Сведения о климатических параметрах имеются на сайтах <https://meteoinfo.ru> и <http://www.pogodaiklimat.ru> [Климат городов..., 2021; Сахалинская область..., 2021]. Используются данные о среднесуточных и месячных температурах и осадках с метеостанций Сахалина за 1960–2020 гг., обработка которых осуществлялась в пакете MS-Excel. В результате были получены стандартные статистические показатели: средние месячные и годовые значения, экстремумы и стандартное отклонение.



Рис. 1. Схема расположения гидрометеорологических станций на о. Сахалин по данным Росгидромета [Метеостанции, 2021] (красным цветом отмечены станции, данные которых использованы в статье)

Fig. 1. Location scheme of hydrometeorological stations in the Sakhalin Island by Rosgidromet [Meteorological stations, 2021] (stations whose data is used in the article are marked in red)

Анализ ряда данных и определение линейных временных трендов характеристик погоды осуществляли статистическими методами [Андерсон, 1976; McKittrick, 2010; Муха, 2020]. Разложив ряды на компоненты, мы получили изменение среднего уровня переменной, то есть тренд среднего. В рамках анализа тренда среднего выделяется полиномиальный тренд:

$$\bar{x}_t = a_0 + a_1 \cdot t + \dots + a_p \cdot t^p, \quad (1)$$

при $p = 1$ имеем линейный тренд.

Динамика температуры и осадков оценивалась с помощью линейного тренда, выраженного функцией:

$$y = ax + b, \quad (2)$$

где x – значение положения во временном ряду (номер месяца, года); y – последовательность значений, которые мы анализируем (температура, осадки); b – точка пересечения с осью y на графике (минимальный уровень); a – величина, на которую увеличивается следующее значение временного ряда.

В случае $a > 0$ динамика роста положительная, $a < 0$ – динамика тренда отрицательная.

Картографирование осуществляли при помощи таких программных средств, как ArcGIS, Adobe Illustrator, которые используются для составления тематических карт различного содержания [Барталёв и др., 2015; Батуев и др., 2015; Пьянков и др., 2017; Fick, Hijmans, 2017; Сулова и др., 2018; Братков и др., 2019; Терехин, 2019; Чалая и др., 2019; Мелкий и др., 2020; Чилингер и др., 2020].

Результаты и их обсуждение

Анализ современных климатических условий о. Сахалин.

Изменения величины месячной и годовой температуры воздуха, по данным метеостанции (МСТ) «Москальво» за 1960–2020 гг., иллюстрируют табл. 1 и рис. 2.

Таблица 1
Table 1

Термический режим по данным метеостанции (м/с) «Москальво» (32014) за 1960–2020 гг.
Thermal regime according to the data of weather station (WS) "Moskal'vo" (32014) for 1960–2020

Показатели	Температура воздуха, °С												Год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Мин.	-25,5	-25,8	-18,1	-8,7	0,6	6,8	10,6	12,4	8,6	0,9	-9,8	-23,3	-3,9
Макс.	-11,4	-14,9	-7,3	-0,9	5,9	14,9	18,2	18,2	13,2	6,0	-2,4	-7,3	0,0
Сред.	-19,9	-19,7	-13,7	-4,1	2,6	10,1	14,5	15,0	11,1	3,5	-5,8	-15,2	-1,7
Станд. откл.	3,2	2,7	2,4	1,5	1,2	1,8	1,6	1,3	1,1	1,2	2,0	3,3	0,9

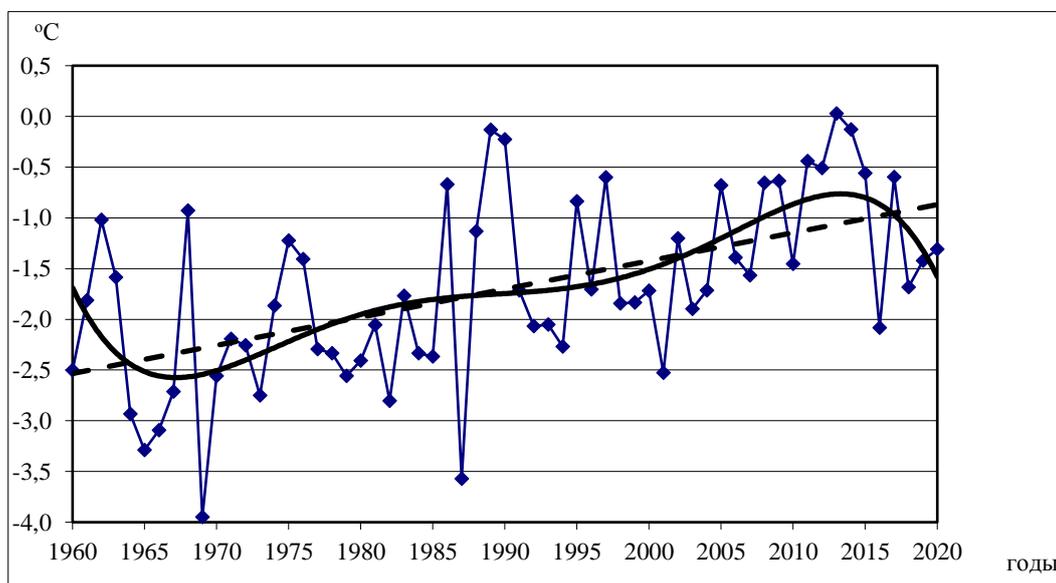


Рис. 2. Изменения средней годовой температуры воздуха по данным МСТ «Москальво», 32014 за 1960–2020 гг. (здесь и далее: пунктирная линия – линейный тренд, сплошная – полиномиальный)

Fig. 2. Graph of the course of Average annual temperatures according by data of WS "Moskal'vo", 32014 for 1960–2020 (here and further: dotted line – linear trend, solid line – polynomial)

Изменения величины месячных и годовых осадков, по данным метеостанции (МСТ) «Москальво» за 1960–2020 гг., иллюстрируют табл. 2 и рис. 3.

Таблица 2
Table 2

Изменения количества осадков по данным МСТ «Москальво», 32014 за 1960–2020 гг.
Change in amount of precipitation according by the WS "Moskal'vo", 32014 for 1960–2020

Показатели	Осадки, мм												Год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Мин.	0	1	1	1	1	1	0	11	8	20	23	0	337
Макс.	95	74	97	104	125	100	146	142	176	170	230	134	880
Сред.	30	24	24	25	36	33	54	66	70	76	76	53	567
Станд. откл.	20	19	21	18	24	23	39	34	39	32	34	28	115

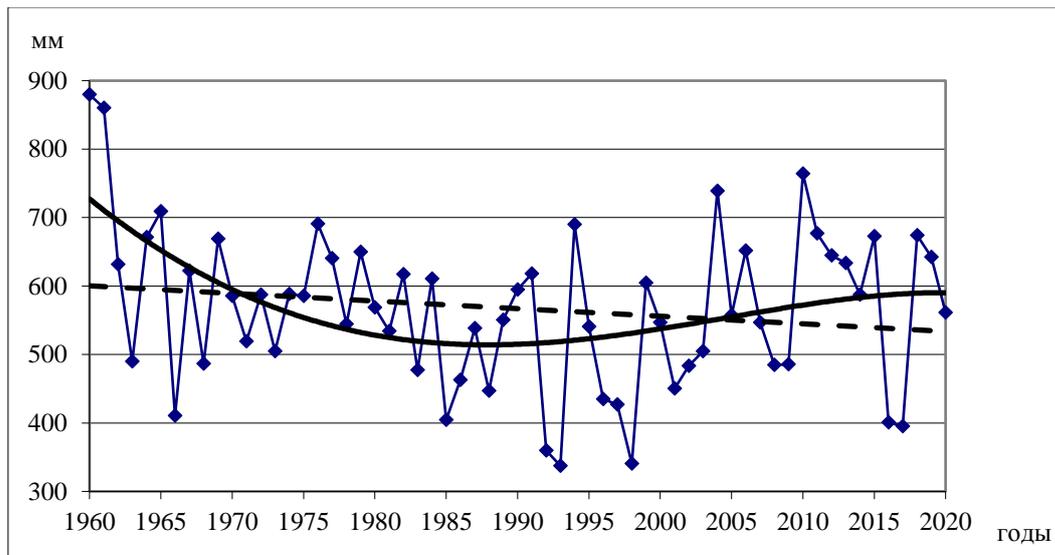


Рис. 3. Изменения величины годовых осадков на МСТ «Москальво», 32014 за 1960–2020 гг.
Fig. 3. The change in the value of annual precipitation on MS "Moskalvo", 32014 for 1960–2020

По данным наблюдений на МСТ «Москальво», за 60-летний период отмечается положительный тренд приземной средней месячной температуры, соответствующий ее увеличению на 0,03 °C в год, и отрицательный – для годовых осадков со значением 1 мм в год.

Изменения термических условий на МСТ «Погиби» за 1966–2019 гг. показаны на рис. 4 и в табл. 3.

Таблица 3
Table 3

Термический режим по данным МСТ «Погиби», 32027 за 1960–2020 гг.
Thermal regime according by the WS "Pogibi" for 1960–2020

Показатели	Температура воздуха, °C												Год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Мин.	-24,9	-24,1	-16,6	-6,4	0,9	6,9	12,1	12,4	3,3	-8,8	-17,7	-22,5	-3,3
Макс.	-11,7	-9,4	-1,3	4,8	10,4	15,6	16,7	18,1	13,8	6,3	-2,7	-10,5	0,3
Сред.	-19,3	-17,9	-11,6	-2,8	2,9	10,0	14,3	15,5	11,6	3,4	-7,6	-16,0	-1,4
Станд. откл.	2,5	3,1	3,1	2,0	1,9	1,5	0,9	1,2	1,8	2,5	3,2	2,5	0,8

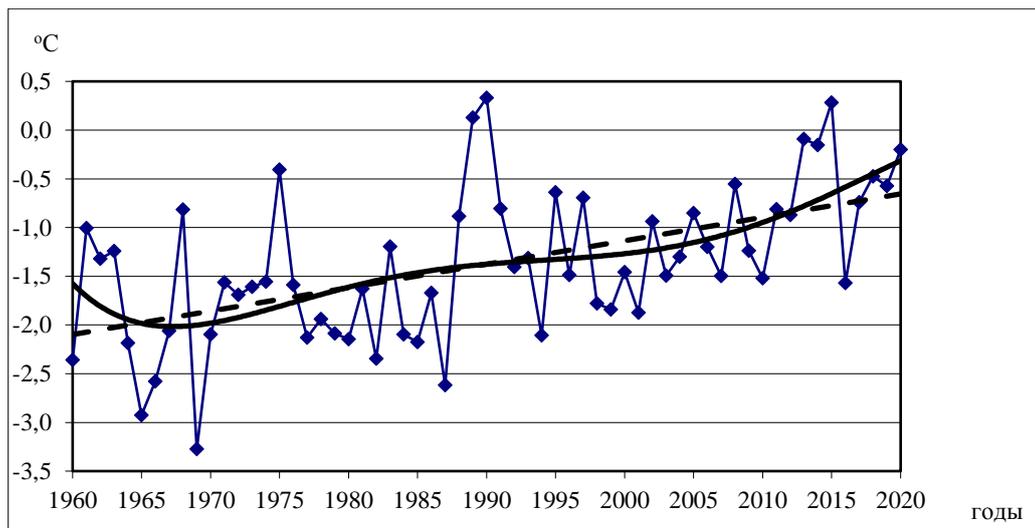


Рис. 4. Изменение средней годовой температуры воздуха по данным м/с «Погиби», 32027 за 1960–2020 гг.

Fig. 4. Graph of the course of Average annual temperatures according by data of WS "Pogibi", 32027 for 1960–2020

Изменения месячной и годовой величины осадков по данным МСТ «Погиби» за 1960–2020 гг. иллюстрирует табл. 4 и рис. 5.

Таблица 4
Table 4

Режим осадков по данным МСТ «Погиби» за 1960–2020 гг.
Precipitation regime according by data of the WS "Pogibi" for 1960–2020

Показатели	Осадки, мм												Год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Мин.	0	0	3	8	0	4	1	20	14	9	2	5	294
Макс.	100	78	112	74	125	184	172	176	192	209	92	105	880
Сред.	28	26	30	31	46	47	58	74	71	64	31	35	542
Станд. откл.	23	20	21	16	24	35	42	39	34	37	19	22	121

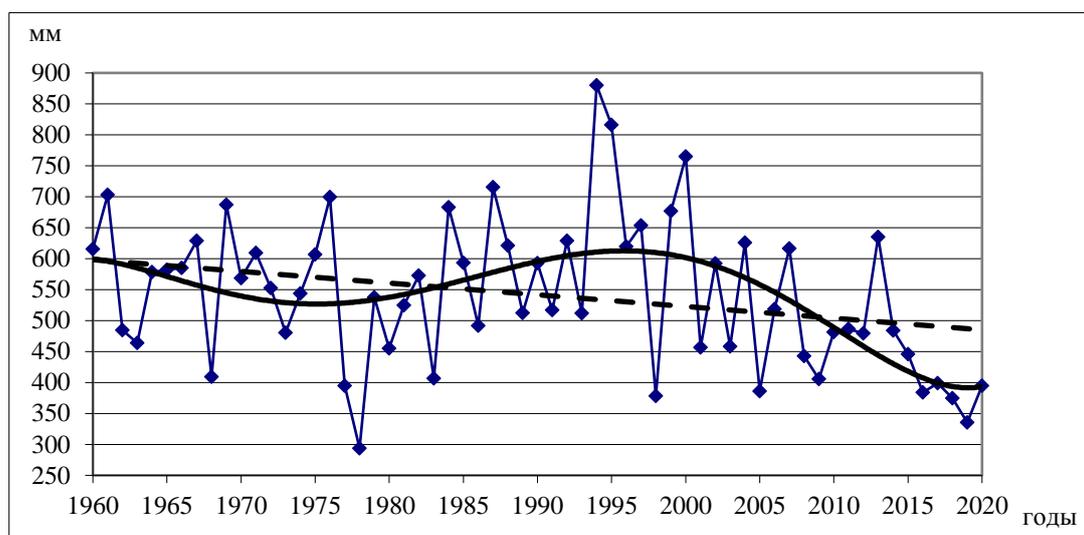


Рис. 5. Динамика среднегодовых осадков по данным МСТ «Погиби» за 1960–2020 гг.
Fig. 5. Dynamics of Average annual precipitation according by WS "Pogibi" for 1960–2020

На МСТ «Погиби» в этот же период наблюдался положительный тренд приземной средней месячной температуры (0,02 °С в год) и отрицательный – для годовых осадков (2,1 мм в год).

Изменения термических условий, по данным метеостанции «Ноглики» за 1960–2020 гг., проиллюстрированы в табл. 5 и на рис. 6.

Таблица 5
Table 5

Термический режим по данным МСТ «Ноглики», 32053 за 1960–2020 гг.
Thermal regime according by the WS "Nogliki", 32053 for 1960–2020

Показатели	Температура воздуха, °С												Год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Мин.	-24,2	-22,1	-15,0	-5,3	1,6	5,7	9,4	11,6	8,3	0,4	-11,7	-20,8	-3,3
Макс.	-9,8	-9,9	-4,3	2,7	8,5	14,3	18,0	17,7	13,0	5,9	-2,7	-8,4	0,7
Сред.	-17,8	-16,0	-9,7	-1,6	3,8	9,4	13,2	14,5	10,9	3,4	-7,0	-15,1	-0,9
Станд. откл.	3,0	2,4	2,4	1,5	1,5	1,7	1,6	1,5	1,1	1,3	2,3	2,7	0,9

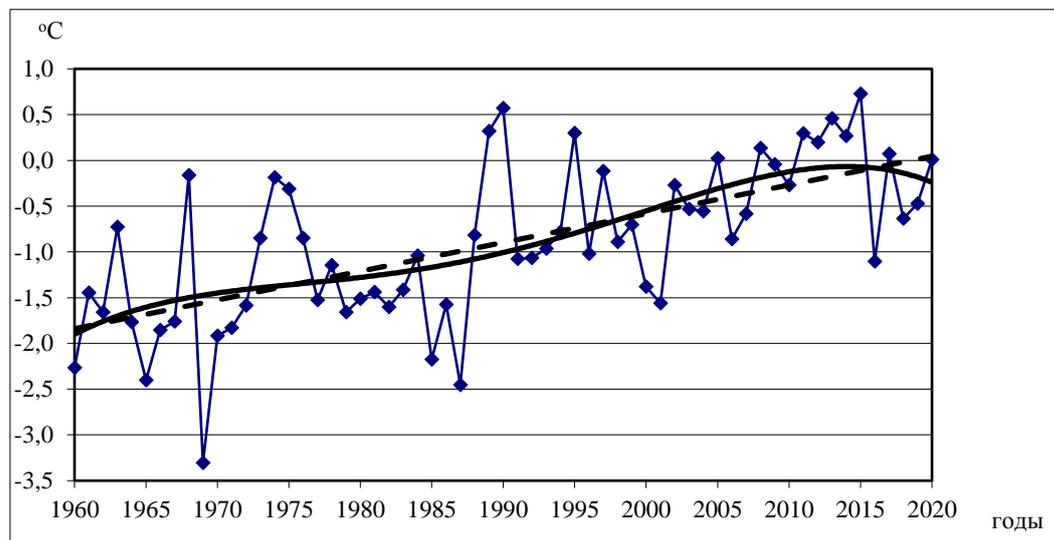


Рис. 6. Изменение средней годовой температуры воздуха по данным м/с «Ноглики», 32053 за 1960–2020 гг.

Fig. 6. Graph of the course of Average annual temperatures according by data of WS "Nogliki", 32053 for 1960–2020

Изменения месячной и годовой величины осадков, по данным МСТ «Ноглики» за 1960–2020 гг., показаны в табл. 6 и на рис. 7.

Таблица 6
Table 6

Режим осадков по данным МСТ «Ноглики» за 1960–2020 гг.
Precipitation regime according by data of the WS "Nogliki" for 1960–2020.

Показатели	Осадки, мм												Год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Мин.	3	1	5	17	13	1	1	6	7	19	10	5	448
Макс.	108	78	118	177	121	147	197	295	241	237	136	143	1038
Сред.	37	32	42	48	64	53	62	99	92	89	53	49	722
Станд. откл.	24	21	26	27	29	33	41	52	45	47	26	29	119

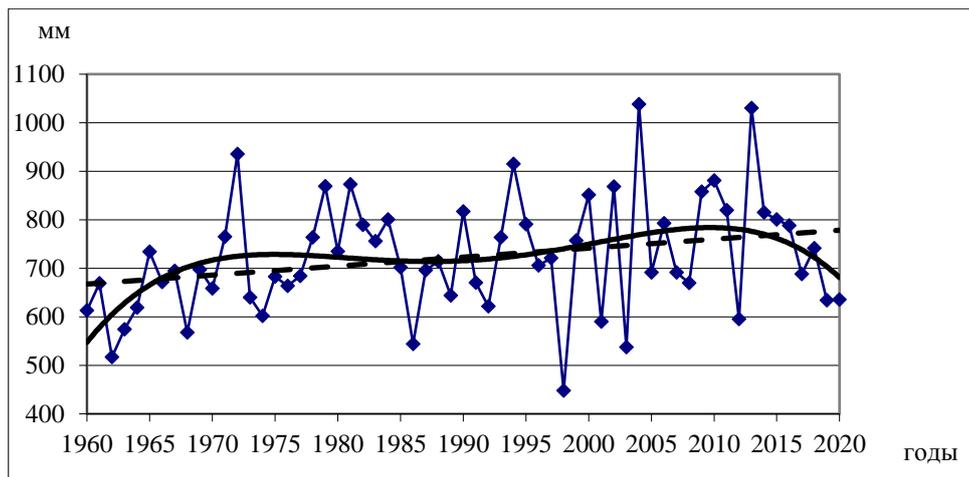


Рис. 7. Динамика среднегодовых осадков по данным МСТ «Ноглики» за 1960–2020 гг.
 Fig. 7. Dynamics of Average annual precipitation according by WS "Nogliki" for 1960–2020

На МСТ «Ноглики» в период 1960–2020 гг. прослеживались положительные тренды приземной средней месячной температуры (0,03 °С в год) и годовых осадков (1,8 мм в год).

Изменение величины месячной и годовой температуры воздуха на МСТ «Александровск-Сахалинский» за 1960–2020 гг. отражено в табл. 7 и на рис. 8.

Таблица 7
 Table 7

Термический режим по данным МСТ «Александровск-Сахалинский», 32061 за 1960–2020 гг.
 Thermal regime according by data of the WS "Alexandrovsk-Sakhalinsky", 32061 for 1960–2020

Показатели	Температура воздуха, °С												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Год
Мин.	-21,9	-20,0	-12,7	-2,8	4,2	8,5	13,0	13,9	10,1	2,6	-7,8	-17,6	-1,3
Макс.	-9,2	-9,2	-2,4	3,1	8,9	13,8	17,6	19,5	14,1	7,6	-0,8	-6,8	2,4
Сред.	-16,6	-14,9	-8,1	0,2	6,0	11,1	15,3	16,4	12,3	4,9	-4,4	-12,4	0,9
Станд. откл.	2,7	2,4	2,1	1,2	1,2	1,1	0,9	1,2	1,0	1,2	1,8	2,6	0,8

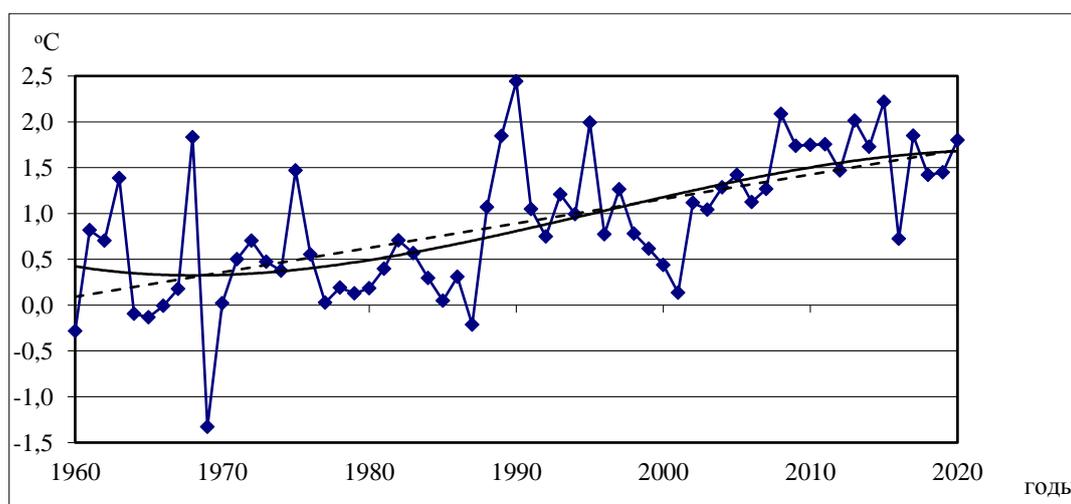


Рис. 8. График хода среднегодовых температур по данным МСТ «Александровск-Сахалинский» за 1960–2020 гг.
 Fig. 8. Graph of the course of Average annual temperatures according by data of WS "Alexandrovsk-Sakhalinsky" for 1960–2020

Изменения величины осадков по данным МСТ «Александровск–Сахалинский» за 1966–2019 гг. продемонстрированы в табл. 8 и на рис. 9.

Таблица 8
Table 8

Режим осадков по данным МСТ «Александровск–Сахалинский» за 1960–2020 гг.
Precipitation regime according by data of the WS "Alexandrovsk–Sakhalinsky" for 1960–2020

Показатели	Осадки, мм												Год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Мин.	5	4	3	5	9	3	0	4	14	23	8	19	474
Макс.	99	74	86	84	133	147	147	211	196	228	146	124	874
Сред.	39	28	29	33	49	41	56	88	93	89	57	63	666
Станд. откл.	22	17	19	17	24	26	29	46	36	41	27	24	90

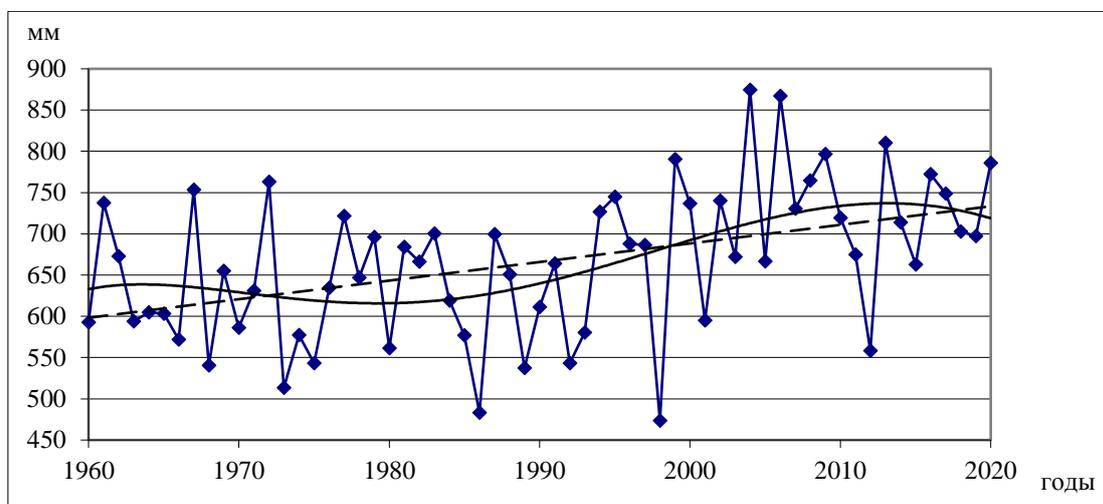


Рис. 9. Динамика среднегодовых осадков по данным МСТ «Александровск–Сахалинский» за 1960–2020 гг.

Fig. 9. Dynamics of Average annual precipitation according by data of the WS "Alexandrovsk–Sakhalinsky" for 1960–2020

По данным наблюдений на МСТ «Александровск–Сахалинский», за исследуемый период отмечены положительные тренды как приземной средней месячной температуры, так и количества годовых осадков со значениями ее увеличению на 0,03 °С в год и 2,2 мм в год соответственно.

Изменения термических условий по данным МСТ «Тымовское» в период 1960–2020 гг. приведены в табл. 9 и на рис. 10.

Таблица 9
Table 9

Термический режим по данным МСТ «Тымовское», 32071 за 1960–2020 гг.
Thermal regime according by data of the WS "Tymovskoe", 32071 for 1960–2020

Показатели	Температура воздуха, °С												Год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Мин.	-28,9	-25,5	-16,6	-4,4	4,4	9,8	13,2	13,7	8,2	-0,4	-13,5	-26,0	-3,6
Макс.	-13,2	-11,3	-4,4	2,3	10,2	16,4	18,8	19,0	12,6	5,2	-2,5	-10,1	0,9
Сред.	-22,2	-19,3	-10,7	-0,6	6,6	12,6	16,1	16,0	10,8	2,7	-8,5	-18,4	-1,2
Станд. откл.	3,6	3,0	2,7	1,5	1,4	1,5	1,3	1,2	1,0	1,3	2,7	3,4	1,0

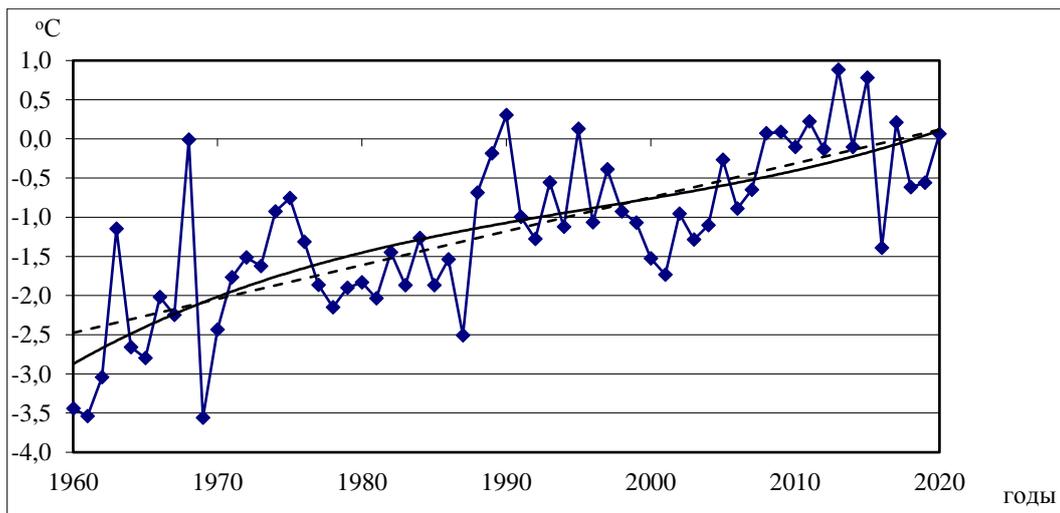


Рис. 10. График хода среднегодовых температур воздуха на МСТ «Тымовское» за 1960–2020 гг.
Fig. 10. Graph of the course of average annual air temperatures in WS "Tymovskoe" for 1960–2020

Изменения величины осадков по данным МСТ «Тымовское» за 1960–2020 гг. продемонстрированы в табл. 10 и на рис. 11.

Таблица 10
Table 10

Режим осадков по данным МСТ «Тымовское» за 1960–2020 гг.
Precipitation regime according by data of the WS "Tymovskoe" for 1960–2020

Показатели	Осадки, мм												Год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Мин.	5	3	5	6	8	3	0	4	27	25	15	23	480
Макс.	93	96	97	88	137	133	145	196	199	249	169	153	906
Сред.	40	31	34	37	50	44	57	86	100	92	75	59	705
Станд. откл.	24	20	20	17	24	29	32	43	37	40	29	22	100

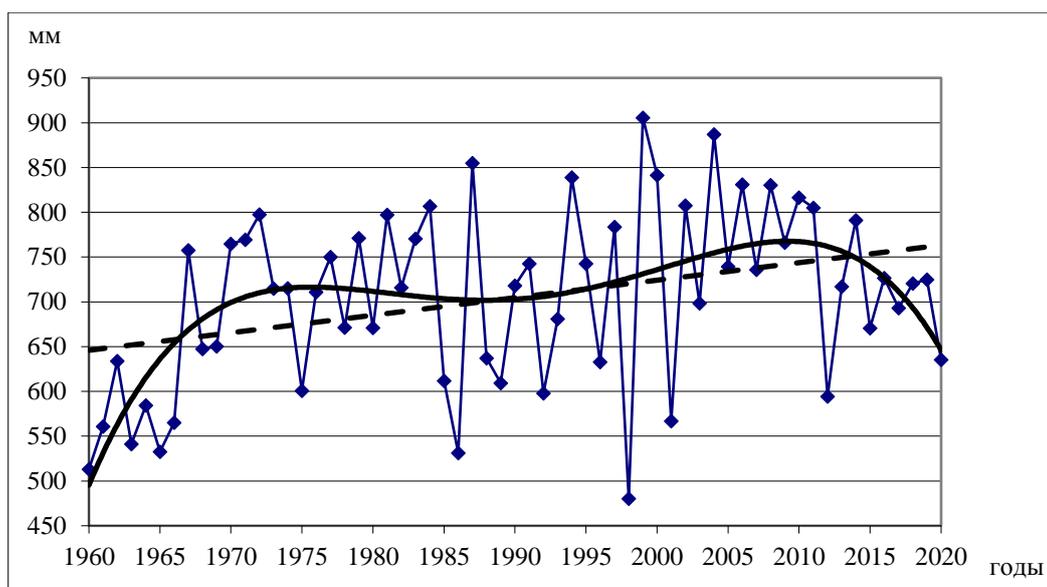


Рис. 11. Динамика среднегодовых осадков по данным МСТ «Тымовское» за 1960–2020 гг.
Fig. 11. Dynamics of Average annual precipitation according by data of WS "Tymovskoe" for 1960–2020

На МСТ «Тымовское» в период 1960–2020 гг. прослеживались положительные тренды приземной средней месячной температуры (0,04 °С в год) и годовых осадков (2 мм в год).

Изменения термических условий по данным МСТ «Пограничное» в период 1960–2020 гг. приведены в табл. 11 и на рис. 12.

Таблица 11
Table 11

Термический режим по данным МСТ «Пограничное», 32076 за 1960–2020 гг.
Thermal regime according by data of the WS "Pogranichnoe", 32076 for 1960–2020

Показатели	Температура воздуха, °С												Год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Мин.	-21,6	-20,9	-14,7	-5,5	0,8	2,9	6,9	9,4	7,3	1,5	-9,8	-17,2	-3,5
Макс.	-8,8	-8,6	-4,5	0,7	5,8	12,0	14,8	15,4	12,4	6,0	-1,3	-6,2	0,5
Сред.	-16,1	-15,3	-9,5	-1,8	2,7	6,7	10,2	12,3	10,0	3,7	-5,3	-12,9	-1,2
Станд. откл.	3,1	2,5	2,2	1,2	1,3	1,6	1,4	1,5	1,2	1,1	1,9	2,5	0,8

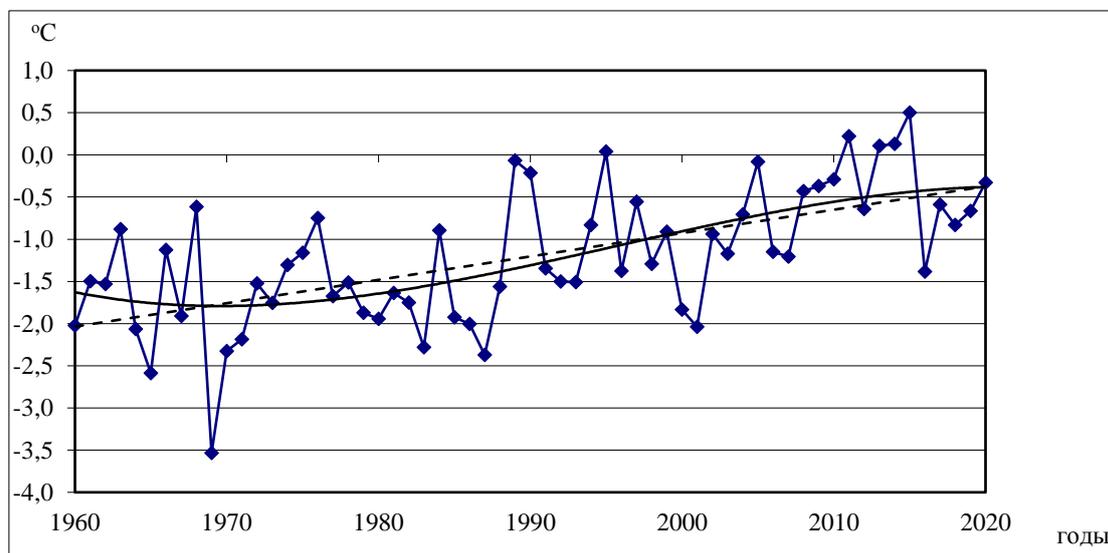


Рис. 12. График хода среднегодовых температур воздуха на МСТ «Пограничное» за 1960–2020 гг.
Fig. 12. Graph of the course of average annual air temperatures in WS "Pogranichnoe" for 1960–2020

Изменения суммы среднемесячных и годовых осадков по данным МСТ «Пограничное» за 1960–2020 гг. продемонстрированы в табл. 12 и на рис. 13.

Таблица 12
Table 12

Режим осадков по данным МСТ «Пограничное» за 1960–2020 гг.
Precipitation regime according by data of the WS "Pogranichnoe" for 1960–2020

Показатели	Осадки, мм												Год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Мин.	3	3	1	4	9	4	3	13	16	11	6	2	463
Макс.	115	107	189	246	179	136	147	334	319	296	260	216	1208
Сред.	39	32	49	61	68	54	63	89	101	96	68	51	772
Станд. откл.	28	24	35	44	37	33	40	58	61	57	49	42	173

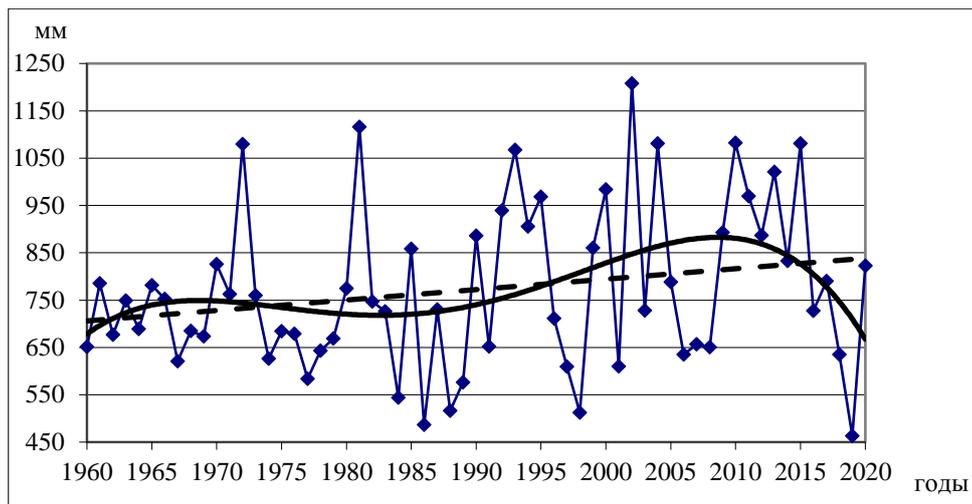


Рис. 13. Динамика годового количества осадков по данным МСТ «Пограничное» за 1960–2020 гг.
Fig. 13. Dynamics of Annual precipitation according by data of WS "Pogranichnoe" for 1960–2020

На МСТ «Пограничное» отмечены положительные тренды средней месячной температуры (0,03 °С в год) и годовых осадков (2,2 мм в год).

Изменения термических условий по данным МСТ «Южно-Сахалинск», 32150 в период 1960–2020 гг. приведены в табл. 13 и на рис. 14.

Таблица 13
Table 13

Термический режим по данным МСТ «Южно-Сахалинск», 32150 за 1960–2020 гг.
Thermal regime according by data of the WS "Yuzhno-Sakhalinsk", 32150 for 1960–2020

Показатели	Температура воздуха, °С												Год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Мин.	-17,2	-16,8	-9,9	-0,6	4,8	7,7	13,0	13,8	10,8	3,7	-4,9	-13,5	0,9
Макс.	-6,3	-6,1	1,9	3,8	10,5	15,5	19,0	20,1	15,9	9,1	1,5	1,3	4,4
Сред.	-12,5	-11,9	-5,6	1,7	7,2	11,5	15,6	17,0	13,1	6,3	-1,6	-8,5	2,8
Станд. откл.	2,4	2,2	2,0	1,0	1,2	1,4	1,3	1,4	1,0	1,1	1,6	2,3	0,7

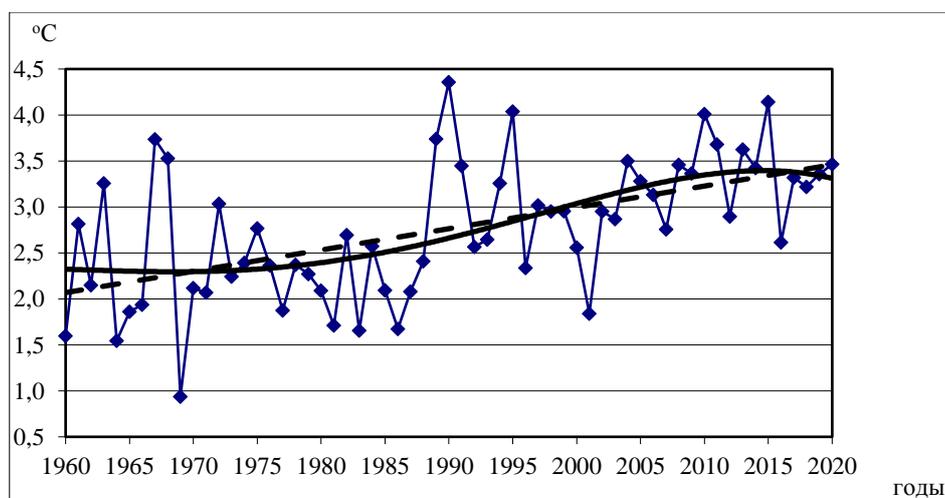


Рис. 14. График хода среднегодовых температур воздуха на МСТ «Южно-Сахалинск» за 1960–2020 гг.
Fig. 14. Graph of the course of average annual air temperatures in WS "Yuzhno-Sakhalinsk" for 1960–2020

Изменения суммы среднемесячных и годовых осадков по данным МСТ «Южно-Сахалинск» за 1960–2020 гг. продемонстрированы в табл. 14 и на рис. 15.

Таблица 14
Table 14

Режим осадков по данным МСТ «Южно-Сахалинск» за 1960–2020 гг.
Precipitation regime according by data of the WS "Yuzhno-Sakhalinsk" for 1960–2020

Показатели	Осадки, мм												Год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Мин.	6	1	7	10	15	0	16	10	31	22	27	13	573
Макс.	110	134	118	136	134	176	229	319	223	217	142	149	1229
Сред.	50	40	47	57	70	60	89	105	104	99	76	65	861
Станд. откл.	29	28	24	29	29	35	50	64	47	46	29	33	148

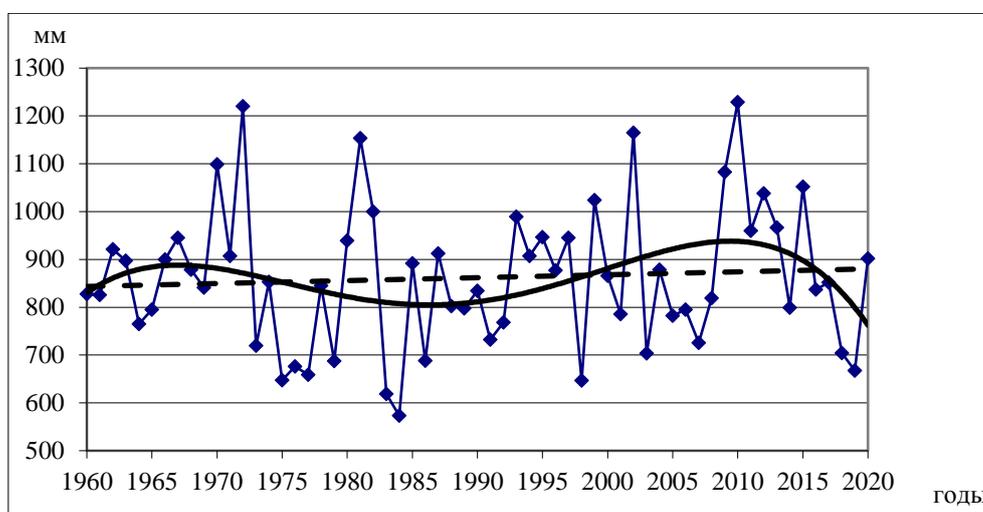


Рис. 15. Динамика годового количества осадков по данным МСТ «Южно-Сахалинск» за 1960–2020 гг.

Fig. 15. Dynamics of Annual precipitation according by data of WS "Yuzhno-Sakhalinsk" for 1960–2020

На МСТ «Южно-Сахалинск» отмечены положительные тренды средней месячной температуры ($0,02\text{ }^{\circ}\text{C}$ в год) и годовых осадков ($0,4\text{ мм}$ в год).

Составление и оформление климатической карты острова Сахалин

Проектируемая карта должна отражать пространственное распределение основных метеорологических параметров (температур и осадков), быть наглядной и хорошо читаемой, а также способствовать получению всей необходимой информации о климате острова Сахалин [Гусева, 1970; Географическое картографирование ..., 2016]. Изначально планировалось составить одну карту, на которую нужно было поместить среднегодовое количество осадков и изотермы января и августа. В процессе работы стало понятно, что для читаемости лучше визуализировать информацию на 2 картах.

Для представления особенностей климата в зимний и летний периоды составлены две климатические карты Сахалина – для января и августа. Именно эти месяцы являются самыми холодными и теплыми на данной территории. Годовое количество осадков на карте «Январь» и на карте «Август» показано способом количественного фона, с единой, равноступенчатой шкалой. Преобладающее направление ветров на каждой карте показано



способом знаков движения: преобладающие направления ветров в январе – голубым цветом, преобладающие направления ветров в августе – розовым цветом.

Карты будут издаваться в составе обновленного «Атласа Сахалинской области», который не переиздавался с 1967 г. [Атлас Сахалинской области, 1967; Мелкий, Верхотуров, 2014]. В связи с особенностями атласного картографирования, для карт планируется вертикальная ориентировка листа [Нырцова, 1999; Гаврилов, Комиссарова, 2003; Лисицкий, 2016]. Размер страницы – 297 x 420 мм. Размер карт по внутренней рамке – 105 x 330 мм.

Масштаб карт определяется с учетом размера территории и размеров внутренней рамки карт, исходя из которых он составляет 1: 3 000 000.

Компоновка карт обусловлена расположением и вытянутостью территории острова Сахалина, в связи с чем целесообразно располагать легенду внизу, а название – сверху.

Выбор картографических проекций зависит, по мнению Ю.С. Билич и А.С. Васмута [1984], от трех групп факторов:

1) факторы, характеризующие объект картографирования: географическое положение территории, ее размеры, форма (конфигурация), значимость и степень показа смежных с картографируемой областью территорий;

2) факторы, характеризующие создаваемую карту, способы и условия ее использования: назначение и специализация, масштаб и содержание карты, задачи, которые будут решаться по ней и требования по точности их решения, способы использования карты, анализ картографической информации, условия работы с картой и т. п.;

3) факторы, характеризующие получаемую картографическую проекцию: характер искажений, обеспечение минимума искажений, их распределение и др.

В соответствии с нормативными документами [ГКИНП-05-052-85, 1980; Об утверждении порядка..., 2020], мы приняли решение использовать равнопромежуточную коническую проекцию. Частота картографической сетки – параллели через 2 градуса, меридианы через 2 градуса.

Для климатических карт острова Сахалин в качестве топоосновы использовались векторизованные топографические карты [Листы..., 2021; Схема. Спутниковая карта, 2021; Топографическая карта, 2021].

Общегеографическая основа создаваемых карт представлена следующими элементами содержания: населенные пункты, рельеф, реки и площадные гидрографические объекты.

Населенные пункты на данных картах представлены областным центром – город Южно-Сахалинск, городами Александровск-Сахалинский, Оха, Поронайск, Макаров, Углегорск, Томари, Долинск, Холмск, Анива, Корсаков, Невельск, а также сельскими населенными пунктами, в которых расположены метеостанции – Москальво, Погиби, Ильинское и Ноглики.

Объекты гидрографии на данных картах представлены реками, озерами, морями, заливами и проливами. Реки на картах представлены с отбором: показаны только главные реки Поронай и Тымь, их наиболее крупные притоки, а также наиболее значимые реки, впадающие в моря.

Береговая линия морей, заливов и проливов показана синей линией с толщиной обводки 0,2 мм. На картах показаны следующие из данных объектов: Охотское море, Амурский лиман, Татарский пролив, пролив Лаперуза, Сахалинский залив, залив Терпения.

Рельеф на картах представлен отметками высот.

