

# РЕГИОНАЛЬНЫЕ ГЕОСИСТЕМЫ

---

# REGIONAL GEOSYSTEMS

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

2024. Том 48, № 1

16+

# РЕГИОНАЛЬНЫЕ ГЕОСИСТЕМЫ

## 2024. Том 48, № 1

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, профессор кафедры природопользования и земельного кадастра института наук о Земле (НИУ «БелГУ», Белгород, Россия)

#### Ответственный секретарь

*Зеленская Е.Я.*, кандидат географических наук, инженер 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)

ISSN 2712-7443 (online)

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

Выпускающий редактор Ю.В. Ивахненко. Корректура, компьютерная верстка и оригинал-макет Н.А. Вус. E-mail: goleusov@bsu.edu.ru. Гарнитуры Times New Roman, Arial, Impact. Уч.-изд. л. 13,7. Дата выхода 30.03.2024. Оригинал-макет подготовлен отделом объединенной редакции научных журналов НИУ «БелГУ». Адрес: 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85.

## СОДЕРЖАНИЕ

- 5    **Атаев З.А.**  
Территориальная организация энергосистемы Чукотского автономного округа
- 18   **Харитонов Ан.Ю., Никонорова И.В., Харитонов Ал.Ю.**  
Геоморфологический фактор расселения и размещения населения на территории севера Чувашии
- 30   **Ивонин В.М.**  
Регенеративная агролесомелиорация
- 45   **Нагалеvский Э.Ю., Голубятникова Е.В.**  
Особенности строения бассейнов и гидрологического режима рек Северо-Черноморского сектора
- 55   **Безгодова О.В.**  
Русловая морфодинамика малых рек днщ Тункинской системы котловин
- 67   **Спирин Ю.А.**  
Агрометеорологическое обоснование систем двухстороннего регулирования на польдерных землях Калининградской области
- 77   **Савин И.Ю., Березуцкая Э.Р.**  
Концепция наземного покрова (Land Cover) как основа дистанционного мониторинга земель
- 91   **Сабирзянов А.М., Панасюк М.В., Аширбеков Ш.У.**  
Корреляция урожайности зерновых культур и вегетационного индекса SAVI на территории Республики Татарстан
- 106   **Лопатина Д.Н.**  
Фитотоксичность городских почв Иркутска и Ангарска
- 118   **Орехова Г.А.**  
Рекреационная привлекательность родников Красненского и Ракитянского районов Белгородской области

# REGIONAL GEOSYSTEMS

## 2024. Volume 48, No. 1

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

---

Founded in 1995

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

**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, Professor (Belgorod National Research University, Belgorod, Russia)

#### Responsible Secretary

*Evgeniya Ya. Zelenskaya*, Candidate of Geographical Sciences (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. Nedeadcov*, Member corr. Academy of Sciences of Moldova, Doctor, professor, (Institute of Ecology and Geography ASM, Chişinău Municipality, Republica of Moldova)

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

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

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

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

ISSN 2712-7443 (online)

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

Commissioning Editor Yu.V. Ivakhnenko. Pag Proofreading, computer imposition, page layout by N.A. Vus. E-mail: [goleusov@bsu.edu.ru](mailto:goleusov@bsu.edu.ru). Typefaces Times New Roman, Arial, Impact. Publisher's signature 13.7. Date of publishing 30.03.2024. 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

- 5 **Ataev Z.A.**  
Territorial Organization of the Energy System of the Chukotka Autonomous Okrug
- 18 **Kharitonov An.Y., Nikonorova I.V., Kharitonov Al.Y.**  
Geomorphological Factor of Settlement and Distribution of the Population in the North of Chuvashia
- 30 **Ivonin V.M.**  
Regenerative Agroforest Reclaim
- 45 **Nagalevsky E.Y., Golubyatnikova E.V.**  
The Basin Structure and Hydrological Regime of the North Black Sea Sector's Rivers
- 55 **Bezgodova O.V.**  
Channel Morphodynamics of Small Rivers in the Bottom of the Tunka Basins System
- 67 **Spirin Yu.A.**  
Agrometeorological Substantiation of Two-Way Regulation Systems on Polder Lands of the Kaliningrad Region
- 77 **Savin I.Yu., Berezutskaya E.R.**  
The Concept of Land Cover as a Basis for Remote Sensing Monitoring of Land
- 91 **Sabirzyanov A.M., Panasyuk M.V., Ashirbekov Sh.U.**  
Correlation of Grain Crop Yield and Vegetation Index SAVI on Territory of the Republic of Tatarstan
- 106 **Lopatina D.N.**  
Phytotoxicity of Irkutsk and Angarsk Urban Soils
- 118 **Orekhova G.A.**  
Recreational Attractiveness of Springs Krasnensky and Rakityansky Districts of the Belgorod Region