Элементами тематического содержания создаваемых карт являются температура, осадки и преобладающее направление ветра. Температура на карте показана с помощью изолиний, где температура января показана синим цветом, а температура августа – красным цветом (рис. 16).

ОСТРОВ САХАЛИН. КЛИМАТ

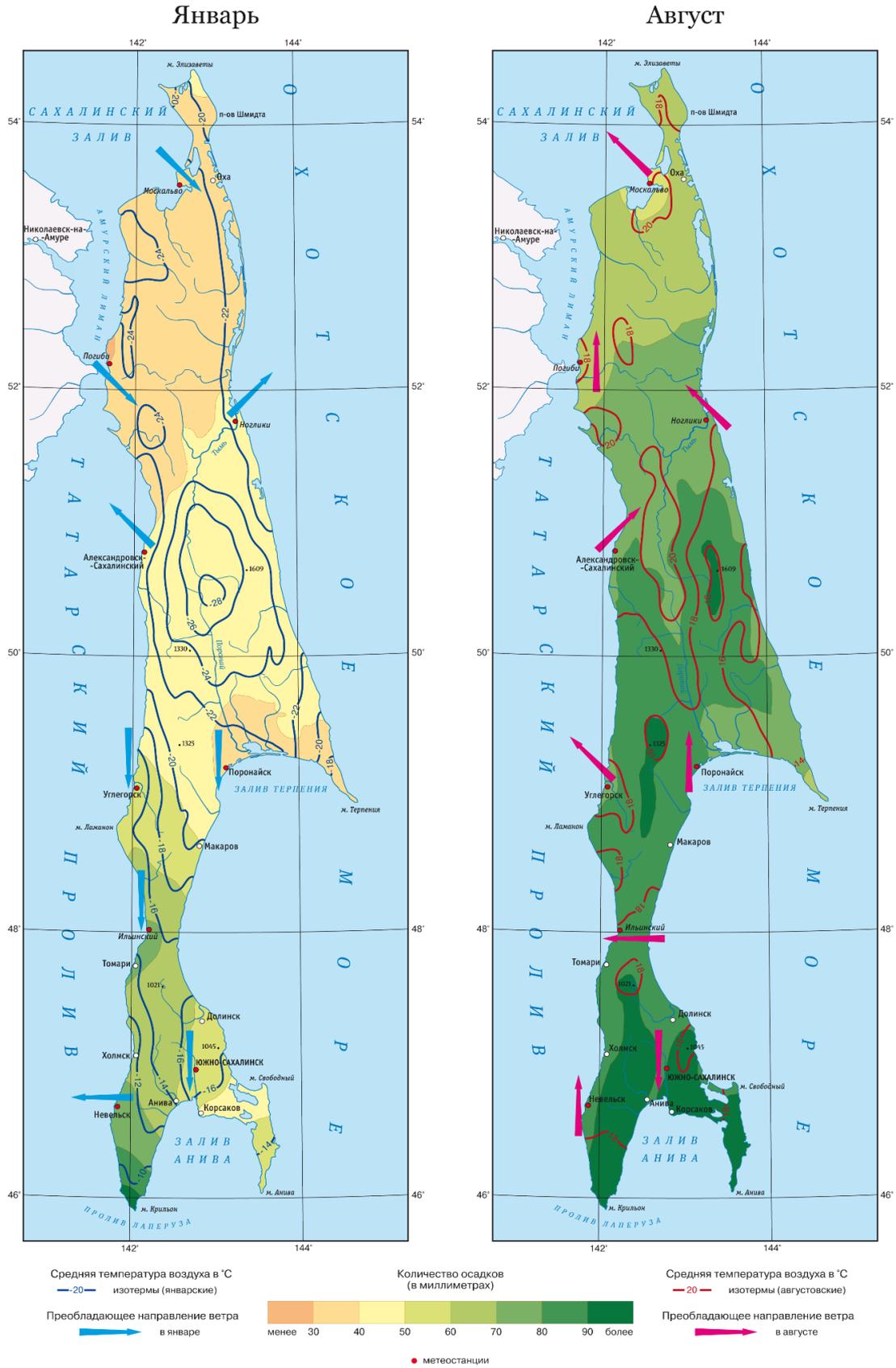


Рис. 16. Климатические карты Сахалина
 Fig. 16. Climate maps of Sakhalin Island

Обработка первичных материалов при создании климатических карт проводилась в программе ArcGIS с выполнением следующих действий:

1. Создание подложки в виде растрового изображения количества осадков.
2. Создание полей изотерм, которое проведено в несколько этапов: в рабочий набор загружались 30 растров со среднегодовой температурой января и августа соответственно; с помощью функции Spatial Analyst Tools – Map Algebra — Raster Calculator путем сложения растров и деления их на 30 получена среднегодовая температура для месяца; с помощью функции Spatial Analyst Tools — Neighborhood — Focal Statistics проведена генерализация; с помощью функции Spatial Analyst Tools — Surface — Contour растровые данные преобразованы в векторный формат; полученные результаты были сохранены в формате *.shp.

После выполнения описанных действий был получен промежуточный результат – карты с количественным фоном и изолиниями температур, которые в дальнейшем обрабатывались в программе Adobe Illustrator.

Запроектированы элементы внешнего оформления картографического изображения. Помимо рамки, главным элементом общего оформления является легенда, которая должна отличаться удобством чтения, иметь однородный, достаточно светлый фон. Легенда согласно компоновке карт, располагается снизу, под картами (см. рис. 16).

Заключение

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. По данным наблюдений, на метеостанциях острова Сахалин за 1960–2020 гг. выявлены положительные тренды приземной средней месячной температуры во всех исследуемых пунктах. Приращение тренда находится в интервале 0,02 до 0,04 °С в год, что можно считать в пределах статистической погрешности. Однако, начиная с конца XX века, отмечается устойчивый рост температуры воздуха и сокращение амплитуды ее колебания по сравнению с предыдущим периодом.

2. Количество выпадающих осадков изменилось не столько однозначно, в отличие от температуры воздуха. Так, суммарное количество годовых осадков имеет тенденцию к увеличению с положительным трендом (0,4–3,1 мм в год). Выпадают из указанной тенденции метеостанции, расположенные в северо-западной части острова («Москальво» и «Погиби»), где наблюдается сокращение количества выпадающих осадков.

3. Для отражения основных особенностей климата в зимний и летний периоды составлены две климатические карты острова Сахалин для января и августа. В проекте определена целесообразность использования равнопромежуточной конической проекции. Исходя из конфигурации картографируемой территории, следует использовать вертикальную компоновку изображений, легенду размещать внизу, а название – вверху. Карты будут публиковаться в составе обновленного «Атласа Сахалинской области», который не переиздавался с 1967 г.

Список источников

1. Атлас Сахалинской области. 1967. Под ред. П.А. Леонова. М., ГУГК, 144 с.
2. Билич Ю.С., Васмут А.С. 1984. Проектирование и составление карт. М., Недра, 364 с.
3. Братков В.В., Воронин А.П. 2015. Метеорология и климатология. М., Изд. МИИГАиК, 209 с.
4. Братков В.В., Заурбеков Ш.Ш., Мелкий В.А., Вазарханов И.С. 2021. Геоэкология. М., Кнорус, 282 с.
5. Географическое картографирование: карты природы. 2016. Под ред. Е.А. Божжиной. М., КДУ, 314 с.

6. ГКИНП-05-052-85. Руководство по картографическим и картоиздательским работам. 1985. Ч. 3. Составление и подготовка к изданию топографической карты масштаба 1:1000000 РКР-3. М., ВТУ ГШ МО СССР, 149 с.
7. Гусева И.Н. 1970. Методические указания по проектированию и составлению комплексных научно-справочных атласов. Вып. 5: Климатические карты. М., Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова., 73 с.
8. Климат городов мира: ежемесячные данные. Гидрометцентр России. Электронный ресурс. URL: <https://meteoinfo.ru/climatcities?p=2283> (дата обращения: 7 августа 2021).
9. Листы L-54, M-54, N-54. Карты Генштаба – архив топографических карт. Спутниковые карты. URL: <https://satmaps.info/genshtab.php> (дата обращения: 7 августа 2021).
10. Метеостанции. Федеральное государственное бюджетное учреждение «Сахалинское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды». URL: <http://sakhugms.ru/index.php/meteostantsii> (дата обращения: 7 августа 2021).
11. Об утверждении порядка установления местных систем координат: Приказ Росреестра от 20.10.2020 № П/0387. СПС Консультант Плюс. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_367941/936dc4eea32f6f9fa7085dc4b41fe952580600c5/#dst100011 (дата обращения: 7 августа 2021).
12. Сахалинская область. Архивы погоды. Справочно-информационный портал «Погода и климат». Электронный ресурс. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/archive.php?id=ru®ion=65> (дата обращения: 7 августа 2021).
13. Схема. Спутниковая карта. Сахалина. Яндекс карты. URL: <https://yandex.ru/maps/?ll=141.018287%2C50.861556&z=6> (дата обращения: 7 августа 2021).
14. Топографическая карта. Сахалин. URL: <https://ru-ru.topographic-map.com/maps/eu7o/Сахалин/> (дата обращения: 7 августа 2021).
15. Хромов С.П., Петросьянц М.А. 2006. Метеорология и климатология. М., МГУ, 582 с.

Список литературы

1. Алисов Б.П. 1936. Географические типы климатов. Метеорология и гидрология, 6: 16–25.
2. Андерсон Т. 1976. Статистический анализ временных рядов. М., Мир, 756 с.
3. Батуев А.Р., Бешенцев А.Н., Богданов В.Н., Доржготов Д., Корытный Л.М., Плюснин В.М. 2015. Экологический атлас бассейна озера Байкал: картографическая инновация. География и природные ресурсы, 1: 5–16. DOI: 10.1134/S1875372815010011.
4. Барталёв С.А., Егоров В.А., Жарко В.О., Лупян Е.А., Плотников Д.Е., Хвостиков С.А. 2015. Состояние и перспективы развития методов спутникового картографирования растительного покрова России. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 12 (5): 203–221.
5. Берг Л.С. 1947. Климат и жизнь. 2-е изд. М., Географгиз, 356 с.
6. Братков В.В., Вишневецкий Р.И., Атаев З.В. 2019. Картографирование селитебной нагрузки на ландшафты Северного Кавказа. Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки, 13 (4): 63–71. DOI: 10.31161/1995-0675-2019-13-4-63-71.
7. Гаврилов Ю.В., Комиссарова Е.В. 2003. Учебные географические мультимедийные атласы: структура, содержание и дизайн. Вестник Сибирской государственной геодезической академии, 8: 107–112.
8. Груздев А.Н. 2014. Оценка влияния 11-летнего цикла солнечной активности на содержание озона в стратосфере. Геомагнетизм и аэрномия, 54 (5): 678–684. DOI: 10.7868/S0016794014040178.
9. Лисицкий Д.В. 2016. Картография в эпоху информатизации: новые задачи и возможности. География и природные ресурсы, 4: 22–28. DOI: 10.21782/GIPR0206-1619-2016-4(22-28).
10. Мелкий В.А., Верхотуров А.А. 2014. Обзор изданий картографических материалов в Сахалинской области. Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка, 5: 48–53.



11. Мелкий В.А., Верхотуров А.А., Братков В.В. 2020. Влияние климата на состояние северной части елово-пихтовой подзоны темнохвойных бореальных лесов острова Сахалин. Региональные геосистемы, 44 (4): 415–431. DOI: 10.18413/2712-7443-2020-44-4-415-431.
12. Муха В.С. 2020. Статистическая обработка метеорологических данных для выводов о наличии временных трендов. Доклады Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, 18 (1): 96–103. DOI: 10.35596/1729-7648-2020-18-1-96-103.
13. Нырцова Т.П. 1999. Композиционно-пространственные средства дизайна, их применение в оформлении карт и атласов. Геодезия и картография, 11: 33–37.
14. Пьянков С.В., Шихов А.Н., Абдуллин Р.К. 2017. Современные методы и технологии в тематическом атласном картографировании (на примере АИС «Опасные гидрометеорологические явления Уральского Прикамья»). Вопросы географии, 144: 208–226.
15. Сулова Е.Г., Алексеенко Н.А., Шаповалов А.С. 2018. Методика создания геоботанической карты степного участка по полевым обследованиям с применением геоинформационных технологий (на примере «Ямской степи» заповедника «Белогорье»). Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки, 42 (1): 12–24. DOI: 10.18413/2075-4671-2018-42-1-12-24.
16. Терехин Э.А. 2019. Оценка и автоматизированное картографирование современной лесистости овражно-балочных систем Белгородской области на основе спутниковых данных. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки, 43 (2): 173–181. DOI: 10.18413/2075-4671-2019-43-2-173-181.
17. Чалая К.А., Погорелов А.В., Перов Е.А. 2019. Опасные гидрологические явления на территории Краснодарского края (краткий обзор) ИнтерКарто. ИнтерГИС, 25 (2): 232–246. DOI: 10.35595/2414-9179-2019-2-25-232-246.
18. Чилингер Л.Н., Козина М.В., Аврунев Е.И. 2020. Технологическая схема установления границ водоохраных зон в местной системе координат для внесения в единый государственный реестр недвижимости. Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка, 64 (5): 576–583. DOI: 10.30533/0536-101X-2020-64-5-576-583.
19. Fick S.E., Hijmans R.J. 2017. WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. International Journal of Climatology, 37: 4302–4315. DOI: 10.1002/joc.5086.
20. Köppen W., Wegener A. 1924. Die Klimate der geologischen Vorzeit. Berlin, Gebrüder Borntraeger, 225 p.
21. Ivanov I.V., Lisetskii F.N. 1995. Manycentury periodicity of solar-activity and soil formation. Biofizika, 40 (4): 905–910.
22. McKittrick R., McIntyre S., Herman C. 2010. Panel and multivariate methods for tests of trend equivalence in climate data sets. Atmospheric Science Letters, 11 (4): 270–277. DOI: <https://doi.org/10.1002/asl.290>.

References

1. Alisov B.P. 1936. Geograficheskie tipy klimatov [Geographical types of climates]. Meteorologiya i gidrologiya, 6: 16–25.
2. Anderson T. 1976. Statisticheskii analiz vremennykh ryadov [Statistical analysis of time series]. Moscow, Publ. Mir, 756 p.
3. Batuev A.R., Beshentsev A.N., Bogdanov V.N., Dorjgotov D., Korytny L.M., Plyusnin V.M. 2015. Ecological Atlas of the Baikal Basin: Cartographic Innovation. Geography and Natural Resources, 36 (1): 5–16 (in Russian). DOI: 10.1134/S1875372815010011.
4. Bartalev S.A., Egorov V.A., Zharko V.O., Lupyan E.A., Plotnikov D.E., Khvostikov S.A. 2015. Current State and Development Prospects of Satellite Mapping Methods of Russia's Vegetation Cover. Current problems in remote sensing of the Earth from space, 12 (5): 203–221 (in Russian).
5. Berg L.S. 1947. Klimat i zhizn' [Climate and life]. 2nd ed. Moscow, Publ. Geografiz, 356 p.
6. Bratkov V.V., Vishnevetskiy R.I., Ataev Z.V. 2019. Mapping for Residential Load on the Landscapes of the North Caucasus. Dagestan State Pedagogical University Journal Natural and Exact Sciences, 13 (4): 63–71 (in Russian). DOI: 10.31161/1995-0675-2019-13-4-63-71.

7. Gavrilov Yu.V., Komissarova E.V. 2003. Uchebnye geograficheskie mul'timediynye atlasy: struktura, sodержanie i dizayn [Educational geographical multimedia atlases: structure, content and design]. Vestnik Siberian State Geodetic Academy (SGGiA), 8: 107–112.
8. Gruzdev A.N. 2014. Estimate of the Effect of the 11-Year Solar Activity Cycle on the Ozone Content in the Stratosphere. Geomagnetism and Aeronomy, 54 (5): 633–639 (in Russian). DOI: 10.1134/S0016793214040161.
9. Lisitskii D.V. 2016. Cartography in the Era of Informatization: New Problems and Possibilities. Geography and Natural Resources, 37 (4): 296–301 (in Russian). DOI: 10.1134/S187537281604003X.
10. Melkiy V.A., Verkhoturov A.A. 2014. Obzor izdaniy kartograficheskikh materialov v Sakhalinskoy oblasti [Review of publications of cartographic materials in the Sakhalin region]. Izvestia vuzov. Geodesy and aerophotosurveying, 5: 48–53.
11. Melkiy V.A., Verkhoturov A.A., Bratkov V.V. 2020. Climate Influence on the State of the Northern Part of the Spruce-Fir Subzone of the Dark Coniferous Boreal Forests of Sakhalin Island. Regional geosystems, 44 (4): 415–431 (in Russian). DOI: 10.18413/2712-7443-2020-44-4-415-431.
12. Mukha V.S. 2020. Statistical Processing of the Meteorological Data for Conclusion on the Presence of the Time Trends. Doklady Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta informatiki i radioelektroniki, 18 (1): 96–103 (in Russian). DOI: 10.35596/1729-7648-2020-18-1-96-103.
13. Nyrtsova T.P. 1999. Kompozitsionno-prostranstvennye sredstva dizayna, ikh primeneniye v oformlenii kart i atlasov [Compositional and Spatial design tools, their application in the Design of maps and atlases]. Geodesy and Cartography, 11: 33–37 (in Russian).
14. Pyankov S.V., Shikhov A.N., Abdullin R.K. 2017. Modern Methods and Technologies in Thematic Atlas Mapping (on Example of the Ais "Hazardous Hydrometeorological Events of the Ural Prikamye Region"). Issues of Geography, 144: 208–226 (in Russian).
15. Suslova E.G., Alekseenko N.A., Shapovalov A.S. 2018. Methods of the Steppe Areas Vegetation Cover Maps Creation by the Field Surveys Using GIS Technology («Yamskaya Steppe» of Reserve «Belogorie» Case Study). Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural Sciences Series, 42 (1): 12–24 (in Russian). DOI: 10.18413/2075-4671-2018-42-1-12-24.
16. Terekhin E.A. 2019. Evaluation and Automated Mapping the Modern Forest Coverage of Small Flat-Bottom Valleys in the Belgorod Region Using Satellite Data. Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural Sciences Series, 43 (2): 173–181 (in Russian). DOI: 10.18413/2075-4671-2019-43-2-173-181.
17. Chalaya K.A., Pogorelov A.V., Perov E.A. 2019. The Hazardous Hydrological Phenomena in the Territory of Krasnodar Region (the Short Review). InterCarto. InterGIS, 25 (2): 232–246 (in Russian). DOI: 10.35595/2414-9179-2019-2-25-232-246.
18. Chilinger L.N., Kozina M.V., Avrunev E.I. 2020. Technological Diagram for Establishing the Boundaries of Water-Protected Zones in the Local Coordinate System for Entering in the Unified State Register of Real Estate. Proceeding of the Higher Educational Institutions. Izvestia vuzov. Geodesy and aerophotosurveying, 64(5): 576–583 (in Russian). DOI: 10.30533/0536-101X-2020-64-5-576-583.
19. Fick S. E., Hijmans R. J. 2017. WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. International Journal of Climatology, 37: 4302–4315. DOI: 10.1002/joc.5086.
20. Fick S.E., Hijmans R.J. 2017. WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. International Journal of Climatology, 37: 4302–4315. DOI: 10.1002/joc.5086.
21. Köppen W., Wegener A. 1924. Die Klimate der geologischen Vorzeit. Berlin, Gebrüder Borntraeger, 225 p.
22. Ivanov I.V., Lisetskii F.N. 1995. Manycentury periodicity of solar-activity and soil formation. Biofizika, 40 (4): 905–910.
23. McKittrick R., McIntyre S. Herman C. 2010. Panel and multivariate methods for tests of trend equivalence in climate data sets. Atmospheric Science Letters, 11 (4): 270–277. DOI: <https://doi.org/10.1002/asl.290>.



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

Братков Виталий Викторович, доктор географических наук, профессор, заведующий кафедрой географии Московского государственного университета геодезии и картографии, г. Москва, Россия

Мелкий Вячеслав Анатольевич, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории вулканологии и вулканоопасности Института морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской академии наук, профессор кафедры геологии и нефтегазового дела Сахалинского государственного университета, г. Южно-Сахалинск, Россия

Верхотуров Алексей Александрович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник Центра коллективного пользования Института морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской академии наук, доцент кафедры геологии и нефтегазового дела Сахалинского государственного университета, г. Южно-Сахалинск, Россия

Лукьяненко Николай Дмитриевич, студент Московского государственного университета геодезии и картографии, г. Москва, Россия

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Vitaly V. Bratkov, Doctor of Geography, Professor, Head of the Department of Geography of the Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia

Vyacheslav A. Melkiy, Doctor of Technical, Leading Researcher of the laboratory of Volcanology and volcanic hazard of the Institute of Marine Geology and Geophysics of the FEB RAS; Professor of Department Geology and Oil&Gas affairs of the Sakhalin State University, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

Alexey A. Verkhoturov, Ph.D. Technical Sciences, Senior Researcher of Center for collective use of the Institute of marine Geology and Geophysics of the FEB RAS, Associate Professor of Department Geology and Oil&Gas affairs of the Sakhalin State University, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

Nikolay D. Lukyanenko, student of the Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia



УДК 504 (06)
DOI 10.52575/2712-7443-2021-45-4-545-557

Сезонная динамика и пространственное распределение концентраций антропогенных загрязнителей в воздухе г. Воронеж

Акимов Л.М., Акимов Е.Л.

Воронежский государственный университет,
Россия, 394018, г. Воронеж, Университетская пл., 1
E-mail: akl63@bk.ru

Аннотация. Загрязнение атмосферного воздуха крупных городов является фактором окружающей среды, который обязательно должен учитываться при планировании хозяйственной деятельности, вследствие негативного воздействия на здоровье горожан. Решение проблемы оценки загрязнения воздуха в городах является многофакторной задачей, включающей учёт как антропогенной, так и природной составляющих данного процесса. В отношении г. Воронеж недостаточно научных данных, характеризующих опасность загрязнения воздушного бассейна химическими веществами, воздействующими на здоровье человека в различные сезоны года. В связи с этим авторами проведена оценка распределения концентраций поллютантов, том числе канцерогенных веществ, на территории Воронежа по данным наблюдательных постов за 2015–2019 гг. Установлены сезонные колебания концентраций поллютантов, характерные для разных функциональных зон города, в соответствии с пространственным расположением постов наблюдения за загрязнением атмосферы.

Ключевые слова: концентрация, мониторинг, уровень загрязнения атмосферы, индекс загрязнения атмосферы, антропогенные примеси, поллютанты, канцерогенные вещества.

Благодарность: исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 20-17-00172.

Для цитирования: Акимов Л.М., Акимов Е.Л. 2021. Сезонная динамика и пространственное распределение концентраций антропогенных загрязнителей в воздухе г. Воронеж. Региональные геосистемы, 45 (4): 545–557. DOI: 10.52575/2712-7443-2021-45-4-545-557

Seasonal Dynamics and Spatial Distribution of Anthropogenic Pollutants Concentrations in the Air of Voronezh

Leonid M. Akimov, Evgeniy L. Akimov

Voronezh State University,
1 University Sq., Voronezh 394018, Russia
E-mail: akl63@bk.ru

Abstract. Air pollution in large cities is an environmental factor that must be taken into account when planning economic activities, due to the negative impact on the health of citizens. Solving the problem of assessing air pollution in cities is a multifactorial task, including taking into account both anthropogenic and natural components of this process. With regard to Voronezh, there is not enough scientific data characterizing the danger of air pollution with chemicals that affect human health in different seasons of



the year. In this regard, the authors assessed the distribution of the concentrations of pollutants, including carcinogenic substances, in the territory of Voronezh according to the data of observation posts for 2015–2019. Seasonal fluctuations in the concentration of pollutants, typical for different functional zones of the city, have been established in accordance with the spatial location of monitoring posts for atmospheric pollution. It was found that in Voronezh there is a high level of atmospheric pollution with phenol, especially in summer, the concentrations of phenol are 0.012–0.013 mg/m³, which exceeds the maximum permissible concentration by 4 times.

Key words: concentration, monitoring, level of air pollution, air pollution index, anthropogenic impurities, pollutants, carcinogenic substances.

Acknowledgment: The research was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation, project № 20-17-00172.

For citation: Akimov L.M., Akimov E.L. 2021. Seasonal dynamics and spatial distribution of anthropogenic pollutants concentrations in the air of Voronezh. *Regional geosystems*, 45 (4): 545–557 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2021-45-4-545-557

Введение

Состояние атмосферного воздуха г. Воронеж, как и большинства крупных городов, его загрязненность является одним из основных факторов, влияющим на здоровье и жизнедеятельность населения.

По заявлению Ю.А. Израэля [1984], «современное состояние загрязнения атмосферного воздуха антропогенными примесями, поступающими от промышленных предприятий, топливно-энергетических объектов, аграрного комплекса, транспорта достигло уровня, угрожающего сохранению экологического равновесия природной среды». С тех пор мало что изменилось. Разработанная Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) 27 сентября 2016 в г. Женева новая модель качества воздуха ВОЗ подтверждает, что 92 % населения мира проживает в местах, где уровни качества воздуха превышают установленные ВОЗ пределы [Оценочные данные..., 2016; 2020], поэтому особое внимание природоохранных организаций направлено на обеспечение чистоты воздушного бассейна.

Результаты наблюдений за содержанием загрязняющих веществ в атмосферном воздухе г. Воронежа на 5 стационарных станциях за период с 2015 по 2019 гг. необходимы для планирования мероприятий, нацеленных на обеспечение требуемой чистоты воздушного бассейна, следовательно, и здоровья населения. Концентрация загрязняющих веществ в атмосферном воздухе зависит от большого числа факторов, поэтому необходима организация мониторинга оценки загрязнения атмосферного воздуха. Совершенствование системы мониторинга количества выбросов поллютантов в атмосферу, проведение анализа их пространственного и временного распределения, а также изучение распространения канцерогенов в атмосфере является важной и актуальной задачей исследователей на современном этапе.

В работах А.К. Сергеева с соавт. [2016], Б.А. Ревича [2018], Клепикова с соавт. [2021] отмечено, что выбросы в атмосферный воздух от промышленных предприятий и автотранспорта, несмотря на проводимые мероприятия по снижению выбросов и организацию санитарно-защитных зон, в настоящее время являются одним из значимых техногенных факторов риска для здоровья населения.

Загрязнение атмосферного воздуха мегаполисов выбросами представлено в трудах таких ученых, как Э.Ю. Безуглая с соавт. [1991; 2002; 2008], Ю.А. Израэль [1984], М.Е. Берлянд [1985], Е.Н. Кузнецова [1999], Н.И. Акинин [2011] и др.

Влияние различных метеорологических аспектов на состояние окружающей среды отобразены в работах Л.К. Исаева [1997], Л.М. Акимова с соавт. [2010; 2011; 2014], Т.О. Талалай с соавт. [2021].

Следует выделить исследования, посвященные влиянию загрязняющих веществ, на состояние здоровья населения. Этой проблематике посвящены работы Б.А. Ревича [1994], С.А. Куролапа с соавт. [2006; 2010].

Вместе с тем, несмотря на наличие большого числа публикаций по данной тематике, остается актуальным вопрос исследования пространственного распределения очагов загрязнения в связи с динамикой развития города и их сезонными особенностями, связанными с меняющимися погодными условиями.

Целью данного исследования является анализ пространственного распределения концентрации загрязняющих и канцерогенных веществ, влияющих на здоровье населения города Воронежа, а также изучение их сезонной динамики.

Объекты и методы исследования

Мониторинг за состоянием окружающей среды в Воронеже осуществляется ФГУ «Воронежский областной центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» на пяти стационарных станциях наблюдений, работающих в соответствии с требованиями РД 52.04.186-89. Станции (рис. 1) подразделяются на «промышленные», вблизи предприятий (посты № 1, 8, 9, 10) и «авто», вблизи автомагистралей в районе с интенсивным движением транспорта (пост № 7).

Посты наблюдения данного центра находятся по адресам: ул. Ростовская, 44 – пост наблюдения № 1; ул. Лебедева, 2 – пост наблюдения № 7; ул. Ворошилова, 30 – пост наблюдения № 8; ул. Л. Рябцевой, 51-Б – пост наблюдения № 9; ул. 9 Января, 49 – пост наблюдения № 10. Наблюдение за содержанием загрязняющих веществ в атмосферном воздухе осуществляется и проводится по ограниченному кругу загрязнителей: оксид углерода, диоксид серы, диоксид азота, взвешенные вещества, формальдегид, фенол.

В статье представлены результаты анализа фактических ежедневных данных наблюдений стационарных постов г. Воронежа за содержанием загрязняющих веществ в атмосферном воздухе за период с 2015 по 2019 гг. Общий объем выборки составил более 1800 случаев.

В табл. 1 приведены максимальные разовые ПДК и среднесуточные ПДК по ряду наиболее распространенных загрязняющих веществ для большинства городов и регионов России.

Для оценки уровня загрязнения атмосферы использовался интегральный показатель загрязнения атмосферы (ИЗА). Расчет ИЗА осуществляется как сумма парциальных индексов загрязнения, по шести основным загрязнителям, представленным в табл. 1, по формуле:

$$\text{ИЗА} = \sum_{j=1}^m I_{\Pi j},$$

где j – порядковый номер вещества; m – число веществ; $I_{\Pi j}$ – индекс загрязнения атмосферы отдельной примесью (парциальный индекс).



Рис. 1. Схема расположения стационарных постов мониторинга атмосферного воздуха в г. Воронеже
 Fig. 1. Layout of stationary atmospheric air monitoring posts in Voronezh

Таблица 1
 Table 1

Значения среднесуточных ПДК_{СС} и максимальных разовых ПДК_{МР} (мг/м³)
 Values of average daily MPC_{SS} and maximum one-time MPC_{MR} (mg/m³)

Вещество	Класс вредности	Максимальная разовая ПДК _{МР} (мг/м ³)	Среднесуточная ПДК _{СС} (мг/м ³)
Углерода оксид	4	3,0	1,0
Серы диоксид	3	0,5	0,05
Азота диоксид	2	0,85	0,04
Пыль нетоксичная	3	0,5	0,15
Формальдегид	2	0,035	0,05
Фенол	2	0,01	0,003

Критерии уровня загрязнения атмосферного воздуха, а также формула расчета индекса ИЗА рекомендованы в гигиенических нормативах ГН 2.1.6.3492-17 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений», утвержденные Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации с изменениями и дополнениями от 31 мая 2018 г. [Об утверждении..., 2017] (табл. 2).

Таблица 2
Table 2Критерии зон экологического риска (среднегодовые значения ИЗА)
Criteria for environmental risk zones (average annual API values)

Критерий риска	Индекс загрязнения атмосферы (ИЗА)
Опасный	11,12
Вызывающий опасение	10,14
Вызывающий беспокойство	8,39
Предельно допустимый	5,47
Допустимый	4,32

Результаты и их обсуждение

В Воронеже находится большое количество как стационарных, так и подвижных источников загрязнения воздушного бассейна. Область распространения загрязнения, пыли и канцерогенных веществ обусловлена, в основном, особенностями городской застройки.

По информации ГУ «Воронежский ЦГМС», индекс суммарного загрязнения воздуха Воронежа, рассчитанный по 17 ингредиентам, в 2019 г. увеличился по отношению к 2018 г. и составил 10,9 [Доклад о природоохранной..., 2020]. Увеличение концентраций загрязняющих веществ наблюдалось по пыли, окиси азота, формальдегида в районе промышленного узла ТЭЦ-1, ОАО «Воронежсинтезкаучук» (ПНЗ № 7, ул. Лебедева, 2). В результате анализа проб атмосферного воздуха на стационарных постах наблюдения и пяти маршрутных точках, превышение максимально-разовых концентраций в воздухе города достигали по пыли – 4,4 ПДК, по оксиду углерода – 2,8 ПДК, по диоксиду азота – 1,3 ПДК, по формальдегиду – 1,2 ПДК. Наибольшее увеличение средних концентраций загрязняющих веществ наблюдалось в теплый период года. Валовый выброс загрязняющих веществ по районам Воронежа за 2019 г. от стационарных источников представлен на рис. 2.

Из анализа рис. 2 видно, что наибольшая концентрация загрязнений наблюдается в Левобережном районе Воронежа. За период 2017–2019 гг. кратность превышения ПДК_{сс} загрязняющих веществ в атмосферном воздухе Воронежа составила от 1,1 до более 5,0 раз. Доля проб атмосферного воздуха по приоритетным веществам (%) по годам (2017, 2018, 2019 гг.), превышающая 1,0–2,0 ПДК_{сс} с учетом динамики показателя к 2015 г. составила по азоту диоксиду – 5,2; 8,8; 2,6 (понижение); взвешенные вещества – 3,8; 3,1; 3,4 (понижение); фенол – 2,1; 1,5; 1,5 (понижение); озон – 4,0; 12,0; 4,0 (понижение–повышение); серы диоксид – 0,9; 0,8; 0,0 (понижение); углерода оксид – 0,0; 3,8; 0,8 (повышение); формальдегид – 0,0; 0,38; 1,1 (повышение); стирол – 2,5; 7,5; 0,0 (понижение).

Наблюдается устойчивая тенденция увеличения доли проб воздуха, не отвечающих гигиеническим нормативам: превышение норм ПДК в 1,0–2,0 раза по формальдегиду, углерода оксиду, и более 2,1–5,0 ПДК по озону. Наибольший уровень загрязнения, оказываемый на население города, вносят диоксид азота, взвешенные вещества и фенол.

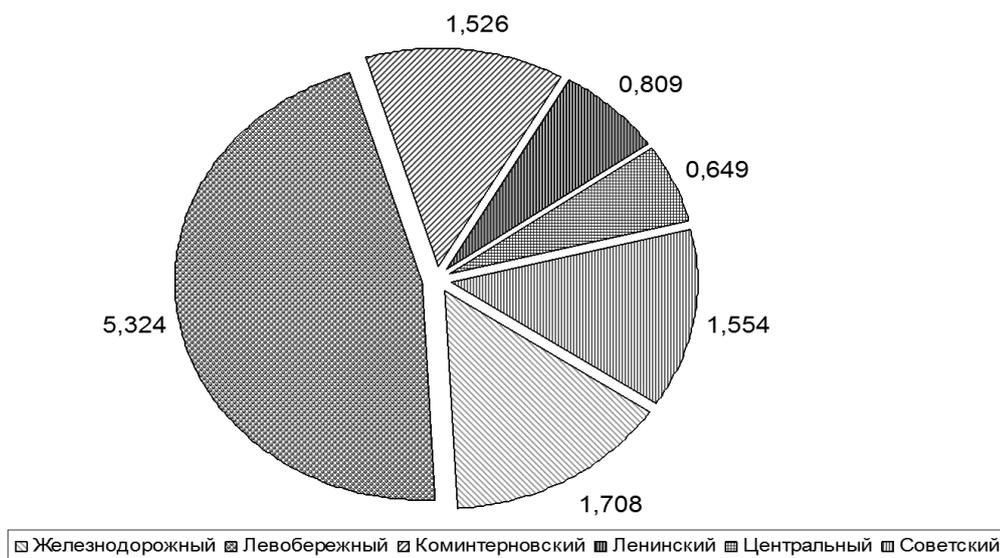


Рис. 2. Валовой выброс загрязняющих веществ от стационарных источников по различным районам Воронежа за 2019 г. (млн. т/год)
 Fig. 2. Gross emission of pollutants from stationary sources in various districts of Voronezh in 2019 (mln.t/year)

При анализе выборки исходного материала для каждого исследуемого года были определены средние за сезон значения концентрации загрязняющих веществ. Полученные результаты стали основой анализа сезонной динамики распределения поллютантов в воздушном бассейне Воронежа в течение года, за период 2015–2019 гг. Установлено, что Воронеж сильно запылен, наибольшая за сезон концентрация загрязнения пылью ($0,31 \text{ мг/м}^3$) приходится на летний период. Затем следуют весенний ($0,26 \text{ мг/м}^3$), осенний ($0,25 \text{ мг/м}^3$) и зимний ($0,22 \text{ мг/м}^3$) периоды. Зимой, а также в начале весны, земля находится под снежным покровом, препятствующим загрязнению окружающей среды пылью. Основным источником пыли в зимний период являются автомобильные дороги, очищенные от снега. В осенний период дожди выпадают чаще, чем весной, поэтому уровень запыленности осенью немного ниже, чем весной. Высокий уровень запыленности в летний период объясняется как природными, так и антропогенными факторами. На территории Центрального Черноземья наблюдается тенденция усиления засушливости климата на фоне высоких температур, что способствует увеличению концентрации пыли в воздухе. Дополнительно к этим факторам, в Воронеже активно ведется строительство и наблюдается интенсивное автомобильное движение. Также в летний период на территории Воронежа преобладает антициклональный тип погоды, малооблачный и со слабыми ветрами, способствующими скоплению пыли, переносимой автотранспортом.

Анализ средней концентрации пыли по различным сезонам года на постах наблюдений Воронежа, представленный в табл. 3, свидетельствует о высоком её уровне, особенно в теплый период года (летом и осенью).

Наиболее высокие значения ПДК отмечаются на постах № 7 (ул. Лебедева, 2) и № 1 (ул. Ростовская, 44), соответственно $0,24$ и $0,22 \text{ мг/м}^3$, что объясняется их расположением вблизи автомагистралей с интенсивным движением транспорта, а также наличием развитой промышленной зоны. На постах № 8, 9, 10 концентрация пыли в зимний период не превышает ПДК, незначительное превышение наблюдается в теплый период.

Результаты наблюдений средних сезонных концентраций двуокиси серы (SO_2) за период 2015–2019 гг. позволили установить, что максимум приходится на зимний период, значительные превышения наблюдались в 2017 г., когда средняя за сезон концентрация

превышала ПДК в 1,5 раза и составляла 0,085 мг/м³. В остальные сезоны года уровень загрязнения находится в пределах 0,023–0,024 мг/м³.

Таблица 3
Table 3

Распределение средней концентрации пыли (мг/м³) на территории Воронежа по различным сезонам года за период 2015–2019 гг.
Distribution of the average dust concentration (mg/m³) on the territory of Voronezh by different seasons of the year for the period 2015–2019

Сезон	Пост № 7	Пост № 8	Пост № 9	Пост № 10	Пост № 1
Зима	0,21	0,13	0,13	0,14	0,16
Весна	0,22	0,15	0,14	0,15	0,17
Лето	0,24	0,16	0,15	0,16	0,22
Осень	0,22	0,14	0,15	0,14	0,15

Сернистый ангидрид (SO₂) образуется, в основном, при сжигании серосодержащих веществ на воздухе. Резкий скачок выбросов сернистого ангидрида (SO₂) происходит в зимний период за счет сжигания топлива отопительными системами, котельными и другими предприятиями. Средние концентрации сернистого ангидрида (SO₂) на стационарных постах Воронежа в различные сезоны года представлены в табл. 4.

Таблица 4
Table 4

Распределение средней концентрации сернистого ангидрида (мг/м³) в различные сезоны года за период 2015–2019 гг.
Distribution of the average concentration of sulfur dioxide (mg/m³) in different seasons of the year for the period 2015–2019

Сезон	Пост № 7	Пост № 8	Пост № 9	Пост № 10	Пост № 1
Зима	0,085	0,054	0,054	0,073	0,100
Весна	0,070	0,060	0,070	0,059	0,078
Лето	0,070	0,060	0,065	0,060	0,062
Осень	0,081	0,061	0,072	0,061	0,076

Из анализа табл. 4 следует, что наибольшая концентрация диоксида серы SO₂ в атмосфере Воронежа наблюдается в холодный осенне-зимний период года, о чем свидетельствует превышение ПДК в 1,5–2 раза. Наибольшая концентрация сернистого ангидрида наблюдается зимой на посту № 1 (ул. Ростовская, 44) и составляет 0,1 мг/м³, т.е. вдвое превышает ПДК. На постах наблюдения № 8 и 9 средняя за сезон концентрация сернистого ангидрида в зимний период находится в пределах ПДК, но в переходный период (весна, осень) происходит ее увеличение в 1,4 раза. Также превышения более 1,5 ПДК наблюдаются на посту № 7 осенью и зимой.

Анализ средних сезонных концентраций углекислого газа за период 2015–2019 гг. позволил установить, что повышенное значение углекислого газа в весенне-летний период (весна – 0,028 мг/м³; лето – **0,047** мг/м³; осень – 0,01 мг/м³) обусловлено увеличением сгорания различных видов топлива при использовании автомобильного транспорта. Результаты данных постов наблюдений за концентрацией углекислого газа в г. Воронеже в различные сезоны года представлены в табл. 5.



Таблица 5
Table 5

Распределение средней концентрации оксида углерода (мг/м^3) по различным сезонам года за период 2015–2019 гг.
Distribution of the average concentration of carbon monoxide (mg/m^3) for different seasons for the period 2015–2019

Сезон	Пост № 7	Пост № 8	Пост № 9	Пост № 10	Пост № 1
Зима	0,019	0,013	0,014	0,014	0,016
Весна	0,021	0,016	0,015	0,016	0,019
Лето	0,022	0,017	0,016	0,017	0,018
Осень	0,024	0,016	0,016	0,016	0,019

Наибольшая концентрация оксида углерода (см. табл. 5) наблюдается в теплый сезон года. На правом берегу Воронежа (пост № 9 на ул. Л. Рябцевой, 51-Б, пост № 10 на ул. 9 Января, 49 и пост № 8 на ул. Ворошилова, 30) летом концентрация оксид углерода составляет $0,016\text{--}0,017 \text{ мг/м}^3$, на левом берегу (пост № 7 на ул. Лебедева, 2) осенью – $0,024 \text{ мг/м}^3$, (пост № 1 на ул. Ростовская, 44) весной и осенью – $0,019 \text{ мг/м}^3$. Наибольшая концентрация оксида углерода в течение года наблюдается на посту № 7 на ул. Лебедева, 2.

Диоксид азота образуется в основном при окислении оксида азота в атмосферном воздухе, при этом его количество, поступающее в атмосферу, практически постоянно. В зимний период небольшое превышение нормы ($0,047 \text{ мг/м}^3$), наблюдаемое за исследуемый период, обусловлено сжиганием топлива отопительными системами. В остальные сезоны года средняя концентрация двуокиси азота находилась в пределах ПДК. Результаты анализа данных постов наблюдений за концентрацией двуокиси азота по различным сезонам года представлены в табл. 6.

Таблица 6
Table 6

Средняя концентрация диоксида азота (мг/м^3) по различным сезонам года за период 2015–2019 гг.
The average concentration of nitrogen dioxide (mg/m^3) for different seasons of the year for the period 2015–2019

Сезон	Пост № 7	Пост № 8	Пост № 9	Пост № 10	Пост № 1
Зима	0,067	0,047	0,049	0,048	0,054
Весна	0,070	0,047	0,050	0,048	0,053
Лето	0,072	0,049	0,050	0,050	0,055
Осень	0,070	0,048	0,051	0,049	0,053

Наибольшая концентрация диоксида азота на территории Воронежа (см. табл. 6) наблюдается в теплый сезон года. На правобережье Воронежа (посты № 8–10) в течение года, особенно летом, наблюдается незначительное превышение ПДК, концентрация диоксида азота составляет $0,049\text{--}0,051 \text{ мг/м}^3$. На левом берегу концентрация диоксида азота значительно выше, особенно на посту № 7 (ул. Лебедева, 2), и составляет в течение года $0,055\text{--}0,072 \text{ мг/м}^3$ с максимальными значениями концентрации диоксида азота летом. На посту № 7 концентрация диоксида азота в течение года составляет 1,5 ПДК, а на постах № 8, 9, 10 наблюдается небольшое превышение.

Фенол является мощным источником загрязнения атмосферного воздуха города Воронежа, вызванным антропогенным фактором. Производство асфальтобетона, машиностроительное производство, нефтедобывающие, коксохимические, металлургические за-

воды являются основными источниками поступления фенола в атмосферный воздух [Безуглая, Смирнова, 2008].

Результаты анализа средних сезонных концентраций фенола за период 2015–2019 гг. указывают на то, что наблюдаются колебания концентраций с максимумом зимой (0,0052 мг/м³) и осенью (0,0056 мг/м³), и минимумом весной – 0,0028 мг/м³ и летом – 0,0124 мг/м³. При этом средние сезонные концентрации фенола в осенне-зимний период составляют 1,7 ПДК, а весной и летом не превышают ПДК, что, очевидно, обусловлено сезонной работой предприятий, являющихся источником выбросов фенола. Результаты распределения концентрации фенола по сезонам представлены в табл. 7.

Таблица 7
Table 7

Средняя концентрация фенола (мг/м³) по различным сезонам года за период 2015–2019 гг.
The average concentration of phenol (mg/m³) for different seasons of the year for the period 2015–2019

Сезон	Пост № 7	Пост № 1
Зима	0,011	0,010
Весна	0,012	0,011
Лето	0,013	0,012
Осень	0,012	0,011

В Воронеже наблюдается высокий уровень загрязнения атмосферы фенолом, особенно летом. На постах № 1 (ул. Ростовская, 44) и № 7 (ул. Лебедева, 2) концентрации фенола составляют 0,012–0,013 мг/м³, что превышает предельно допустимую концентрацию в 4 раза.

Формальдегид образуется в результате фотохимических реакций и процессов трансформации органических соединений. Автомобильный транспорт, химические предприятия, деревообрабатывающие фабрики (фанера, ДСП и ДВП, МДФ), мусоросжигательные заводы другие продукты горения – все это источники формальдегида в наружном воздухе [Безуглая, Смирнова, 2008].

Формальдегид представляет собой высоко опасное отравляющее вещество, влияющее больше всего на зрение, он внесен в список канцерогенов, резко повышающих риск заболевания раком. В табл. 8 представлены результаты мониторинга формальдегида в Воронеже в различные сезоны года.

Таблица 8
Table 8

Средняя концентрация формальдегида (мг/м³) по различным сезонам года за период 2015–2019 гг.
The average concentration of formaldehyde (mg/m³) for different seasons of the year for the period 2015–2019

Сезон	Пост № 7	Пост № 8	Пост № 10
Зима	0,054	0,089	0,045
Весна	0,050	0,087	0,049
Лето	0,061	0,097	0,056
Осень	0,060	0,095	0,054

Анализ многолетнего распределения средних сезонных концентраций формальдегида за период 2015–2019 гг. позволил установить, что средний уровень формальдегида в течение года превышает ПДК и колеблется в пределах от 0,051 мг/м³ летом до 0,059 мг/м³ осенью, а весной и зимой находится примерно на одном уровне – 0,053–0,055 мг/м³. Колебания в отдельные годы, видимо, определены непериодичностью работы предприятий,



которые производят эти выбросы. Распределение концентрации формальдегида в различные сезоны года представлено в табл. 8.

Анализ табл. 8 показывает, что в летний период на посту № 8 (ул. Ворошилова, 30) наблюдается наибольшая концентрация формальдегида – 0,097 мг/м³, что превышает ПДК в 2 раза. На посту № 9 (ул. Л. Рябцевой, 51-Б) наблюдаются наиболее низкие концентрации формальдегида – 0,056 мг/м³, что незначительно превышает ПДК. В Воронеже концентрация формальдегида в два раза больше нормы.

Исследование особенностей пространственного распределения поллютантов в воздушном бассейне Воронежа в течение года проводилось на основании расчета средних по месяцам значений ИЗА, результаты вычислений которых представлены в табл. 9.

Таблица 9

Table 9

Среднемесячные значения ИЗА на территории Воронежа
Average monthly values of API of Voronezh

Месяц	ИЗА				
	Пост № 1	Пост № 7	Пост № 8	Пост № 9	Пост № 10
Январь	8,5	15,8	7,6	5,3	7,5
Февраль	10,5	16,3	7,9	5,5	8,2
Март	9,2	14,8	6,7	5,1	7,1
Апрель	13,6	16,5	9,1	6,2	9,2
Май	12,7	17,7	9,3	6,6	9,3
Июнь	11,5	19,9	9,4	6,3	9,6
Июль	14,2	22,8	10,6	6,2	11,3
Август	11,8	19,5	9,1	5,7	9,8
Сентябрь	13,1	22,5	10,6	6,3	12,5
Октябрь	8,8	15,4	7,8	4,8	7,9
Ноябрь	8,5	13,3	7,3	4,6	7,3
Декабрь	10,3	17,5	8,2	5,7	8,8

Анализ табл. 9 осуществлялся на основании критериев риска, представленных в табл. 2, согласно которым значения ИЗА от 11,1 и выше соответствуют критерию риска «опасный», выше 10,1 – «вызывающий опасение», выше 8,4 – «вызывающий беспокойство» соответственно.

На посту № 1 (ул. Ростовская, 44), согласно результатам, представленным в табл. 8, в теплый период года, с апреля по сентябрь, уровень индекса ИЗА превышает значение 11,1, что соответствует критерию «Опасный». Уровни ИЗА в декабре (10,3) и феврале (10,5) соответствуют критерию «Вызывающий опасение», в ноябре (8,5) и январе (8,5) – «Вызывающий беспокойство». Значения индекса ИЗА на посту № 7 (ул. Лебедева, 2), где сосредоточены предприятия ТЭЦ-1, ОАО «Воронежсинтезкаучук», ЗАО «Воронежский шинный завод» и проходит автомагистраль с интенсивным движением автотранспорта, в течение всего года в 1,5–2,0 раза превышали критериальные значения уровня «Опасный». Значения ИЗА, характеризующие состояние воздушного бассейна на посту № 8 (ул. Ворошилова, 30), в течение года находились в пределах 7,7–9,3, что соответствовало уровню критерия «Вызывающий беспокойство», за исключением июля (ИЗА = 10,4) и сентября (ИЗА = 10,5), когда наблюдался уровень индекса ИЗА «Вызывающий опасение». Значения ИЗА на посту № 9 (ул. Л. Рябцевой, 51-Б) в течение года не превышают критерий «Предельно допустимый», что свидетельствует о наиболее благоприятном состоянии воздушного бассейна. На посту № 10 (ул. 9 Января, 49) значения ИЗА в течение года находятся в пределах критерия «Вызывающий беспокойство», за исключением июля и сентября, когда наблюдается уровень ИЗА – «Опасный».

Заключение

Проведенный анализ результатов данных постов наблюдений на территории Воронежа свидетельствует о высоком уровне загрязненности атмосферного воздуха. Выявленные тенденции сезонных колебаний концентраций загрязняющих веществ свидетельствуют об их связи с погодными условиями и функциональными особенностями инфраструктуры города. Наибольшая концентрация диоксида азота наблюдается в холодный период, пыли – летом, особенно при высоких температурах. В распределении концентрации пыли важную роль играет циркуляция атмосферы. Преобладание антициклонального типа погоды с малооблачной, тихой погодой и мощной инверсией способствует накоплению взвешенных частиц у поверхности земли. При этом стоит отметить, что в течение года каждый из рассмотренных поллютантов превышает ПДК хотя бы на одном посту наблюдения. Установлено, что наибольшая концентрация загрязняющих веществ наблюдается в районе размещения поста наблюдения № 7 (ул. Лебедева, 2). В течение всего года показатели загрязнения в 1,5–2,0 раза превышали критериальные значения уровня ИЗА – «Опасный». Наиболее благоприятное состояние воздушного бассейна наблюдается на посту № 9 (ул. Л. Рябцевой, 51-Б), где значения ИЗА в течение года не превышают уровень «Предельно допустимый».

Список источников

1. Акинин Н.И. 2011. Промышленная экология: принципы, подходы, технические решения. Долгопрудный, Издательский дом «Интеллект», 312 с.
2. Загрязнение атмосферного воздуха. 2021. Всемирная организация здравоохранения. URL: [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health) (дата обращения: 18 сентября 2021).
3. ВОЗ публикует оценочные данные (с разбивкой по странам) по воздействию загрязнения воздуха на здоровье человека. 2016. Всемирная организация здравоохранения. URL: <https://www.who.int/news/item/27-09-2016-who-releases-country-estimates-on-air-pollution-exposure-and-health-impact> (дата обращения: 18 сентября 2021).
4. Доклад о природоохранной деятельности городского округа город Воронеж в 2019 году. 2020. Управление экологии администрации городского округа город Воронеж. Воронеж, 53 с.
5. Об утверждении гигиенических нормативов ГН 2.1.6.3492-17 "Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений: Постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 22.12.2017 г. № 165. URL: <https://docs.cntd.ru/document/556185926> (дата обращения: 18 сентября 2021).

Список литературы

1. Акимов Л.М. 2010. Анализ временного распределения средних концентраций антропогенных примесей в Воронеже с учетом от климатических показателей. В кн.: Экология регионов. III Юбилейная международная научно-практической конференция, 31 декабря – 01 января 2010 г., Владимир, Владимирский государственный университет: 8–12.
2. Акимов Л.М., Якушев А.Б., Куролап С.А. 2011. Геоэкологическая оценка загрязнения воздушного бассейна города Воронежа автотранспортом в зависимости от состояния атмосферы. Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология, 2: 158–165.
3. Акимов Л.М., Виноградов П.М., Акимов Е.Л. 2014. Комплексная оценка экологической обстановки с учетом состояния атмосферы и функционально-планировочной структуры города. Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология, 4: 57–67.
4. Безуглая Э.Ю., Смирнова И.В. 2008. Воздух городов и его изменения. СПб., Астерион, 253 с.
5. Безуглая Э.Ю., Смирнова И.В. 2002. Проблемы загрязнения воздуха. Крупнейшие города России. Инженерные системы АВОК-Северо-Запад, 3: 35–36.



6. Безуглая Э.Ю., Расторгуева Г.П., Смирнова И.В. 1991. Чем дышит промышленный город. Ленинград, Гидрометеоздат, 251 с.
7. Берлянд М.Е. 1985. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы. Ленинград, Гидрометеоздат, 272 с.
8. Израэль Ю.А. 1984. Экология и контроль состояния природной среды. Ленинград, Гидрометеоздат, 380 с.
9. Исаев Л.К. 1997. Воздействие на организм человека опасных и вредных экологических факторов. В 2 т. Том 1. Метеорологические аспекты. Москва, ПАИМС, 512 с.
10. Кузнецова Е.Н. 1999. О состоянии окружающей природной среды г. Воронежа в 1998 г. Воронеж, Воронежский Государственный Университет, 71 с.
11. Куролап С.А., Епинцев С.А., Клепиков О.В., Федотов В.И., Стёпкин Ю.И., Мамчик Н.П., Корыстин С.С. 2010. Воронеж: среда обитания и зоны экологического риска. Воронеж, Истоки, 207 с.
12. Куролап С.А., Мамчик Н.П., Клепиков О.В. 2006. Оценка риска для здоровья населения при техногенном загрязнении городской среды. Воронеж, Воронежский Государственный Университет, 220 с.
13. Клепиков О.В., Куролап С.А., Седых В.А. 2021. Мониторинг и оценка канцерогенных рисков для здоровья населения города Липецка, обусловленных загрязнением атмосферного воздуха. Региональные геосистемы, 45 (2): 236–245. DOI: 10.52575/2712-7443-2021-45-2-236-245.
14. Ревич Б.А., Демин А.К., Буштуева К.А. 1994. Здоровье населения и химическое загрязнение окружающей среды. Москва, Центр экологической политики России, 83 с.
15. Ревич Б.А. 2018. Качество атмосферного воздуха в мегаполисах и риски здоровью населения. В кн.: Человек в мегаполисе: опыт междисциплинарного исследования. Под ред. Б.А. Ревича, О.В. Кузнецовой. М., ЛЕНАНД: 214–225.
16. Сергеев А.К., Сучков В.В., Анисимов В.Н. 2016. Комплексная оценка риска здоровью населения при воздействии загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городского округа Самара. Смоленский медицинский альманах, 1: 213–216.
17. Талалай Т.О., Лебедева М.Г., Крымская О.В., Крымская А.А. 2021. Содержание загрязняющих веществ в атмосфере города Белгорода в различных синоптических условиях. Региональные геосистемы, 45 (1): 107–117. DOI: 10.52575/2712-7443-2021-45-1-107-117.

References

1. Akimov L.M. 2010. Analiz vremennogo raspredeleniya srednih koncentracij antropogennyh primesej v Voronezhe s uchetom ot klimaticeskikh pokazatelej [Analysis of the temporal distribution of average concentrations of anthropogenic impurities in Voronezh, taking into account climatic indicators]. In: Ekologiya regionov [Ecology of regions]. III Anniversary International Scientific and Practical Conference, 31 December – 01 January 2010, Vladimir, Publ. Vladimir State University: 8–12.
2. Akimov L.M., Yakushev A.B., Kurolap S.A. 2011. Ecological Assessment of Air Pollution by Automobiles, Depending on the State of the Atmosphere of the City of Voronezh. Proceedings of Voronezh State University. Series: Geography. Geoecology, 2: 158–165 (in Russian).
3. Akimov L.M., Vinogradov P.M., Akimov E.L. 2014. Comprehensive Ecological Assessment with Account of Atmosphere State, Functional and Planning Structure of the City. Proceedings of Voronezh State University. Series: Geography. Geoecology, 4: 57–67 (in Russian).
4. Bezuglaya E.Yu., Smirnova I.V. 2008. Vozduh gorodov i ego izmeneniya [The air of cities and its changes]. St. Petersburg, Publ. Asterion, 253 p.
5. Bezuglaya E.Yu., Smirnova I.V. 2002. Problemy zagryazneniya vozduha. Krupnejshie goroda Rossii [Air pollution problems. Largest cities in Russia]. Inzhenernye sistemy AVOK-Severo-Zapad, 3: 35–36.
6. Bezuglaya E.Yu., Rastorgueva G.P., Smirnova I.V. 1991. Chem dyshit promyshlennyj gorod [What an industrial city breathes]. Leningrad, Publ. Gidrometeoizdat, 251 p.
7. Berlyand M.E. 1985. Prognoz i regulirovanie zagryazneniya atmosfery [Prediction and regulation of air pollution]. Leningrad, Publ. Gidrometeoizdat, 272 p.
8. Izrael' Yu.A. 1984. Ekologiya i kontrol' sostoyaniya prirodnoj sredy [Ecology and control of the state of the natural environment]. Leningrad, Publ. Gidrometeoizdat, 380 p.

9. Isaev L.K. 1997. Vozdejstvie na organizm cheloveka opasnyh i vrednyh ekologicheskikh faktorov. [The impact on the human body of hazardous and harmful environmental factors]. In 2 vol. Volume 1. Meteorological aspects]. Moscow, Publ. PAIMS, 512 p.
10. Kuznecova E.N. 1999. O sostoyanii okruzhayushchej prirodnoj sredy g. Voronezha v 1998 g. [On the state of the natural environment in Voronezh in 1998 Voronezh]. Voronezh, Publ. Voronezhskiy Gosudarstvennyy Universitet, 71 p.
11. Kurolap S.A., Epincev S.A., Klepikov O.V., Fedotov V.I., Styopkin Yu.I., Mamchik N.P., Korystin S.S. 2010. Voronezh: sreda obitaniya i zony ekologicheskogo riska [Voronezh: habitat and environmental risk zones]. Voronezh, Publ. Istoki, 207 p.
12. Kurolap S.A., Mamchik N.P., Klepikov O.V. 2006. Ocenka riska dlya zdorov'ya naseleniya pri tekhnogenom zagryaznenii gorodskoj sredy [Assessment of the risk to public health in case of technogenic pollution of the urban environment]. Voronezh, Publ. Voronezhskiy Gosudarstvennyy Universitet, 220 p.
13. Klepikov O.V., Kurolap S.A., Sedykh V.A. 2021. Monitoring and assessment of carcinogenic risks for the health of the population of the city of Lipetsk, caused by air pollution. *Regional Geosystems*, 45 (2): 236–245 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2021-45-2-236-245.
14. Revich B.A., Demin A.K., Bushtueva K.A. 1994. Zdorov'e naseleniya i himicheskoe zagryaznenie okruzhayushchej sredy [Public health and chemical pollution of the environment]. Moscow, Publ. Centr ekologicheskoi politiki Rossii, 83 p.
15. Revich B.A. 2018. Kachestvo atmosfernogo vozduha v megapolisah i riski zdorov'yu naseleniya [Ambient air quality in megacities and public health risks]. In: *Chelovek v megapolise: opyt mezhdisciplinarnogo issledovaniya* [A person in a metropolis: an experience of interdisciplinary research]. Ed. B.A. Revicha, O.V. Kuznecovoj. Moscow, Publ. LENAND: 214–225.
16. Sergeev A.K., Suchkov V.V., Anisimov V.N. 2016. Complex Assessment of Population Health Risk Exposed to Pollutants in Atmospheric Air in Samara. *Smolenskij medicinskij al'manah*, 1: 213–216 (in Russian).
17. Talalay T.O., Lebedeva M.G., Krymskaya O.V., Krymskaya A.A. 2021. The content of pollutants in the atmosphere of the city of Belgorod in various weather conditions. *Regional Geosystems*, 45 (1): 107–117 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2021-45-1-107-117.

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

Акимов Леонид Мусамудинович, кандидат географических наук, доцент, зав. кафедрой природопользования факультета географии, геоэкологии и туризма Воронежского государственного университета, г. Воронеж, Россия

Акимов Евгений Леонидович, кандидат географических наук, преподаватель кафедры природопользования факультета географии, геоэкологии и туризма Воронежского государственного университета, г. Воронеж, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Leonid M. Akimov, candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of nature management, Faculty of Geography, Geoecology and Tourism of the Voronezh State University, Voronezh, Russia

Evgeniy L. Akimov, candidate of Geographical Sciences, Cand. Sci. (Geogr), lecture of nature management, Department of geography, geoecology and tourism of the Voronezh State University, Voronezh, Russia



УДК 504.05:581.151 (470.322)
DOI 10.52575/2712-7443-2021-45-4-558-575

Изменение морфометрических параметров листовых пластинок *Populus italica* (Du Roi) Moench под влиянием эмиссии загрязняющих веществ промышленных предприятий

Клевцова М.А., Михеев А.А.

Воронежский государственный университет,
Россия, 394018, г. Воронеж, Университетская пл., 1
E-mail: klevtsova@geogr.vsu.ru

Аннотация. Биоиндикация состояния урбанизированной среды является наиболее актуальной в крупных промышленных центрах. Липецк – центр металлургической промышленности, характеризующиеся высокой эмиссией загрязняющих веществ. Выявлено изменение экологического состояния насаждений древесных растений в зоне влияния промышленных выбросов. Определены основные морфометрические показатели листовых пластинок тополя итальянского (*Populus italica* (Du Roi) Moench): длина, ширина, площадь, флуктуирующая асимметрия. В исследованиях использована методика В.М. Захарова, а также собственные методические разработки по определению площади листьев. Выявлено уменьшение размеров листовых пластинок и увеличение флуктуирующей асимметрии в зоне влияния промышленных выбросов металлургического комбината, а также цементного завода. Высокие значения интегрального показателя флуктуирующей асимметрии зафиксированы и на крупных перекрестках магистральных улиц. Полученные нами результаты согласуются с данными официальных служб в области мониторинга атмосферного воздуха.

Ключевые слова: биоиндикация, зеленые насаждения, *Populus italica* (Du Roi) Moench, морфометрические показатели, загрязняющие вещества, промышленные предприятия.

Благодарности: исследования проведены при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект 20-17-00172.

Для цитирования: Клевцова М.А., Михеев А.А. 2021. Изменение морфометрических параметров листовых пластинок *Populus italica* (Du Roi) Moench под влиянием эмиссии загрязняющих веществ промышленных предприятий. Региональные геосистемы, 45 (4): 558–575. DOI: 10.52575/2712-7443-2021-45-4-558-575

The Change in the Morphometric Parameters of Leaves *Populus italica* (Du Roi) Moench Under the Influence of Emissions of Pollutants of Industrial Enterprises

Marina A. Klevtsova, Alexey A. Mikheev
Voronezh State University,
1 Universitetskaya Sq., Voronezh 394018, Russia
E-mail: klevtsova@geogr.vsu.ru

Abstract. In the conditions of large industrial centers, stressful conditions for the growth of plants are formed. In particular, the assessment of the impact of the emission of pollutants from metallurgical enterprises is an urgent problem for the city of Lipetsk. The change in the ecological state of woody plantations under the influence of industrial emissions has been revealed. The diagnostics of responses of

green spaces to a complex of environmental factors was carried out. The indicator species was the *Populus italica* (Du Roi) Moench. The research used the technique of V.M. Zakharova, as well as their own methodological developments for determining the area of leaves. A decrease in the morphometric parameters of leaf in the zone of influence of industrial emissions has been established. The index of fluctuating asymmetry also increases with an increase in the intensity of stress factors. Significant deviations from the norm are also noted at the intersection of large main streets. Our results are consistent with the data of official services in the field of atmospheric air monitoring.

Keywords: bioindication, green spaces, *Populus italica* (Du Roi) Moench, morphometric indicators, pollutants, industrial enterprises.

Acknowledgements: the research was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation, project 20-17-00172.

For citation: Klevtsova M.A., Mikheev A.A. 2021. The Change in the Morphometric Parameters of Leaves *Populus italica* (Du Roi) Moench Under the Influence of Emissions of Pollutants of Industrial Enterprises. Regional geosystems, 45 (4): 558–575 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2021-45-4-558-575

Введение

Промышленные предприятия выступают источником повышенной экологической опасности в силу эмиссии загрязняющих веществ в окружающую среду. Практически все современные города России являются центрами тех или иных производств. Однако экологическая обстановка будет во многом зависеть от категории опасности предприятия и токсичности его выбросов. Наличие совершенных систем очистки и замкнутых циклов производства позволяет минимизировать отрицательные эффекты для населения и природного комплекса города. Тем не менее, в ряде регионов экологическая обстановка остается довольно напряженной.

К наиболее опасным с экологической точки зрения относятся металлургические комплексы. Так, на долю черной металлургии в России приходится $\frac{1}{4}$ всех выбросов пыли и оксида углерода, $\frac{1}{2}$ выбросов оксида серы. В целом очень широк спектр загрязняющих веществ, в частности в значительных количествах содержится сероводород, углеводороды, тяжелые металлы (более 60 ингредиентов) [Алборов и др., 2013].

При этом древесные растения в городской среде являются эффективным средством снижения загрязнения окружающей среды за счет поглощения и нейтрализации атмосферных токсикантов. Тем не менее, поглощая загрязняющие вещества, растения испытывают стресс, который приводит в конечном итоге к ухудшению жизненного состояния, снижению продолжительности жизни и преждевременному их отмиранию.

В связи с этим биоиндикационные исследования являются неотъемлемым аспектом экологического мониторинга. Нестабильность развития организма отражает его неспособность развиваться в неблагоприятных условиях окружающей среды. Анализ флуктуирующей асимметрии основан на диагностике случайных отклонений от идеальной симметрии у билатеральных структур (например, листовых пластинок) [Graham et al., 2010]. Стрессовые условия влияют на гомеостаз растений, и парные органы растут с заметными различиями при двусторонней симметрии [Parsons, 1992]. Например, флуктуирующая асимметрия связана с загрязнением [Kozlov et al., 1996], затенением [Puerta-Piñero et al., 2008], характеристиками почвы [Cornelissen, Stiling, 2011] и различием в питательных веществах для растений [Santos et al., 2013]. Во всех этих примерах у растений, развивающихся в неблагоприятной среде обитания, фиксировались высокие уровни асимметрии в зависимости от стрессовых условий.

Анализ литературных источников показал, что довольно много публикаций посвящено изучению состояния древесных растений. В следующих работах объектом исследования



являются представители рода *Populus* L.: пирамидальные формы тополя белого (*Populus alba* L.) на территории Нижегородской области [Бессчетнов, Бессчетнова, 2019], тополя пирамидального (*Populus pyramidalis* Borkh.) в Воронеже [Клевцова, Виноградов, 2015], тополя бальзамического (*Populus balsamifera* L.) в Красноярске и Назарово [Коротченко и др., 2020], Ачинске [Коротченко, 2014], Красноярске [Попельницкая, Попов, 2017], [Скрипальщикова, Стасова, 2014], тополя советского пирамидального (*Populus sovietica pyramidalis*, Jabl.) в Йошкар-Оле [Овчинников и др., 2020]; тополя черного (*Populus nigra* L.) в Краснодаре [Савинова, Хмара, 2017], Махачкале [Магомедова, Касимова, 2008].

Ряд зарубежных ученых также изучают ответную реакцию на стрессовые условия окружающей среды видов, относящихся к роду *Populus* L. В научных статьях освещены результаты исследований для следующих регионов: г. Костанай, Казахстан (вид-индикатор – *Populus balsamifera* L.) [Кобланова, Бакытбеккызы, 2019]; Ивано-Франковская область, Украина (вид-индикатор – *Populus pyramidalis* L.) [Glibovytska, Karavanovych, 2018]; г. Турку, Финляндия (вид-индикатор – *Populus tremula* L.) [Kozlov et al., 2019]; г. Черкассы, Украина (вид-индикатор – *Populus pyramidalis*) [Корнелюк, Конякин, 2014]; Бурлинский район Западно-Казахстанской области, Республика Казахстан (вид-индикатор – *Populus nigra* L.) [Masenov et al., 2016]; г. Бишкек, Киргизская Республика (вид-индикатор – *Populus alba* L.) [Темиркул, Бикиров, 2019].

Для Липецка данная проблематика рассматривается в работах О.А. Шепелевой, О.В. Поповой и А.И. Федоровой.

В 2000–2007 гг. О.А. Шепелевой проведены биоиндикационные исследования с использованием трех видов: березы повислой (*Betula pendula* Roth.), рябины обыкновенной (*Sorbus aucuparia* L.) и тополя черного (*Populus nigra* L.) пирамидальной формы. Отбор листовых пластинок производился в пяти районах Липецка на следующих территориях: жилая, придорожная и промышленная зона. В качестве контроля использовались образцы из парковой зоны Липецка и в пределах Задонского района Липецкой области. Показатели флуктуирующей асимметрии листьев рябины обыкновенной не показали прямой связи от экологических условий произрастания. Максимальные отклонения от нормы у листовых пластинок тополя черного пирамидальной формы зафиксированы в придорожной зоне Советского района (0,071) и вблизи Новолипецкого металлургического комбината (0,071). Флуктуирующая асимметрия листовых пластинок березы повислой достигает наибольших значений в придорожной полосе (0,059) и жилой зоне (0,050) района «Липецкий трактор», а также в зоне влияния комбината (0,051). Таким образом, О.А. Шепелева [2009] указывает на связь флуктуирующей асимметрии у тополя и березы с уровнем антропогенной нагрузки. Однако, для оценки современной экологической обстановки требуется повторить подобного рода исследования.

О.В. Попова и А.И. Федорова [2005] рассматривают влияние промышленного загрязнения металлургического комбината на состояние клена остролистного (*Acer platanoides* L.). Установлена зависимость повреждения листовых пластинок от содержания в них тяжелых металлов. Выделены зоны загрязнения в зависимости от удаленности от предприятия. Однако требуется изучение влияния выбросов и на другие виды древесных растений, которые широко представлены в зеленых насаждениях г. Липецка.

Таким образом, на основе анализа теоретических и практических материалов по данной проблематике, нами была поставлена цель, которая заключалась в изучении морфометрических параметров листовых пластинок тополя итальянского (*Populus italica* (Du Roi) Moench) при произрастании в условиях эмиссии загрязняющих веществ промышленными предприятиями, в частности, металлургического комплекса. Для сравнения проводились исследования в различных по функциональной принадлежности зонах г. Липецка: промышленной, жилой, транспортной и рекреационной. Следует отметить, что подобное деление условное, в силу того что транспортная зона фактически представлена на всей территории. Что касается рекреационной зоны, то в парках, скверах можно просле-

дить «краевой эффект» на их границах. Зачастую они обрамлены улицами с той или иной интенсивностью движения транспорта.

Данные исследования являются актуальными в связи с острой необходимостью изучения комплексного влияния крупного металлургического предприятия, а также возрастающей транспортной нагрузки на окружающую среду, и, в частности, на зеленые насаждения. Именно состояние растительности в первую очередь является маркером благополучия территории. Для растений характерен двойной газообмен, вследствие чего внутрь организма проникают не только жизненно необходимые вещества, но и ксенобиотики. Это приводит к более быстрым ответным реакциям на состояние атмосферного воздуха. Исследование возможных изменений стабильности развития растений позволяет выделить зоны потенциального экологического риска и для населения.

Объекты и методы исследования

В данной работе в качестве объекта исследования были взяты зеленые насаждения, произрастающие в разных функциональных зонах Липецка. В течение летнего периода 2021 г. проведено обследование 44 точек. В 37 пунктах произрастает вид-индикатор – тополь итальянский. Семнадцать точек – это места расположения стационарных и передвижных постов наблюдений официальных служб в сфере мониторинга (Липецкого центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды – филиала ФГБУ «Центрально-Черноземное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» и ФГБУ «Центр гигиены и эпидемиологии в Липецкой области»). По функциональной принадлежности все точки можно условно разделить на зоны: транспортная (12 точек), промышленная (9), жилая (10), рекреационная (6).

Для оценки влияния состояния окружающей среды требовалось определить вид-индикатор, ответная реакция которого позволила бы с большей долей достоверности судить о современной экологической обстановке с возможностью проведения мониторинга в последующие годы. Поэтому на предварительном этапе нами были обследованы некоторые магистральные улицы города (Московский пр-т, ул. Гагарина, пр-т Победы, ул. Зои Космодемьянской, ул. Metallургов), а также ряд парковых зон (Верхний и Нижний парки, парк «Быханов сад»). На основе полученных сведений выявлены наиболее распространенные на данной территории виды древесных растений. К ним относятся береза повислая (*Betula pendula* Roth.), тополь итальянский (*Populus italica* (Du Roi) Moench), липа мелколистная (*Tilia cordata* Mill.), клен остролистный (*Acer platanoides* L.). При этом доля участия в зеленых насаждениях первых двух видов, а также их встречаемость высокая (отмечены на всех исследуемых участках). Следовательно, для проведения сравнительного анализа в рамках научного проекта было решено использовать те же виды, что и для Воронежа. Таким образом, в качестве видов-индикаторов выступали береза повислая и тополь итальянский.

В отличие от березы повислой, тополь итальянский является интродуцентом, природный ареал которого – Средняя и Малая Азия. Это быстрорастущая порода, нетребовательная к почве и влаге. Корневая система довольно глубокая, что позволяет в целом хорошо справляться с дефицитом атмосферной влаги в городских условиях. Тополь итальянский устойчив к действию загрязняющих веществ. Однако в урбанизированной среде продолжительность жизни резко сокращается. В 20–25 лет наблюдается появление сухих ветвей в кроне с последующим усыханием вершины. Такие экземпляры требуют санитарной обрезки, а в случае суховершинности необходимо проводить кронирование. Однако для Липецка данный тип обрезки не отмечен, несмотря на наличие усыхающих экземпляров.

Липецк является крупнейшим промышленным центром Центрального Черноземья, вторым после Воронежа по численности населения (на 01.01.2021 – 503 216 чел.). Находится в центральной части Восточно-Европейской равнины. Особенностью рельефа явля-



ется то, что правобережная часть расположена в пределах Среднерусской возвышенности, а левобережная – на Окско-Донской низменности. Территория расчленена долиной р. Воронеж, а на северо-востоке примыкает к Матырскому водохранилищу.

В отличие от Воронежа, основным источником загрязнения окружающей среды являются промышленные предприятия. Ключевым из них выступает ПАО «Новолипецкий металлургический комбинат» (ПАО «НЛМК»), производственные площадки которого расположены в левобережной юго-восточной части города, в то время как основная селитебная зона находится на правобережной северо-западной части города. Этот момент несколько снижает вероятность влияния выбросов загрязняющих веществ от комбината. В связи с таким расположением промышленного предприятия, основным фактором, определяющим его воздействие на прилегающие территории, является направление ветра. За счет розы ветров наибольшее влияние выбросы ПАО «НЛМК» оказывают на юго-западную часть города.

Другими стационарными источниками загрязнения являются ООО «ЛТК Свободный сокол» (производство трубной продукции), АО «Липецкцемент», ООО «Липецкий силикатный завод», ПАО «Квадра» (Липецкая ТЭЦ-2), ООО «ЧСЗ-Липецк» (производство стекольных изделий), ООО «Йокохама Р.П.З.» (производство автомобильных шин), ООО «Липецкий силикатный завод» и ряд других. В целом на выбросы от предприятий Липецка в 2019 г. приходилось 88,5 % всех суммарных выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников Липецкой области [Доклад «Состояние и охрана...», 2020]. При этом основную долю, 266,086 тыс. т. (85,7 % от выбросов по области или 96,8 % по городу), составляют эмиссии Новолипецкого металлургического комбината.

Основные загрязнители атмосферного воздуха Липецка: взвешенные вещества, оксиды азота, оксиды углерода, диоксид серы, сероводород, фенол, формальдегид, бенз(а)пирен, а также тяжелые металлы (железо, цинк, марганец, свинец, хром, никель, медь). В разные годы, согласно данным официального мониторинга [Доклад «Состояние и охрана...», 2020], фиксируются превышения максимально-разовых значений ПДК по отдельным примесям.

Не менее существенным источником загрязнения окружающей среды города является автомобильный транспорт. В составе транспортного потока преобладают легковые автомобили (более 85 %), на грузовые автомобили и автобусы приходится около 15 %. Магистральные улицы расположены в основном на правобережной части, на левом берегу к ним можно отнести: пр-т Мира, ул. Металлургов, ул. Зои Космодемьянской, ул. 9 Мая. Загруженность отдельных участков достигает 20 тыс. транспортных средств за сутки (например, на ул. Студеновской – от перекрестка с ул. Лескова до перекрестка с ул. Заводской; на пр-те Победы – от перекрестка с ул. Юных натуралистов до Площади Победы). В промышленных зонах интенсивность движения автотранспорта средняя. С выбросами от передвижных источников в атмосферный воздух поступают оксиды углерода, оксиды азота, диоксиды серы, углеводороды, пыль, сажа и другие примеси.

Таким образом, загрязнение атмосферного воздуха Липецка формируется за счет совместного влияния выбросов стационарных (65 %) и передвижных источников (35 %).

В наших исследованиях основное внимание уделялось изучению промышленных зон в сравнении с остальными территориями – транспортными, селитебными, рекреационными. Условный фоновый участок расположен в районе СНТ «Березка» на максимальном удалении от основных источников техногенного воздействия.

Сбор растительного материала проводился в период, когда ростовые процессы закончены – с 10 по 31 июля 2021 г. С каждой точки отбирали случайным образом по 150 листовых пластинок равномерно по четырем сторонам света (не менее чем с пяти деревьев примерно одного возраста). Обязательное условие – это использование листьев без

видимых повреждений. Все образцы гербаризировались и хранились в специальных конвертах. У каждой листовой пластинки затем измеряли морфометрические параметры, показанные на рис. 1.

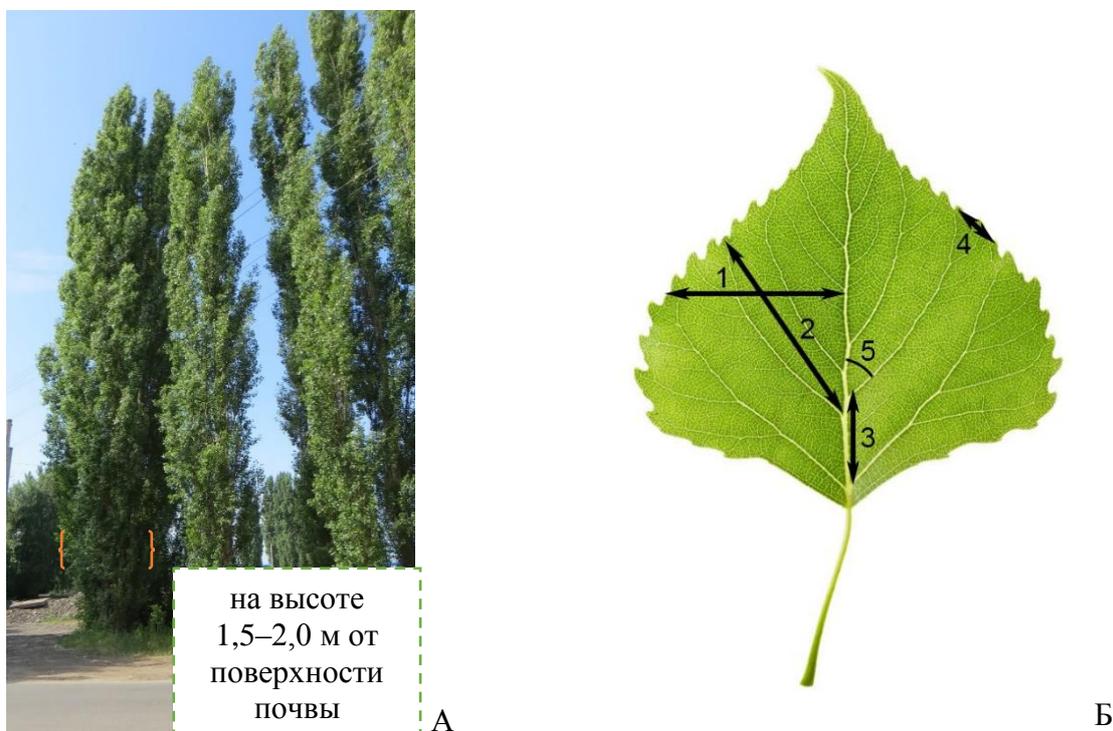


Рис. 1. Схема отбора и промеров листьев: А – отбор листовых пластинок тополя итальянского; Б – морфометрические параметры для определения флуктуирующей асимметрии листовой пластинки: 1 – ширина половинки листа; 2 – длина второй жилки от основания листа; 3 – расстояние между основаниями первой и второй жилок; 4 – расстояние между концами этих жилок; 5 – угол между главной и второй от основания жилкой

Fig. 1. The scheme of selection and measurement of leaves: А – Selection of leaves of *Populus italica*; Б – Morphometric parameters for determining the fluctuating asymmetry of the leaves: 1 – the width of the leaf; 2 – the length of the second vein from the base of the leaf; 3 – the distance between the bases of the first and second veins; 4 – the distance between the ends of these veins; 5 – the angle between the main and the second vein from the base

На территории Липецка нами было обследовано более 500 экземпляров тополя. Точность измерения морфометрических параметров составила до 0,5 мм (а для пятого признака – 1°). Трехкратное измерение показало ошибку менее 1 % от величины флуктуирующей асимметрии, что вполне допустимо для данной методики [Palmer, Strobeck, 2003]).

В основу данных исследований положены методические рекомендации, разработанные В.М. Захаровым с коллегами [Захаров и др., 2000; Методические рекомендации..., 2003]

Расчет интегрального показателя флуктуирующей асимметрии (I_{FA}) проводили с использованием алгоритма нормированной разности:

$$I_{FA} = \frac{1}{m \cdot n} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \frac{(L_{ij} - R_{ij})}{(L_{ij} + R_{ij})} \quad (1)$$

где m – количество измеряемых параметров; n – количество обработанных листьев; L – измерение j -параметра с левой стороны i -листа; R – измерение j -параметра с правой стороны i -листа.



Для относительной оценки состояния окружающей среды также применяли балльную градацию (табл. 1).

Таблица 1
 Table 1

Шкала оценки состояния окружающей среды по величине интегрального показателя стабильности развития листовых пластинок *Populus italica* (Du Roi) Moench [Клевцова, Виноградов, 2015]
 Scale for assessing the state of the environment by the value of the integral indicator of the stability of the development of leaves *Populus italica* (Du Roi) Moench [Klevtsova, Vinogradov, 2015]

Балл	Интегральный показатель флуктуирующей асимметрии	Степень отклонения от нормы
I	< 0,059	условная норма
II	0,060–0,069	начальное отклонение от нормы
III	0,070–0,079	средний уровень отклонений от нормы
IV	0,080–0,089	существенные (значительные) отклонения от нормы
V	> 0,089	критическое состояние

Кроме того, мы определяли площадь листовых пластинок по разработанной нами в 2020 г. методике. Для этого листья сканировали и с помощью программы APFill Ink&Toner Coverage Meter определяли процент заполнения изображения чернилами. По формуле (2) рассчитывали площади листовых пластинок (см²) по каждой точке:

$$\bar{S} = \frac{623,7(P_1+P_2+\dots+P_n)}{100 n_l}, \quad (2)$$

где 623,7 см² – общая площадь сканированного изображения (в нашем случае формат А4); P_1, P_2, P_n – процент заполнения чернилами сканированного изображения по данной точке от 1 до n ; n_l – общее количество сканированных листовых пластинок древесных растений по данной точке.

Статистическая обработка данных проводилась с помощью пакета анализа данных MS Excel 2016 и STATISTICA 10 (StatSoft Ink).

Для построения тематических карт использовали программную среду ГИС MapInfo Professional. Карты представляют собой поверхность, созданную путем пространственной интерполяции, с наложенными на нее изолиниями.

Результаты и их обсуждение

Морфометрические параметры листовых пластинок тополя итальянского на исследуемой территории Липецка варьируют в следующих пределах: длина – от 37 до 98 мм, ширина – от 34 до 94 мм. В выборке отсутствуют артефакты, т.е. резко отличающиеся от всей совокупности значения. В ходе проверки данных на соответствие закону нормального распределения (распределения Гауса-Лапласа) отмечена малая или средняя степень варьирования значений ($V < 20\%$). Репрезентативность данных высокая ($P_r < 5\%$).

Нами установлена корреляционная связь ($r \pm m_r$) [Практикум по информационным ..., 2008] между длиной и шириной листовой пластинки тополя итальянского (табл. 2). Так, в 89 % точках связь между параметрами достоверная положительная ($t_i > t_{\text{крит}}$). В 84 % точек связь средняя, в 11 % точек – сильная. Исключение составили следующие пункты: № 6, 8, 15, 39. В них связь недостоверна. Нами выдвинута гипотеза о нарушении роста фотосинтезирующего аппарата на данных участках по причине высокой степени стрессовых условий произрастания древесных растений. Две точки расположены на пере-

сечении крупных магистральных улиц Липецка, одна точка находится в зоне влияния цементного завода, а одна расположена на трассе и примыкает к цеху по производству агломератов НЛМК.

Таблица 2
Table 2

Морфометрические параметры листовых пластинок тополя итальянского
The morphometric parameters of the leaves *Populus italica* (Du Roi) Moench

Точка отбора	Местоположение	Длина			Ширина			$r \pm m_r$
		$M \pm m_M$, мм	$\pm \sigma$	V, %	$M \pm m_M$, мм	$\pm \sigma$	V, %	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	ул. 40 лет Октября, 4 (окрестности ПНЗ № 6)	65,4±1,71	8,57	13,1	60,72±1,56	7,78	12,8	0,65±0,16
3	ул. Желябова, 16 (окрестности передвижного поста № 5)	71,76±1,96	9,82	13,7	68,20±2,04	10,20	15,0	0,61±0,17
4	ул. Циолковского, 43	59,20±1,36	6,78	11,5	60,44±1,52	7,62	12,6	0,51±0,18
5	ул. Опытная, 2	65,32±1,49	7,44	11,4	63,72±2,00	9,99	15,7	0,64±0,16
6	ул. Ковалева, 126Б (район АО «Липецкцемент»)	53,32±1,13	5,64	10,6	49,32±1,26	6,32	12,8	0,34±0,20
7	Универсальный проезд, 5 (окрестности ПНЗ № 2)	59,76±1,11	5,55	9,3	56,6±1,68	8,40	14,8	0,59±0,17
8	перекресток ул. Липовской и ул. Семашко (окрестности передвижных постов № 8 и 9)	72,56±1,63	8,14	11,2	61,88±1,72	8,59	13,9	0,29±0,20
9	ул. Неделина, 4	61,76±1,23	6,17	10,0	56,76±1,13	5,64	9,9	0,56±0,17
10	перекресток ул. Водопьянова и пр-та Победы	49,52±1,19	5,9	12,0	52,72±1,22	6,10	11,5	0,62±0,16
11	ул. Катукова, 56	63,40±1,85	9,24	14,5	53,40±1,30	6,48	12,1	0,76±0,14
13	ул. Юношеская, 19	65,72±2,08	10,4	15,8	57,52±1,42	7,10	12,4	0,41±0,19
14	ул. Ударников, 104А	68,28±1,51	7,56	11,1	60,96±1,16	5,78	9,5	0,41±0,19
15	ул. Катукова, 4 (окрестности передвижного поста № 3)	48,80±1,68	8,41	17,2	52,40±1,86	9,3	17,4	0,37±0,19
16	ул. Московская, 85	65,08±1,59	7,96	12,2	60,00±1,22	6,08	10,1	0,51±0,18
17	перекресток ул. Яна Берзина и ул. Водопьянова (окрестности передвижного поста № 10)	64,60±2,09	10,46	16,2	53,16±0,90	4,50	8,46	0,46±0,19
18	ул. 50 лет НЛМК, 8 (набережная)	61,88±1,89	9,46	15,3	60,92±1,83	9,15	15,0	0,40±0,19
19	ул. Тельмана, 74 (парк «Быханов сад»)	63,00±0,87	4,33	6,9	63,72±1,46	7,28	11,4	0,47±0,18
20	ул. К. Маркса, 7 (Нижний парк)	63,68±1,16	8,31	13,0	68,80±2,24	11,22	16,3	0,48±0,18



Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
21	ул. Космонавтов, 54А (сквер им В.Н. Маркова)	64,60±2,09	10,46	16,2	53,16±0,90	4,5	8,46	0,51±0,18
23	ул. Ленина, Верхний парк (окрестности передвижного поста № 6)	80,24±2,46	12,29	15,3	60,40±1,88	9,42	15,6	0,80±0,13
24	ул. Зои Космодемьянской, 3	66,48±2,03	10,14	15,3	59,68±1,25	6,25	10,5	0,54±0,18
25	ул. Марины Расковой, 14	67,44±1,98	9,89	14,7	61,68±1,35	6,76	11,0	0,51±0,18
26	ул. Краснознаменная, 2Б (окрестности ПНЗ № 4)	67,52±1,63	8,15	12,1	74,24±2,24	11,19	15,1	0,76±0,14
28	ул. Профсоюзная, 2	61,76±1,43	7,17	11,6	67,72±2,22	11,08	16,4	0,47±0,18
30	ул. Энергостроителей, 13 (окрестности ПНЗ № 1)	70,20±2,13	10,67	15,2	50,92±1,42	7,10	13,9	0,60±0,17
31	ул. Архангельская, 2 (окрестности ПНЗ № 10)	64,48±2,03	10,14	15,7	71,60±1,72	8,58	12,0	0,56±0,17
32	ул. Зои Космодемьянской, 224 (окрестности передвижного поста № 7)	59,36±1,69	8,45	14,2	59,96±1,78	8,91	15,6	0,60±0,17
33	Осенний проезд, 14	58,84±1,30	6,49	11,0	61,96±2,40	12,02	19,4	0,39±0,19
34	ул. Алмазная, 18	53,76±1,51	7,55	14,0	62,28±1,73	8,63	13,9	0,61±0,17
35	ул. 9 мая, 18	62,84±1,77	8,85	14,1	69,12±2,16	10,82	15,7	0,84±0,11
36	ул. Ферросплавная, 2вл2	62,72±1,20	6,01	9,6	56,52±1,47	7,35	13,0	0,55±0,17
37	ул. Metallургов 22Г (окрестности передвижного поста № 2)	74,20±1,99	9,95	13,4	58,40±1,15	5,73	9,8	0,53±0,18
39	Грязинское шоссе, вл. 5	61,84±1,82	9,11	14,7	54,00±1,06	5,31	9,83	0,28±0,20
40	ул. Ленинградская, 6	57,56±1,35	6,76	11,8	47,68±1,63	8,15	17,1	0,62±0,16
41	ул. Metallургов, 7	60,00±1,73	8,65	14,4	51,76±1,63	8,13	15,7	0,39±0,19
42	пр-т Мира, 38 (окрестности ПНЗ № 3)	56,04±1,54	7,68	13,7	66,68±1,92	9,60	14,4	0,79±0,13
44	зеленые насаждения в районе СНТ Березка	76,00±2,30	11,52	15,2	69,72±2,02	10,1	14,5	0,60±0,17

Примечание: номера точек в таблице приведены согласно техническому заданию в научном проекте РНФ. $M \pm m_M$ – среднее арифметическое \pm ошибка среднего арифметического; $\pm \sigma$ – среднее квадратическое отклонение; V – коэффициент вариации; $r \pm m_r$ – коэффициент корреляции длины и ширины листовой пластинки \pm ошибка коэффициента корреляции.

Распределение значений морфометрических параметров листовых пластинок тополя итальянского можно описать уравнением полиномиальной кривой. Для показателя длины – 6-й степени, для ширины – 5-й степени. Представленные на рис. 2 и 3 модели

являются адекватными, т.к. критерий аппроксимации $R^2 \geq 0,95$. Наиболее низкие значения длины листовых пластинок зафиксированы в точках № 10 и 15, ширины – в точках № 6 и 40.