УДК 911.3:33  
DOI 10.52575/2712-7443-2024-48-1-5-17

## Территориальная организация энергосистемы Чукотского автономного округа

**Атаев З.А.**

Рязанский государственный университет им. С.А. Есенина,  
Россия, 390000, г. Рязань, ул. Свободы, 46  
E-mail: ataev-rzn@yandex.ru

**Аннотация.** В статье рассмотрены особенности изоляции энергетического пространства Чукотского автономного округа. Объектом исследования является территориальная организация региональной энергосистемы. Виток инвестиционного интереса к стратегическим ресурсам полезных ископаемых Чукотки лимитирован энергетической изоляцией. Для нейтрализации разных уровней изоляции предложена модель разномасштабной энергосистемы. Внешняя изоляция будет ликвидирована в случае объединения с энергосистемой Магаданской области (вертикаль централизации). По горизонтали энергетического пространства востребовано объединение изолированных сегментов энергосистемы (наращивание питающей сети). В районах децентрализованного электроснабжения перспективно комбинирование автономной дизельной генерации с энергоустановками на основе возобновляемых источников энергии.

**Ключевые слова:** Чукотский автономный округ, энергетическое пространство, надежность электроснабжения, изолированная энергосистема, централизованное и децентрализованное электроснабжение

**Для цитирования:** Атаев З.А. 2024. Территориальная организация энергосистемы Чукотского автономного округа. Региональные геосистемы, 48(1): 5–17. DOI: 10.52575/2712-7443-2024-48-1-5-17

---

## Territorial Organization of the Energy System of the Chukotka Autonomous Okrug

**Zairbeg A. Ataev**

Ryazan State University named after S.A. Yesenin,  
46 Svobody St, Ryazan 390000, Russia  
E-mail: ataev-rzn@yandex.ru

**Abstract.** Technical and economic approaches poorly take into account the role of morphology in the optimization of complex systems. The purpose of the work is to analyze the territorial organization of the energy space of Chukotka. The object of the study is the energy system of the Chukotka Autonomous Okrug. A system-structural analysis of the energy space was carried out. The dependence of the morphology of the power system on the localization of the mining industry, the pattern of settlement and marine communications is revealed. The round of interest in the promising resources of the region is limited by transport and energy isolation. A model of the energy space of Chukotka (multi-scale systems) is proposed. The elimination of regional isolation is possible with the construction of the Kolyma–Anadyr federal road and the trunk network. Horizontally, connectivity between isolated parts of the system is in demand due to the expansion of the network. At the local level, the combination of diesel generation with power plants based on renewable energy sources is promising.

**Keywords:** Chukotka Autonomous Okrug, energy space, reliability of power supply, isolated power system, centralized and decentralized power supply.

**For citation:** Ataev Z.A. 2024. Territorial Organization of the Energy System of the Chukotka Autonomous Okrug. Regional Geosystems, 48(1): 5–17 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2024-48-1-5-17

## Введение

По территориально-технологическим и экономическим причинам четыре субъекта страны изолированы от Единой энергосистемы России: Камчатский край, Чукотский автономный округ, Сахалинская и Магаданская области [ГОСТ Р 57114-2016; Системный оператор..., 2021]. Такая ситуация характерна и большей части Республики Саха (Якутия) [Волотковская и др., 2021]. Это огромные труднодоступные территории с экстремальными природно-климатическими условиями и очаговым расселением. Особенно специфичны энергосистемы Арктической зоны [Моргунова, Цуневский, 2012]. Среди них выделяется своей уникальностью энергетическое пространство Чукотского автономного округа.

Исследования электроэнергетики Чукотки представлены широко, доминируют работы с акцентом на аспекты региональной энергосистемы (энергетика, экономика, коммуникации, логистика) [Байков и др., 2015; Панин и др., 2016; Бердин и др., 2017; Санеев и др., 2018; Иванов и др., 2021; Санеев и др., 2021; и др.]. Практически во всех источниках большое внимание уделяется развитию возобновляемой энергетики (особенно на основе высокого ветроэнергетического потенциала территории).

Из анализа работ вытекает, что энергосистема – это сфера интересов экономистов, энергетиков и управленцев. Морфологический аспект связности и надежности энергосистемы не нашел должного отражения. Отсюда цель представленной работы – оптимизация энергетического пространства Чукотского автономного округа.

## Объекты и методы исследования

Объект исследования – территориальная организация энергосистемы Чукотки.

Чукотка самый северо-восточный субъект Российской Федерации. К региону часто используют эпитет «самый-самый» (экстремальный, удаленный), или «нет» (дорог, коммуникаций). Округ занимает часть материка, одноименный полуостров, прибрежные острова (рис. 1). По суше регион граничит с Республикой Саха (Якутия), Магаданской областью и Камчатским краем. С северо-востока проходит морская граница с США (Берингов пролив). Климат субарктический (зима 10 месяцев), здесь повсеместен горный рельеф и вечная мерзлота (Крайний Север).