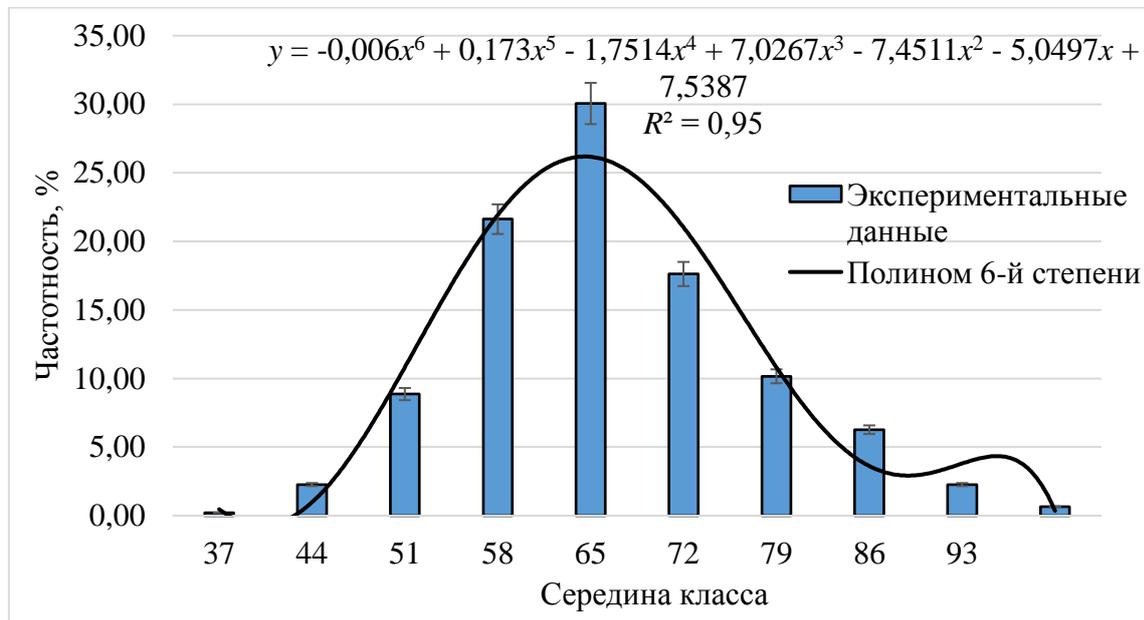


Рис. 2. Вариационный ряд длины листовых пластинок (мм) тополя итальянского
Fig. 2. The variational range of the length of the leaves (mm) of *Populus italica* (Du Roi) Moench

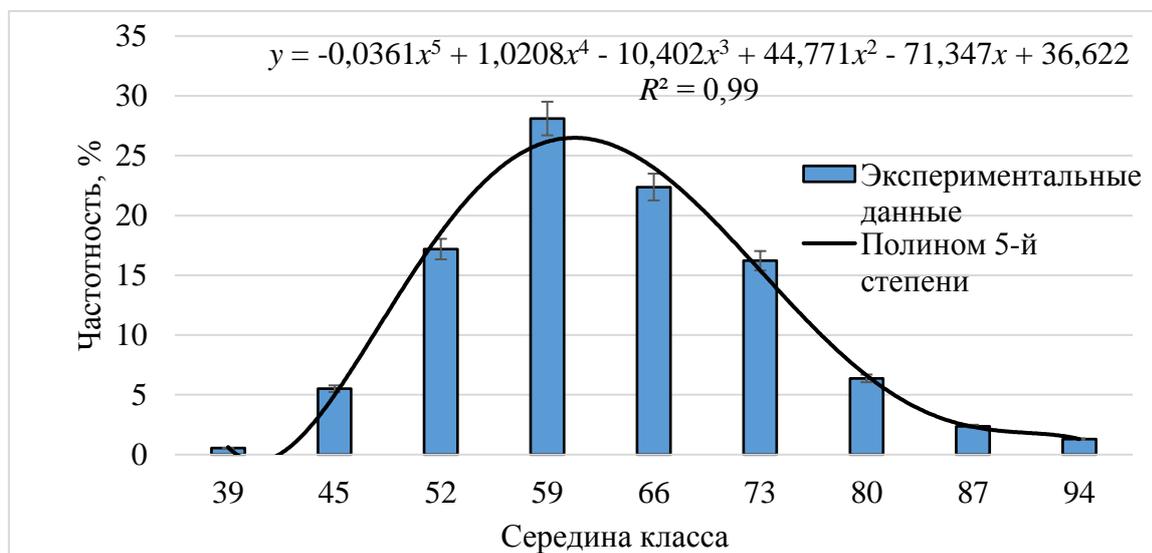


Рис. 3. Вариационный ряд ширины листовых пластинок (мм) тополя итальянского
Fig. 3. The variational range of the width of the leaves (mm) of *Populus italica* (Du Roi) Moench

Известно, что размеры листа у одного и того же вида могут изменяться как под влиянием загрязняющих веществ, так и в зависимости от многих факторов среды (увлажнение, температура и т.п.). Зачастую в стрессовых условиях происходит уменьшение размеров фотосинтезирующего аппарата, а также изменение формы листовых пластинок.

Устойчивость растений к промышленным газам основана на их способности к детоксикации вредных веществ, а также на функциональных особенностях, которые препятствуют проникновению газообразных соединений внутрь организма. В результате глубо-

кой перестройки на молекулярном, субклеточном, клеточном, тканевом и организменном уровнях, возможна преадаптация растений к загрязнению воздушной среды.

Кроме того, существенным компонентом выбросов как стационарных, так и передвижных источников являются пылевидные частицы. Так, на территориях, прилегающих к АО «Липецкцемент», растительный покров покрыт слоем цементной пыли, которая представляет собой смесь минералов, содержащих калий, кальций, алюминий. Такие пылевидные частицы нарушают процесс фотосинтеза, а, следовательно, и снижают прирост растений.

На рис. 4 представлены отклонения в стабильности развития листовых пластинок по пяти изучаемым признакам. Наибольшие абсолютные значения зафиксированы по 3-му признаку (расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка), наименьшие по 1-му и 2-му признакам. По 1-му признаку во всех точках зафиксировано превышение относительно фона, по 2-му признаку 89 % значений превышает контроль, по 3-му признаку – 89 %, по 4-му признаку – 97 %, по 5-му признаку – 50 %. Следовательно, наиболее чувствительным является 1-й признак, наименее – 5-й.

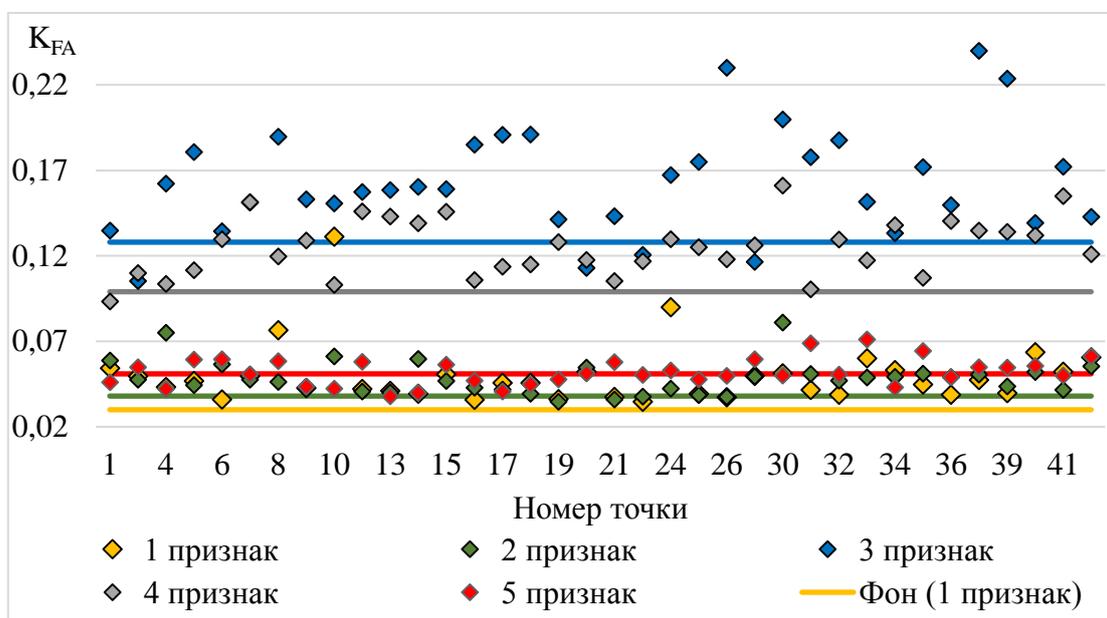


Рис. 4. Разброс среднеарифметических значений морфологических признаков относительно фоновых значений

Fig. 4. The spread of the arithmetic mean values of morphological features relative to the background values

Интегральный показатель флуктуирующей асимметрии листовых пластинок тополя итальянского варьирует на исследуемой территории Липецка в пределах от 0,072 до 0,109. В районе СНТ Березка I_{FA} составляет 0,069, что соответствует II баллу. Таким образом, во всех точках наблюдается превышение относительно фоновых значений (рис. 5).

Наибольшие значения коэффициента флуктуирующей асимметрии зафиксированы в следующих точках – № 8, 10, 24, 26, 30, 37, 39 ($I_{FA} > 0,095$), что соответствует V баллу и свидетельствует о критическом состоянии окружающей среды. Наименьшие значения отмечены в пунктах № 1, 3, 20, 21, 23 ($I_{FA} < 0,080$), что соответствует III баллу. Наиболее низкие показатели асимметрии отмечены в рекреационной зоне, высокие отклонения в стабильности развития наблюдаются у листовых пластинок деревьев в промышленной зоне – по ул. Metallургов, на Грязинском шоссе, а также по ул. Краснознаменной (микрорайон бывшего тракторного завода) и в окрестностях Особой экономической зоны, где расположены такие предприятия, как ООО «ЧСЗ-Липецк» и ООО «Йокохама Р.П.З.».

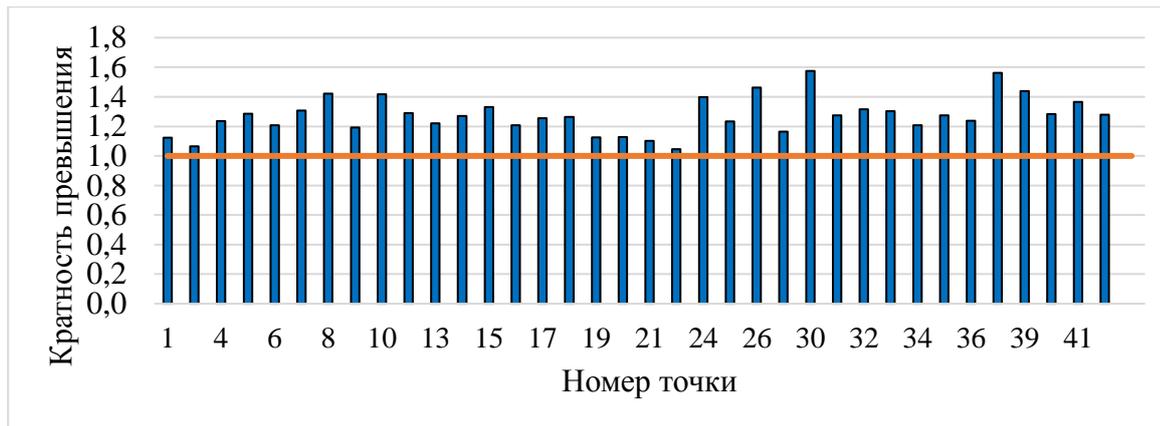


Рис. 5. Превышение интегрального показателя флуктуирующей асимметрии листовых пластинок относительно фонового значения

Fig. 5. The exceeding the integral index of fluctuating asymmetry of leaves relative to background value

Одним из основных компонентов выбросов НЛМК является сероводород, превышения ПДК_{м.р.} по которому периодически фиксируются в ПНЗ-4 (район бывшего тракторного завода). H₂S весьма токсичное для растений вещество, вызывающее нарушения как на клеточном уровне, так и на уровне ферментной системы.

Еще одним загрязняющим веществом, поступающим в атмосферный воздух в результате эмиссии предприятий, является диоксид серы. SO₂ вызывает нарушения ассимиляции, приводит к хлоротичным повреждениям (пожелтение листьев), а при длительном воздействии вызывает некрозы тканей.

Скорости поглощения газообразных примесей растительными организмами возрастают при увеличении их растворимости. Так, SO₂, NO₂ и ряд других растворимых соединений являются легкосорбируемыми загрязнителями. NO и CO плохо растворимы, поэтому абсорбируются относительно медленно или вообще не поглощаются растительностью.

При выпадении осадков поверхность листьев становится влажной и возрастает степень поглощения примесей в несколько раз [Смит, 1985]. При дефиците влаги в почве происходит закрытие устьиц, а, следовательно, затрудняется проникновение газов внутрь растения. Поэтому довольно засушливый период вегетации в 2021 г. способствовал меньшему поглощению растениями загрязнителей. Однако недостаток влаги вызывает замедление физиологических процессов и ухудшает рост и развития растений. Таким образом, даже при оптимальных значениях абиотических экологических факторов, древесные растения в городских условиях испытывают постоянный стресс разной интенсивности.

На основе метода интерполяции нами была построена тематическая биоиндикационная карта по показателю площади листовых пластинок (рис. 6). Наименьшие значения зафиксированы в районе АО «Липецкцемент», к юго-западу от основной промышленной площадки НЛМК (микрорайон бывшего тракторного завода), по ул. Metallургов (район ост. Коксохим), а также на пересечении ул. Водопьянова и пр-та Победы.

Попытка установить зависимость ($r \pm m_r$) между площадью листовых пластинок и интегральным показателем флуктуирующей асимметрии для всей совокупности данных показала отрицательную связь средней силы: $-0,60 \pm 0,14$. Можно предположить, что при увеличении размеров листа наблюдается уменьшение признаков асимметричности.

Помимо аэротехногенного загрязнения на растения существенное влияние оказывает состояние почвенного покрова. Изучение почв Х.А. Джувеликяном свидетельствует о формировании вокруг промышленных площадок НЛМК особых техногенных почв с

дальностью 1–1,5 км от источника. В поверхностном слое фиксируется превышение от 1ПДК до 7 ПДК по ряду тяжелых металлов: свинцу, хрому, никелю, цинку. Кроме того, в зоне влияния предприятия на поверхности почвы формируется техногенный слой мощностью до 2 см с щелочной реакцией среды и повышенным количеством крупной пыли. Автор отмечает, что влияние выбросов на состояние растительности зависит от расстояния до источника загрязнения. В радиусе до 500 м наблюдается угнетение травянистых и древесных растений [Джувеликян, 2010]. Другие авторы [Косинова, Фонова, 2015] также фиксируют в зоне влияния АО «НЛМК» многолетнее накопление тяжелых металлов за счет ветрового переноса.

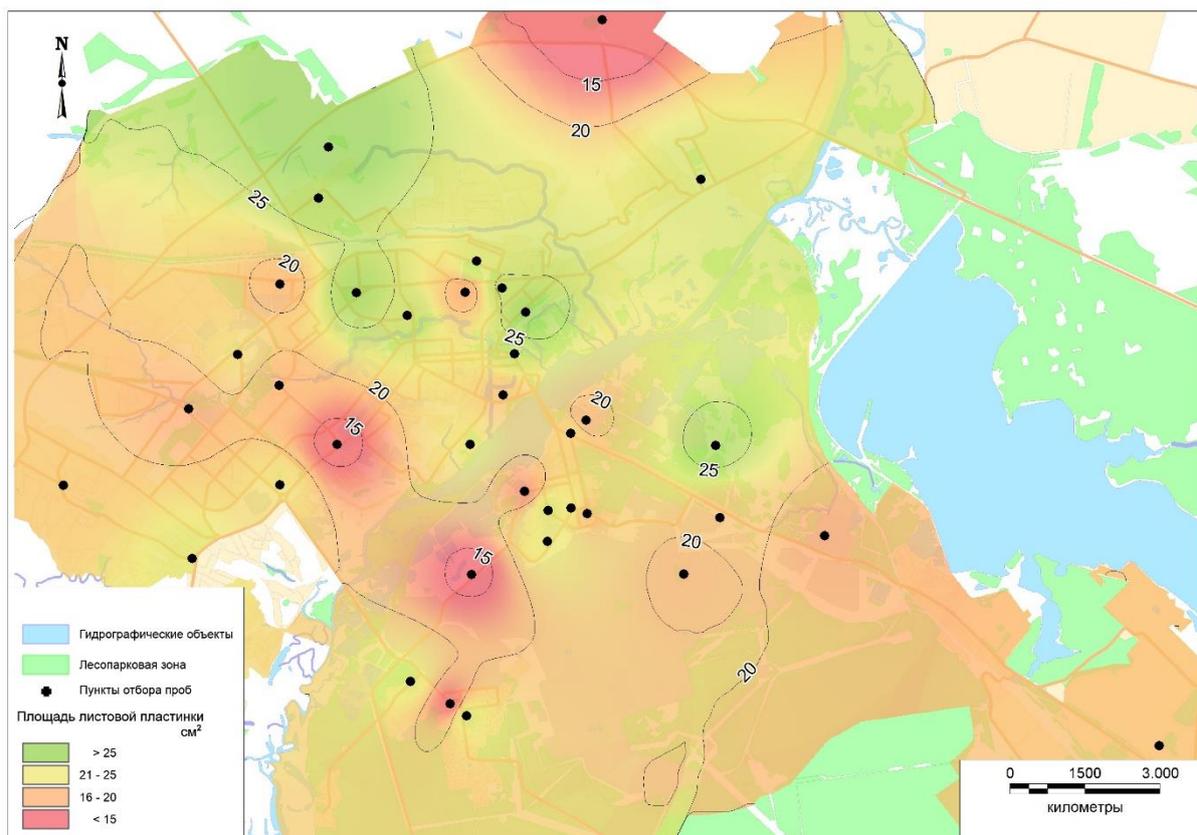


Рис. 6. Пространственное распределение показателя площади листовых пластинок тополя итальянского на территории Липецка (автор П.М. Виноградов)

Fig. 6. The spatial distribution of the indicator of the area of leaves *Populus italica* (Du Roi) Moench in the territory of Lipetsk city (author P.M. Vinogradov)

Таким образом, ответная реакция тополя итальянского при воздействии комплекса стрессовых факторов среды указывает на то, что абсолютно устойчивых к промышленным выбросам организмов не существует. Несмотря на то что данный вид, произрастая в городских условиях, не проявляет визуально выраженных повреждений ассимилирующих органов, происходит изменение таких морфометрических параметров, как размеры листовых пластинок и флуктуирующая асимметрия. Это служит биоиндикационным маркером состояния окружающей среды.

Заключение

На основе данных, полученных в ходе исследования, можно сделать следующие выводы.

Во-первых, оценка морфометрических параметров листовых пластинок тополя итальянского показала наличие отклонений в стабильности развития древесных растений, произрастающих на территории Липецка.

Во-вторых, зафиксировано уменьшение размеров листьев (длины и ширины) тополя итальянского по сравнению с фоновыми значениями. В 84 % точек обнаружена достоверная корреляционная связь между длиной и шириной листа. Только в четырех пунктах связь между данными параметрами недостоверна, что дает возможность предположить наличие высокой степени стрессовых условий произрастания древесных растений и нарушения роста фотосинтезирующего аппарата.

В-третьих, во всех точках отбора интегральный показатель флуктуирующей асимметрии I_{FA} превышает фоновые значения (0,069). Самая высокая асимметрия листовых пластинок отмечена в точках № 26, 30, 37, 39. Данные территории расположены в зоне влияния производственных площадок Новолипецкого металлургического комбината и в окрестностях Особой экономической зоны Липецка. Наименьшее значение I_{FA} отмечается в рекреационной зоне (в парках города). В жилительной зоне показатель флуктуирующей асимметрии изменяется от III до V баллов в зависимости от близости к источникам загрязнения.

В-четвертых, уменьшение площади листовых пластинок также фиксируется в зоне влияния эмиссии загрязняющих веществ промышленных предприятий (вблизи цементного завода, к юго-западу от основной промышленной площадки НЛМК, в районе коксохимического производства), а также на пересечении крупных магистральных улиц города (например, ул. Водопьянова и пр-та Победы). Установлена отрицательная достоверная связь между площадью листовой пластинки и флуктуирующей асимметрией. Следовательно, при увеличении размеров листа наблюдается уменьшение признаков асимметричности.

В-пятых, сравнительный анализ показал, что наши данные в целом согласуются с результатами мониторинга атмосферного воздуха официальных служб. Наибольшие концентрации загрязняющих выбросов фиксируются в микрорайоне бывшего тракторного завода. За счет воздушного переноса с промышленных площадок НЛМК эта территория находится в зоне повышенного влияния выбросов, что также подтверждается и исследованиями других ученых.

Таким образом, на рост и развитие древесных растений оказывают влияние не только газообразные загрязняющие вещества, но и метеорологические условия, а также состояние почвенного покрова. Следовательно, биоиндикационные показатели являются маркерами условий произрастания зеленых насаждений, т.е. свидетельствуют о благоприятности или экстремальности окружающей среды.

Список источников

1. Доклад «Состояние и охрана окружающей среды Липецкой области в 2019 году». 2020. Липецк, Управление экологии и природных ресурсов Липецкой области, 176 с.
2. Захаров В.М., Баранов А.С., Борисов В.И., Валецкий А.В., Кряжева Н.Г., Чистякова Е.К., Чубинишвили А.Т. 2000. Здоровье среды: методика оценки. Оценка состояния природных популяций по стабильности развития: методологическое руководство для заповедников. М., Центр экологической политики России, 66 с.
3. Методические рекомендации по выполнению оценки качества среды по состоянию живых существ (оценка стабильности развития живых организмов по уровню асимметрии морфологических структур). 2003. М., МПР РФ, 24 с.



4. Практикум по информационным технологиям. 2008. Под ред. В.С. Тикунова, С.А. Куролапа. Воронеж, Воронеж. гос. ун-т, 265 с.

Список литературы

1. Алборов И.Д., Харебов Г.З., Гасинов С.А., Пономарь Р.В. 2013. Влияние отходов цветной металлургии на экологию региона. Вестник Международной академии наук экологии, безопасности человека и природы, 18 (4): 9-11.
2. Бессчетнов П.В., Бессчетнова Н.Н. 2019. Тополь белый (*Populus alba* L.) в объектах озеленения Нижегородской области: корреляция и регрессия параметров листового аппарата. Вестник Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии, 2 (22): 25–31.
3. Джувеликян Х.А. 2010. Влияние техногенных факторов на городские и пригородные ландшафты Центрального Черноземья. Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация, 1: 68–75.
4. Клевцова М.А., Виноградов П.М. 2015. Геоэкологическая оценка состояния урбанизированных территорий биоиндикационными методами (на примере г. Воронежа). Экологические системы и приборы, 4: 3–13.
5. Кобланова С.А., Бакытбеккызы А. 2019. Фитомониторинг состояния рекреационных зон г. Костаная методом флуктуирующей асимметрии на примере тополя бальзамического (*Populus balsamifera*). Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии, 18: 508–510. DOI: 10.14258/pbssm.2019106.
6. Корнелюк Н.Н., Конякин С.Н. 2014. Влияние урботехногенной нагрузки на стабильность развития зеленых насаждений (на примере *Populus pyramidalis*). В кн.: Биоэкологическое краеведение: мировые, российские и региональные проблемы. Материалы 3-й всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвящённой 85-летию юбилею естественно-географического факультета, 14 ноября 2014, Самара, Изд-во ПГСГА: 123–128.
7. Коротченко И.С. 2014. Флуктуирующая асимметрия листовой пластинки тополя бальзамического (*Populus balsamifera*) в оценке качества среды города Ачинска. Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований, 6: 10–10. URL: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=5135> (дата обращения: 18.09.2021).
8. Коротченко И.С., Лебедев Н.А., Первышина Г.Г., Кондратюк Т.А., Медведева В.А. 2020. Влияние выбросов тепловых электростанций Красноярского края на стабильность развития тополя бальзамического. Успехи современного естествознания, 10: 85–90. DOI: 10.17513/use.37495.
9. Косинова И.И., Фонова С.И. 2015. Закономерности пространственного распределения загрязняющих веществ в городских условиях. Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология, 2: 122–124.
10. Смит У.Х. 1985. Лес и атмосфера. Взаимодействие между лесными экосистемами и примесями атмосферного воздуха. М., Прогресс, 432 с.
11. Магомедова М.А., Касимова К.А. 2008. Тополь и его использование в мониторинге загрязнения окружающей среды. Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки, 3 (4): 82–85.
12. Овчинникова Е.С., Макарова А.А., Чемякова Д.А. 2020. Содержание аскорбиновой кислоты в листьях тополя советского пирамидального в различных условиях произрастания. Студенческая наука и XXI век, 17 (19): 152–154.
13. Попельницкая И.М., Попов А.О. 2017. Флуктуирующая асимметрия листьев тополя бальзамического (*Populus balsamifera* L.) в городской среде. Успехи современного естествознания, 12: 72–78.
14. Попова О.В., Федорова А.И. 2005. Индикация дальности и интенсивности влияния Новолипецкого металлургического комбината на прилегающую территорию (по реакциям клена платанолистного). Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация, 1: 135–142.
15. Савинова О.А., Хмара И.В. 2017. Флуктуирующая асимметрия листьев тополя черного *Populus nigra* в юго-западной части города Краснодар, как метод индикации качества среды. В кн.: Вестник научно-технического творчества молодежи Кубанского ГАУ. Сборник статей по

материалам научно-исследовательских работ: в 4 томах, 22–25 марта 2017 года, Краснодар, Изд-во КубГАУ: 53–56.

16. Скрипальщикова Л.Н., Стасова В.В. 2014. Биоиндикационные показатели стабильности развития насаждений в нарушенных ландшафтах. Сибирский лесной журнал, 2: 62–72.

17. Темиркул К.К., Бикиров Ш. 2019. Оценка биоиндикационного потенциала *Populus alba* L. и *Quercus robur* L. в городе Бишкек. Colloquium-journal, 24–3 (48): 5–7.

18. Шепелева О.А. 2009. Влияние техногенного загрязнения на окружающую среду и здоровье населения города Липецка. Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Липецк, 24 с.

19. Cornelissen T., Stiling P. 2011. Similar responses of insect herbivores to leaf fluctuating asymmetry. Arthropod-Plant Interactions, 5: 59–69. DOI: 10.1007/s11829-010-9116-1.

20. Glibovytska N.I., Karavanovych K.B. 2018. Morphological and physiological parameters of woody plants under conditions of environmental oil pollution. Ukrainian Journal of Ecology, 8 (3): 322–327.

21. Graham J.H., Raz S., Hel-Or H., Nevo E. 2010. Fluctuating Asymmetry: Methods, Theory, and Applications. Symmetry, 2 (2): 466–540. DOI: 10.3390/sym2020466.

22. Kozlov M.V., Wilsey B.J., Koricheva J., Haukioja E. 1996. Fluctuating asymmetry of Birch leaves increases under pollution impact. Journal of Applied Ecology, 33 (6): 1489–1495. DOI: 10.2307/2404787.

23. Kozlov M.V., Zverev V., Sandner T.M. 2019. Photosynthetic Efficiency is Higher in Asymmetric Leaves than in Symmetric Leaves of the Same Plant. Symmetry, 11 (6): 834. DOI: 10.3390/sym11060834.

24. Masenov K.B., Ashibekov S., Bakytbek A. 2016. The influence of gas processing facility on plants. The Way of Science, 12 (34): 14–17.

25. Palmer A.R., Strobeck C.H. 2003. Fluctuating asymmetry analyses revisited. In: Developmental Instability (DI): Causes and Consequences. Ed. By M. Polak. Oxford University Press: 279–319.

26. Parsons P.A. 1992. Fluctuating asymmetry – a biological monitor of environmental and genomic stress. Heredity, 68: 361–364. DOI: 10.1038/hdy.1992.51.

27. Puerta-Piñero C., Gómez J.M., Hódar J.A. 2008. Shade and herbivory induce fluctuating asymmetry in a mediterranean oak. International Journal of Plant Sciences, 169 (5): 631–635. DOI: 10.1086/533601.

28. Santos J.C., Alves-Silva E., Cornelissen T.G., Fernandes G.W. 2013. The effect of fluctuating asymmetry and leaf nutrients on gall abundance and survivorship. Basic and Applied Ecology, 14 (6): 489–495. DOI: 10.1016/j.baae.2013.06.005.

References

1. Alborov I.D., Kharebov G.Z., Gasinov S.A., Ponomar R.V. 2013. Vliyanie otkhodov tsvetnoy metallurgii na ekologiyu regiona [The impact of non-ferrous metallurgy waste on the ecology of the region]. Vestnik Mezhdunarodnoy akademii nauk ekologii, bezopasnosti cheloveka i prirody, 18 (4): 9–11.

2. Besschetnov P.V., Besschetnova N.N. 2019. White Poplar (*Populus Alba* L.) in Green Space of the Nizhny Novgorod Region: Correlation and Regression Parameters of Foliage. Vestnik Nizhegorodskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii, 2 (22): 25–31 (in Russian).

3. Dzhuvelikjan H.A. 2010. Influence Anthropogenic Factors on City and Suburban Landscapes of the Central Chernozem Region. Proceedings of Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy, 1: 68–75 (in Russian).

4. Klevtsova M.A., Vinogradov P.M. 2015. The Geoecological Evaluation of Urban Areas Bioindicating Method (for Example Voronezh). Ecological Systems and Devices, 4: 3–13 (in Russian).

5. Koblanova S.A., Bakytbekkyzy A. 2019. Phytomonitoring of the State of Recreational Zones in Kostanay Using Fluctuating Asymmetry Method on *Populus Balsamifera*. Problems of botany of South Siberia and Mongolia, 18: 508–510 (in Russian). DOI: 10.14258/pbssm.2019106.

6. Kornelyuk N.N., Konyakin S.N. 2014. Quality Assessment of Urbo Technogenic Load of Stable Development of Green Plantings (on the Example of *Populus Pyramidalis*). In: Bioecological study of local lore: world, Russian and regional problems. Proceedings of the 3rd All-Russian Scientific and



Practical Conference with International Participation, dedicated to the 85th anniversary of the Faculty of Natural Sciences, November 14, 2014, Samara, Publ. PSGSA: 123–128 (in Russian).

7. Korotchenko I.S. 2014. Fluktuiruyushchaya asimmetriya listvoy plastinki topolya bal'zamicheskogo (*Populus balsamifera*) v otsenke kachestva sredy goroda Achinska [Fluctuating asymmetry of the leaf blade of balsam poplar (*Populus balsamifera*) in assessing the quality of the environment in the city of Achinsk]. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*, 6: 10–10. URL: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=5135> (accessed: 18 September 2021). (in Russian).

8. Korotchenko I.S., Lebedev N.A., Pervyshina G.G., Kondratyuk T.A., Medvedeva V.A. 2020. Influence of Emissions from Thermal Power Plants of the Krasnoyarsk Region on the Stability of Development of Balsamic Poplar. *Advances in current natural sciences*, 10: 85–90 (in Russian). DOI: 10.17513/use.37495.

9. Kosinova I.I., Fonova S.I. 2015. Regularities of Spatial Distribution of Pollutants in an Urban Environment. *Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2: 122–124 (in Russian).

10. Smit U.Kh. 1985. Les i atmosfera. Vzaimodeystvie mezhdu lesnymi ekosistemami i primesyami atmosfernogo vozdukh [Forest and atmosphere. Interaction between forest ecosystems and air pollutants]. Moscow, Publ. Progress, 432 p. (in Russian).

11. Magomedova M.A., Kasimova K.A. 2008. Topol' i ego ispol'zovanie v monitirovaniye zagryazneniya okruzhayushchey sredy [Poplar and its use in monitoring environmental pollution]. *Izvestiya Dagestanskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta. Estestvennye i tochnye nauki*, 3 (4): 82–85 (in Russian).

12. Ovchinnikova E.S., Makarova A.A., Chemekova D.A. 2020. Soderzhanie askorbinovoy kisloty v list'yakh topolya sovetskogo piramidal'nogo v razlichnykh usloviyakh proizrastaniya [The content of ascorbic acid in the leaves of the Soviet pyramidal poplar under different growing conditions]. *Studencheskaya nauka i XXI vek*, 17 (19): 152–154 (in Russian).

13. Popel'nitskaya I.M., Popov A.O. 2017. Leaves' Fluctuating Asymmetry of Poplars (*Populus Balsamifera*) in the Urban Environment. *Advances in Current Natural Sciences*, 12: 72–78 (in Russian).

14. Popova O.V., Fedorova A.I. 2005. Definition of Range and Intensity Influence of Novolipetsk Metallurgical Manufacture on an Environment (the Example of a Acer Platanoides). *Proceedings of Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy*, 1: 135–142 (in Russian).

15. Savinova O.A., Khmara I.V. 2017. Fluktuiruyushchaya asimmetriya list'ev topolya chernogo *Populus nigra* v yugo-zapadnoy chasti goroda Krasnodar, kak metod indikatsii kachestva sredy [Fluctuating asymmetry of poplar leaves of black *Populus nigra* in the southwestern part of the city of Krasnodar, as a method of indicating the quality of the environment]. In: *Vestnik nauchno-tekhnicheskogo tvorchestva molodezhi Kubanskogo GAU [Bulletin of scientific and technical creativity of youth of the Kuban State Agrarian University]*. Collection of articles based on research materials: in 4 volumes, March 22–25, 2017, Krasnodar, Publ. KubSAU: 53–56.

16. Skripal'shchikova L.N., Stasova V.V. 2014. Bioindicative Parameters of Stand Growth Stability in the Disturbed Landscapes of Krasnoyarsk and Achinsk Forest-Steppe Regions. *Siberian Journal of Forest Science*, 2: 62–72 (in Russian).

17. Temirkul K.K., Bikirov Sh. 2019. Assessment of the Bioindication Potential of *Populus Alba* L. and *Quercus Robur* L. In Bishkek. *Colloquium-journal*, 24–3 (48): 5–7 (in Russian).

18. Shepeleva O.A. 2009. Vliyanie tekhnogennogo zagryazneniya na okruzhayushchuyu sredyu i zdorov'e naseleniya goroda Lipetska [Influence of technogenic pollution on the environment and health of the population of the city of Lipetsk]. Abstract. dis. ... cand. biol. sciences. Lipetsk, 24 p.

19. Cornelissen T., Stiling P. 2011. Similar responses of insect herbivores to leaf fluctuating asymmetry. *Arthropod-Plant Interactions*, 5: 59–69. DOI: 10.1007/s11829-010-9116-1.

20. Glibovytska N.I., Karavanovych K.B. 2018. Morphological and physiological parameters of woody plants under conditions of environmental oil pollution. *Ukrainian Journal of Ecology*, 8 (3): 322–327.

21. Graham J.H., Raz S., Hel-Or H., Nevo E. 2010. Fluctuating Asymmetry: Methods, Theory, and Applications. *Symmetry*, 2 (2): 466–540. DOI: 10.3390/sym2020466.

22. Kozlov M.V., Wilsey B.J., Koricheva J., Haukioja E. 1996. Fluctuating asymmetry of Birch leaves increases under pollution impact. *Journal of Applied Ecology*, 33 (6): 1489–1495. DOI: 10.2307/2404787.



23. Kozlov M.V., Zverev V., Sandner T.M. 2019. Photosynthetic Efficiency is Higher in Asymmetric Leaves than in Symmetric Leaves of the Same Plant. *Symmetry*, 11 (6): 834. DOI: 10.3390/sym11060834.
24. Masenov K.B., Ashibekov S., Bakytbek A. 2016. The influence of gas processing facility on plants. *The Way of Science*, 12 (34): 14–17.
25. Palmer A.R., Strobeck C.H. 2003. Fluctuating asymmetry analyses revisited. In: *Developmental Instability (DI): Causes and Consequences*. Ed. By M. Polak. Oxford University Press: 279–319.
26. Parsons P.A. 1992. Fluctuating asymmetry – a biological monitor of environmental and genomic stress. *Heredity*, 68: 361–364. DOI: 10.1038/hdy.1992.51.
27. Puerta-Piñero C., Gómez J.M., Hódar J.A. 2008. Shade and herbivory induce fluctuating asymmetry in a mediterranean oak. *International Journal of Plant Sciences*, 169 (5): 631–635. DOI: 10.1086/533601.
28. Santos J.C., Alves-Silva E., Cornelissen T.G., Fernandes G.W. 2013. The effect of fluctuating asymmetry and leaf nutrients on gall abundance and survivorship. *Basic and Applied Ecology*, 14 (6): 489–495. DOI: 10.1016/j.baae.2013.06.005.

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

Клевцова Марина Александровна, кандидат географических наук, доцент кафедры геоэкологии и мониторинга окружающей среды факультета географии, геоэкологии и туризма Воронежского государственного университета, г. Воронеж, Россия

Михеев Алексей Александрович, преподаватель кафедры рекреационной географии, страноведения и туризма факультета географии, геоэкологии и туризма Воронежского государственного университета, г. Воронеж, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Marina A. Klevtsova, candidate of Geographical Sciences, Associate Professor of the Department of Geoecology and Environmental Monitoring of the Faculty of Geography, Geoecology and Tourism of the Voronezh State University, Voronezh, Russia

Alexey A. Mikheev, Lecturer at the Department of Recreational Geography, Regional Studies and Tourism of the Faculty of Geography, Geoecology and Tourism of the Voronezh State University, Voronezh, Russia



УДК 574.24; 547.472; 574.474
DOI 10.52575/2712-7443-2021-45-4-576-589

Опыт полевого экспериментального моделирования воздействия разливов нефти и высокоминерализованных вод в средней тайге Западной Сибири

Двуреченская Е.Б.

Общественная некоммерческая организация «Русское географическое общество»,
Россия, 109012, г. Москва, Новая пл., 10 строение 2
E-mail: navrodsкая@gmail.com

Аннотация. Изучение геохимической трансформации почв в районах нефтедобычи осложнено многокомпонентностью потоков, поступающих в природную среду, и мозаичностью почвенного покрова, принимающего загрязнитель. Для верификации данных натурных наблюдений, а также с целью оценки по параметрам «воздействие-доза-эффект» был проведён модельный эксперимент, описывающий поведение загрязнителей в органогенных и минеральных почвах через неделю после загрязнения. Выполнен анализ данных полевого экспериментального моделирования загрязнения нефтью и высокоминерализованными водами почв гумидных ландшафтов Западной Сибири. Исследована трансформация солевого состава, щелочно-кислотных условий, радиальное распределение нефти в болотных торфяных верховых и торфяно-подзолисто-глеевых почвах через неделю после загрязнения (расчетная нагрузка для слоя почвы 10 см – 1000 г/кг нефти и 100 г/кг хлоридно-натриевого раствора). Выявлена различная скорость движения солевых и углеводородных аккумуляций в торфяно-подзолисто-глеевых и болотных торфяных верховых почвах. На уровне трансформации щелочно-кислотных условий различия проявились в обменной активности почв по отношению к нефти и высокоминерализованным водам. Данные эксперимента можно применять для разработки региональных нормативов и программ по ликвидации аварийных ситуаций на месторождении.

Ключевые слова: болота Западной Сибири, загрязнение нефтью, загрязнение сточными водами, нефтепромыслы, моделирование загрязнения, торфяно-подзолисто-глеевые почвы, торфяные болотные верховые почвы рямовых болот.

Для цитирования: Двуреченская Е.Б. 2021. Опыт полевого экспериментального моделирования воздействия разливов нефти и высокоминерализованных вод в средней тайге Западной Сибири. Региональные геосистемы, 45(4): 576–589. DOI: 10.52575/2712-7443-2021-45-4-576-589

Experimental Modeling of the Impact of Oil and Wastewater Spills in the Middle Taiga of Western Siberia

Elena B. Dvurechenskaya

Public non-profit organization «Russian Geographical Society»,
10 New Sq, building 2, Moscow 109012, Russia
E-mail: navrodsкая@gmail.com

Abstract. The article describes the results of data analysis performed after the field experimental simulation of oil pollution and wastewater from the soils of the humid landscapes of Western Siberia. The transformation of the salt composition, alkaline-acid conditions, the radial distribution of man-made hydrocarbons in the fibric histosols and histy-gleyic albeluvisols a week after the contamination was investigated. Volume of contamination agent for 10 cm soil sample depth. Crude oil was introduced to soils in the amount of 1000 g/kg, chloride-sodium mineralized water in the amount of 100 g/kg. The size

of experimental sites was 20 x 25 cm. Samples for the analysis were collected in a week after the introduction of the contaminants. Differences in technogenic area formation in different soils have been revealed. The results of these experiments can be used to develop and specify criteria for the creation of regional regulations and local programs for elimination of different emergencies in the field.

Keywords: raised bogs of Western Siberia, oil pollution, sewage pollution, oil fields, oil modeling of spills, fibric histosols, histy-gleyic albeluvisols.

For citation: Dvurechenskaya E.B. 2021. Experimental Modeling of the Impact of Oil and Wastewater Spills in the Middle Taiga of Western Siberia. *Regional Geosystems*, 45(4): 576–589. DOI: 10.52575/2712-7443-2021-45-4-576-589. DOI: 10.52575/2712-7443-2021-45-4-576-589 (in Russian).

Введение

Добыча углеводородного сырья (в том числе нефти), без которого современная цивилизация не может обойтись, сопровождается огромным ущербом для биосферы планеты, хотя сопутствующие этому виду деятельности отрицательные процессы не являются неизбежными. Однако ни один из современных промыслов не относится к «безотходному» производству из-за несовершенства технологии добычи или её нарушений, плохого качества или недопустимого износа оборудования. При этом, чем интенсивнее изъятие флюида, тем активнее идет формирование техногенных потоков, поступающих в природную среду.

Изучение геохимической трансформации почв в районах нефтедобычи осложнено многокомпонентностью техногенных потоков и мозаичностью почвенного покрова, принимающего загрязнитель [Солнцева, 1998; 2002; Вечная мерзлота ..., 2002]. Воздействие нефтепромыслов на природную среду отличается разнообразием состава загрязнителей, не всегда точно оценимым объёмом добычи и продолжительностью воздействия [Пиковский, 1993]. Полевое экспериментальное моделирование даёт более ясную картину эко-геохимических последствий каждого конкретного потока загрязнителя на определённый тип почв [Солнцева, 2002].

Как правило, модельные эксперименты в области нефтезагрязнения традиционно направлены на изучение и исследование трансформации выращенных культурных растений на почвах, загрязненных сырой нефтью [Бузмаков, Башин, 2004; Бузмаков и др., 2017] и продуктами её переработки (фитоиндикация) [Hendrickx et al., 2005; Shen et al., 2016]. Такие эксперименты помогают оценить токсический эффект для биоты. В свою очередь, данный опыт был сконструирован именно для изучения деградации некоторых типичных почв как матрицы для биогеоценоза в целом.

Объекты и методы исследования

Полевой эксперимент по моделированию воздействия нефти, дизельного топлива и высокоминерализованных вод на лесные и болотные экосистемы был проведён в июле 2018 г. на территории ХМАО полевым отрядом лаборатории почвенно-геохимических исследований географического факультета МГУ имени Ломоносова. Экспериментальные заливки загрязнителя выполнены на основе модельных экспериментов по нефтезагрязнению [Пиковский, 1993; Солнцева, 1998].

Для проведения экспериментального моделирования была выбрана площадка в 32 км к востоку от г. Ханты-Мансийск (рис. 1). В пределах площадки располагались два участка проведения эксперимента и точки комплексного описания фонового состояния природных экосистем.

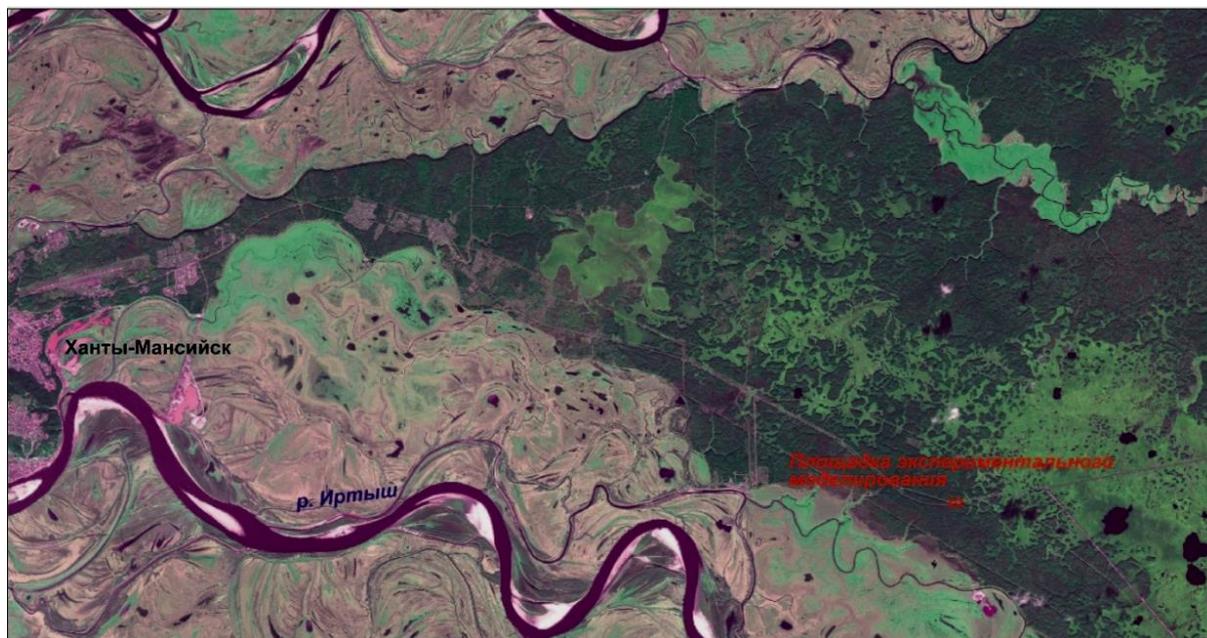


Рис. 1. Местоположение экспериментальной площадки (www.google.com)
Fig. 1. Location of the experimental site (www.google.com)

Площадка выбиралась по принципу охвата наиболее типичных для средней тайги ландшафтов¹. Первый участок располагался в пределах верхового рямового болота, второй – в елово-осиновом лесу (рис. 2). На каждом участке было по 8 площадок (20 × 25 см). На 4 площадки в пределах каждой экосистемы равномерно вносили хлоридно-натриевый рассол с концентрацией солей 100 г/л – вариант «NaCl», на следующие 4 площадки сырую нефть – вариант «Нефть». Техногенная нагрузка рассчитана для слоя почвы 10 см – 1000 г/кг нефти и 100 г/кг хлоридно-натриевого раствора.

Экспериментальные площадки заливались в четырех повторностях на период 7 дней для каждого из загрязнителей и для каждого типа почв. В лесу на площадках отбирались по 11 образцов по глубинам (0–5, 5–10 и далее через 10 см до 110) в двух повторностях (табл. 1). На болоте – по 5 образцов по глубинам (0–5, 5–10 и далее через 10 см до 40 см) в двух повторностях, из-за более высокого уровня верховодки в болотных почвах. Итого на болоте было отобрано 80 образцов, в лесу – 176. Общее количество образцов с площадок экспериментального моделирования – 256.

Природными почвами для болотной экосистемы на исследуемой территории являются торфяные болотные верховые почвы на мелких торфах, а для елового леса с кедром и берёзой – торфяно-подзолисто-глеевые почвы².

Морфологический профиль этих почв выглядит следующим образом: Ov – T1 – TT. Очес мха Ov буровато-желтого цвета состоит из живых сфагновых мхов и их неразложившихся остатков с примесью фрагментов отмерших трав и корней, мощность до 15 см. Торфяной горизонт T1 окрашен в желтовато-бурый цвет. Горизонт сложен торфом низкой и средней степени разложения. Мощность торфяника на территории исследований около 5 м.

¹ Атлас Ханты-Мансийского автономного округа – Югры, серия Природа и Экология. Ханты-Мансийск. 2004. Москва, Ханты-Мансийск, 152 с.

² Атлас Ханты-Мансийского автономного округа – Югры, серия Природа и Экология. Ханты-Мансийск. 2004. Москва, Ханты-Мансийск, 152 с.

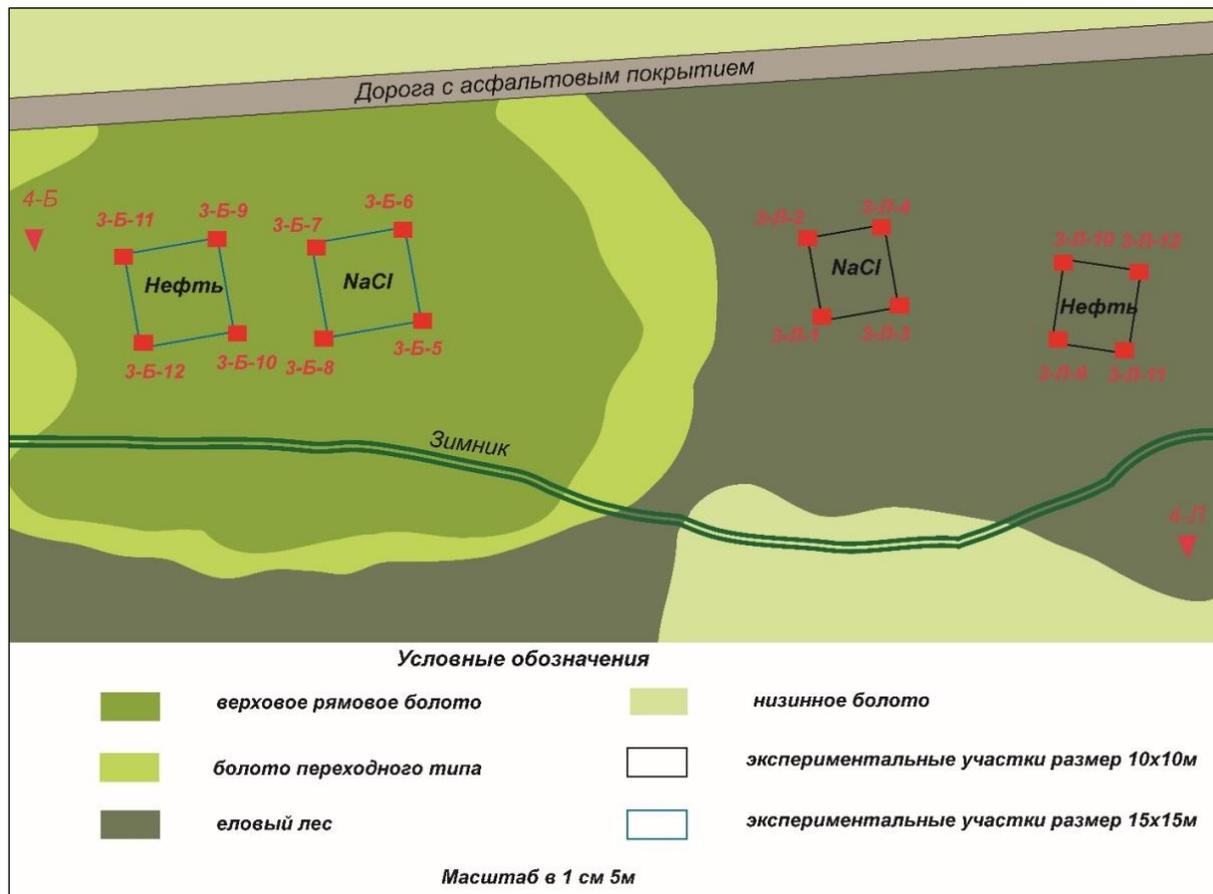


Рис. 2. Схема эксперимента по моделированию воздействия нефти и высокоминерализованных вод на лесные и болотные экосистемы
Fig. 2. Map of experiment to model the impact of oil and highly mineralized water on forest and marsh ecosystems.

Таблица 1
Table 1

Схема эксперимента по моделированию воздействия нефти и высокоминерализованных вод на лесные и болотные экосистемы
An experiment to simulate the effects of oil and high-mineralities water on forest and marsh ecosystems

Загрязнители	Размеры площадки (заливки)	Кол-во экспериментов	Схема эксперимента
Вариант «NaCl» Хлоридно-натриевый раствор: 500 г NaCl на 5 л воды для слоя почвы 10 см – 100 г/кг	20 × 25 см	Торфяно-подзолисто-глеевые – 4 площадки (заливки) – срок 7 дней – 4 повторности – 88 образцов. Торфяные болотные верховые – 4 площадки (заливки) – срок 7 дней – 4 повторности – 40 образцов	Заливается равномерно по всей площадке
Вариант «Нефть» Нефть: 5 л для слоя почвы 10 см – 1000 г/кг		Торфяно-подзолисто-глеевые – 4 площадки (заливки) – срок 7 дней – 4 повторности – 88 образцов. Торфяные болотные верховые – 4 площадки (заливки) – срок 7 дней – 4 повторности – 40 образцов	
		Итого: 16 заливок, 256 образцов	



Торфяные болотные верховые почвы отличаются очень высокой влагоемкостью. Валовое содержание Са, К и Р низкое (соответственно на сухую навеску 0,1–0,7; 0,03–0,08 и 0,03–0,2 %). Ненасыщенность основаниями высокая (50–90 %). Валового азота эти почвы содержат относительно много (0,55–2 % на сухую почву), но из подвижных его форм в почвах присутствует лишь обменный аммоний.

Торфяно-подзолисто-глеевые почвы формируются в елово-пихтовых, сосново-лиственных с примесью кедра заболоченных лесах с мохово-травяным и травяным наземным покровом на суглинистых отложениях. Морфологическое строение профиля: Т – ELg – ELBtg,n – Btg,n – BtCg – Cg (G). Профиль почв четко дифференцирован и состоит из оторфованной подстилки Т мощностью 20 см; элювиального горизонта белесого, бесструктурного с признаками оглеения и обильными железисто-марганцевыми конкрециями ELg,n; неоднородно окрашенного переходного горизонта ELBtg,n; оглеенного текстурного горизонта Btg,n грязно-бурого цвета или мраморовидного, содержащего орштейны и характеризующегося наличием сизых и грязно-коричневых кутан на поверхности педов, который постепенно сменяется оглеенной пестроокрашенной в голубоватые, сизые и ржавые тона почвообразующей породой Cg (G).

В почвах экспериментальных площадок в рамках исследования воздействия различных загрязнителей определяли величину рН, общее содержание солей, содержание органического углерода, содержание битуминозных веществ, исследовался состав ионно-солевого комплекса. Кислотность водной вытяжки определялась с помощью прибора «Эксперт-рН». Для измерения общего содержания солей использовался лабораторный кондуктометр WTW inoLab Cond Level 1. Определение обменных кальция (Ca^{2+}) и магния (Mg^{2+}) проводилось путём комплексометрического титрования, основанного на образовании комплексных соединений – ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} с ЭДТА (трилоном Б, комплексомом III). Определение обменной кислотности почв или содержания обменных форм водорода (H^+) и алюминия (Al^{3+}) проводилось методом кислотно-основного титрования раствора солевой вытяжки почвы. В водной вытяжке определялась концентрация хлорид-ионов (Cl^-) argentометрическим титрованием (метод Мора), Ca^{2+} и Mg^{2+} , водорода (H^+) и алюминия (Al^{3+}) и содержание ионов натрия (Na^+) на пламенном спектрофотометре фирмы Odyssey. Содержание органического углерода (С) определялось методом бихроматного окисления, также известного как «метод мокрого озоления по Тюрину». Определение остаточного содержания нефти и нефтепродуктов в почве проводилось путем люминесцентно-битуминологического анализа с использованием люминесцентного осветителя «Луч-2» и «Флюората 02 – 2М» (для ясности в тексте использован не аналитический термин «нефтепродукты», а «битуминозные вещества»).

Результаты и их обсуждение

Территория среднего Приобья испытывает длительное техногенное воздействие, которое преимущественно связано с разливами нефти и сточных вод. В табл. 2 приведены аналитические данные по кислотности, содержанию солей и битуминозных веществ в нарушенных почвах Среднего Приобья, используемых для эксперимента. В эти почвы вносились сырая нефть (вариант «Нефть») и хлоридно-натриевый раствор (вариант «NaCl») с расчётом техногенной нагрузки 25 л загрязнителя на m^2 .

При внесении нефти в торфяные болотные верховые почвы рямовых болот (рис. 3, Б) и торфяно-подзолисто-глеевые почвы (рис. 3, Г) происходит увеличение содержания битуминозных веществ в верхней части почвенного профиля. За неделю углеводороды нефти начали движение вниз по профилю только в торфяных болотных верховых почвах рямовых болот, в борьбе за свободное поровое пространство с почвенно-грунтовыми водами. Соотношение количества битуминозных веществ между горизонтами: О – 64 %, Т1 – 35 %, оставшийся 1 % приходится на нижележащие горизонты.

Таблица 2
Table 2Содержание битуминозных веществ (БВ), солей и показатели pH
в незагрязненных почвах среднего Приобья
The content of bitumen, salts and pH in uncontaminated soils of the middle Priobya

Тип экосистемы	Почва	Глубина (см)	pH	Содержание солей (%)	БВ (мг/кг)
Елово-мелколиственный лес	Торфяно-подзолисто-глеевая	0(2)–10	3,84	0,19	75
Елово-мелколиственный лес	Торфяно-подзолисто-глеевая	10–22	3,96	0,01	55
Елово-мелколиственный лес	Торфяно-подзолисто-глеевая	22–33	4,13	0,01	108
Елово-мелколиственный лес	Торфяно-подзолисто-глеевая	33–90	3,50	0,01	28
Елово-мелколиственный лес	Торфяно-подзолисто-глеевая	90–110	3,93	0,00	100
Рямовое болото	Торфяная болотная верховая почва рямовых болот	0–15	4,52	0,01	< 0,005
Рямовое болото	Торфяная болотная верховая почва рямовых болот	15–25	4,05	0,007	< 0,006

В торфяно-подзолисто-глеевых почвах, заняв свободное поровое пространство в горизонте Т мощностью 20 см, битуминозные вещества продвинулись вниз по профилю до глубины 45 см. В более глубокие горизонты битуминозные вещества не поступили. Соотношение количества битуминозных веществ между горизонтами: Т – 83 %, ELg – 14 %, оставшиеся 3 % приходятся на нижележащие горизонты.

Содержание органического углерода в торфяных болотных верховых почвах (рис. 3, А) наиболее значительно снижается в верхней части почвенного профиля загрязненных хлоридно-натриевым раствором почв (вариант NaCl – 91–92 %), в сравнении с почвами, загрязненными нефтью (вариант «Нефть» – 96–97 %) и ненарушенными почвами (вариант «Фон» – 98–99 %). Хлорид натрия легко вступает в обменные реакции с почвенно-поглощающим комплексом (ППК) органогенных почв. За счет высоких сорбционных свойств торфа как субстрата, низкой вертикальной скорости движения болотных вод и низкого содержания гумусового вещества для соединения с катионом Na⁺, солевые аккумуляции, формируясь на поверхности, замещают органический углерод. В нефтезагрязненных торфах таких значительных отличий в содержании органического углерода от фона не наблюдается, так как нефть «консервирует» органический углерод, не давая возможности его выноса (96–97 % – вариант «Нефть», 98–99 % – вариант «Фон»).

Совершенно иная картина распределения органического углерода наблюдается в торфяно-подзолисто-глеевых почвах (рис. 3, В). Относительно высокая вертикальная скорость движения почвенно-грунтовых вод обеспечивает накопление органического углерода лишь в верхнем горизонте Т, а затем происходит вынос его вниз по профилю во всех вариантах опыта. Незначительное увеличение содержания органического углерода в сравнении с фоном наблюдается при внесении хлоридно-натриевого раствора («Вариант NaCl»). Гуминовые кислоты этих почв имеют возможность вступать в реакцию с хлоридно-натриевым раствором (в частности, с катионом Na⁺) и образовывать гуматы [Пиковский, 1993], увеличивая таким образом содержание органического углерода. При внесении нефти содержание органического углерода резко падает. Углеводороды нефти блокируют обменные реакции в горизонте Т.

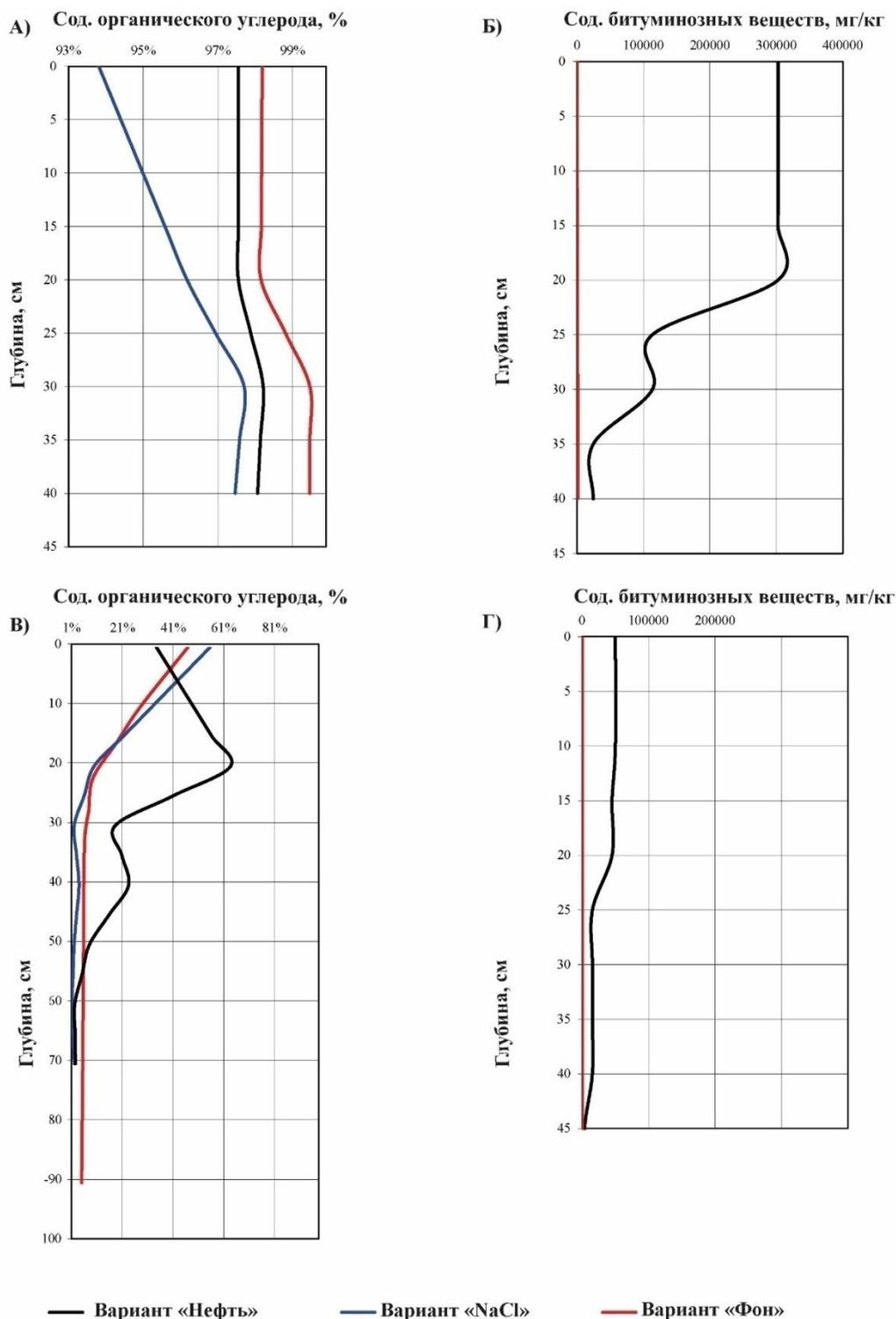


Рис. 3. Динамика изменения по почвенному профилю содержания органического углерода в % (А, В) и содержания битуминозных веществ в мг/кг (Б, Г): А, Б – для торфяных болотных верховых почв рямовых болот; В, Г – торфяно-подзолисто-глеевых почв (в фоновом состоянии – вариант «Фон»; при загрязнении хлоридно-натриевым раствором – вариант «NaCl», нефтью – вариант «Нефть»)

Fig. 3. Dynamics of change in soil profile of organic carbon content % (A, B) and petroleum products in mg/kg (Б, Г): А, Б – fibric histosols; В, Г – histy-gleyic albeluvisols (background state – "Fon" – red; contaminated with chloride-sodium solution – "NaCl" – blue and contaminated with oil – "Oil" – black)

В торфяных болотных верховых почвах и торфяно-подзолисто-глеевых поступление различных загрязнителей влияет на щелочно-кислотные свойства почв (рис. 4, А, В соответственно). Происходит подщелачивание среды в торфяных болотных верховых почвах (рис. 4, А) за счёт блокады тяжелыми фракциями насыщенных водородом обменных центров. Показатели рН достигают 5,0–5,2 (рис. 4, А). При поступлении потоков, содержащих легкорастворимые соли, происходит подкисление из-за вытеснения натрием обменного водорода и алюминия из ППК.

В торфяно-подзолистых почвах для минеральных горизонтов поступление техногенных углеводов (рис. 4, В), как и легкорастворимых солей, приводит к росту рН относительно фона. Подщелачивание среды обычно проявляется при всех типах воздействий на нефтепромыслах [Соромотин и др., 1996; Лисс и др., 2001; Савичев, 2009; Соромотин, 2010; Фоминых, 2013], в то время как в болотных почвах выявлено подкисление среды при воздействии солей. Данные различия в трансформации щелочно-кислотных условий свидетельствуют о ведущей роли углеводов в процессе подщелачивания болотных почв.

Количество солей резко увеличивается под воздействием хлоридно-натриевого раствора и достигает в среднем 3–4 % (рис. 4, Б и 4, Г). При одинаковых концентрациях солей наиболее активное засоление обнаруживается в почвах верховых рямовых болот. Так, при одинаковой концентрации солей в потоке их концентрация в торфах достигает 4–5 % (рис. 4, Б), в то время как в минеральных почвах не поднимается выше 2 % (рис. 4, Г), что обусловлено более высокой сорбционной способностью торфов. Чем выше гидроморфность ландшафта, тем ниже устойчивость техногенных солевых аккумуляций [Miller, 1981; Пиковский, 1993; Barrett, 2002; Леднев, 2007]. Устойчивость техногенных солевых аккумуляций в торфяных болотных верховых почвах значительно выше, чем в торфяно-подзолисто-глеевых почвах. Так, при разливе нефти в минеральных горизонтах происходит рассоление, а в органогенных – нет (рис. 4, Г и 4, Б соответственно).

В составе ионно-солевого комплекса торфяных верховых болотных почв преобладает H^+ и Al^{3+} (рис. 5, В), их содержание достигает 8 и 10 ммоль / 100 г соответственно. Аккумуляция минеральных солей наблюдается в торфяных верховых болотных почвах – в верхней части почвенного профиля (0–15 см), где идет вещественный обмен с приземной частью атмосферы и заметна деятельность почвенных микроорганизмов. Через неделю после поступления сырой нефти из верхних горизонтов ионы вытеснены углеводородами и аккумулируются на глубине 30–40 см. Среди катионов доминирующую роль играют Na^{2+} (10 ммоль / 100 г) как непосредственно входящий в состав пластовых вод на этой территории, Ca^{2+} (3 ммоль / 100 г) и Mg^{2+} (1 ммоль / 100 г) как компоненты болотных вод, которые активизируются при полностью вытесненных за неделю H^+ и Al^{3+} . Cl^- ион достигает значения 10 ммоль / 100 г, увеличиваясь в нижней части профиля.

При внесении хлоридно-натриевого раствора Na^{2+} начинает активно вытеснять H^+ из органических компонентов ППК (рис. 5, Б). Содержание Na^{2+} через неделю после внесения раствора достигает в верхних горизонтах 45 ммоль / 100 г. В составе ионно-солевого комплекса проявляются в небольших количествах Ca^{2+} (4 ммоль / 100 г) и Mg^{2+} (2 ммоль / 100 г) в ППК при вытесненном H^+ и Al^{3+} . Эти ионы типичны для данной территории, которая имеет гидрокарбонатный кальциевый и магниевый состав болотных вод [Леднев, 2007; Ронжина, Кречетов, 2013].

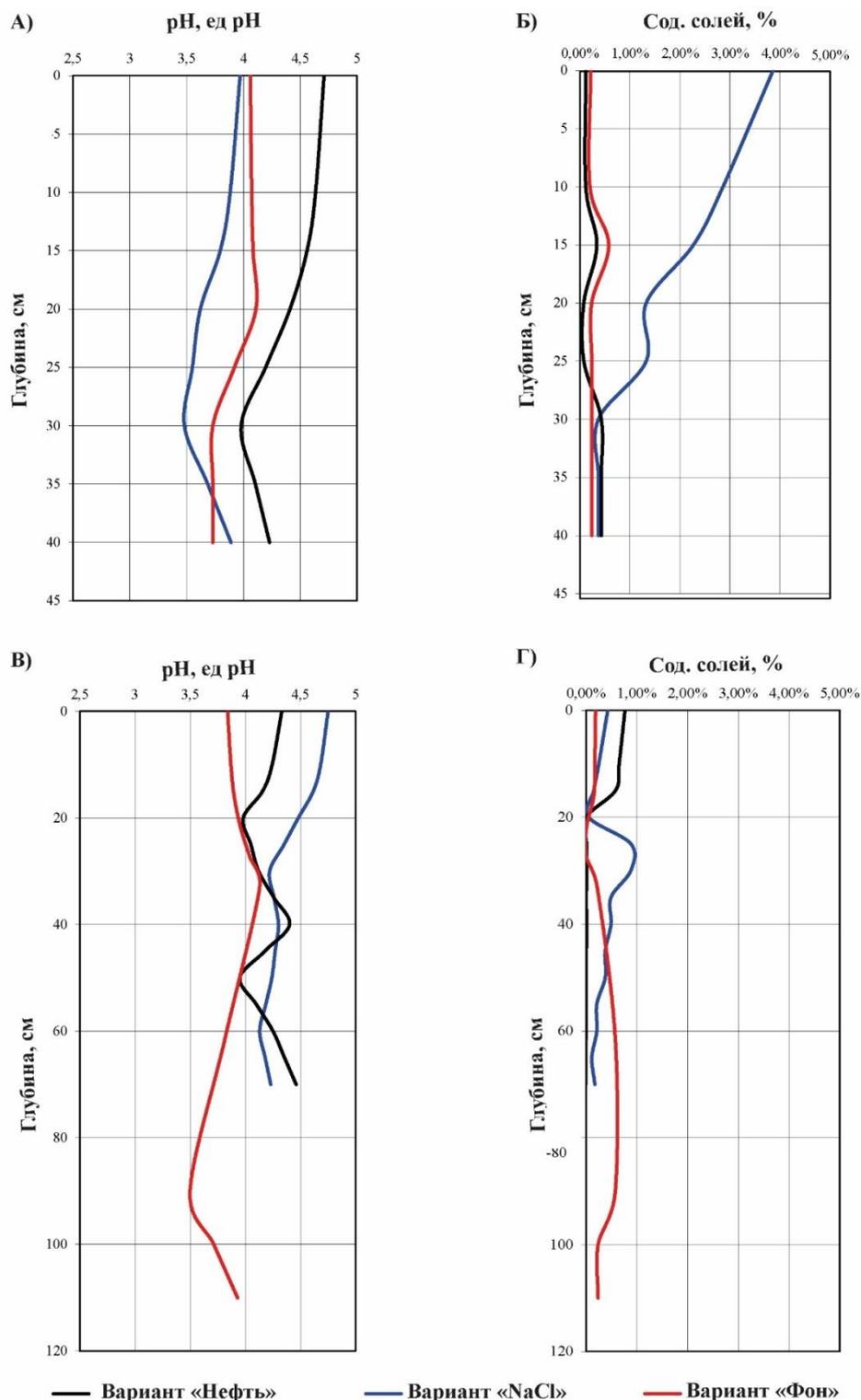


Рис. 4. Динамика изменения по почвенному профилю кислотности рН в ед. рН (А, В) и содержание солей в % (Б, Г): А, Б – для торфяных болотных верховых почв рямовых болот; В, Г – торфяно-подзолисто-глеевых почв (в фоновом состоянии – вариант «Фон»; при загрязнении хлоридно-натриевым раствором – вариант «NaCl», нефтью – вариант «Нефть»)
 Fig. 4. Dynamics of change in soil profile of pH acidity in pH (A, C) and salt content in % (B, D): A, B – fibric histosols; C, D – histy-gleyic albeluvisols (background state – "Fon" – red; contaminated with chloride-sodium solution – "NaCl" – blue and contaminated with oil – "Oil" – black)

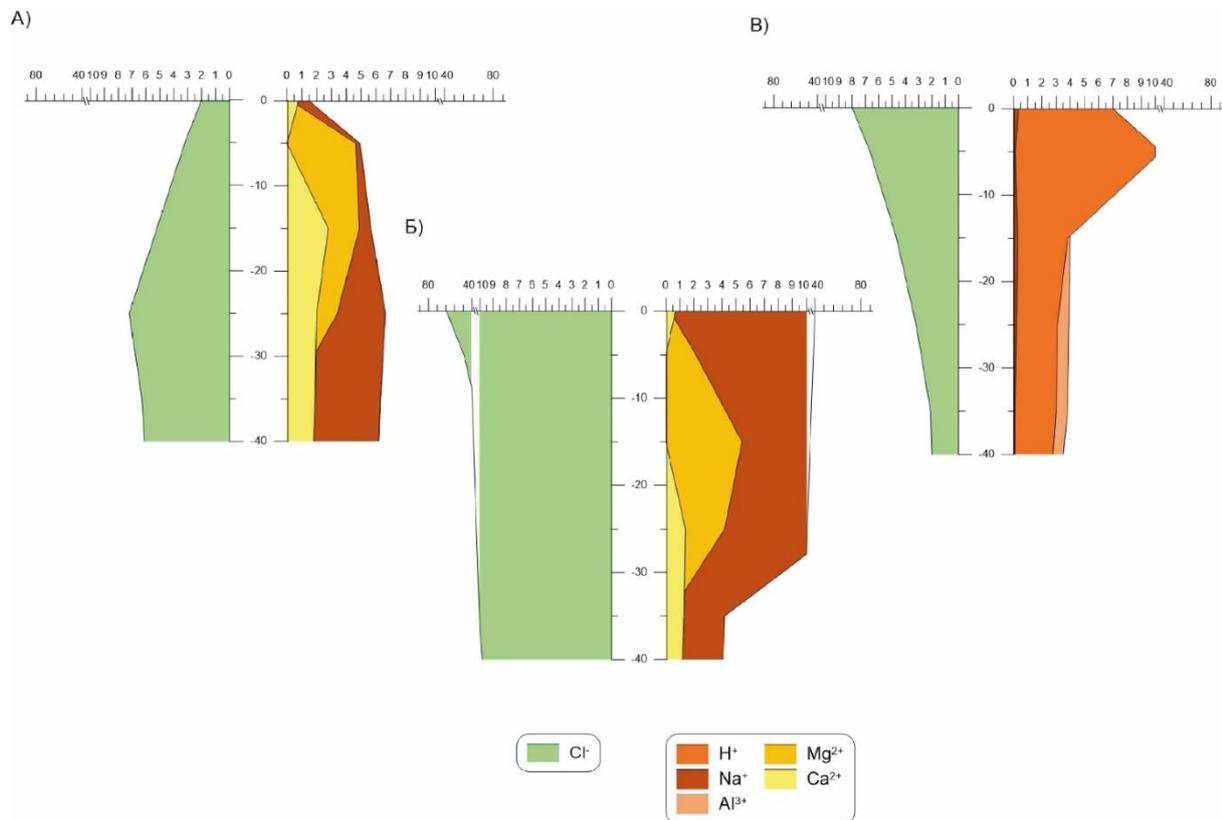


Рис. 5. Трансформация ионно-солевого комплекса (ммоль / 100 г) торфяных верховых болотных почв
Fig. 5. Transformation of the ion-salt complex (mmol/100 g) peaty marsh soils

Ионно-солевой комплекс торфяно-подзолисто-глеевых почв отличается крайне низким и достаточно равномерным по профилю содержанием катионов в ненарушенном состоянии (рис. 6, В). Через неделю после внесения сырой нефти ионно-солевой комплекс почв практически не изменился (рис. 6, А). Незначительно увеличилась доля Cl^- и Na^+ в верхней части почвенного профиля, что приурочено к аккумуляции загрязнителя. В торфяно-подзолисто-глеевых почвах при поступлении солевого раствора натрия за неделю не успевает вытеснить водород и алюминий (рис. 6, Б). Ca^{2+} (3 ммоль / 100 г) и Mg^{2+} (20 ммоль / 100 г) проявляются достаточно значимо. Na^{2+} (25 ммоль / 100 г), вытесняя H^+ и Al^{3+} , провоцирует активизацию Ca^{2+} и Mg^{2+} , которые в свою очередь входят в состав подземных вод в этом регионе западной Сибири (гидрокарбонатные кальциевые и магниевые воды [Леднев, 2007; Ронжина, Кречетов, 2013]). Причём, Mg^{2+} ведёт себя более активно, легко включаясь в органо-минеральные комплексы. Распределение солей в торфяно-подзолисто-глеевых почвах имеет аккумулятивный тип – максимальные содержания наблюдаются до глубины 40 см.

Таким образом, при одинаковой техногенной нагрузке содержание водорастворимого Na^{2+} в торфяных болотных верховых почвах достигает почвах 45 ммоль / 100 г (рис. 5, Б), а в загрязнённых торфяно-подзолисто-глеевых почвах не превышает 25 ммоль / 100 г (рис. 6, Б). Поступление нефти в исследуемые почвы находит отражение в ионно-солевом комплексе торфяных болотных верховых, а в ионно-солевом комплексе торфяно-подзолисто-глеевых почвах практически незаметно.

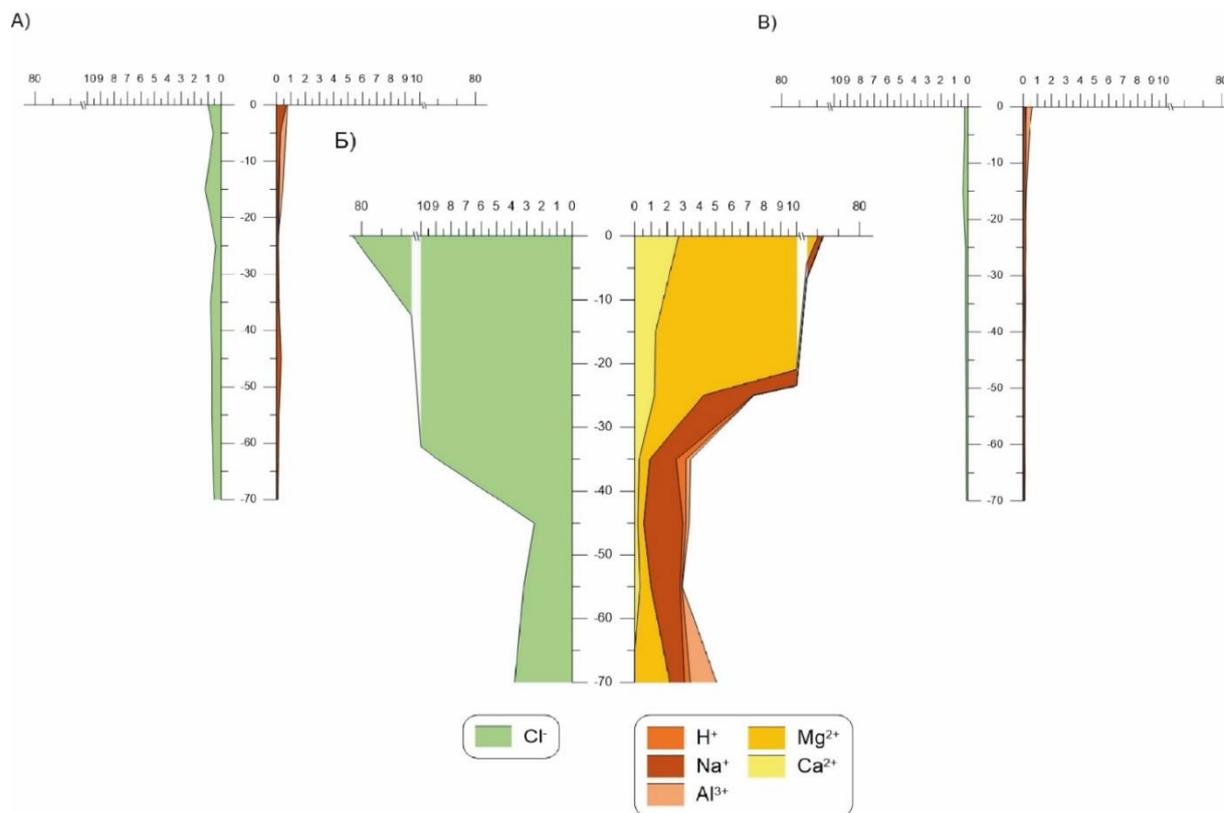


Рис. 6. Трансформация ионно-солевого комплекса (ммоль/100 г) торфяно-подзолисто-глеевых почв в их фоновом состоянии и при загрязнении хлоридно-натриевым раствором и нефтью
 Fig. 6. Transformation of the ion-salt complex (mmol/100 g) of turf-salt soils in their background and when contaminated with chloride-sodium solution and oil

Техногенный галогенез достаточно быстро развивается в почвах среднего Приобья. Это явление может быть связано как с поступлением солевых растворов в почвы, так и с разливами нефти.

Солевые аккумуляции в болотах, как правило, при натуральных наблюдениях приурочены к нижним горизонтам [Пиковский, 1993; Соромотин и др., 1996; Солнцева, 2002; Савичев, 2009; Фоминых, 2013], тогда как при экспериментальных исследованиях выявлено их расположение в верхних горизонтах через неделю после загрязнения. Следовательно, за неделю при техногенной нагрузке 25 л на 1 м² соли не выносятся вниз по профилю. Так, в торфяных верховых болотных почвах через неделю после поступления сырой нефти (расчетная нагрузка для верхних 10 см почвы – 1000 г/кг) наблюдается слабое хлоридно-натриевое засоление почв эллювиального типа распределения, хлоридно-натриевый раствор (расчетная нагрузка для слоя почвы 10 см – 100 г/кг) провоцирует образование техногенного солончака с аккумулятивным распределением солей. Ключевым фактором в развитии техногенного галогенеза является степень гидроморфизма.

Содержание солей при разливе нефти прямо пропорционально содержанию битуминозных веществ в торфяно-подзолисто-глеевых почвах, а в торфяных болотных верховых почвах – обратно пропорционально.

Заключение

Результаты модельного эксперимента показывают некоторые различия и сходства в геохимических следствиях загрязнения болотных и торфяно-подзолистых почв нефтью и

солевым раствором. Оценка различий в типах распределения вещества проведена по Б.Г. Розанову [1975].

При внесении нефти в болотные торфяные верховые почвы уже через неделю происходит увеличение содержания БВ по прогрессивно-аккумулятивному типу распределения. Органический углерод отличается недифференцированным распределением. В торфяных болотных верховых почвах происходит подщелачивание среды на несколько единиц за счёт беспрепятственной блокады тяжелыми фракциями насыщенных водородом обменных центров, вопреки общепринятым представлениям о слабом влиянии на щелочно-кислотные условия нефти в болотных почвах. В болотных почвах ионно-солевой комплекс после воздействия нефти остается неизменным относительно фона, за исключением незначительного увеличения содержания Cl^- и Na^+ в нижних торфяных горизонтах, что связано с насыщением почвенно-грунтовых вод соляным раствором.

В торфяно-подзолистых почвах при внесении нефти наблюдается подщелачивание среды примерно на одну единицу рН, что выглядит достаточно закономерно. В торфяно-подзолисто-глеевых почвах после внесения нефти органический углерод имеет регрессивно-аккумулятивный тип распределения. Увеличение содержания солей наблюдается более значительное, чем в болотных почвах при внесении сырой нефти. Доля Cl^- и Na^+ возрастает до 27 ммоль / 100 г и 25 ммоль / 100 г почвы соответственно.

При внесении солевого раствора через неделю в болотных торфяных верховых почвах наблюдается более значительное засоление, чем в торфяно-подзолистых, а также подкисление среды за счет лёгкого вытеснения натрием обменного водорода и алюминия из ППК. Содержание органического углерода отличается равномерно-элювиальным характером.

В торфяно-подзолисто-глеевых почвах происходит рост рН относительно фона и увеличение содержания солей в органогенных горизонтах. Содержание органического углерода имеет прогрессивно-аккумулятивный тип. Однако, через неделю после загрязнения наблюдается рассоление искусственно засоленных торфяно-подзолисто-глеевых почв.

Выявленные различия возможно учитывать при разработке нормативной документации в отношении предельно-допустимых концентраций загрязнителей нефтепромыслов и ранжировании торфяно-подзолистых и болотных почв средней тайги Западной Сибири по устойчивости к загрязнению, а также по методике рекультивации.

Таким образом, в торфяных верховых болотных и в торфяно-подзолисто-глеевых почвах рекультивационные работы можно проводить и через неделю после загрязнения пластовыми водами с целью препятствия техногенному галогенезу в верхних горизонтах. При работах с разливами нефти на торфяно-подзолисто-глеевых почвах не стоит рассчитывать на существенное засоление, в то время как при работе с торфяными болотными верховыми почвами, загрязненными нефтью, нужно обращать внимание и на содержание солей.

При разливах нефти необходимо ориентироваться на большую глубину проникновения углеводородов в торфяных верховых болотных почвах, нежели в торфяно-подзолисто-глеевых.

Список литературы

1. Бузмаков С.А., Башин Г.П. 2004. Метод оценки воздействия остаточных нефтепродуктов на почвы. География и природные ресурсы, 2: 119–122.
2. Бузмаков С.А., Егорова Д.О., Гатина Е.Л. 2017. Доза-эффект нефтезагрязнения почв на биотический компонент экосистем. Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности, 25 (2): 217–229. DOI: 10.22363/2313-2310-2017-25-2-217-229.
3. Вечная мерзлота и освоение нефтегазоносных районов. 2002. Под. ред. Е.С. Мельникова, С.Е. Гречищева. М., ГЕОС, 402 с.



4. Леднев А.В. 2007. Влияние нефтеводосолевой эмульсии на степень засоления дерново-подзолистых почв. *Плodoreдие*, 4: 65–72.
5. Лисс О.Л., Абрамова Л.И., Аветов Н.А., Березина Н.А., Инишева Л.И., Курнишкова Т.В., Слукa З.А., Толпышева Т.Ю., Шведчикова Н.К. 2001. Болотные системы Западной Сибири и их природоохранное значение. Тула, Гриф и Ко, 584 с.
6. Пиковский Ю.И. 1993. Природные и техногенные потоки углеводородов в окружающей среде. М., Изд-во МГУ, 208 с.
7. Ронжина Т.В., Кречетов П.П. 2013. Изменение кислотно-основного состояния почв в результате реализации механизмов геохимической буферности при импактном воздействии минерализованных вод на торфяно-подзолистые почвы. *Фундаментальные исследования*, 10: 1293–1296.
8. Савичев О.Г. 2009. Химический состав болотных вод на территории томской области (Западная Сибирь) и их взаимодействие с минеральными и органоминеральными соединениями. *Известия Томского политехнического университета*, 314 (1): 72–77.
9. Солнцева Н.П. 1998. Добыча нефти и геохимия природных ландшафтов. М., Изд-во МГУ, 376 с.
10. Солнцева Н.П. 2002. Принципы и методы экспериментального моделирования миграции и закрепления нефти и нефтепродуктов в почвах. В кн.: *Геохимия ландшафтов и география почв*. Под ред. Н.С. Касимовой, М.И. Герасимовой. Смоленск, Ойкумена: 65–90.
11. Соромотин А.В., Гашев С.Н., Казанцева М.Н. 1996. Солевое загрязнение таежных биоценозов при нефтедобыче в Среднем Приобье. *Проблемы географии и экологии Западной Сибири*, 121–131.
12. Соромотин А.В. 2010. Воздействие добычи нефти на таежные экосистемы Западной Сибири. Тюмень, Изд-во Тюменского государственного университета, 320 с.
13. Фоминых Д.Е. 2013. Анализ эффективности работ по рекультивации засоленных земель Среднего Приобья. *Глобальный научный потенциал*, 8 (29): 83–85.
14. Barrett M.L. 2002. Saltwater waste and landscape change, Smackover Field, Arkansas. *Environmental Geosciences*, 9 (1): 17–28. DOI:10.1046/j.1526-0984.2002.91003.x.
15. Hendrickx J.M.H., Rodríguez-Marín G., Hicks R.T., Simunek J. 2005. Modeling study of produced water release scenarios. USA, API Publication, 125 p.
16. Miller C. 1981. Petroleum hydrocarbons in aquatic ecosystems behavior and effects of sub lethal concentrations. *Critical Review Environment Control*, 11 (2): 105–162.
17. Shen W., Zhu N., Cui J., Wang H., Dang Z., Wu P., Luo Y., Shi C. 2016. Ecotoxicity monitoring and bioindicator screening of oil-contaminated soil during bioremediation. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 124: 120–128. DOI:10.1016/j.ecoenv.2015.10.005.

References

1. Buzmakov S.A., Bashin G.P. 2004. Metod otsenki vozdeystviya ostatochnykh nefteproduktov na pochvy [Method for assessing the impact of residual oil products on soils]. *Geografiya i prirodnyye resursy*, 2: 119–122.
2. Buzmakov S.A., Egorova D.O., Gatina E.L. 2017. The Dose-Effect of Oil Pollution of Soils on the Biotic Component of Ecosystems. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*, 25 (2): 217–229. DOI: 10.22363/2313-2310-2017-25-2-217-229 (in Russian).
3. Vechnaya merzlota i osvoyeniye neftegazonosnykh rayonov [Permafrost and the development of oil and gas regions]. 2002. Ed. Ye.S. Mel'nikova, S.Ye. Grechishcheva. Moscow, Publ. GEOS, 402 p.
4. Lednev A.V. 2007. Vliyanie neftevodosolevoy emulsii na stepen zasoleniya dernovo-podzolistykh pochv [Influence of oil-water-salt emulsion on the degree of salinization of sod-podzolic soils]. *Plodorediye*, 4: 65–72.
5. Liss O.L., Abramova L.I., Avetov N.A., Berezina N.A., Inisheva L.I., Kurnishkova T.V., Sluka Z.A., Tolpysheva T.Yu., Shvedchikova N.K. 2001. Bolotnyye sistemy Zapadnoy Sibiri i ikh prirodookhrannoye znacheniye [Swamp systems of Western Siberia and their nature conservation value]. Tuла, Publ. Grif i Ko, 584 p.



6. Pikovskiy Yu.I. 1993. Prirodnyye i tekhnogennyye potoki uglevodorodov v okruzhayushchey srede [Natural and technogenic flows of hydrocarbons in the environment]. Moscow, Publ. MGU, 208 p.
7. Ronzhina T.V., Krechetov P.P. 2013. Changes in Soil Acid-Base Composition as a Result of Geochemical Buffering Due to Highly Mineralized Water Impact on Spod-Podzolic Soils. *Fundamental Research*, 10: 1293–1296 (in Russian).
8. Savichev O.G. 2009. Chemical Composition of Bog Waters of Tomsk Region (Western Siberia) and Interaction with Mineral and Organic-Mineral Compounds. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 314 (1): 72–77 (in Russian).
9. Solntseva N.P. 1998. Dobycha nefiti i geokhimiya prirodnykh landshaftov [Oil production and geochemistry of natural landscapes]. Moscow, Publ. MGU, 376 p.
10. Solntseva N.P. 2002. Printsipy i metody eksperimental'nogo modelirovaniya migratsii i zakrepleniya nefiti i nefteproduktov v pochvakh [Principles and methods of experimental modeling of migration and fixation of oil and oil products in soils]. In: *Geokhimiya landshaftov i geografiya pochv* [Geochemistry of landscapes and geography of soils]. Ed. N.S. Kasimova, M.I. Gerasimova. Smolensk, Publ. Oykumena: 65–90.
11. Soromotin A.V., Gashev S.N., Kazantseva M.N. 1996. Solevoye zagryazneniye tayezhnykh biotsenozov pri neftedobyche v Srednem Priobye [Salt pollution of taiga biocenoses during oil production in the Middle Ob region]. *Problemy geografii i ekologii Zapadnoy Sibiri*, 121–131.
12. Soromotin A.V. 2010. Vozdeystviye dobychi nefiti na tayezhnyye ekosistemy Zapadnoy Sibiri [Impact of oil production on taiga ecosystems of Western Siberia]. Tyumen, Publ. Tyumen State University, 320 p.
13. Fominyh D.E. 2013. Efficiency Analysis of Reclamation of Saline Land in the Oil Fields of the Middle Ob. *Global Journals*, 8 (29): 83–85 (in Russian).
14. Barrett M.L. 2002. Saltwater waste and landscape change, Smackover Field, Arkansas. *Environmental Geosciences*, 9 (1): 17–28. DOI:10.1046/j.1526-0984.2002.91003.x.
15. Hendrickx J.M.H., Rodriguez-Marín G., Hicks R.T., Simunek J. 2005. Modeling study of produced water release scenarios. USA, API Publication, 125 p.
16. Miller C. 1981. Petroleum hydrocarbons in aquatic ecosystems behavior and effects of sub lethal concentrations. *Critical Review Environment Control*, 11 (2): 105–162.
17. Shen W., Zhu N., Cui J., Wang H., Dang Z., Wu P., Luo Y., Shi C. 2016. Ecotoxicity monitoring and bioindicator screening of oil-contaminated soil during bioremediation. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 124: 120–128. DOI:10.1016/j.ecoenv.2015.10.005.

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

Двуреченская Елена Борисовна, научный сотрудник кафедры Геохимии ландшафтов и географии почв МГУ им. М.В. Ломоносова, ответственный секретарь Московского городского отделения «Русского географического общества», Москва, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Elena B. Dvurechenskaya, researcher, department Geochemistry of landscapes and geography of soils, Moscow State University M.V. Lomonosov, Executive Secretary of the Moscow City Branch of the "Russian Geographical Society", Moscow, Russia



УДК 502.42
DOI 10.52575/2712-7443-2021-45-4-590-600

Проблемы выделения границ водоохранных зон Вычегды от г. Сыктывкара до устья

Денисова И.В., Турков Н.А.

Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина,
Россия, 167000, г. Сыктывкар, ул. Петрозаводская, 12
e-mail: ilona4021@yandex.ru

Аннотация. Бассейн Вычегды на протяжении длительного времени относится к зонам основных промышленных лесозаготовок и является базой размещения предприятий-гигантов целлюлозно-бумажной промышленности. Вырубки леса, часто неконтролируемые и нерациональные, негативно сказываются на гидрологическом режиме реки и на состоянии других компонентов ландшафта. Проблема оптимизации ширины водоохранных зон и прибрежных защитных полос, исходя из ландшафтных особенностей, является недостаточно изученной. Размеры водоохранных зон продолжают определяться по шаблону, регламентированному нормативами в зависимости от длины водотока. В связи с этим авторы поставили цель уточнить границы водоохранных зон для исследуемого участка реки согласно методике определения размеров защитно-водоохранных лесов, разработанной специально для равнинных рек таёжной зоны, М.В. Рубцова. Проведённые расчёты показали, что границы водоохранных зон значительно превышают размеры, регламентированные нормативами.

Ключевые слова: среднее и нижнее течение Вычегды, водоохранные зоны, прибрежные защитные полосы, вырубка лесов, природопользование, экосистемы речных долин.

Для цитирования: Денисова И.В., Турков Н.А. 2021. Проблемы выделения границ водоохранных зон Вычегды от г. Сыктывкара до устья. Региональные геосистемы, 45(4): 590–600. DOI: 10.52575/2712-7443-2021-45-4-590-600

Problems of Allocation of Borders of Water Protection Areas of Vychegda River from Syktyvkar City to the Mouth

Ilona V. Denisova, Nikita A. Turkov

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
«Pitirim Sorokin Syktyvkar State University»,
12 Petrozavodskaya St, Syktyvkar 167000, Russia
e-mail: ilona4021@yandex.ru

Abstract. The Vychegda River basin for a long time belongs to the areas of the main industrial logging and the base for the placement of giant enterprises of the pulp and paper industry. Deforestation, often uncontrolled and irrational, negatively affects the hydrological regime of the river and the state of other components of the landscape. The problem of optimizing the width of water protection zones and coastal protective strips, based on landscape features, is insufficiently studied. The sizes of water protection zones continue to be determined according to a template regulated by standards depending on the length of the watercourse. In this regard, the authors set a goal to clarify the boundaries of water protection zones for the studied section of the river according to the methodology for determining the size of protective and water protection forests, developed specifically for lowland rivers of the taiga zone, M.V. Rubtsov. The calculations have shown that the boundaries of water protection zones significantly exceed the sizes regulated by standards.

Key words: the middle and lower current of the Vychegda River, water protection areas, coastal protective strips, deforestation, environmental management, ecosystems of river valleys.

For citation: Denisova I.V., Turkov N.A. 2021. Problems of Allocation of Borders of Water Protection Areas of Vychegda River from Syktyvkar City to the Mouth. Regional Geosystems, 45(4): 590–600 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2021-45-4-590-600

Введение

Сохранение ландшафтов речных долин и таёжных лесов в настоящее время является важной задачей для Европейского Северо-Востока России, на территории которого расположен бассейн Вычегды. Вопросы о создании водоохранных зон рассматриваемой территории появились ещё в начале XX в., но особенно остро проблема обозначилась в 70-е годы в связи с тем, что бассейны многих северных рек таёжной зоны, не только Вычегды, относятся к районам основных промышленных лесозаготовок. Леса являются важным элементом ландшафта, следовательно, их сведение негативно отражается на других ландшафтных компонентах, в первую очередь, на почвах, рельефе, поверхностных и подземных водах, что может привести к безвозвратному исчезновению уникальных экосистем.

Речной бассейн Вычегды уникален вследствие специфики геолого-геоморфологического строения территории, климатических особенностей, обусловленных расположением в высоких широтах и атмосферной циркуляцией, характера растительных сообществ. Перечисленные факторы являются основополагающими при формировании гидрологического режима реки. Важной особенностью Вычегды является строение долины, которая сложена рыхлыми отложениями – песчаниками и супесчаниками, что предопределяет высокую неустойчивость русла, по показателям которой и по неустойчивости песков река занимает первое место в РФ [Денисова, 2006; 2021]. Кроме того, необходимо учитывать, что для реки характерно высокое, бурно протекающее, весеннее половодье, с подтоплениями жилых и промышленных территорий, что практически ежегодно наносит значительный экономический ущерб.

Таёжные леса, как важный элемент ландшафта, способствуют регулированию гидрологического режима реки, стока воды и наносов. Для устойчивого функционирования водных экосистем они играют одну из первостепенных ролей. Следовательно, необходимы более рациональные подходы к оптимизации границ водоохранных зон Вычегды. К таким подходам следует отнести методику М.В. Рубцова, разработанную в 1970–80-е гг. XX в., но несправедливо отодвинутую на второй план. Цель работы – сравнение и анализ размеров границ водоохранных зон, регламентированных существующими нормативными документами и рассчитанных, согласно методике М.В. Рубцова, для участка Вычегды от г. Сыктывкара до устья.

Объекты и методы исследования

Объект исследования – водоохранные зоны долины Вычегды от г. Сыктывкара до устья реки. При определении границ водоохранных зон многие страны используют бассейновый подход, что характерно и для нашей страны. Для установления их размеров применяются строго регламентированные нормативы, закреплённые законодательством.

Согласно действующим регламентам, в РФ размеры водоохранных зон для рек и ручьёв устанавливаются в зависимости от длины водотока, исходя из которой устанавливается минимальная ширина водоохранных зон, отсчитываемая от среднесезонного уреза воды в летний период. Граница водоохранной зоны устанавливается от истока для рек или ручьёв протяжённостью: до 10 км – в размере 50 м; от 10 до 50 км – в размере

100 м; от 50 км и более – в размере 200 м [Водный кодекс РФ, 2021]. Однако такая методика не учитывает всех ландшафтно-экологических особенностей территории, для которой ограничения в сфере лесопользования должны быть более жёсткими. Рассматривая опыт выделения водоохранных зон в странах, располагающих территориями с похожими природно-климатическими условиями, например, США, можно резюмировать, что они используют шаблонный подход. Под водоохранные зоны там отводится по 25 м от обоих берегов, и возникает неопределённость с классификацией рек по критериям дикости и живописности.

По мнению авторов данной статьи, оптимальной методикой для расчёта границ водоохранных зон территории Европейского Северо-Востока РФ, учитывающей ландшафтные особенности, явилась методика определения размеров защитно-водоохранных лесов для равнинных рек таёжной зоны М.В. Рубцова [1978]. Согласно данной методике, границы защитно-водоохранных насаждений следует идентифицировать как сумму ширины водопоглотительной полосы и расстояния от уреза воды до бровки склона речной долины (рис. 1).

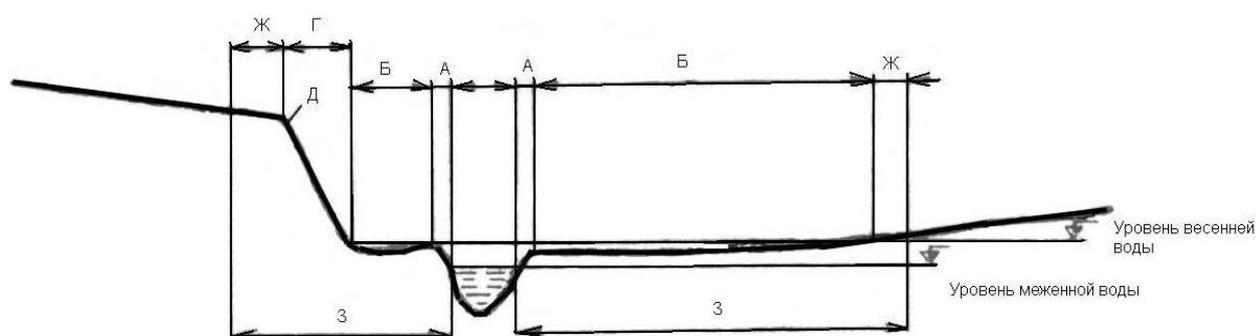


Рис. 1. Схема выделения водопоглотительной полосы согласно методике М.В. Рубцова:
А – меженный берег; Б – пойма; Г – коренной берег; Д – бровка склона долины;
Ж – водопоглотительная полоса; З – защитные леса

Fig. 1. Scheme of allocation of a water-absorbing strip according to the methodology of M.V. Rubtsov:
А – low water period coast; Б – floodplain; Г – indigenous coast; Д – edge of the valley slope;
Ж – water-absorbing strip; З – protective forests

В методике М.В. Рубцова при расчёте размеров границ водоохранных зон используются различные физико-географические характеристики речной долины: особенности грунта, коренной берег, крутизна склонов, тип древостоя, расстояние между деревьями. Исходя из ландшафтно-экологических особенностей – геолого-геоморфологического строения, гидрологического режима реки, специфики русловых процессов – границы защитно-водоохранных зон варьируют как по длине водотока, так и по правобережью и левобережью речной долины.

Все насаждения речных долин рассматриваются как элементы ландшафта со специфическими природными явлениями, особенно при отнесении их к охраняемым природным территориям для установления специального режима хозяйствования с целью сохранения средообразующей роли леса.

Таёжные леса выполняют важные для существования ландшафта и жизнедеятельности человека функции: климатообразующую, противозерозионную, аккумуляционную, бактерицидную. В речных долинах противозерозионная роль насаждений заключается в протекции поймы и берегов, склонов долин, надпойменных террас. Аккумуляционная роль – в задержке и закреплении наносов. Бактерицидная функция – в перехвате болезнетворных микроорганизмов, переносимых стоком из населённых пунктов и с сельскохозяйственных угодий. Насаждения помогают задерживать опасные химические соединения.

Для нормального функционирования ландшафта и жизнедеятельности человека леса улучшают качество воды по микробиологическим и химическим показателям, регулируют гидрологический режим реки, снижая обмеление в меженные периоды и сглаживая половодье, сохраняют продуктивность сельскохозяйственных угодий. В сложной системе взаимоотношений между экосистемами речных долин лес является необходимым условием для их существования [Барышников и др., 2006; Денисова, 2020].

На меженных берегах защитная функция насаждений проявляется дифференцированно для выпуклых и вогнутых берегов реки в различные фазы гидрологического режима, особенно, в межень и половодье. На вогнутых, размываемых берегах леса содействуют берегоукреплению и противодействию эрозии. Это заключается в удержании, оплетании почвенных частиц корнями и механическом удержании корневыми системами почвогрунта; в прямом отражении действия потоков воды и льда скелетными корнями; в снижении влажности береговой толщи почвогрунта после спада половодья посредством транспирации. На выпуклых, намываемых берегах протекция леса заключена в усилении аккумуляции [Рубцов, 1972].

Закрепляющая функция насаждений вдоль меженных берегов реки и на пойме проявляется в снижении объёмов твёрдого стока, поступающего в русло и вызывающего образование мелей и перекатов, лес накапливает его на прирусловых валах и пойме. Наличие деревьев и кустарников способствует углублению потока русла вследствие концентрации кинетической энергии близ фарватера.

Леса на склонах коренных берегов долины по максимуму выполняют противоэрозионную и водорегулирующую функцию. Обусловлено это тем, что они произрастают на территории звена гидрографической сети с минимальным базисом эрозии. Корневыми системами лес скрепляет почвогрунт, улучшает дренаж и водопроницаемость почв. Противоэрозионная роль насаждений у подошвы коренного берега долины особенно велика там, где пойма не выражена, и русло реки подходит непосредственно к коренному берегу. В период весеннего половодья лес противодействует плоскостной эрозии и предотвращает разрушение подошвы коренного берега долины.

Леса склонов коренных берегов защищают их от оползней и осыпей. Деревья и кустарники повышают дренаж и водопроницаемость почвогрунтов, способствуют более полному и ускоренному переводу поверхностного стока во внутрипочвенный. Транспирируя влагу, леса на склонах коренных берегов уменьшают влажность горизонтов водоупорных слоёв, снижая так оползневую деятельность на склонах.

Лес бровки коренного берега предотвращает поверхностный сток с ближайших территорий на склоны коренных берегов долины. Насаждения забровочных полос перехватывают и переводят во внутрипочвенный поверхностный сток с примыкающей безлесной территории при вырубке эксплуатационных лесов. Водопоглотительные полосы выделяются по границе затопления местности (табл. 1) [Рубцов, 1978].

Таблица 1
Table 1Ширина водопоглотительных полос (ВПП)
Width of water-absorbing strips

Механический состав почв	Древесная порода	Ширина ВПП, м
песок	все	50
супесь	все	100
суглинок	все, кроме ели	150
	ель	200



К защитно-водоохранным лесам среднего и нижнего течения Вычегды отнесены следующие участки: на берегах и пойме; на склонах коренных берегов или на террасах крутизной более 5° , примыкающих к пойме или – при её отсутствии – к руслу; на стокоперехватывающих лесных полосах, расположенных от бровки склонов крутизной более 5° , при их отсутствии – от поймы. В случае отсутствия поймы и таких склонов стокоперехватывающая полоса примыкает к берегу реки [Рубцов, 1978].

При определении границ водоохранных зон использовались карты территории масштаба 1:200000, карты реки Вычегда от г. Сыктывкар до устья – места впадения в Северную Двину [Карта реки Вычегда ..., 1982; 1992].

Результаты и их обсуждение

Водоохранные зоны относятся к охраняемым природным территориям, особенность выделения которых – шаблонный подход. Их ширина, размеры прибрежных защитных полос утверждаются органами исполнительной власти субъектов РФ по представлению бассейновых и других территориальных органов управления использованием и охраной водного фонда Министерства природных ресурсов РФ, согласованному со специально уполномоченными государственными органами в сфере охраны окружающей природной среды, органами санитарно-эпидемиологического надзора и органами Федеральной пограничной службы РФ в соответствии с их полномочиями.

Водоохранные зоны – территории, граничащие с акваториями водных объектов, в пределах которых регламентирована хозяйственная деятельность в целях защиты указанных объектов от загрязнения, засорения, истощения и заиления, а также сохранения среды обитания гидробионтов. В пределах водоохранных зон запрещено размещение складов ядохимикатов, кладбищ, скотомогильников, вырубка лесов, свалок твёрдых бытовых отходов, распашка земель, размещение животноводческих комплексов и другие виды хозяйственной деятельности.

В пределах водоохранных зон устанавливаются прибрежные защитные полосы, на их территориях вводятся дополнительные регламенты для ведения хозяйства. В прибрежных защитных полосах запрещены распашка земель, рубка и корчевка леса, размещение животноводческих ферм и лагерей, другие виды деятельности. Допускается размещение объектов водоснабжения, рекреации, рыбного и охотничьего хозяйств, водозаборных, портовых и гидротехнических сооружений при наличии лицензии на водопользование.

Оптимизация границ водоохранных зон – важное условие для сохранения гидрографической сети и ландшафтов речных долин, рационализации сферы лесопользования. Соблюдение границ водоохранных зон необходимо вследствие усиленной вырубки лесов, несмотря на то что анализ топографических карт и аэрофотоснимков демонстрирует, что речные бассейны имеют высокую залесённость территории, составляющую 95–98 %.

Уникальность элементов ландшафтов речных долин Европейского Северо-Востока и специфика их взаимосвязей предопределяет необходимость существования лесов для сохранения экосистем. Таёжные леса вдоль рек имеют и народнохозяйственное значение: сельскохозяйственное, водохозяйственное, транспортное, энергетическое, рыбохозяйственное, охотхозяйственное, рекреационное и туристическое. Сами водоохранные зоны являются объектом проектирования гидротехнических и других социально-значимых инфраструктурных систем.

Для территории бассейна Вычегды характерна развитая гидрографическая сеть, густота которой составляет от 0,3 до 1,1 км/км², средняя густота – 0,62 км/км², заболоченность – 5–10 % км/км². Долина реки сложена в основном песчаниками и супесчаниками, что обуславливает крайнюю неустойчивость русла. Почвенный покров исследуемого участка представлен подзолистыми, торфяно-подзолисто-глеевыми, подзолисто-иллювиально-глеевыми, аллювиальными дерновыми, дерново-глеевыми и аллювиальными-

ми болотными, болотными верховыми остаточными почвами; подзолами иллювиально-гумусово-железистыми; иллювиально-железистыми на кварцевых песках; болотными переходными, остаточными обедненными торфяными и перегнойно-торфяными почвами.

Характеристики климата обусловлены расположением речного бассейна в умеренном поясе, небольшим количеством солнечной радиации зимой, влиянием северных морей и западным переносом. Среднеянварские температуры составляют -14°C , среднеиюльские – $+17^{\circ}\text{C}$. Осенью переход среднесуточной температуры через 0° происходит в пределах 20 октября, весной – 10 апреля. 27 % атмосферных осадков составляет снег, 55 % – дожди, 12 % – смешанные осадки. Годовое количество осадков – 650–700 мм. Осадки превышают испаряемость. Коэффициент увлажнения – больше единицы.

Согласно типологии русловых процессов, Вычегда – река с незавершённым типом меандрирования. Коэффициент извилистости составляет 1–2. Питание смешанное – преимущественно снеговое, составляющее более 50 % стока, также присутствуют дождевое и подземное питание. Преобладающая часть стока сбрасывается в период затяжного весеннего половодья, обусловленного периодическими резкими понижениями температуры воздуха и высокой облесённостью территории [Ресурсы поверхностных ..., 1972; Власова и др., 2011; Денисова, 2021].

Анализ топографических карт показывает особенности исследуемого участка долины Вычегды. Грунты, слагающие правый и левый берег, легко размываемые и представлены в основном песчаниками. Супесчаниками сложены берега участка от устья Виледи до устья Вычегды. В период половодья размыв и движение руслового аллювия периодически нарушает работу инженерных сооружений, расположенных на реке. Коренным берегом является левый берег.

Крутизна склонов варьирует от 10° до 40° , что свидетельствует о необходимости существования водоохранных лесов. Древостой представлен берёзой, елью, сосной. Расстояние между деревьями находится в диапазоне от 2 до 5 м, наибольшие расстояния приурочены к местам рубок и к заболоченным участкам (табл. 2).

Таблица 2

Table 2

Характеристика речной долины среднего и нижнего течения Вычегды
A characteristic of the river valley of the middle and lower reaches of the Vychegda

Участок реки	Грунт		Коренной берег	Крутизна склонов	Характеристика древостоя	Расстояние между деревьями, м
	Левый берег	Правый берег				
г. Сыктывкар – устье Выми	песчаный	песчаный	левый	$10-40^{\circ}$	берёза, ель	2
устье Выми – устье верхней Лупьи	песчаный	песчаный	левый	$10-40^{\circ}$	ель, сосна, берёза	5
устье верхней Лупьи – устье Виледи	песчаный	песчаный	левый	$10-22^{\circ}$	берёза, ель, сосна	4
устье Виледи – устье Вычегды	супесчаный	супесчаный	левый	$10-22^{\circ}$	ель, сосна, берёза	2

Приведённый краткий анализ физико-географических особенностей территории и хозяйственной деятельности свидетельствует, что для исследуемого участка Вычегды необходим специальный подход к определению границ водоохранных зон, учитывающий ландшафтно-экологические особенности.



В идеале размеры водоохранных зон и режим их использования должны устанавливаться на основе особенностей физико-географических, почвенных, гидрологических и других ландшафтно-экологических характеристик территории. Дополнительными условиями являются прогноз изменения береговой линии и специфика развития русловых процессов.

Длина Вычегды – 1130 км, физико-географические особенности ландшафта, особенно характер грунтов, предопределяют важность сохранения лесов для существования экосистемы. Согласно нормативу, размер водоохранных зон для реки составляет 200 м [Водный кодекс РФ, 2021]. Следовательно, существующий нормативный подход выделения водоохранных зон с целью ведения специального режима лесного хозяйства не является оптимальным и эффективным для достижения экономических целей. Вследствие нанесённого экосистеме вреда из-за вырубki леса экономическая выгода может обернуться экономическим ущербом, характеризующимся повышенными затратами на очищение воды в период весеннего половодья и паводков, на здравоохранение, по причине ухудшения санитарно-эпидемиологической ситуации из-за снижения качества воды по микробиологическим и химическим показателям, на противоэрозионные мероприятия, даже на изменение климата.

Согласно шаблонному подходу, в запретные полосы часто не включены все насаждения, выполняющие важную средообразующую роль в речных долинах, а часть защитно-водоохранных лесов относят к эксплуатационным. Бывают диаметрально противоположные ситуации, когда ширина полос превышает ширину долины. В этих случаях к защитно-водоохранным лесам вдоль рек необоснованно относят часть эксплуатационных древостоев, не выполняющих важной средообразующей роли по отношению к водотоку.

Для таёжной зоны не всегда предполагается запрет частичной замены пойменных защитно-водоохранных лесов сельскохозяйственными угодьями. Учитывая, что бассейн Вычегды относится к районам рискованного земледелия, сельское хозяйство территории не носит промышленных масштабов, ориентировано в основном на удовлетворение нужд населения Республики Коми и Архангельской области. Соответственно, в каждом конкретном случае необходимо решать вопрос о рациональном размещении на пойме сельскохозяйственных угодий и лесов, защищающих эти угодья от эрозии и заноса песком в период весеннего половодья. При освоении речной долины и прилегающих земель сельским хозяйством, оставленные защитные леса должны быть устойчивыми, состоять из хвойных и лиственных древесных пород, зарослей ивы и других кустарников [Рубцов, 1972, 1987; Шахов, Черняк, 2000; Чернов, 2006].

Средняя и нижняя Вычегда располагает обширными прирусловыми необлесёнными площадями, сложенными почвогрунтами легкого механического состава. Это обуславливает занесение поймы песком. В итоге, по несколько тыс. га продуктивных земель после прохождения паводков засыпаны песком и приходят в непригодность. Следовательно, пойменные леса территории имеют важное сельскохозяйственное значение, способствуя процессам аккумуляции песчаного аллювия и приостановке его продвижения к руслу, что позволяет сохранить плодородие почв, пастбища и высокопроизводительные сенокосные угодья. Это также является аргументом в пользу рационализации размеров водоохранных зон, поскольку развитие сельского хозяйства является достаточно важным направлением в Республике Коми в настоящее время.

Негативное влияние сведения лесов на состояние компонентов ландшафта речной долины и сток детерминировано изъятием древостоя и повреждением почв, ухудшением их водно-физических характеристик, особенно при использовании агрегатных лесозаготовительных механизмов. Вырубка лесов на террасах и водоразделах приводит к средней степени экологической напряженности, характеризующейся сохранением основных черт пойменного рельефа и почв.

Водоохранные зоны, регламентированные нормативными документами, часто не соблюдаются вследствие отсутствия элементарного контроля, что обусловлено низкой освоенностью территории. Это приводит к снижению уровней воды Вычегды и обмелению её притоков. Во второй половине XX в. минимальный уровень реки стал на 40 см ниже исторического минимума, который наблюдался в 1890 г. и составлял –84 см [Денисова, 2006]. В 2010 г., по данным Коми ЦГМС, минимальный уровень уже составлял –135 см.

На исследуемом участке Вычегды расположены крупнейшие предприятия целлюлозно-бумажной промышленности: «Монди Сыктывкарский ЛПК» и Филиал «Группы «Илим» в г. Коряжме», а также другие многочисленные организации лесопромышленного комплекса. Согласно предписаниям международных стандартов серии ISO 14000, предприятия лесопромышленного комплекса обязаны проводить лесовосстановление. Однако вырубка старых лесов с последующим восстановлением нового леса снижает водность лесных участков и увеличивает неравномерность внутригодового распределения стока. После вырубки старого леса за столетний период роста новых насаждений [Гор и др., 1989; Шикломанов, 1989, 1995; Денисова, 2006; Водные ресурсы ..., 2011] сток распределяется так: годовой – ниже нормы в среднем на 10 %, а по сравнению со старым лесом – ниже на 15 %; меженный ниже нормы на 25 %, а по сравнению со старым лесом – на 35 %; весенний становится выше нормы и стока старого леса на 6 %.

Почти ежегодно многие населённые пункты, расположенные на берегах средней и нижней Вычегды, подвергаются подтоплениям в период половодья, на ликвидацию последствий уходят колоссальные бюджетные средства. В меженный период низкие уровни затрудняют судоходство, важное для некоторых сельских поселений. Следовательно, оптимизация размеров водоохранных зон снизила бы не только экологический, но и экономический ущерб вследствие затопления.

В процессе детализации границ водоохранных зон для среднего и нижнего течения Вычегды с использованием методики М.В. Рубцова выяснилось, что их размеры превышают регламентированные существующими нормативами (табл. 3, рис. 2).

Таблица 3

Table 3

Ширина нормативных полос для выделения защитно-водоохранных лесов
The width of the regulatory strips for the allocation of protective and water-protecting forests

Участок реки	Расстояние от уреза воды до бровки склона долины, м		ВПП, м		Водоохранная зона, м	
	Левый берег	Правый берег	Левый берег	Правый берег	Левый берег	Правый берег
г. Сыктывкар - устье Выми	2000–7000	1000–5000	50	50	2050–7050	1050–5050
устье Выми - устье верхней Лупьи	7000–9000	5000–7000	50	50	7050–9050	5050–7050
устье верхней Лупьи - устье Виледи	9000–600	7000–1000	50	50	9050–650	7050–1050
устье Виледи - г. Сольвычегодск	600–3000	600–1000	100	100	700–3100	700–1100
г. Сольвычегодск - о. Королёв	3000–600	700	100	100	3100–700	800
о. Королёв - устье	700	800–1000	100	100	800	900–1100

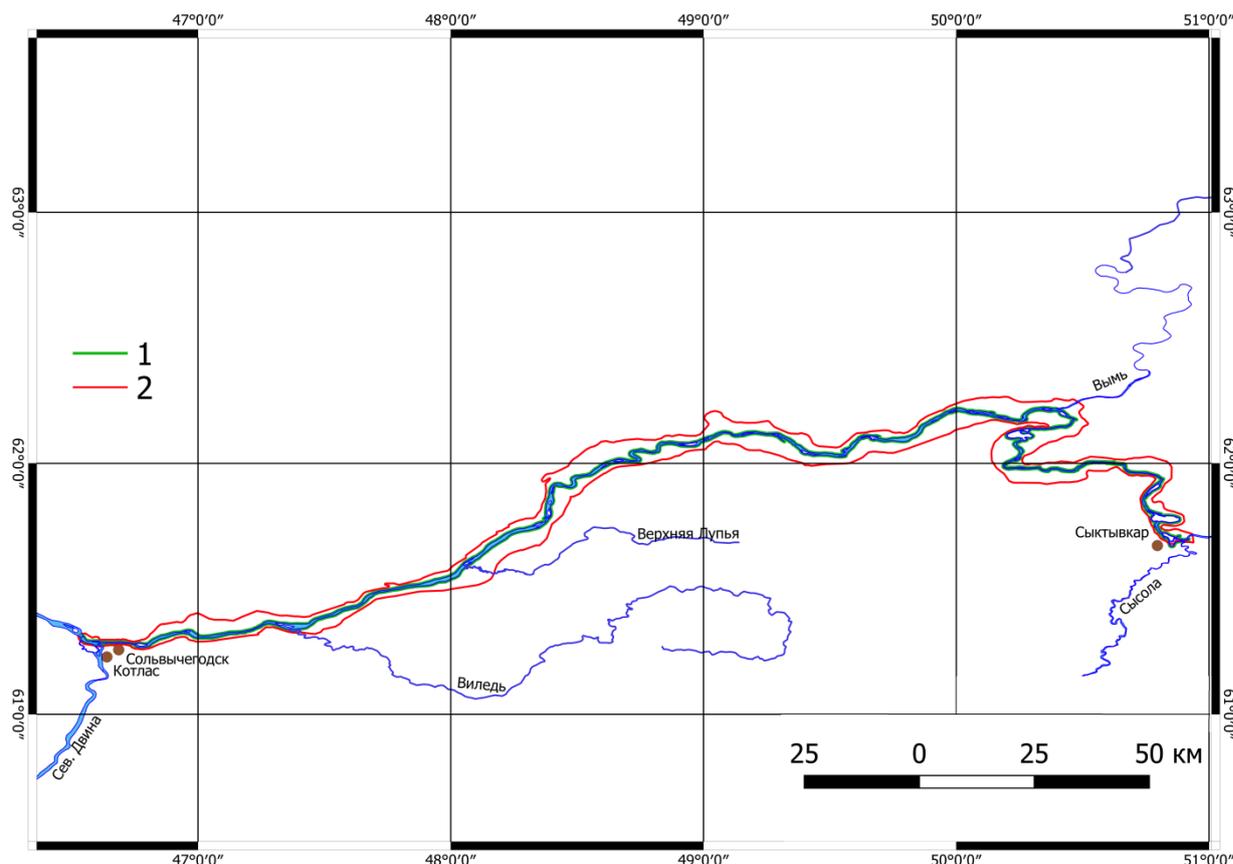


Рис. 2. Ширина нормативных полос для выделения защитно-водоохранных лесов:

1 – граница водоохранных зон, определённая согласно нормативу;

2 – граница водоохранных зон, определённая по методике М.В. Рубцова

Fig. 2. The width of the regulatory strips for the allocation of protective and water-protecting forests:

1 – the boundary of water protection zones defined according to the standard;

2 – the boundary of water protection zones determined by the method of M.V. Rubtsov

Заключение

Соблюдение границ водоохранных зон, рассчитанных по методике М.В. Рубцова, превышающих регламентированные нормативно-правовыми документами границы, способствует улучшению экологической обстановки, повышению степени устойчивости подмываемых берегов и сохранению важных элементов ландшафта – лесов и реки. Стабилизируется гидрологический режим Вычегды вследствие снижения интенсивности стока в период весеннего половодья и более равномерного его распределения в течение года. Будет достигнут определённый экономический эффект в результате снижения затрат по предотвращению и ликвидации последствий подтопления населённых пунктов, расположенных близ реки, заносов рыхлыми отложениями инфраструктурных объектов в производственном и потребительском секторе.

Список источников

1. Водный кодекс Российской Федерации от 03.06.2006 № 74-ФЗ (ред. от 02.07.2021). URL: <https://docs.cntd.ru/document/901982862> (дата обращения: 15 августа 2021).

2. Гор Дж.А., Херрик Э.Е., Осборн Л.Л. и др. 1989. Восстановление и охрана малых рек: Теория и практика [The Restoration of Rivers and Streams: Theories and Experience]. Пер. с англ. А.Э. Габриэляна, Ю.А. Смирнова. Под ред. К.К. Эдельштейна, М.И. Сахаровой. М., Агропромиздат, 317 с.

3. Карта реки Вычегда от г. Сыктывкар до устья. 1982. Министерство речного флота РСФСР. Северное БУП, 441: 30–31.
4. Карта реки Вычегда от г. Сыктывкар до устья. Российский государственный концерн речного флота (Росречфлот). 1992. Главводпуть. Гос. предприятие «Водные пути Северного бассейна», 260: 32–35.
5. Ресурсы поверхностных вод СССР. 1972. Под ред. И.М. Жила, Н.М. Алюшинской. Т. 3. Л., Гидрометеиздат, 418 с.
6. Рубцов М.В. 1987. Методические рекомендации по размещению естественных защитных насаждений при освоении лесных земель сельскохозяйственным производством в долинах рек таежной зоны европейской части СССР. М., ВАСХНИЛ, 16 с.

Список литературы

1. Атлас Республики Коми. 2011. Отв. ред. Е.М. Корниенко. Научн. ред. Э.А. Савельева. М, Феория, 448 с.
2. Барышников Н.Б., Польцина Е.В., Кузнецова Е.Н. 2006. Антропогенное воздействие на пойменные процессы. В кн.: Пойма и пойменные процессы. СПб., Российский государственный гидрометеорологический университет: 39–47.
3. Водные ресурсы и управление водопользованием на Европейском Северо-востоке. 2011. Под ред. В.Н. Лаженцева. Сыктывкар, Коми научный центр УрО РАН, 324 с.
4. Денисова И.В. 2020. Водоохранные зоны как необходимый вид охраняемых природных территорий для Европейского Северо-востока РФ. В кн.: Геология, геоэкология, эволюционная география. СПб., Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена: 41–44.
5. Денисова И.В. 2006. Экологическое состояние Велико-Устюгского и Котласского водных узлов (руслевой аспект). Дис. ... канд. геогр. наук. СПб., 170 с.
6. Денисова И.В. 2021. Факторы экологической напряжённости нижнего и среднего течения Вычегды в контексте руслового аспекта. Астраханский вестник экологического образования, 3 (63): 24–36. DOI: 10.36698/2304-5957-2021-3-24-36.
7. Рубцов М.В. 1972. Защитно-водоохранные леса. М., Изд-во Лесная промышленность, 119 с.
8. Рубцов М.В. 1978. Морфометрический метод выделения защитно-водоохранных лесов вдоль равнинных рек таежной зоны. Вестник сельскохозяйственной науки, 7: 129–138.
9. Чернов А.В. 2006. О типизациях и классификациях речных пойм и пойменных процессов. В кн.: Пойма и пойменные процессы. СПб., Российский государственный гидрометеорологический университет: 12–30.
10. Шахов И.С., Черняк В.Я. 2000. Экологические ограничения использования рек. Мелиорация и водное хозяйство, 2: 37–38.
11. Шикломанов И.А. 1989. Влияние хозяйственной деятельности на речной сток. Л., Гидрометеиздат, 318 с.
12. Шикломанов И.А., Георгиевский В.Ю. 1995. Влияние антропогенных факторов на сток рек бывшего СССР. В кн.: Географические направления в гидрологии. М., Изд-во РАН: 96–107.

References

1. Atlas Respubliki Komi [Atlas of the Komi Republic]. 2011. Ed. by E.M. Kornienko. Scientific. Ed. E.A. Saveliev. Moscow, Publ. Feoria, 448 p.
2. Baryshnikov N.B., Pol'cina E.V., Kuznecova E.N. 2006. Antropogennoe vozdejstvie na pojmennye protsessy [Anthropogenic impact on floodplain processes]. In: Poyma i pojmennyye protsessy [Floodplain and floodplain processes]. St. Petersburg, Publ. Russian State Hydrometeorological University: 39–47.
3. Vodnyye resursy i upravleniye vodopolzovaniyem na Evropeyskom Severo-vostoke [Water Resources and Water Management in the European Northeast]. 2011. Ed. by V.N. Lazhentsev. Syktvykar, Publ. Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 324 p.
4. Denisova I.V. 2020. Water Protection Zones as a Necessary Type of Protected Natural Territories for the European North-East of the Russian Federation. In: Geologiya, geoekologiya,



evolyucionnaya geografiya [Geology, geoecology, evolutionary geography]. St. Petersburg, Publ. A.I. Gercen Russian State Pedagogical University: 41–44 (in Russian).

5. Denisova I.V. 2006. Ekologicheskoe sostoyanie Veliko-Ustyugskogo i Kotlasskogo vodnyh uzlov (ruslovoj aspekt) [Ecological state of the Veliky Ustyug and Kotlas water nodes (channel aspect)]. Dis. ... cand. geogr. sciences. St. Petersburg, 170 p.

6. Denisova I.V. 2021. Factors of Ecological Tension of the Lower and Middle Reaches of the Vychehda in the Context of the Channel Aspect. Astrakhan Bulletin for Environmental Education, 3 (63): 24–36 (in Russian). DOI: 10.36698/2304-5957-2021-3-24-36.

7. Rubcov M.V. 1972. Zashchitno-vodoohrannye lesa [Protective and water protection forests]. Moscow, Publ. Lesnaya promyshlennost, 119 p.

8. Rubcov M.V. 1978. Morfometricheskij metod vydeleniya zashchitno-vodoohrannyh lesov vdol' ravninnyh rek taezhnoj zony [Morphometric method of allocation of protective and water-protective forests along the flat rivers of the taiga zone]. Vestnik sel'skohozyajstvennoj nauki, 7: 129–138.

9. Chernov A.V. 2006. O tipizacijah i klassifikacijah rechnyh pojm i pojmenykh processov [About typifications and classifications of river floodplains and floodplain processes]. In: Poyma i poymennyye protsessy [Floodplain and floodplain processes]. St. Petersburg, Publ. Russian State Hydrometeorological University: 12–30.

10. Shahov I.S., Chernyak V.Ya. 2000. Ekologicheskiye ogranicheniya ispolzovaniya rek [Environmental restrictions on the use of rivers]. Melioraciya i vodnoe hozyajstvo, 2:37–38.

11. Shiklomanov I.A. 1989. Vliyanie hozyajstvennoj deyatel'nosti na rechnoj stok [The impact of economic activity on river flow]. Leningrad, Publ. Gidrometeoizdat, 318 p.

12. Shiklomanov I.A., Georgievskij V.Yu. 1995. Vliyanie antropogennyh faktorov na stok rek byvshego SSSR [The influence of anthropogenic factors on the flow of rivers of the former USSR]. In: Geograficheskie napravleniya v gidrologii [Geographic directions in hydrology]. Moscow, Publ. RAS: 96–107.

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

Денисова Илона Владимировна, доцент кафедры экологии и геологии Института естественных наук Сыктывкарского Государственного Университета им. Питирима Сорокина, г. Сыктывкар, Россия

Турков Никита Анатольевич, студент кафедры экологии и геологии Института естественных наук Сыктывкарского Государственного Университета им. Питирима Сорокина, г. Сыктывкар, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Iona V. Denisova, candidate of geographical Sciences, associate Professor of the Department of ecology and geology, Institute of Natural Sciences, Pitirim Sorokin Syktyvkar State University, Syktyvkar, Russia

Nikita A. Turkov, student of the Department of ecology and geology, Institute of Natural Sciences, Pitirim Sorokin Syktyvkar State University, Syktyvkar, Russia



УДК 659.1
DOI 10.52575/2712-7443-2021-45-4-601-616

Комплексная геоэкологическая оценка водосборной территории р. Осетр в условиях антропогенного воздействия

¹Широкова В.А., ²Юрова Ю.Д.

¹Институт истории естествознания и техники имени С.И. Вавилова РАН
Россия, 125315, Москва, ул. Балтийская, 14

²Государственный университет по землеустройству,
Россия, 105064, Москва, ул. Казакова, 15
E-mail: yuliya.yurova.1996@mail.ru

Аннотация. В работе изложены результаты геоэкомониторингового скрининга при создании геоэкологического паспорта бассейна р. Осетр, проводимого в Веневском, Зарайском, Луховицком районах на исследуемом участке от нп. Махринка до нп. Акатьево за 2020–2021 гг. Для формирования комплексной геоэкологической оценки водосборной территории р. Осетр в условиях антропогенного воздействия разработана и апробирована оригинальная методика скрининга водосборной территории бассейна р. Осетр в условиях чувствительности к антропогенному воздействию на основе предлагаемых автором установленных методов оценки экологического риска антропогенного воздействия на речные экосистемы с учетом их региональных особенностей; создан геоэкологический портал «Геоэкологический паспорт водосборного бассейна р. Осетр», основанный на результатах комплексного геоэкологического скрининга территории с применением GIS-технологий; проведена комплексная геоэкологическая оценка водосборной территории бассейна р. Осетр с выделением зон повышенного геоэкологического риска, уровней загрязнения водоема, доли и степени антропогенного воздействия.

Ключевые слова: геоэкологический мониторинг, геоэкологическая оценка, скрининг, паспорт водного объекта, туристско-рекреационный потенциал.

Благодарности: исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-35-90019.

Для цитирования: Широкова В.А., Юрова Ю.Д. 2021. Комплексная геоэкологическая оценка водосборной территории р. Осетр в условиях антропогенного воздействия. Региональные геосистемы, 45(4): 601–616. DOI: 10.52575/2712-7443-2021-45-4-601-616

Comprehensive Geoecological Assessment of the Catchment Area of the Osetr River Under Anthropogenic Impact

¹Vera A. Shirokova, ²Yuliya D. Yurova

Institute for the History of Natural Science and Technology
named after S.I. Vavilov of the RAS

14 Baltic St, Moscow 125315, Russia,

²State University of Land Use Planning,

15 Kazakova St, Moscow 105064, Russia

E-mail: Yuliya.yurova.1996@mail.ru

Abstract. The paper presents the results of geoecological monitoring screening when creating a geoecological passport for the Osetr river basin, carried out in Venevsky, Zaraysky, Lухovitsky districts in the study area from Makhrinka to Akatyevovo for 2020-2021. To form a comprehensive geoecological



assessment of the catchment area of the Osetr River in conditions of anthropogenic impact, an original method of screening the catchment area of the Osetr river basin in conditions of sensitivity to anthropogenic impact has been developed and tested on the basis of the established methods proposed by the author for assessing the environmental risk of anthropogenic impact on river ecosystems, taking into account their regional characteristics; a geoecological portal “Geoecological passport of the catchment area of the Osetr river basin” was created, based on the results of a comprehensive geoecological screening of the territory using GIS-technologies; a comprehensive geoecological assessment of the catchment area of the Osetr river basin was carried out with the identification of zones of increased geoecological risk, levels of pollution of the reservoir, the proportion and degree of anthropogenic impact.

Keywords: geoecological monitoring, geoecological assessment, screening, water body passport, tourist and recreational potential.

Acknowledgements: The reported study was funded by RFBR, project number № 20-35-90019

For citation: Shirokova V.A., Yurova Yu.D. 2021. Comprehensive geoecological assessment of the catchment area of the Osetr River under anthropogenic impact. *Regional Geosystems*, 45(4): 601–616 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2021-45-4-601-616

Введение

Исследования современного состояния водосборных территорий малых и средних рек имеют большое значение как в теоретическом, так и в практическом аспектах и приобретают большую актуальность в связи с ростом антропогенной нагрузки.

Малые и средние реки, максимально приближенные к потребителям, отражают экологическое состояние окружающей среды. Ключевой особенностью формирования малых и средних рек считается их тесная связь с водосборной территорией. Малые и средние реки определяют гидрологические и гидрохимические характеристики крупных рек, что делает их уязвимыми к чрезмерному/избыточному использованию как водных ресурсов, так и водосборных бассейнов.

Карпенко Н.П. (2018) при разработке методики оценки геоэкологической ситуации бассейнов малых рек, которые существенно реагируют на любые антропогенные воздействия в пределах водосбора отметила, что водосборные бассейны средних и малых рек стали предметом особого внимания из-за высокой степени их трансформации в результате антропогенной деятельности.

В настоящее время антропогенное воздействие на бассейны рек, водосборные площади и непосредственно на водные объекты растет очень быстро, что связано с большими темпами роста городов и развивающейся в них промышленностью, сельского хозяйства, увеличением транспортных сетей и самого транспорта, что приводит к изменению качества и функционирования водных экосистем.

Одной из важнейших функций геоэкологической оценки антропогенного воздействия на территорию водосборного бассейна становится мониторинг состояния и изменения водных объектов. Оценка предполагает сопоставление фактического или прогнозируемого состояния с заранее определенными критериями и выявление существующих проблем, а в качестве критериев возможно использование показателей исходного состояния наблюдаемых объектов, фоновые характеристики степени возможного воздействия человека на водные объекты.

Актуальность исследований обусловлена ежегодным увеличением антропогенной нагрузки на компоненты геосистем бассейнов малых и средних рек.

Авторами проведен геоэкологический скрининг бассейна р. Осетр в Веневском, Зарайском, Луховицком районах на исследуемом участке от нп. Махринка до нп. Акатьево за 2020–2021 гг.

Для достижения поставленной цели – формирования комплексной геоэкологической оценки водосборной территории р. Осетр в условиях антропогенного воздействия, выполнены следующие задачи:

- создана научно-информационная геоэкологическая база данных бассейна р. Осетр;
- проведен анализ распределения чувствительности к антропогенному воздействию компонентов геосистем на водосборной территории бассейна р. Осетр с учетом гидрологических, ландшафтных, климатических особенностей региона;
- оценено качество поверхностных и подземных вод, почвенного покрова, донных отложений с определением основных химических (интегральных), санитарно-бактериологических (специфических), микробиологических показателей, а также физических факторов риска;
- разработана оригинальная методика оценки антропогенного воздействия на водосборную территорию бассейна р. Осетр на основе комплекса, включающего метод применения геоинформационно-картографического отображения историко-географических ситуаций на разновременных срезах, ГИС-моделирование природно-антропогенных условий с последующим выделением зон повышенного геоэкологического риска, уровней загрязнения водоема, доли и степени антропогенного воздействия и т.д.;
- проведена комплексная оценка антропогенного воздействия с использованием интегральных показателей и индексов для характеристики экологического состояния водных объектов, системы оценки риска антропогенного воздействия на пресноводные экосистемы, методических рекомендаций по разработке унифицированных комплексных программ обследования водосборных территорий, водопроводных сооружений и качества питьевой воды;
- проведено геоэкологическое зонирование водосборной территории бассейна р. Осетр по уровню загрязнения водоема (доля антропогенного воздействия, степень антропогенной нагрузки);
- создан геоэкологический паспорт водосборного бассейна р. Осетр для проведения геоэкологической оценки антропогенного воздействия на водосборную территорию на основе результатов скрининга и GIS-технологий.

Объекты и методы исследования

Для исследований за изучаемый участок принята территория водосборного бассейна р. Осетр в пределах Московской области от н/п Серебряные пруды до н/п Акатьево, за скрининговый участок - средний и нижний участок р. Осетр от н/п Зарайск до устьевой зоны/области реки (района впадения в р. Ока – н/п Акатьево) (рис.1).

На основе методов расчета комплексных показателей (ИЗВ, УКИЗВ), анализа экологического риска антропогенного воздействия и оценки антропогенной нагрузки на речные экосистемы, с учетом их региональных особенностей, балльно-рейтинговой оценки и критериев оценки экологического риска антропогенного воздействия на речные экосистемы разработана оригинальная методика скрининга водосборной территории бассейна р. Осетр в условиях чувствительности к антропогенному воздействию [Арманд, 1975].

Комплексная геоэкологическая оценка водосборной территории бассейна р. Осетр проведена с выделением зон повышенного геоэкологического риска, уровней загрязнения водоема, доли и степени антропогенного воздействия для целей устойчивого развития региона (табл. 1).

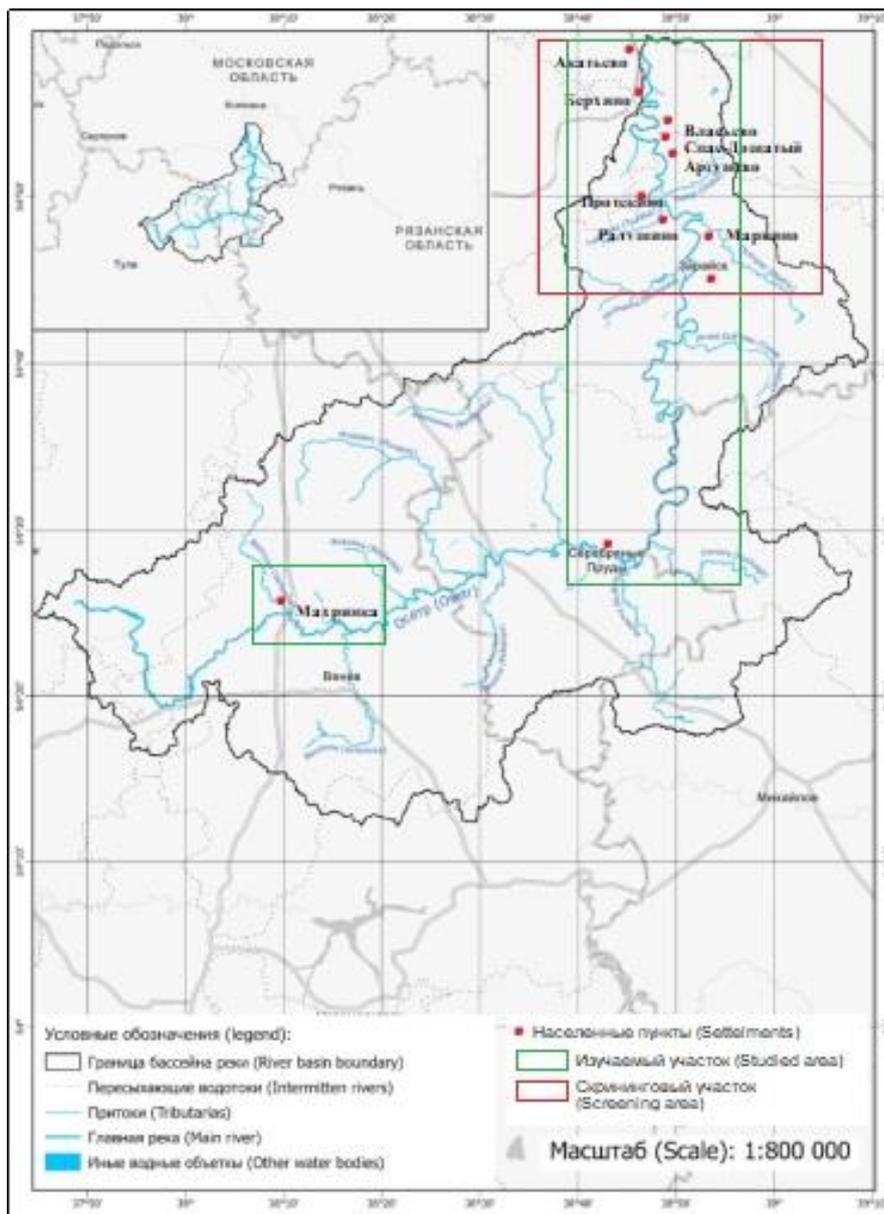


Рис. 1. Картограмма расположения скринингового участка бассейна р. Осетр
Fig.1. Map chart of the location of the inspection zone in the Osetr river basin

Для оценки водохозяйственной ситуации на исследуемой территории за период 2020–2021 гг. были проанализированы суточные и характерные расходы воды по гп. № 75394 в нп. Маркино; проведен анализ многолетнего и сезонного изменения характеристик водного режима р. Осетр; выполнен расчет основных гидрологических характеристик стока, средней многолетней величины (нормы) годового стока при наличии данных наблюдений за период 1956–2016 гг.; выполнено прогнозирование расходов воды в р. Осетр с обеспеченностью 1, 10, 25 % (при отсутствии данных гидрометрических наблюдений) методом наибольшего правдоподобия и методом моментов [СП 33-101-2003; Озерова, Куклина, 2019; Озерова и др., 2021].

За 2020–2021 гг. на скрининговом и фоновом участках отобрано и проанализировано 85 составных (сливных) проб поверхностных и 20 проб подземных вод, обследовано 18 источников выходов подземных вод, выполнен лабораторный анализ по 17 основным компонентам с использованием надлежащих методик, стандартов, нормативных докумен-

тов и специализированных приборов. Исследования по оценке качества водных ресурсов бассейна р. Осетр проводились ежеквартально, в основные фазы гидрологического режима в период с 2020–2021 гг. на скрининговом участке нп. Зарайск – нп. Акатьево. Для оценки качества воды и учета фактов загрязнения водного объекта другими водопользователями в сентябре 2020 г. отобрана фоновая проба выше по течению на территории Тульской области в нп. Махринка (Веневский район, трасса М4 – Дон) и 6 проб на скрининговом участке.

Таблица 1
Table 1

Методика скрининга водосборной территории бассейна р. Осетр
Methodology for screening the catchment area of the Osetr river basin

Метод	Критерий	Шкала оценки				
		Допустимое	Умеренное		Опасное	
Метод расчета комплексных показателей (РД 52.24.643-2002)	ИЗВ	0,2–1,0	1,0–4,0		4,0–10,0	
	УКИЗВ	<1–2	2–4		4–11>	
		Естественное	Равновесное	Кризисное	Критическое	Катастрофическое
Метод проведения анализа экологического риска антропогенного воздействия (РД 52.24.661-2004)	O ₂ , г/л	>6,0	4,0–6,0	2,0–3,9	1,0–1,9	<1
	ЛООВ по БПК, мг/л O ₂	0,1–1,0	0,5–2,0	2,1–4,0	4,1–7,0	>7,0
	Аз аммонийный, мг/л	0–0,1	0–0,5	0,5–1,0	1,0–3,0	>3,0
	Доля антропогенного воздействия, %	10–30	30–50	40–60	50–80	80
	Степень антропогенного воздействия, %	0	0–10	10–20	30–50	50
		Малая	Умеренная	Критическая	Высокая	Очень высокая
Метод проведения оценки антропогенной нагрузки на речные экосистемы с учетом их региональных особенностей (Р 52.24.819-2014)	Нефтепродукты, мг/л	<0,05	0,05–0,1	0,1–0,3	0,3–0,5	>0,5
	ЛООВ по БПК, мг/л O ₂	<0,5	0,5–1,0	1,0–1,5	1,5–2,0	>2,0
	Азот аммонийный, мг/л	<0,05	0,05–0,1	0,1–0,2	0,2–0,3	>0,3
	Доля антропогенного воздействия, %	<30	30–45	45–55	55–70	>70
		Малая	Средняя	Умеренная	Высокая	Критическая
Балльно-рейтинговый метод	Результаты гидрохимического и гидробиологического мониторинга поверхностных и подземных вод	<20	20–40	40–60	60–80	80–100



Для оценки уровня загрязнения снежного покрова и дальнейшего поступления загрязняющих веществ в р. Осетр с водосборной территории в период максимального снегонакопления в феврале 2021 г. отобрано 5 проб снежного покрова на разных участках Зарайского и Луховицкого районов от нп. Зарайск до нп. Берхино. В период весеннего половодья в апреле 2021 г. отбор проб поверхностных и подземных вод проводился на участке нп. Аргуново – нп. Власьево. Комплексные полевые мониторинговые исследования по геоэкологической оценке качества водных объектов бассейна р. Осетр проведены в июне 2021 г. в период летней межени на участке нп. Зарайск до впадения в р. Ока – нп. Акатьево.

За период 2019–2021 гг., в рамках геоэкологического мониторинга, проведены маршрутные (рекогносцировочные) геоэкологические обследования территории нп. Спас-Дошатое, а также отдельных территорий скринингового участка водосборного бассейна р. Осетр от нп. – Аргуново до нп. Власьево в Зарайском и, частично, Луховицком районах. Для установления особенностей распределения тяжелых элементов и органических загрязнителей в исследуемых ландшафтах скринингового участка, в июне с 2019–2021 гг., от нп. Аргуново до нп. Власьево с учетом особенностей рельефа, хозяйственного использования, характера источника загрязнения отобрано 110 образцов и проведено литогеохимическое изучение почв по профилю из почвенных горизонтов.

Оценка газогеохимического состояния и экологических функций почв 2021 г., а именно – измерения суммарной концентрации почвенного газа и проведение отдельных измерений концентрации метана и углекислого газа, проводилась на всех исследуемых участках в бассейне р. Осетр: в 7 точках в поверхностном горизонте А (0–30 см), АВ (30–68 см) и горизонте ВС (68–113 см).

Для оценки геоэкологической обстановки на скрининговом участке за 2019–2021 гг. проведена инвентаризация антропогенных источников загрязнения и определены основные пути поступления загрязняющих веществ в водный объект.

На основании данных 2015–2021 гг.:

- проведены исследования по изучению и оценке туристско-рекреационного потенциала (ТРП) рекреационных зон бассейна р. Осетр;
- рассмотрены важнейшие геоэкологические подходы к изучению ТРП территории на примере бассейна р. Осетр с учетом рекреационной нагрузки и емкости ПТК;
- создана интерактивная картосхема ТРП бассейна р. Осетр;
- разработана оригинальная методика скрининга водосборной территории бассейна р. Осетр в условиях чувствительности к антропогенному воздействию на основе методов расчета комплексных показателей (ИЗВ, УКИЗВ), проведения анализа экологического риска антропогенного воздействия и оценки антропогенной нагрузки на речные экосистемы с учетом их региональных особенностей, балльно-рейтинговой оценки и критериев оценки экологического риска антропогенного воздействия на речные экосистемы с учетом их региональных особенностей.

Отмечено, что повышенной чувствительностью отличаются участки в нп. Радушино и нп. Власьево.

На основании материалов научно-информационной геоэкологической базы данных, включающей результаты скрининга и GIS-технологий, для проведения геоэкологической оценки антропогенного воздействия на водосборную территорию бассейна р. Осетр создан геоэкологический портал «Геоэкологический паспорт бассейна р. Осетр» (табл. 2).

- В геоэкологический паспорт бассейна р. Осетр включены результаты оценки:
- 1) водохозяйственной ситуации на исследуемой территории за период 2020–2021 гг.;
 - 2) качества водных ресурсов;
 - 3) газогеохимического состояния и экологических функций почв;
 - 4) туристско-рекреационного потенциала бассейна р. Осетр.

Таблица 2
Table 2

Научно-информационная геоэкологическая база данных бассейна р. Осетр
Scientific and information geoecological database of the Osetr river basin

№	Компонент геосистемы	Период наблюдений	Критерии / показатели	Источники / Нормативно-правовая документация	Цель
1	2	3	4	5	6
1	Поверхностные и подземные воды	2013–2015 2015–2021	Прозрачность рН Кислород, мг/л БПК ₅ , мгО ₂ /л ХПК, мгО ₂ /л Взвешенные вещества, мг/л Хлорид-ион, мг/л Сульфат-ион, мг/л Ион аммония, мг/л Нитрит-ион, мг/л Нитрат-ион, мг/л Железо, мг/л Марганец, мг/л Медь, мг/л Цинк, мг/л Фосфат-ион, мг/л Нефтепродукты, мг/л Температура воды, °С Жесткость	– Оригинальные данные, полученные в период научных экспедиционных исследований с 2015 по 2021 гг.: на скрининговом участке от нп. Зарайск – до нп. Акатьево; фоновая – нп. Махринка – Опубликованные научные работы / концепции по теме исследования – Отчеты НИР за 2019–2021 гг. (ФГБОУ ВО ГУЗ) – Фондовые материалы и научные отчеты Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды и др.* – Сайт экологической паспортизации Московской области	Оценка качества воды рыбохозяйственного и культурно-бытового значения. Оценка уровня загрязнения снежного покрова и дальнейшего поступления загрязняющих веществ в р. Осетр
2			ИЗВ УКИЗВ Коэффициент самоочищения	– Законодательные акты и нормативные документы**	
3	Поверхностные и подземные воды	1956–2016 2011–2021	Расход воды, м ³ /с Средний многолетний сток, м ³ /с Средний многолетний модуль стока, л/с км ² Средний многолетний объем стока за год, м ³ /с Коэффициент стока Средний многолетний коэффициент стока, мм/с	– ГОСТ 17.1.1.02-77 – Оригинальные данные, полученные в период научных экспедиционных исследований с 2015 по 2021 гг. на скрининговом участке от нп. Зарайск – до нп. Акатьево – Опубликованные научные работы / концепции по теме исследования – Фондовые материалы и научные отчеты Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Федерального агентства водных ресурсов, ГУ МЧС Подмосковья – Геоэкопортал «Комплексное исследование и картографирование современного водного режима рек европейской территории России и его опасных проявлений (МГУ)»	Оценка влияния климатических факторов на изменение стока воды в водном объекте



Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6
4	Ландшафты. Почвенный покров	2009–2010 2019–2021	pH Медь, мг/дм ³ Кобальт, мг/дм ³ Бор, мг/дм ³ Марганец, мг/дм ³ Алюминий, мг/дм ³	– Оригинальные данные, полученные в период научных экспедиционных исследований с 2015 по 2021 гг. на скрининговом участке от нп. Зарайск до нп. Акатьево – Опубликованные научные работы / концепции по теме исследования	Эколого-геохимическая оценка влияния ландшафтов водосборной территории на водную экосистему

* Приказ Минсельхоза от 13.12.2016 №552, СанПиН 2.1.5.980-00, ГН 2.1.5.1315-03, ГОСТ 17.1.3.07-82, ГОСТ 17.13.13-86, СанПиН 2.6.12523-09, МР 1-19/52-17, РД 5224.309-2016, Р 52.24.867-2017, СанПиН 1.2.3685-21, ГОСТ 17.1.1.02-77.

** Приказ Минсельхоза от 13.12.2016 №552, СанПиН 1.2.3685-21, Временные методические указания по комплексной оценке качества поверхностных и морских вод. Р 52.24.819-2014, РД 52.24.643-2002, Р 52.24.776-2012, Р 52.24.661-2004, РД 52.24.620-2000

Результаты и их обсуждение

По данным подведомственных Росводресурсам организаций, Росгидромета и МЧС России за период с 15.09.2020 по 22.07.2021 отмечено, что водохозяйственная обстановка на скрининговом участке от нп. Зарайск до нп. Акатьево оценивается как «удовлетворительная» – на территории наблюдается средняя водность ($P = 50\%$), водохранилища работают в соответствии с установленными режимами. Согласно оперативной информации о водохозяйственной обстановке Росводресурсов, с 01.04.2020 по 27.04.2021, во время весеннего половодья, отмечено подтопление автомобильного моста через р. Осетр у нп. Берхино Луховицкого района, а также низководного моста в Серебрянопрудском районе, что сказывается на качественном составе воды в реке. Подтопление наблюдается ежегодно [Гудковских, 2017; Головатюк, Широкова, 2019; Рожков, 2021].

По данным ГУ МЧС Подмосковья, по состоянию на 07.04.2021 на реках и притоках Московской области наблюдались «разнонаправленные» изменения уровня воды, связанные как с приближением к первому пику половодья, так и продолжающимся спадом половодья на большинстве притоков бассейна р. Ока, а также локальными повышениями уровня воды на малых реках вследствие таяния снега на лесных участках водосборов. Отмечено, что на р. Осетр снижение уровня воды составило 1–12 см за сутки.

По результатам анализа многолетних данных гидрологических наблюдений и расчета обеспеченности за период 1956–1985 и 1992–2016 гг., на рассматриваемом гп. № 75394 в нп. Маркино отмечено, что водохозяйственная обстановка на крининговом участке от нп. Зарайск до нп. Акатьево оценивается как «удовлетворительная» – на территории наблюдается средняя водность ($P = 50\%$) (рис. 2).

На основании данных об обеспеченности и выделении групп водности произведен расчет максимального расхода воды весеннего половодья (апрель) в р. Осетр расчетной вероятностью превышения 1, 10, 25 %.

На основании материалов «Научно-прикладного справочника» [2015] для соответствующих координат центра площади водосбора (гп. в нп. Маркино) определен нормальный модуль стока M_0 (4,17 л/с км²), вычислен среднемноголетний расход воды в реке $Q_{см}$ (12,6 м³/с). В соответствии с основными параметрами стока определены коэффициент вариации C_v (0,28), отношение C_s / C_v (0,39) и вычислен коэффициент асимметрии C_s (0,11).

По таблице «Ординаты кривых трехпараметрического гамма-распределения С.Н. Крицкого и М.Ф. Менкеля» [Звягинцев, 1978] в соответствии с заданными расчетными вероятностями превышения p (%) и вычисленным коэффициентом асимметрии C_s определена величина отклонения ординат кривой обеспеченности от середины a_p (1 % –

1,27; 10 % – 1,14; 25 % – 1,07) и вычислен модульный коэффициент года для заданных расчетных вероятностей превышения (1 % – 1,36; 10 % – 1,32; 25 % – 1,29).

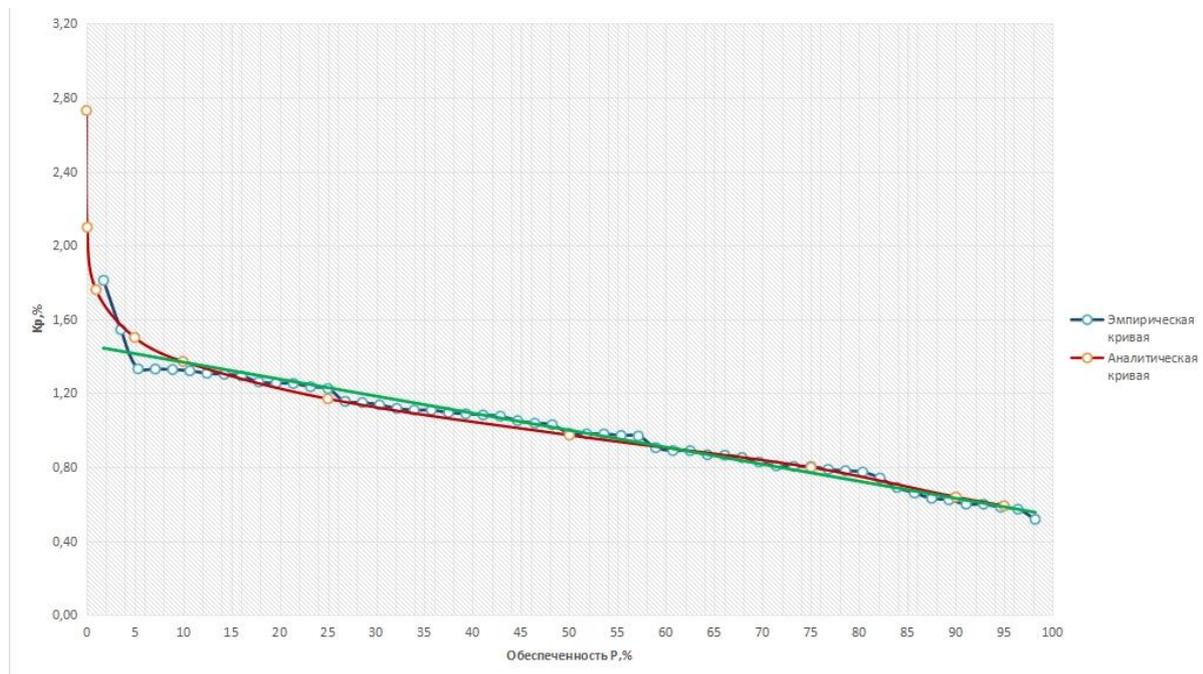


Рис. 2. Эмпирическая и аналитическая кривые обеспеченности P , %, р. Осетр – нп. Маркино
Fig. 2. Empirical and analytical sufficiency curves P , %, r. Osetr – sett. Markino

По результатам расчетов, для заданного месяца года (апрель) определен модульный коэффициент K_m (35,6), вычислены среднегодовой расход воды Q_p (1 % – 12,96 м³/с, 10 % – 16,6 м³/с, 25 % – 16,36 м³/с) и среднемесячный расход (Q_m) воды в реке заданной расчетной вероятностью превышения (461,74 м³/с, 592,8 м³/с, 583,21 м³/с) (рис. 3).

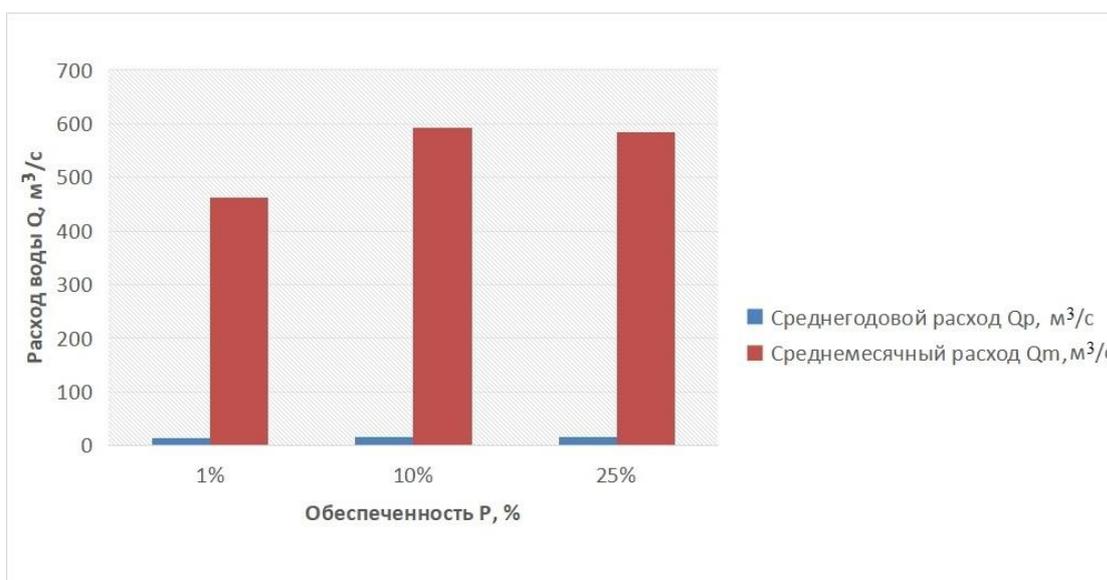


Рис. 3. Кривые среднегодового и среднемесячного расхода воды в р. Осетр заданной расчетной вероятностью
Fig. 3. Curves of average annual and average monthly water consumption in the Osetr river with a given calculated probability

За 2020–2021 гг. проанализированы многолетние данные о гидрохимическом состоянии поверхностных и подземных вод скринингового участка водосборного бассейна



р. Осетр. Исследована динамика пространственно-временного распределения химических компонентов и их соединений. На основании результатов изменений УКИЗВ, КСО, кислорода, нитратов и других химических элементов отмечено, что основным источником при формировании качественного состава вод бассейна в ключевых точках остается антропогенное воздействие. Установлено, что территория скринингового участка (нп. Зарайск – нп. Власьево) характеризуется наибольшим загрязнением по сравнению с другими участками ниже и выше по течению. Выявленное пространственное распределение химических компонентов в р. Осетр связано с особенностями течения и фазами гидрологического режима.

Изучение качества снежного покрова позволило оценить уровень загрязнения атмосферы в течение исследуемого периода (февраль) и техногенную нагрузку на водосборный бассейн р. Осетр в период активного снеготаяния (март–апрель) [Джамалов и др., 2017].

Согласно представленным данным Минэкологии МО на сайте экологической паспортизации Московской области (<http://ecopassmo.mosreg.ru>), исследуемые участки расположены вблизи транспортных магистралей, точка № 1 (нп. Зарайск) расположена вблизи промышленной зоны города, точки № 2 (нп. Протекино), № 3 (нп. Титово), № 4 (нп. Власьево) и № 5 (нп. Берхино) – в жилой зоне. Однако, на исследуемых участках расположены объекты негативного воздействия на окружающую среду (НВОС) 1-й, 2-й и 3-й категории воздействия: в нп. Зарайск промышленные предприятия 1-й категории с годовым выбросом 0,5–2,0 т/год и 3-й категории с годовыми выбросами от 0,1–2,0 т/год, местами от 2,0–10,0 т/г; нп. Протекино – нп. Титово – сельскохозяйственные предприятия 1-й, 2-й, 3-й категории с годовым объемом выбросов от 0,1 до 2,0 т/год, и свыше 50 т/год; вблизи нп. Берхино – объекты НВОС 3-й категории с годовым объемом выбросов 0,5–2,0 т/год; в нп. Власьево объекты НВОС отсутствуют.

В проведенных ранее исследованиях по комплексному экологическому мониторингу и геоэкологической оценке антропогенного воздействия на бассейн р. Осетр [Дроздов, 1998; Колбовский, 2010; Новых и др., 2012; Yurova, Shirokova, 2021] отмечено, что характер распределения органического загрязнения (по БПК₅), биогенных элементов (нитрит-ион, фосфат-ион), взвешенных веществ и некоторых металлов в природной воде р. Осетр на скрининговом участке позволяет сделать вывод об их антропогенной природе в результате поступления в реку с водосборной территории и имеет максимально высокие концентрации в период летней межени [ГН 2.1.5.1315-03, 2003; Об утверждении нормативов..., 2016]. Превышений анализируемых показателей в талой воде не обнаружено. В связи с этим повышенной техногенной нагрузки на водные объекты бассейна р. Осетр в период снеготаяния не будет оказано.

Территория скринингового участка (нп. Зарайск – нп. Власьево) характеризуется наибольшим загрязнением поверхностных вод по сравнению с другими участками ниже и выше по течению. Выявленное пространственное распределение химических компонентов в р. Осетр связано с особенностями течения и фазами гидрологического режима. Резких изменений в динамике показателей качества речной воды не наблюдается. Выявлена тенденция изменения скринингового параметра нитрат-иона – отмечено увеличение нитратов до 100 мг/л и нарушение кислородного режима водного объекта. Практически на всем протяжении реки отмечена тенденция увеличения нитрат-иона от левого берега к правому и наоборот. Значительные превышения отмечены в створах в нп. Спас-Дощатый и нп. Власьево. В первом случае средняя концентрация нитрат-иона около левого берега составляет 49,74 мг/л; на фарватере – 43,31 мг/л; около правого берега 40,86 мг/л. Во втором: около правого берега 44,61 мг/л; на фарватере – 49,15 мг/л; около левого берега – 86,16 мг/л. Повторный скрининг на исследуемой территории в период летних паводков (с 28 июня 2021 г.) подтвердил тенденцию увеличения нитратов до 100 мг/л и более и сопровождался нарушением кислородного режима водного объекта, т.к. его концентрация коле-

балась от 3 до 6 мг/л. Возможные факторы присутствия и поступления нитрат-ионов в р. Осетр следующие – близкое расположение агроландшафтов, процесс нитрификации вследствие активизации микробиологической активности в почве и сточных водах в межженный период из-за повышенных летних температур. По мере увеличения УКИЗВ фиксируется небольшое снижение качества воды от нп. Махринка до впадения в р. Ока.

Наименее загрязнен скрининговый участок в среднем течении от нп. Зарайск до нп. Спас-Дощатый; наихудшее качество наблюдается в створах на участке от нп. Власьево до нп. Берхино – вода относится к 4 классу разряда «г» – «очень грязная» и УКИЗВ составляет 5,5. Характерными загрязняющими веществами, частота превышения ПДК которых более 50 %, местами 80–100 % случаев на определенных участках, стали органические вещества (по БПК₅), нитрит-ион, нитрат-ион, марганец, медь, аммонийный азот, аммоний-ион.

В связи с тем, что в среднем и нижнем течении р. Осетр протекает по Московской области, где антропогенная нагрузка выше, чем в других областях, это сказывается на геоэкологическом состоянии бассейна в целом. Геологическое строение долины р. Осетр и бассейна реки в целом представлено отложениями известняков и доломитов с прослоями мергеля и глины. Водоносный горизонт бассейна р. Осетр представлен следующими водоносными горизонтами: водоносный Каширский карбонатный комплекс с литологическим составом из известняков, доломитов с прослоями глин, мергелей (C2ks), водоносный Волжско-Альбский терригенный горизонт с переслаиванием песков, глин, алевролитов (J3v-k1a1) и водоупорный Верхнеальбинский (Парамоновский) терригенный горизонт с глинами и глинистыми алевролитами (K1a13). Формирование подземных вод, не соответствующих нормам ПДК [СанПиН 1.2.3685-21], в бассейне р. Осетр определяется изменением гидродинамического режима в районах интенсивного водозабора подземных вод, что влечет за собой увеличение растворения водовмещающих пород и загрязнение пресных подземных и поверхностных вод некондиционными водами природного и антропогенного происхождения [Решетняк и др., 2017; Терлеева, Ушакова, 2018; Фролова и др., 2019]. Установлено, что подземные воды в бассейне р. Осетр не до конца отвечают требованиям, предъявляемым к питьевой воде СанПиН 1.2.3685-21 по следующим показателям: кальций (117 ПДК), магний (34,5 ПДК), железо (3,7–10,9 ПДК), марганец (2–23 ПДК), азот аммонийный (1,09–1,8 ПДК), аммоний-ион (1,45 ПДК), фосфат-ион (2,3 ПДК), нитрит-ион (1,07–1,9 ПДК), медь (1,74 ПДК). Наиболее частые превышения ПДК связаны с компонентами природного происхождения – железом, кремнием, общей и карбонатной жесткостью, а также антропогенного происхождения – нитрит-ион, нитрат-ион и др. Характер воды во всех источниках подземных вод гидрокарбонатно-кальциевый, жесткость воды повышена (13–25 мг-экв/л при норме ПДК 7–10 мг-экв/л).

На основании результатов мониторинга и анализа основных положений метода гигиенической оценки качества почвы населенных мест по сравнению с 2019 г., на изучаемом участке в 2021 г. во всех почвенных образцах зафиксированы превышения по следующим химическим элементам: ФИД, нитрат-ион, фосфат-ион, сульфат-ион, медь. По результатам газогеохимической оценки, на исследуемых участках в 2021 г. сохраняется углекислотная аномалия. По сравнению с результатами исследований 2019 г., в 2021 г. максимальные концентрации CO₂ в поверхностном горизонте А достигли 2000 мг, АВ – 4500 мг, ВС – 8000 мг. В зависимости от местоположения разрезов, типа землепользования и содержания органических веществ в некоторых точках концентрации CO₂ увеличивались по профилю от 600 мг до 2700 мг, местами до 8000 мг. Обратная тенденция, с последующим уменьшением в горизонтах А–АВ от 2000 мг до 1200 мг или колебанием концентрации в АВ–ВС от 1200 мг до 1500 мг, отмечена в двух точках.

Основными источниками загрязнения крупных водотоков региона остаются недостаточно очищенные и неочищенные хозяйственно-бытовые и промышленные сточные

воды населенных пунктов, а также сельскохозяйственные стоки, поступающие непосредственно в р. Осетр через ее притоки. Характерные загрязняющие вещества – соединения азота и фосфора, органические вещества и тяжелые металлы. Основными источниками нефтепродуктов в р. Осетр в исследуемом районе являются ливневые, сточные и талые воды с автомагистралей.

В бассейне р. Осетр на изучаемом участке, согласно представленным данным Минэкологии МО на сайте экологической паспортизации Московской области (<http://ecorassmo.mosreg.ru>), насчитывается 48 предприятий, негативно воздействующих на окружающую среду. Несмотря на это, р. Осетр продолжает оставаться рекой, подверженной среднему антропогенному воздействию. На скрининговом участке выделено: 6 предприятий 1-й категории НВОС с годовым выбросом в атмосферу, 19 предприятий 2-й категории НВОС с годовым выбросом в атмосферу, 23 предприятия 3 категории НВОС с годовым выбросом в атмосферу. Объекты НВОС, осуществляющие сброс загрязняющих веществ в водные объекты бассейна р. Осетр, на исследуемой территории отсутствуют.

Одним из источников негативного воздействия на геоэкологическое состояние аквальных и территориальных комплексов исследуемого участка выступает рекреационное водопользование на территории бассейна р. Осетр. Туристско-рекреационный потенциал бассейна р. Осетр оценивается как «средний» и составляет 1617 баллов. По результатам оценки создана интерактивная картосхема рекреационного потенциала бассейна р. Осетр, которая будет дополнена и войдет в его геоэкологический портал (рис. 4).

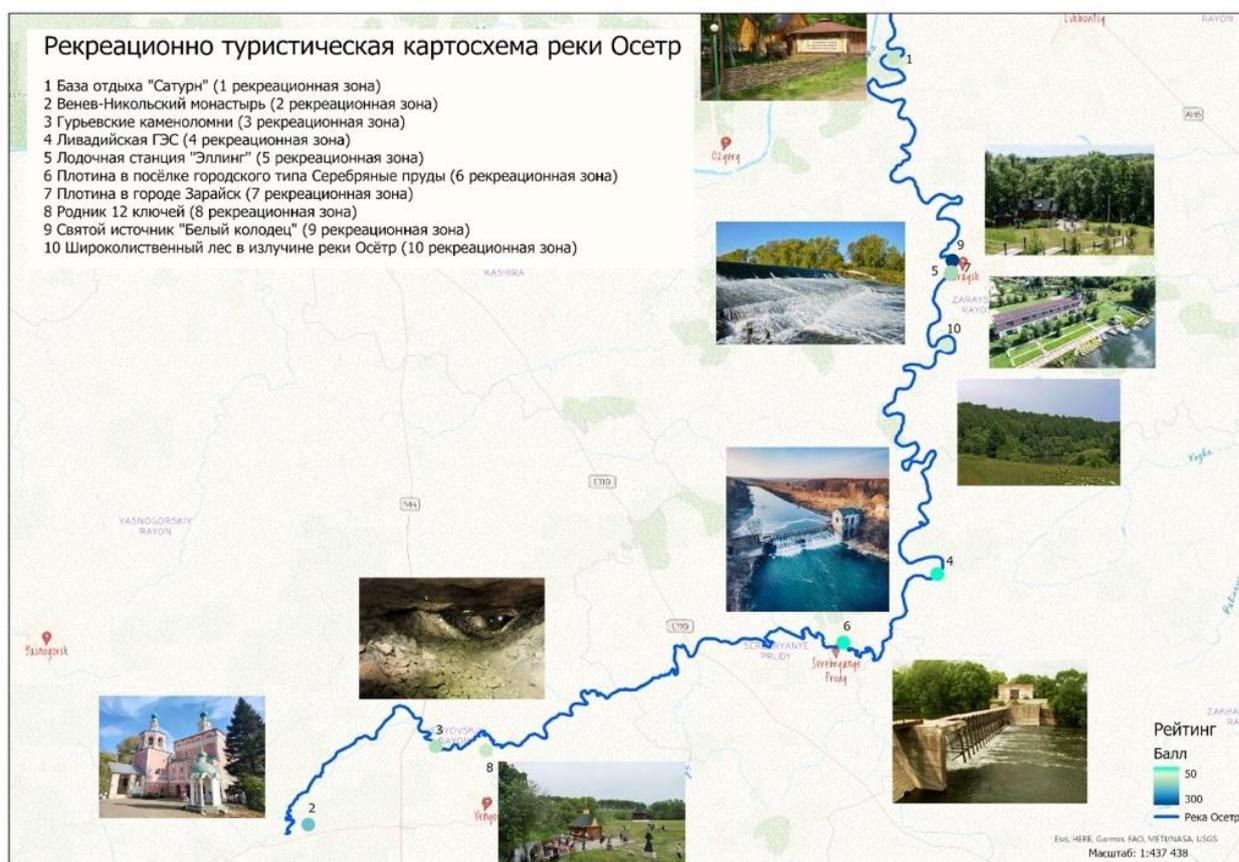


Рис. 4. Картосхема распределения туристско-рекреационного потенциала в бассейне р. Осетр
Fig. 4. Map of the distribution of tourist and recreational potential of the Osetr river basin

Выводы

В процессе исследования проведен геоэкологический скрининг в Веневском, Зарайском, Луховицком районах на исследуемом участке от нп. Махринка до нп. Акатьево за 2020–2021 гг. Была разработана и апробирована оригинальная методика скрининга водосборной территории бассейна р. Осетр в условиях чувствительности к антропогенному воздействию на основе предлагаемых автором установленных методов и критериев оценки экологического риска антропогенного воздействия на речные экосистемы с учетом их региональных особенностей. Отмечено, что повышенной чувствительностью отличаются участки в нп. Радушино и нп. Власьево.

На основании результатов оценки водохозяйственной ситуации на исследуемой территории за период 2020–2021 гг., качества водных ресурсов, газогеохимического состояния и экологических функций почв, туристско-рекреационного потенциала бассейна р. Осетр выполнена комплексная геоэкологическая оценка водосборной территории бассейна р. Осетр:

1) проведена инвентаризация возможных источников природного и антропогенного химического и бактериологического загрязнений поверхностных и подземных вод в районах населенных пунктов и промышленных центров, расположенных на территории водосборного бассейна р. Осетр на скрининговом участке;

2) выявлено влияние геоэкологических особенностей водосборного бассейна р. Осетр в пределах Московской области на изменение качества водных объектов;

3) проанализированы суточные и характерные расходы воды, проведен анализ многолетнего и сезонного изменения характеристик водного режима р. Осетр, выполнен расчет основных гидрологических характеристик стока, средней многолетней величины (нормы) годового стока при наличии данных наблюдений за период 1956–2016 гг.;

4) выполнено прогнозирование расходов воды в р. Осетр с обеспеченностью 1, 10, 25 % (при отсутствии данных гидрометрических наблюдений) методом наибольшего правдоподобия и методом моментов;

5) исследованы основные закономерности пространственно-временной изменчивости концентраций главных ионов, биогенных элементов, органических веществ в воде речной системы р. Осетр;

6) оценено качество поверхностных и подземных вод р. Осетр и ее притоков по химическим (интегральным) показателям и рассчитан коэффициент самоочищения; оценено качество почв на наличие тяжелых металлов и органических загрязнителей;

7) определена токсигенная нагрузка на почву по профилю почвенных горизонтов;

8) дана предварительная геоэкологическая оценка территории водосборного бассейна р. Осетр с выделением зон по степени благоприятности геоэкологических условий и уровню антропогенного воздействия;

9) разработан геоэкологический паспорт водосборного бассейна р. Осетр на основе результатов комплексного геоэкологического скрининга территории с применением GIS-технологий.

Создан геоэкологический портал «Геоэкологический паспорт водосборного бассейна р. Осетр», основанный на результатах комплексного геоэкологического скрининга территории с применением GIS-технологий.

Список источников

1. ГН 2.1.5.1315-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. 2003. М., Минздрав России, 152 с.
2. Колбовский Е.Ю. 2010. Экологический туризм и экология туризма. М, Издательский центр «Академия», 253 с.



3. Научно-прикладной справочник: Основные гидрологические характеристики рек бассейна Верхней Волги. 2015. Ливны, Издатель Мухаметов Г.В., 467 с. Электронный ресурс. URL: http://www.hydrology.ru/sites/default/files/Books/n_volga_0.pdf.
4. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. 2021. М., 469 с.
5. СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. 2003. М., Госстрой России, ФГУП ЦПП, 73 с.
6. Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения. 2016. М., Минсельхоз России, 152 с.

Список литературы

1. Арманд Д.Л. 1975. Наука о ландшафте. Основы теории и логико-математические методы. М, Мысль, 287 с.
2. Головатюк С.А., Широкова В.А. 2019. Экологическая оценка пригодности реки Осётр для рекреации. *Natural resource management, GIS & Remote Sensing*, 1 (2): 1–8. DOI:10.22121/ngis.2019.202274.1015.
3. Гудковских М.В. 2017. Методика комплексной оценки туристско-рекреационного потенциала. *Географический вестник*, 1 (40): 102–116. DOI: 10.17072/2079-7877-2017-1-102-116.
4. Джамалов Р.Г., Мягкова К.Г., Никаноров А.М., Решетняк О.С., Сафронова Т.И., Трофимчук М.М. 2017. Гидрохимический сток рек бассейна Оки. Вода и экология: проблемы и решения, 4 (72): 26–39. DOI: 10.23968/2305-3488.2017.22.4.26-39.
5. Дроздов А.В. 1998. Экологический туризм в России: состояние, общие и нормативные проблемы, некоторые перспективы. В кн.: Туризм и охрана окружающей среды в русской Арктике. Сборник докладов международного семинара, 6–8 ноября 1998, Архангельск: 17–21.
6. Звягинцев Д.Г. 1978. Изучение биологической активности почв и шкал для оценки некоторых ее показателей. *Почвоведение*, 6: 48–54.
7. Карпенко Н.П. 2018. Оценка геоэкологической ситуации речных бассейнов на основе атрибутивных показателей и обобщенных геоэкологических рисков. *Природообустройство*, 2: 15–22. DOI: 10.26897/1997-6011/2018-2-15-22.
8. Новых Л.Л., Юдина Ю.В., Орехова Г.А. 2012. Влияние положения родников в ландшафтах на содержание нитратов в их водах. *Научные ведомости Белгородского научного университета. Серия Естественные науки*, 3 (122): 242–250.
9. Озерова Н.А., Куклина А.Г. 2019. Естественно-исторический мониторинг памятника природы «Залесенный овраг у д. Власьево» (Московская область, городской округ Луховицы). В кн.: Геология, геоэкология, эволюционная география. Под ред. Е.М. Нестерова, В.А. Снытко. СПб, Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена: 262–266.
10. Озерова Н.А., Куклина А.Г., Гуров А.Ф. 2021. Региональная флористическая трансформация на севере городского округа Зарайск Московской области в связи с антропогенным воздействием. *Социально-экологические технологии*, 11 (1): 9–31. DOI: 10.31862/2500-2961-2021-11-1-9-31.
11. Решетняк О.С., Никаноров А.М., Трофимчук М.М., Гришанова Ю.С. 2017. Оценка гидроэкологического риска в бассейне реки Ока. Вода и экология: проблемы и решения, 3 (71): 159-171. DOI: 10.23968/2305-3488.2017.21.3.159-171.
12. Рожков И.В. 2021. Оценка рекреационного потенциала бассейна р. Осётр. М, ГУЗ, 70 с.
13. Терлеева О.В., Ушакова И.Г. 2018. Качество подземных вод в северных районах Омской области. *Вестник Омского Государственного Аграрного Университета*, 2 (30): 131–136.
14. Фролова Н.Л., Киреева Н.Л., Самсонов Т.Е., Энтин А.Л., Григорьев В.Ю., Сазонов А.А., Повалишников Е.С., Семин В.Н. 2019. Комплексное исследование и картографирование современного водного режима рек европейской территории России. В кн.: Научные проблемы оздоровления Российских рек и пути их решения. Всероссийская научная конференция с международным участием, 08–14 сентября 2019, Нижний Новгород, Студия Ф1: 21–26.

15. Yurova Y.D., Shirokova V.A. 2021. Geocological screening of the state of small and medium-sized river basins to assess the impact of measures for the operation of hydraulic structures. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 1103: 012031. DOI: 10.1088/1757-899x/1103/1/012031.

Reference

1. Armand D.L. 1975. Nauka o landshafte. Osnovy teorii i logiko-matematicheskie metody [Landscape Science. Fundamentals of theory and logical-mathematical methods]. Moscow, Publ. Mysl, 287 p.
2. Golovatyuk S.A., Shirokova V.A. 2019. Ekologicheskaya otsenka prigodnosti reki Osetr dlya rekreatsii [Environmental assessment of the suitability of the Sturgeon river for recreation]. Natural resource management, GIS & Remote Sensing, 1(2): 1–8. DOI:10.22121/ngis.2019.202274.1015.
3. Gudkovskikh M.V. 2017. Methodology for Comprehensive Assessment of Tourism Potential. Geographical bulletin, 1 (40): 102–116 (in Russian). DOI: 10.17072/2079-7877-2017-1-102-116.
4. Dzhamalov R.G., Myagkova K.G., Nikanorov A.M., Reshetnyak O.S., Safronova T.I, Trofimchuk M.M. 2017. Hydrochemical Runoff of the Oka Basin's Rivers. Water and Ecology, 4 (72): 26–39 (in Russian). DOI: 10.23968/2305-3488.2017.22.4.26-39.
5. Drozdov A.V. 1998. Ekologicheskii turizm v Rossii: sostoyanie, obshchie i normativnye problemy, nekotorye perspektivy [Ecological tourism in Russia: state, general and regulatory problems, some prospects]. In: Turizm i okhrana okruzhayushchey sredy v russkoy Arktike [Tourism and environmental protection in the Russian Arctic]. Collection of reports of the international seminar, 6–8 November 1998, Arkhangel'sk: 17–21.
6. Zvyagintsev D.G. 1978. Izuchenie biologicheskoy aktivnosti pochv i shkal dlya otsenki nekotorykh ee pokazateley [Study of the biological activity of soils and scales for assessing some of its indicators]. Pochvovedenie, 6: 48–54.
7. Karpenko N.P. 2018. Assessment of the Geoecological Situation of River Basins Based on Attribute Indices and Generalized Geoecological Risks. Prirodoobustrojstvo, 2: 15–22 (in Russian). DOI: 10.26897/1997-6011/2018-2-15-22.
8. Novykh L.L., Yudina Yu.V., Orekhova G.A. 2012. The Impact of the Locations of the Springs on the Landscapes on the Content of Nitrates in Their Waters. Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural sciences series, 3 (122): 242–250 (in Russian).
9. Ozerova N.A., Kuklina A.G. 2019. Natural and Historical Monitoring of the Nature Monument "Forested Ravine Near Vlasyevo Village" (Moscow Region, Lkhovitsy Urban District). In: Geologiya, geoekologiya, evolyutsionnaya [Geology, geoecology, evolutionary geography]. Ed. by E.M. Nesterova, V.A. Snappily. St. Petersburg, Publ. Russian State Pedagogical University named after A.I. Herzen: 262–266.
10. Ozerova N.A., Kuklina A.G., Gurov A.F. 2021. Regional Floristic Transformation Due to Anthropogenic Influence. Socialno-ecologicheskiiye Technologii, 11 (1): 9–31 (in Russian). DOI: 10.31862/2500-2961-2021-11-1-9-31.
11. Rozhkov I.V. 2021. Otsenka rekreatsionnogo potentsiala basseyna r. Osetr [Assessment of the recreational potential of the river basin Sturgeon]. Moscow, Publ. GUZ, 70 p.
12. Terleeva O.V., Ushakova I.G. 2018. Underground Water Quality in the North Areas of the Omsk Region. Bulletin of Omsk State Agricultural University, 2 (30): 131–136 (in Russian).
13. Frolova N.L., Kireeva N.L., Samsonov T.E., Entin A.L., Grigoriev V.Yu., Sazonov A.A., Povalishnikova E.S., Semin V.N. 2019. Kompleksnoe issledovanie i kartografirovaniye sovremennogo vodnogo rezhima rek evropeyskoy territorii Rossii [Comprehensive study and mapping of the modern water regime of the rivers of the European territory of Russia]. In: Nauchnyye problemy ozdorovleniya Rossiyskikh rek i puti ikh resheniya [Scientific Problems of Rehabilitation of Russian Rivers and Ways to Solve Them]. All-Russian scientific conference with international participation, 08–14 September 2019, Nizhny Novgorod, Publ. Studio F1: 21–26.
14. Reshetnyak O.S., Nikanorov A.M., Trofimchuk M.M., Grishanova Y.S. 2017. Estimation of Hydroecological Risk in the Oka River Basin. Water and Ecology, 3 (71): 159–171 (in Russian). DOI: 10.23968/2305-3488.2017.21.3.159-171.



15. Yurova Y.D., Shirokova V.A. 2021. Geoecological screening of the state of small and medium-sized river basins to assess the impact of measures for the operation of hydraulic structures. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 1103: 012031. DOI: 10.1088/1757-899x/1103/1/012031.

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

Широкова Вера Александровна, профессор, доктор географических наук, профессор кафедры почвоведения, экологии и природопользования Государственного университета по землеустройству, г. Москва, Россия;

заведующая Отделом истории наук о Земле Института истории естествознания и техники имени С.И. Вавилова РАН, г. Москва, Россия

Юрова Юлия Дмитриевна, аспирант кафедры почвоведения, экологии и природопользования Государственного университета по землеустройству, г. Москва, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Vera A. Shirokova, Professor, Doctor of Geographical Sciences, Professor of the Department of Soil Science, Ecology and Nature Management of the State University of Land Use Planning, Moscow, Russia

Head of the Department of History of Earth Sciences of the Institute of the S.I. Vavilov History of Natural Science and Technology Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Yuliya D. Yurova, Post-graduate student of the Department of Soil Science, Ecology and Nature Management of the State University of Land Use Planning, Moscow, Russia



УДК 556.16

DOI 10.52575/2712-7443-2021-45-4-617-631

Многолетняя динамика основных элементов стока рек в пределах Центрального Черноземья

¹Кумани М.В., ¹Шульгина Д.В., ²Киселев В.В.

¹Курский государственный университет,
Россия, 305000, г. Курск, ул. Радищева, 33;

²Белгородский университет кооперации, экономики и права
Россия, 308023, г. Белгород, ул. Садовая, 116а

E-mail: kumanim@yandex.ru; kiselev_v@bsu.edu.ru

Аннотация. Изучение гидроэкологического состояния малых рек является одной из первостепенных задач в соответствии с современными принципами рационального водопользования и сохранения водных экосистем. Увеличение объемов хозяйственной деятельности в пределах водосбора, а также существенные климатические изменения обуславливают изменения стока малых рек. В связи с этим динамика речного стока на территории Центрально-Чернозёмного региона в зависимости от физико-климатических условий может носить различный характер. Работа посвящена рассмотрению многолетней динамики основных элементов стока рек Центрального Черноземья, которые можно рассматривать в качестве основных индикаторов современных гидроэкологических изменений в пределах водосбора рек. Проанализированы основные тенденции, статистическая значимость, а также многолетние закономерности динамики величин стока весеннего половодья, летней и зимней межени, годового стока методом оценки линейных трендов и разностных интегральных кривых. Было выявлено, что наблюдаются значительные изменения характеристик весеннего стока и стока летней и зимней межени, свидетельствующие о перераспределении стока рек внутри сезонов гидрологического года. Сделаны выводы о влиянии выявленных процессов трансформации речного стока на склоновые и русловые эрозионные процессы, что необходимо учитывать в гидрологических расчетах и прогнозах, в оценке экологического состояния рек и связанных с ними водоемов.

Ключевые слова: линейный тренд, весенний сток, максимальный расход, меженный сток, слой стока, внутригодовое перераспределение стока, разностные интегральные кривые расходов, статистические характеристики стока.

Для цитирования: Кумани М.В., Шульгина Д.В., Киселев В.В. 2021. Многолетняя динамика основных элементов стока рек в пределах Центрального Черноземья. Региональные геосистемы, 45 (4): 617–631. DOI: 10.52575/2712-7443-2021-45-4-617-631

Long-term Dynamics of the Main Elements of River Flow Within the Central Chernozem Region

¹Mihail V. Kumani, ¹Diana V. Shulgina, ²Vladislav V. Kiselev

¹ Kursk State University,
33 Radishcheva St, Kursk 305000, Russia;

²Belgorod University of Cooperation, Economics and Law
116a Sadovaya St, Belgorod 308023, Russia

E-mail: kumanim@yandex.ru; kiselev_v@bsu.edu.ru

Abstract. The study of the hydroecological state of small rivers is one of the primary tasks in accordance with modern principles of rational water use and conservation of aquatic ecosystems. An increase in the



volume of economic activity within the catchment area, as well as significant climatic changes, cause changes in the runoff of small rivers. In this regard, the dynamics of river runoff in the territory of the Central Black Earth region, depending on the physical and climatic conditions, can be of a different nature. The work is devoted to the consideration of the long-term dynamics of the main flow elements of the rivers of the Central Chernozem region, which can be considered as the main indicators of modern hydroecological changes within the catchment area of the rivers. The main trends, statistical significance, as well as long-term regularities in the dynamics of the runoff values of spring floods, summer and winter low-water periods, and annual runoff are analyzed by the method of evaluating linear trends and differential integral curves. It was revealed that there are significant changes in the characteristics of the spring runoff and the runoff of the summer and winter low-water periods, indicating a redistribution of river runoff within the seasons of the hydrological year. Conclusions are drawn about the influence of the identified processes of river runoff transformation on slope and channel erosion processes, which must be taken into account in hydrological calculations and forecasts, in assessing the ecological state of rivers and associated water bodies.

Key words: linear trend, spring runoff, maximum discharge, low-water runoff, runoff layer, intra-annual runoff redistribution, differential integral flow rate curves, statistical characteristics of runoff.

For citation: Kumani M.V., Shulgina D.V., Kiselev V.V. 2021. Long-term dynamics of the main elements of river flow within the Central Chernozem region. *Regional geosystems*, 45 (4): 617–631 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2021-45-4-617-631

Введение

В настоящее время на формирование стока рек и его сезонную динамику оказывает влияние множество естественных и антропогенных факторов [Бабкин, Клиге, 2005; Алексеевский и др., 2014; Василенко, 2019; Lisetskii, 2021]. Наличие направленной динамики климатических изменений [Дмитриева, Москайкина, 2013; Георгиади и др., 2014; Решетников и др., 2018] и проявление разнообразных факторов хозяйственного воздействия [Киселев, 2020] неминуемо приводит к изменению стока рек, в том числе, весеннего и меженного, что нами было рассмотрено в работах [Апухтин, Кумани, 2012; 2015]. Анализ динамики элементов максимального стока и учет значимости происходящих изменений необходимы в связи с постоянно высоким интересом к проблеме половодий и потребностью в гидрологических прогнозах и расчетах элементов весеннего половодья [Кумани, Бабкина, 2005; Дмитриева, 2018; Бучик, Дмитриева, 2019]. Не менее важен сток зимней и летней межени, лимитирующий решение целого ряда водохозяйственных задач.

Таким образом, целью работы является изучение современной динамики изменения основных характеристик стока весеннего половодья и меженного стока рек Центрального Черноземья.

Объекты и методы исследования

Одним из наиболее простых и наглядных способов оценки динамики многолетних колебаний гидрометеорологических величин является применение метода линейных трендов [Ясинский и др., 2007]. Метод позволяет не только указать на направленность изменений, но и выявить нестационарность гидрологических характеристик при помощи оценки статистической значимости линейных трендов многолетних колебаний характеристик стока. Для более наглядного представления изменений стока за продолжительный период времени, определения многоводных и маловодных периодов были построены разностные интегральные кривые всех элементов стока и годового слоя осадков. В работе использованы данные многолетних наблюдений на водомерном посту р. Тускарь, расположенном в г. Курск, продолжительность непрерывного ряда наблюдений – 93 года (с 1924 по 2017 гг.).

Годовые суммы осадков за тот же период взяты по данным метеостанции г. Курск, расположенной непосредственно на водосборе р. Тускарь, площадь которого в створе водомерного поста – 2380 км², степень распаханности – 70 %. По гидрографическим характеристикам Тускарь – река, типичная для лесостепной зоны Европейского Черноземья.

Для выявления динамики основных характеристик максимального стока нами были проанализированы многолетние ряды основных элементов годового, весеннего и меженного стока р. Тускарь с одним из наиболее продолжительных и непрерывных рядов наблюдений в Центральном Черноземье.

Результаты и их обсуждение

В соответствии с общепринятыми методическими подходами³ был проанализирован ход многолетних колебаний различных характеристик годового, весеннего и меженного стока на примере гидрологического поста (г. п.) р. Тускарь, расположенного в г. Курск. В качестве характеристик стока весеннего половодья использованы максимальные мгновенные расходы воды основной волны половодья и слой стока половодья. Меженный сток характеризуют минимальные суточные расходы воды летней межени в период открытого русла и зимней межени, как правило, в период ледостава. Годовой сток характеризует слой стока за год, который удобно сравнивать со слоем осадков, выпавших в этом же году.

Очень значимой характеристикой условий формирования весеннего половодья на р. Тускарь и всего Черноземья является степень промерзания почвенного покрова к началу и в период формирования поверхностного стока при снеготаянии [Коронкевич, Мельник, 2017; Веденева, 2018]. В качестве такой характеристики нами использованы данные наблюдений за промерзанием почв на метеостанциях г. Курск, с. Петринки и с. Ушаково. Наблюдения за промерзанием на территории Курской области велись с 1938 г., поэтому анализируемые ряды несколько короче остальных гидрологических и метеорологических величин. Тем не менее, период наблюдения за промерзанием почвы охватывает основные этапы изменения гидрологических характеристик [Коронкевич и др., 2018; Бучик и др., 2019]. В качестве расчетной характеристики использована максимальная глубина промерзания почвенного покрова за каждый календарный год. Максимальная глубина промерзания наблюдается, как правило, в конце периода с отрицательными температурами воздуха и почвенного покрова, в конце марта – начале апреля, совпадая в большинстве случаев с началом весеннего снеготаяния и формированием половодья. Степень промерзания почв влияет на ее водопроницаемости и формирование или отсутствие «запирающего слоя», от чего зависит коэффициент стока в период половодья и его дружность.

Из рис. 1–3 следует, что многолетние значения рассматриваемых нами характеристик весеннего половодья имеют значимую тенденцию к сокращению. Проверка на статистическую однородность и, следовательно, значимость линейных трендов доказала наличие неоднородности в рядах наибольшего срочного расхода и слоя стока весеннего половодья.

Анализ рис. 4 показывает, что тенденции многолетнего изменения максимальных слоев стока и расходов весеннего половодья очень строго соответствуют изменениям значений максимальной глубины промерзания почвы на водосборе р. Тускарь. По мере снижения глубины промерзания снижаются максимальные расходы и слои стока половодья. Отрицательный тренд снижения глубины промерзания статистически значим и совпадает с трендами изменения характеристик весеннего половодья.

³ Методические рекомендации по оценке однородности гидрологических характеристик и определение их расчетных значений по неоднородным данным. 2010. Санкт-Петербург, Нестор-История, 162 с.

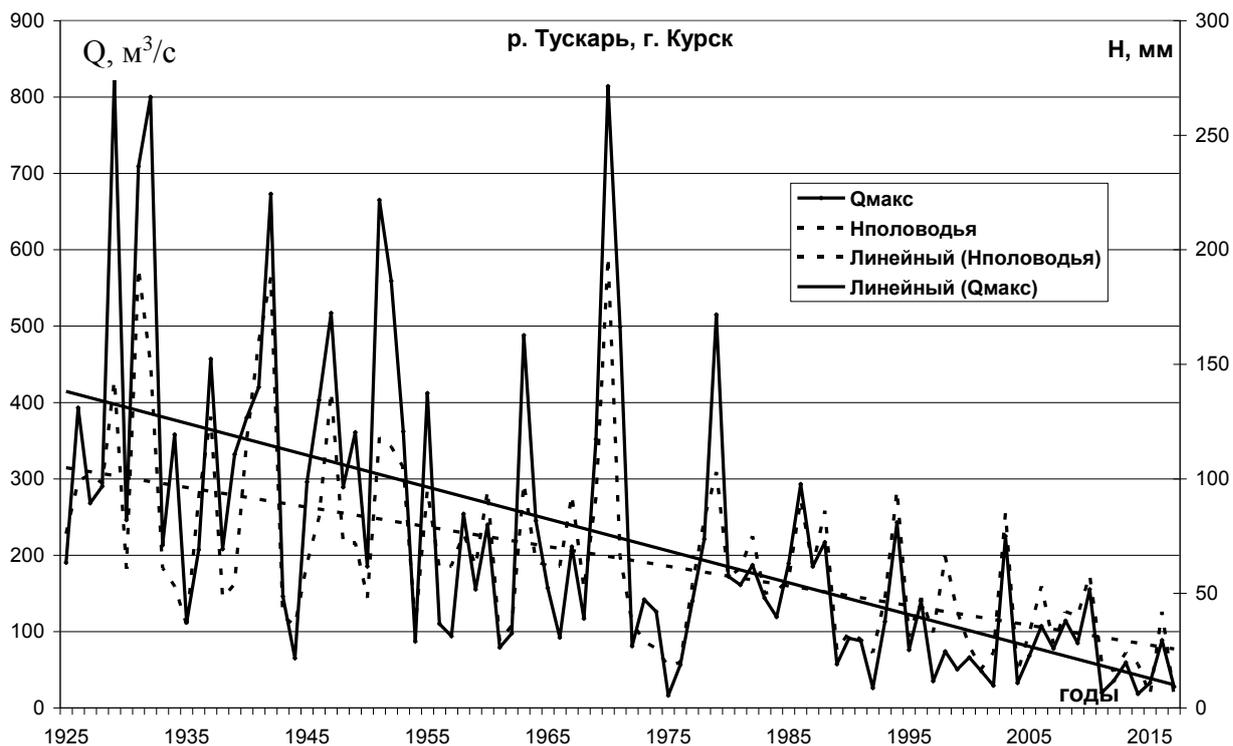


Рис. 1. Динамика многолетних значений наибольшего срочного расхода (Q_{\max}) и слоя стока весеннего половодья (H половодья) для г. п. р. Тускарь – г. Курск
 Fig. 1. Dynamics of long-term values of the highest urgent flow rate (Q_{\max}) and the spring flood runoff layer (H flood) for the town of river Tuskar – Kursk

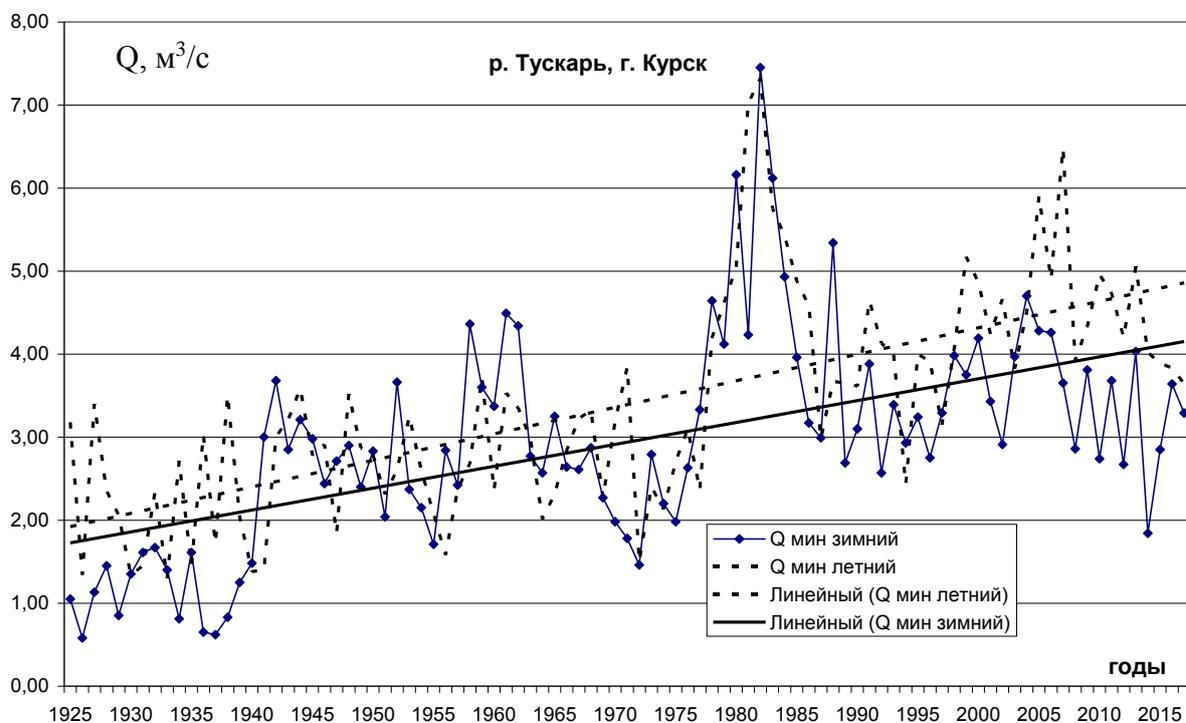


Рис.2. Динамика многолетних значений минимального стока летней (Q_{\min} . летний) и зимней (Q_{\min} . зимний) межени для г.п. р. Тускарь – г. Курск
 Fig.2. Dynamics of long-term values of the minimum runoff of summer (Q_{\min} summer) and winter (Q_{\min} winter) autumn for the town of river Tuskar – Kursk

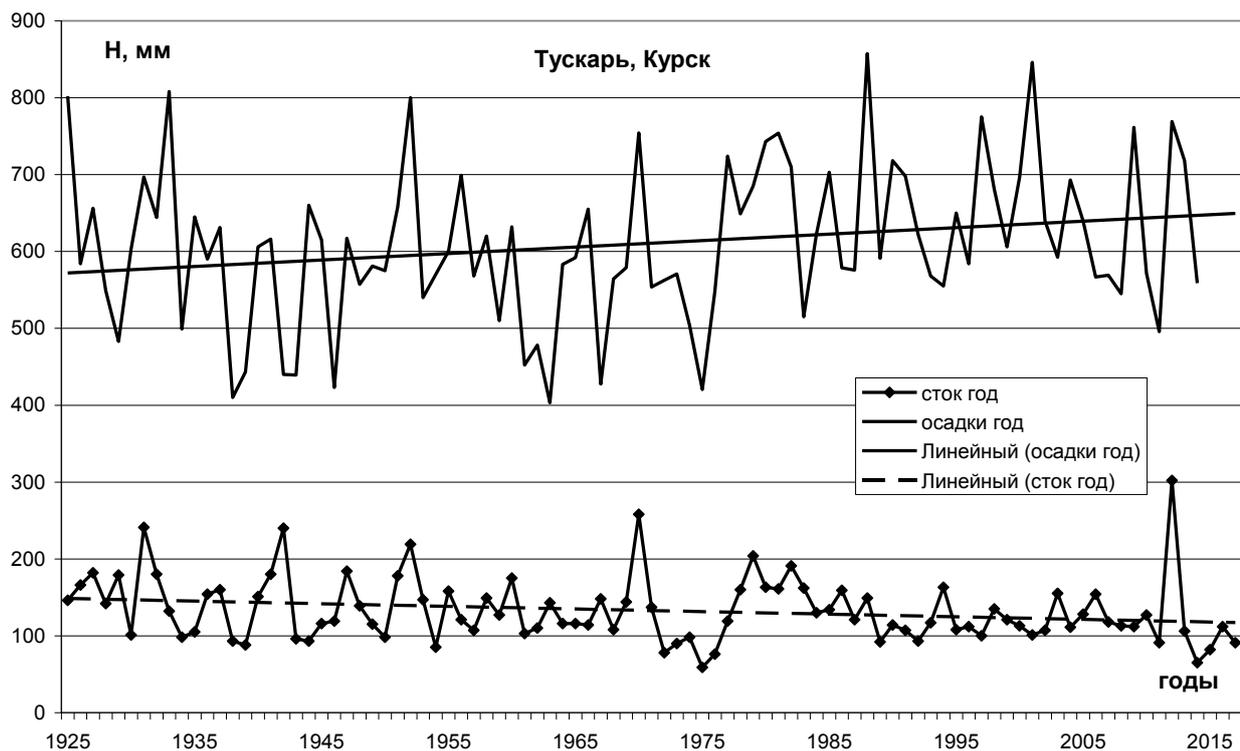


Рис.3. Динамика многолетних значений слоя годового стока для г. п. р. Тускарь – г. Курск и годового слоя осадков по метеостанции г. Курск

Fig. 3. Dynamics of long-term values of the annual runoff layer for the town of river Tuskar – Kursk and the annual precipitation layer at the Kursk weather station



Рис.4. Динамика многолетних значений максимальной глубины промерзания почвы по данным метеостанции г. Курска

Fig.4. Dynamics of long-term values of the maximum depth of soil freezing according to the data of the Kursk weather station



Противоположная тенденция характерна для минимальных расходов летней и зимней межени. Многолетние значения рассматриваемых характеристик меженного стока как зимы, так и лета (периода открытого русла) имеют значимую тенденцию к увеличению. Проверка на статистическую однородность и, следовательно, значимость линейных трендов доказала наличие неоднородности в рядах минимальных летних и зимних расходов.

При этом многолетняя динамика слоя годового стока статистически не значима, хотя и выражена в незначительном снижении стока за календарный год. Но с точки зрения статистики, годовой сток можно считать стабильным. Интересно, что годовые суммы осадков, как и годовой сток, относительно стабильны, их ряд однороден. При этом отмечается слабая, статистически незначимая тенденция роста годовых сумм осадков. То есть годовой сток и годовые суммы осадков имеют хоть и слабо выраженные, но противоположные тенденции за многолетний, в нашем случае практически 100-летний, период.

Аналогичным образом были проанализированы ряды многолетних гидрологических характеристик половодья для 38 гидрологических постов Центрального Черноземья с наиболее продолжительными рядами наблюдений. Важно отметить, что аналогичные результаты получены как для малых (Мокрая Панда, Сердюки, 73 км²), так и для средних и крупных (Хопер, Новохоперск, 34800 км²) рек всего региона. Результаты представлены в табл. 1. У большинства рек ряды максимальных расходов и слоев стока весеннего половодья неоднородны, Снижение интенсивности половодья во второй половине периода наблюдений статистически значимо. Так же для большинства рек характерно увеличение меженного стока – минимального стока периода открытого русла и периода ледостава. Годовой же сток, как и суммарные годовые слои выпавших осадков, относительно стабильны.

Как следует из табл. 1, по всем гидрологическим постам, включенным в выборку, многолетние ряды максимальных срочных расходов воды неоднородны и имеют выраженную тенденцию к снижению. Тенденции изменения других рассмотренных в таблице характеристик имеют более неоднозначное распределение по исследуемой территории.

Многолетний тренд, показывая общую тенденцию изменения гидрологической или климатической характеристики за весь период наблюдений, не позволяет установить, как изменяется эта тенденция за более короткие отрезки времени. Для более детального анализа внутривековых изменений водного режима рек нами использованы нормированные разностные интегральные кривые (РИК). Для их построения используются нарастающие суммы отклонений нормированных модульных коэффициентов ежегодных значений расходов или слоев стока от среднего многолетнего значения [Апухтин, Кумани, 2012], вычисляемые по формуле:

$$Ki = (Qi - Qcp) / \sigma Q,$$

где Ki – отклонение нормированного модульного коэффициента в i -тый год от нормы; Qi – расход воды в i -тый год; Qcp – среднее многолетнее значение расхода воды (норма стока); σQ – среднее квадратическое отклонение характеристики стока за многолетний период наблюдений.

На рис. 5–8 представлены нормированные разностные интегральные кривые всех рассматриваемых характеристик стока реки Тускарь у г. Курска и влияющих на них показателей.

Таблица 1
Table 1

Результаты оценки однородности рядов многолетних гидрологических характеристик половодья при 5-процентном уровне значимости
Results of the assessment of the homogeneity of the series of long-term hydrological characteristics of the flood at the 5% level of significance

№ п/п	Гидрологический пост	Продолжительность половодья, Т	Максимальный расход, Q _{макс.}	Слой стока половодья, У	Модуль годового стока, М
1	Болва – Псурь	+	–	+	–
2	Десна – Брянск	+	–	+	+
3	Десна – Голубея	+	–	+	+
4	Коста – Глазово	–	–	–	+
5	Навля – Навля	+	–	–	+
6	Нерусса – Радогощ	–	–	–	+
7	Псел – Обоянь	+	–	–	+
8	р. Битюг – г. Бобров	–	–	–	+
9	р. Битюг – пгт Мордово	–	–	–	+
10	р. Валуй – г. Валуйки	+	–	–	–
11	р. Ворона – г. Борисоглебск	–	–	–	+
12	р. Ворона – г. Уварово	–	–	+	+
13	р. Девица – с. Девица	–	–	–	+
14	р. Дон – г. Задонск	–	–	–	+
15	р. Мокрая Панда – с. Курдюки	–	–	–	–
16	р. Нежеголь – г. Шебекино	+	–	–	+
17	р. Осколец – г. Старый Оскол	+	–	–	–
18	р. Оскол – р.п. Раздолье	+	–	–	+
19	р. Оскол – сл. Ниновка	+	–	–	–
20	р. Подгорная – г. Калач	–	–	–	+
21	р. Сосна – г. Елец	–	–	–	+
22	р. Сосна – сл. Беломестная	–	–	–	+
23	р. Тим – с. Новые Савины	–	–	–	–
24	р. Тихая Сосна – г. Алексеевка	–	–	–	+
25	р. Хопер – г. Новохоперск	–	–	+	+
26	р. Хопер – г. Поворино	–	–	+	+
27	Рать – Беседино	–	–	–	+
28	Реут – Любичская	–	–	–	+
29	Свапа – Старый город	–	–	–	+
30	Сев – Новоямское	+	–	+	–
31	Сейм – Зуевка	–	–	–	+
32	Сейм – Лебяжье	–	–	–	+
33	Сейм – Рыльск	–	–	–	+
34	Сейм – Рышково	–	–	–	+
35	Снова – Щурово	–	–	–	+
36	Суджа – Замостье	+	–	–	+
37	Судость – Погар	+	–	–	+
38	Тускарь – Курск	–	–	–	+

Примечания: знак «+» означает, что ряд гидрологических характеристик однороден; «–» – ряд гидрологических характеристик неоднороден.



Рис. 5. Нормированные разностные интегральные кривые наибольшего срочного расхода (макс. расход) и слоя стока весеннего половодья (Н половодья) для г. п. р. Тускарь – г. Курск
Fig. 5. Normalized difference integral curves of the highest urgent flow rate (max. flow rate) and the spring flood runoff layer (Н flood) for the town of river Tuskar – Kursk



Рис. 6. Нормированные разностные интегральные кривые минимальных расходов летней и зимней межени для г. п. р. Тускарь – г. Курск
Fig. 6. Normalized difference integral curves of the minimum expenses of summer and winter autumn for the town of river Tuskar – Kursk



Рис. 7. Нормированные разностные интегральные кривые годовых слоев стока (Н год) для г. п. на р. Тускарь – г. Курск и годовых слоев осадков (Ос. год) по метеостанции г. Курска
Fig. 7. Normalized difference integral curves of annual runoff layers (H year) for the town of river Tuskar – Kursk river and annual precipitation layers (Os. year) at the Kursk weather station



Рис. 8. Нормированная разностная интегральная кривая максимальных за зиму слоев промерзания почвенного покрова на пашне по данным метеостанций Курской области
Fig. 8. Normalized difference integral curve of the maximum winter layers of soil freezing on arable land according to weather stations of the Kursk region



Характер РИК для обеих характеристик весеннего половодья – максимального расхода и слоя стока практически идентичен, поскольку между ними существует тесная корреляционная зависимость (коэффициент корреляции за многолетний период равен 0,88).

По характеру РИК можно выделить три четко дифференцированных периода (табл. 2):

- 1) с 1924 по 1952 годы – сток выше нормы (среднее значение);
- 2) с 1953 по 1988 годы – сток в пределах нормы;
- 3) с 1989 по 2017 годы – сток весеннего половодья существенно ниже нормы.

Таблица 2
Table 2

Результаты оценки однородности рядов многолетних гидрологических характеристик половодья и промерзания почвы
The results of the assessment of the uniformity of the series of long-term hydrological characteristics of high water and soil freezing

Периоды	Максимальный расход половодья, м ³ /с	Слой стока половодья, мм	Максимальная глубина промерзания почвы, см
1) с 1924 по 1952	377	94,3	74,5*
2) с 1953 по 1988	218	66,7	89,1
3) с 1989 по 2017	79	35,5	51,8
за весь период	222,4	65,3	74,9

Примечание: для промерзания – 1-й период с 1938 по 1952 гг.

Характер РИК для обеих характеристик летней и зимней межени – минимальных суточных расходов, несколько различается, но можно отметить общую тенденцию: в первую половину периода минимальный сток был существенно ниже, чем во вторую часть периода (см. рис. 5).

По характеру РИК можно выделить два различных периода (табл. 3):

- 1) с 1924 по 1977 годы – минимальный меженный сток ниже нормы (среднего значения);
- 2) с 1978 по 2017 годы – минимальный меженный сток существенно выше нормы.

Таблица 3
Table 3

Результаты оценки однородности рядов многолетних гидрологических характеристик летней и зимней межени, годового слоя стока и годового слоя атмосферных осадков
Results of the assessment of the uniformity of the series of long-term hydrological characteristics of summer and winter autumn, annual runoff layer and annual precipitation layer.

Периоды	Минимальный расход летней межени, м ³ /с	Минимальный расход зимней межени, м ³ /с	Годовой слой стока	Годовой слой осадков
1) с 1924 по 1977	2,3	2,5	135	580
2) с 1978 по 2017	3,8	4,5	130	651
за весь период	2,94	3,39	133,0	609

Характер РИК для годового слоя стока р. Тускарь у г. Курска свидетельствует о том, что эта характеристика речного стока самая стабильная. За весь период наблюдений слой годового стока, меняясь по годам, тем не менее, за более продолжительные периоды остается практически идентичным, то есть средние годовые расходы и слои стока колеблются около среднего многолетнего значения – нормы стока изменяются по периодам не более чем на 2–3 %, что в пределах точности измерений. При этом изменения максимального

стока по выявленным периодам – более 3 раз, а меженного – около 2 раз (то есть на 300 % и 200 % соответственно).

Относительно стабилен и годовой слой осадков за изучаемый вековой период. По характеру РИК можно выделить два периода, совпадающие с периодами изменения меженного стока:

1) с 1924 по 1977 гг. средний годовой слой осадков ниже нормы (среднего значения);

2) с 1988 по 2017 гг. средний годовой слой осадков выше нормы.

Но различия средних годовых слоев осадков за эти периоды не превышают 5 % от годовой нормы осадков. Такое изменение годового стока по многолетним периодам не может объяснить 2–3-кратного изменения максимального и минимального стока за те же периоды.

Важно отметить, что многолетние изменения стока половодья и меженных периодов находятся в противофазе, то есть в многолетней перспективе при снижении стока половодья меженный сток растет и наоборот, периоды с более высоким стоком половодья соответствуют пониженному стоку меженных периодов.

Очевидно, что мы имеем дело с многолетней тенденцией перераспределения стока рек по сезонам года: сток поводья сокращается, меженный сток растет.

Для определения возможных причин выявленных изменений максимального и минимального стока необходимо исследовать большое количество природных, в первую очередь климатических факторов и факторов антропогенного влияния.

Наиболее очевидной причиной хозяйственного влияния на перераспределение стока по сезонам, то есть его внутригодовым перераспределением, приводящим к снижению стока половодья и увеличению стока межени, является интенсивное строительство прудов на территории Центрального Черноземья. Пик гидротехнического строительства пришелся на 1960–1980 гг. За это время были построены более 500 прудов по всей Курской области. Нарастание суммарной емкости прудов в бассейне р. Тускарь, в бассейне р. Сейм до впадения р. Тускарь и суммарно в бассейнах Тускари и Сейма до створа ниже Курска показано на рис. 9.

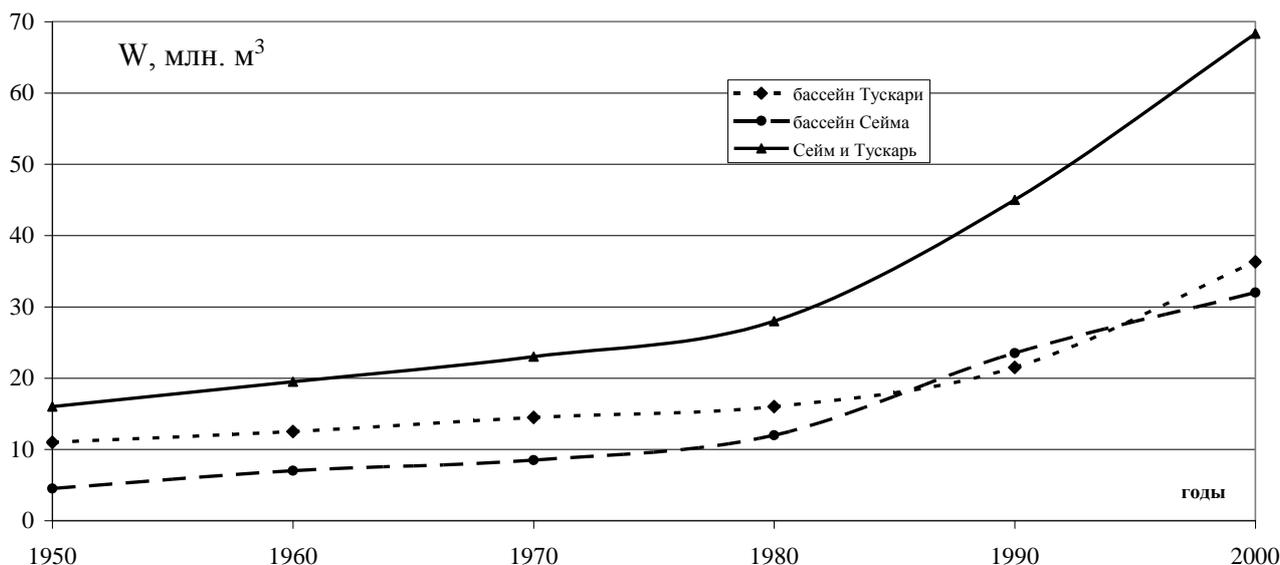


Рис. 9. Нарастание суммарного объема прудов, построенных в бассейнах рек Тускарь и Сейм

Fig. 9. The increase in the total volume of ponds built in the basins of the Tuskar and Seim rivers

К 2000 г. суммарный объем прудов в бассейне р. Тускарь составил 36,3 млн. м³. При среднем многолетнем слое стока половодья р. Тускарь, равном 65,3 мм, объем половодья



составляет 155 млн. м³, то есть объем регулирования в средний по водности год составляет около 25 %, а в маловодный до 50–60 %. За счет регулирующей емкости существенная часть стока половодья накапливается в прудах. Накопленная вода поступает в реки в летнюю межень как через водосбросы прудов, так и за счет дополнительного питания подземных водоносных горизонтов, разгружающихся в речную сеть. Вода летних и осенних ливневых дождей также аккумулируется прудами и дополнительно питает реки в зимнюю межень.

Кроме того, на территории Курской области в 1980 годы внедрялись противоэрозионные комплексы, включающие лесные полосы, безотвальную вспашку, мульчирование пашни пожнивными остатками растений. Все эти приемы также способствовали снижению части стока половодья и переводу его в грунтовый сток.

Таким образом, техногенные факторы трансформации стока р. Тускарь и всего региона, изменившись к концу 1980 годов, «перевели» процессы формирования стока на новый уровень. В дальнейшем строительство прудов прекратилось, сменившись их разрушением и деградацией, культура земледелия также ухудшилась. Поскольку борьба за урожай свелась к мощным дозам удобрений и ядохимикатов, а борьба с эрозией и сохранение почвенного плодородия отошли на второй план, влияние хозяйственных факторов стабилизировалось, в динамике изменения стока важнее стали факторы природной среды – потепление климата и связанные с ним процессы на склоновых угодьях и водосборах рек.

Наиболее существенным природным фактором, поддерживающим выявленные тенденции изменений речного стока, следует считать все более очевидные изменения климата, проявившиеся в конце 20 и начале 21 века. Более теплые зимы с частыми оттепелями, слабое промерзание почвенного покрова в течение зимних периодов приводят к снижению стока половодья при сохраняющейся сумме зимних осадков. В летнее время из-за усиления циклонической деятельности снижается испарение, что благоприятствует более стабильному межённому стоку.

Сказанное подтверждается характером разностной интегральной кривой максимальной глубины промерзания почвы (см. рис. 8, табл. 2). Пик перелома приходится на тот же 1980 г., значения глубин промерзания изменяются по выявленным периодам так же, как характеристики весеннего половодья – максимальные расходы и слои стока.

Задача количественной оценки вклада перечисленных и иных природных и хозяйственных факторов, определяющих перераспределение стока рек Центрального Черноземья, снижение стока половодья и возрастания меженных расходов – задача более детальных исследований с построением статистических и динамических моделей формирования стока [Лисецкий и др., 2015; Ясинский, Сидорова, 2018].

Заключение

Таким образом, в пределах относительно небольшой территории Центрально-черноземного района наблюдаются значительные изменения характеристик весеннего стока и стока летней и зимней межени, свидетельствующие о перераспределении стока рек внутри сезонов гидрологического года. Логично предположить, что это подразумевает существование значимых изменений и в динамике стокоформирующих факторов. Следует отметить, что применяемые методы линейных трендов и разностных интегральных кривых относительно малоинформативны. Их применение позволило выявить направленность и статистическую значимость изменений элементов весеннего и меженного стока при относительной стабильности годового стока и годовых сумм осадков. Количественная оценка роли различных факторов в имеющих место процессах трансформации стока рек – задача более углубленных исследований.

Следует также обратить внимание на роль выявленных процессов трансформации речного стока на склоновые и русловые эрозионные процессы, изменение статистических

параметров максимального и минимального стока рек, что необходимо учитывать в гидрологических расчетах и прогнозах, в оценке экологического состояния рек и связанных с ними водоемов.

Список литературы

1. Алексеевский Н.И., Кузьмина Е.О., Базелюк А.А. 2014. Термический режим рек на юге Европейской территории России. Известия Российской академии Наук. Серия Географическая, 5: 55–66.
2. Апухтин А.В., Кумани М.В. 2012. Современные изменения условий формирования слоя стока весеннего половодья рек Курской области. Ученые записки: электронный научный журнал Курского государственного университета, 1 (21): 300–311.
3. Апухтин А.В., Кумани М.В. 2015. Многолетняя динамика основных элементов весеннего стока малых и средних рек Центрального Черноземья. Научные ведомости Белгородского научного университета. Серия Естественные науки, 21 (218): 114–120.
4. Бабкин В.И., Клиге Р.К. 2005. Механизм увлажнения и сток рек Русской равнины. Водные ресурсы, 32 (1): 108–114.
5. Бучик С.В., Дмитриева В.А. 2019. Формирование абсолютных минимумов стока летне-осенней межени в бассейне Верхнего Дона. Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление, 6: 35–47. DOI 10.35567/1999-4508-2019-6-3.
6. Бучик С.В., Дмитриева В.А., Сушков А.И., Шестопалова Т.А. 2019. Некоторые аспекты гидрологического режима рек Верходонья. В кн.: Глобальные климатические изменения: региональные эффекты, модели, прогнозы. Материалы международной научно-практической конференции, 03–05 октября 2019, Воронеж, Цифровая полиграфия: 355–359.
7. Василенко А.Н. 2019. Современные представления о термическом режиме рек и его трансформациях в условиях изменяющегося климата. В кн.: Глобальные климатические изменения: региональные эффекты, модели, прогнозы. Материалы Международной научно-практической конференции, 03–05 октября 2019, Воронеж, Цифровая полиграфия: 359–363.
8. Веденеева Е.А. 2018. Моделирование водного стока рек в различных ландшафтных условиях равнинной части европейской территории России. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки, 42 (4): 547–549. DOI: 10.18413/2075-4671-2018-42-4-540-549.
9. Георгиади А.Г., Коронкевич Н.И., Милукова И.П., Кашутина Е.А., Барабанова Е.А., Вишневская И.А., Бородин О.О. 2014. Современные и сценарные изменения речного стока в бассейнах крупнейших рек России. Москва, Макс-Пресс, 214 с.
10. Дмитриева В.А. 2018. Аномалии весеннего половодья в Донском бассейне и их водохозяйственные и гидроэкологические последствия. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки, 42 (2): 181–190. DOI: 10.18413/2075-4671-2018-42-2-181-190.
11. Дмитриева В.А., Москайкина С.В. 2013. Изменчивость водного режима в верховье Донского бассейна в современный климатический период. Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология, 1: 17–21.
12. Киселев В.В., Курепина В.А., Корнилов А.Г. 2020. Динамика гидрохимических показателей малых рек в связи с внесением химических удобрений на сельскохозяйственные поля. Геология, география и глобальная энергия, 2 (77): 102–110.
13. Коронкевич Н.И., Мельник К.С. 2017. Изменение стока реки Москвы в результате антропогенных воздействий. Водные ресурсы, 44 (1): 3–14. DOI: 10.7868/S0321059617010072.
14. Коронкевич Н.И., Георгиади А.Г., Ясинский С.В. 2018. О гидрологических изменениях. Вопросы географии, 145: 15–34.
15. Кумани М.В., Бабкина О.П. 2005. Изучение трансформации гидрологического режима рек Курской области под влиянием сельскохозяйственного производства. В кн.: Геоэкологические исследования Курской области. Курск, Курский Государственный Университет: 101–111.
16. Лисецкий Ф.Н., Дегтярь А.В., Буряк Ж.А., Павлюк Я.В., Нарожная А.Г., Землякова А.В., Маринина О.А. 2015. Реки и водные объекты Белогорья. Белгород, Константа, 362 с.



17. Решетников В.С., Корнилов А.Г., Лебедева М.Г. 2018. Изменчивость водного режима малых рек (на примере Белгородской области). Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки, 42 (1): 71–79. DOI: 10.18413/2075-4671-2018-42-1-71-79.
18. Ясинский С.В., Гуров Ф.Н., Шилькрот Г.С. 2007. Метод оценки выноса биогенных элементов в овражно-балочную и речную сеть малой реки. Известия Российской академии наук. Серия географическая, 4: 44–53.
19. Ясинский С.В., Сидорова М.В. 2018. Динамика водоёмкости в России и её регионах. Вопросы географии, 145: 406–413.
20. Lisetskii F. 2021. Rivers in the focus of natural-anthropogenic situations at catchments. Geosciences (Switzerland), 11 (2): 1–6. DOI: 10.3390/geosciences11020063.

References

1. Alekseevsky N.I., Kuzmina Ye.O., Bazelyuk A.A. 2014. Thermal regime of the rivers in the south of European Russia. Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya, 5: 56–66 (in Russian).
2. Apukhtin A.V., Kumani M.V. 2012. Sovremennyye izmeneniya usloviy formirovaniya sloya stoka vesennego polovodia rek Kurskoy oblasti [Modern changes in the conditions of formation of the runoff layer of the spring flood of rivers in the Kursk region]. Uchenyye zapiski: elektronnyy nauchnyy zhurnal Kurskogo gosudarstvennogo universiteta, 1 (21): 300–311.
3. Apukhtin A.V., Kumani M.V. 2015. Longstandig dynamics of basic elements of the spring drain of the small and middle rivers of the Central Chernozem region. Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural sciences series, 21 (218): 114–120 (in Russian).
4. Babkin V.I., Klige R.K. 2005. Mechanism of wetting and river runoff in the East European plain. Water Resources, 32 (1): 101–106 (in Russian).
5. Buchik S.V., Dmitrieva V.A. 2019. The Timing of the Onset of Lows of the SummerAutumn Low Water in the Basin of Upper Don. Water sector of russia: problems, technologies, management, 6: 35–47 (in Russian). DOI 10.35567/1999-4508-2019-6-3.
6. Buchik S.V., Dmitrieva V.A., Sushkov A.I., Shestopalova T.A. 2019. Nekotoryye aspekty gidrologicheskogo rezhima rek Verkhodonia [Some aspects of the hydrological regime of the Verkhodonya rivers]. In: Globalnyye klimaticheskiye izmeneniya: regionalnyye efekty. modeli. prognozy [Global climatic changes: regional effects, models, forecasts]. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, 03–05 October 2019, Voronezh, Publ. Digital Printing: 355–359.
7. Vasilenko A.N. 2019. Sovremennyye predstavleniya o termicheskom rezhime rek i ego transformatsiyakh v usloviyakh izmenyayushchegosya klimata [Modern ideas about the thermal regime of rivers and its transformations in a changing climate]. In: Globalnyye klimaticheskiye izmeneniya: regionalnyye efekty. modeli. prognozy [Global climatic changes: regional effects, models, forecasts]. Materials of the International Scientific and Practical Conference, 03–05 October 2019, Voronezh, Publ. Digital Printing: 359–363.
8. Vedeneeva E.A. 2018. Modeling of River Run-off in the Different Landscape Conditions on Plain Part of the European Part of Russia. Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural Sciences Series, 42 (4): 540–549 (in Russian). DOI: 10.18413/2075-4671-2018-42-4-540-549.
9. Georgiadi A.G., Koronkevich N.I., Milyukova I.P., Kashutina E.A., Barabanova E.A., Vishnevskaya I.A., Borodin O.O. 2014. Sovremennyye i stsenarnyye izmeneniya rechnogo stoka v basseynakh krupneyshikh rek Rossii [Modern and scenario changes in river flow in the basins of the largest rivers in Russia]. Moscow, Publ. Max-Press, 214 p.
10. Dmitrieva V.A. 2018. Of Spring Flood in Don River Basin and their Water Management and Hydroecological Consequences. Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural sciences series, 42 (2): 181–190 (in Russian). DOI: 10.18413/2075-4671-2018-42-2-181-190.
11. Dmitrieva V.A., Maskaykina S.V. 2013. The variability of the water regime in the upper Don basin in modern climatic period. Proceedings of Voronezh State University. Series: Geography. Geoecology, 1: 17–21 (in Russian).

12. Kiselev V.V., Kurepina V.A., Kornilov A.G. 2020. Dynamics of Hydrochemical Indicators of Small Rivers in Connection with the Introduction of Chemical Fertilizers on Agricultural Fields. *Geology, geography and global energy*, 2 (77): 102–110 (in Russian).
13. Koronkevich N.I., Mel'nik K.S. 2017. Changes in Moskva r. runoff under anthropogenic impacts. *Water Resources*, 44 (1): 1–11 (in Russian). DOI: 10.7868/S0321059617010072.
14. Koronkevich N.I., Georgiadi A.G., Yasinsky S.V. 2018. On Hydrological Changes. *Geography issues*, 145: 15–34 (in Russian).
15. Kumani M.V., Babkina O.P. 2005. Izucheniye transformatsii gidrologicheskogo rezhima rek Kurskoy oblasti pod vliyaniem selskokhozyaystvennogo proizvodstva [Study of the transformation of the hydrological regime of the rivers of the Kursk region under the influence of agricultural production]. In: *Geoekologicheskiye issledovaniya Kurskoy oblasti* [Geoecological studies of the Kursk region]. Kursk, Publ. Kursk State University: 101–111.
16. Lisetskii F.N., Degtyar A.V., Buryak Zh.A., Pavluk Ya.V., Narozhnyaya A.G., Zemlyakova A.V., Marinina O.A. 2015. Reki i vodnyye obyekty Belogoria [Rivers and water bodies of Belogorye]. Belgorod, Publ. Constanta, 362 p.
17. Reshetnikov V.S., Kornilov A.G., Lebedeva M.G. 2018. Variability of the water regime of small rivers (on the example of the Belgorod region). *Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural sciences series*, 42 (1): 71–79 (in Russian). DOI: 10.18413/2075-4671-2018-42-1-71-79.
18. Yasinsky S.V., Goorov F.N., Shilkrot G.S. 2007. Method of Drifted-Over Evaluation of Biogenic Elements to Ravine-Balka and River System by Small River. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya*, 4: 44–53 (in Russian).
19. Yasinsky S.V., Sidorova M.V. 2018. Dynamics of water intensity of the economy in Russia and its regions. *Questions of geography*, 145: 406–413 (in Russian).
20. Lisetskii F. 2021. Rivers in the focus of natural-anthropogenic situations at catchments. *Geosciences (Switzerland)*, 11 (2): 1–6. DOI: 10.3390/geosciences11020063.

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

Кумани Михаил Владимирович, доктор сельскохозяйственных наук, кандидат географических наук, профессор кафедры физической географии и геоэкологии Курского государственного университета, г. Курск, Россия

Шульгина Диана Владимировна, аспирант Курского государственного университета, г. Курск, Россия

Киселев Владислав Викторович, преподаватель кафедры естественнонаучных дисциплин Белгородского университета кооперации, экономики и права, г. Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Mihail V. Kumani, Doctor of Agricultural Sciences, Candidate of Geographical Sciences, Professor of the Department of Physical Geography and Geoecology of the Kursk State University, Kursk, Russia

Diana V. Shulgina, Post-graduate student of Kursk State University, Kursk, Russia

Vladislav V. Kiselev, Lecturer of the Chair of Natural Sciences of the Belgorod University of Cooperation, Economics and Law, Belgorod, Russia