В округе на площади 721,5 тыс. км<sup>2</sup> проживает чуть более 50 тыс. чел. (из них  $\frac{3}{4}$  городское население). По плотности населения Чукотка занимает последнее место в России (0,07 чел./км<sup>2</sup>). В субъекте четыре города (Анадырь, Эгвекинот, Певек, Провиденский), три муниципальных района и до 30 сельских поселений [Население..., 2022]. Поселения сконцентрированы у портов и на побережье. Исключение – поселки первопроходцев (Островное, Марково, Анойск), возникшие в районах горнодобычи, или новые города (Билибино). Транспортная удаленность определяет высокую стоимость жизни. Если показатель условно принять равным единице, индекс в Москве составит 1,28, а в Анадыре и Певеке почти – 1,6 [Российский статистический ..., 2021].

При полном отсутствии железных дорог Чукотка отличается очень низким уровнем развития сухопутного транспорта (сеть не создают). Протяженность автодорог с твердым покрытием всего 1 км / 1 тыс. км<sup>2</sup> (в городах), зато широко используются сезонные дороги (зимники, почти 4 тыс. км). С 2012 года ведется строительство автодороги «Колыма – Омсукчан – Омолон – Анадырь» с подъездами к городу Билибино, пгт Комсомольскому и Эгвекиноту (1800 км). В случае реализации проекта возможна круглогодичная связь с Магаданской областью. Однако не ясны перспективы строительства самой трассы.

Для Чукотки воздушный транспорт самый распространенный и альтернативный (11 аэропортов). Высока значимость Северного морского пути (СМП), функционирует пять портов по обработке и перевалке грузов сезонного завоза (навигация 4–5 месяцев): Анадырь, Беринговский, Певек, Эгвекинот, Провидения.



Составлено автором по: [Аэропорты Чукотки..., 2015; Чукотка АО\_Итого..., 2018; Обзор..., 2019; Население..., 2022; Схема и программа развития электроэнергетики Чукотского округа..., 2022].

Рис. 1. Чукотский автономный округ  
Fig.1. Chukotka Autonomous Okrug

Регион богат месторождениями полезных ископаемых: олово-вольфрамовые руды (Пыркайский рудный узел), золото-серебро (Купол, Двойное и др.), нефть и газоконденсат (Телекайское, Хатырское), уголь (Анадырское, Бухта, Угольная) и др. Геологическая изученность Чукотки не превышает 25 %. Перспективы развития топливно-энергетической базы связаны с разработкой месторождений Телекайской площади. Шахты работают на 20 % от возможностей, добыча газа не более ¼ от возможности, нефть вообще не добывается. Уникален ресурсный потенциал Баимского металлогенического пояса (медь, золото, молибден). Начаты работы по подготовке ряда месторождений к эксплуатации (Песчанка, Кекура). Песчанка наиболее крупное месторождение, выход на проектную мощность планируется в 2025 году (запасы 23 млн т меди и 2 тыс. т золота). Импорт ориентирован в Китай и Японию через порт Певек [Чукотка АО\_Итого..., 2018; Обзор добывающей ..., 2019].

В условиях экстремальных природно-климатических условий всегда актуальна проблема надежности электроэнергетических систем (энергосистем). В первую очередь по способности объекта выполнять функции в заданном объеме при определенных условиях [Чельцов и др., 2007]. В Советском Союзе проблема решалась комплексно за счет опережающего обеспечения топливом, наращивания мощности электростанций и электрической сети [Мелентьев, 1982]. Однако морфологическая оптимизация более простой и менее затратный путь укрепления надежности энергоснабжения [Методы и модели..., 2010; Кучеров и др., 2013; Инфраструктура пространственного развития..., 2020]. Следовательно, востребован синтез технико-экономических подходов и возможности конструктивной географии.

В работе широко использован системный подход, метод топоморфологического расчленения сети и ее последующий геосетевой анализ [Тархов, 2005]. Графическая оценка связности системы энергоснабжения базируется на математической теории графов О. Оре [1980]. Научные положения теории адаптированы к управлению энергосистемами [Ильинский, Цаценкин, 1968; Мелентьев, 1982; Совалов, Семенов, 1988].

В энергосистеме по признаку «есть – нет» выделено два ареала [Алаев, 1983]: централизованного и децентрализованного электроснабжения. Централизация подразумевает обеспечение нужд потребителей от энергосистем [ГОСТ. Р 57114-2016].

В зоне централизации выделяют два главных сетевых элемента: цикл и ветвь-дерево (рис. 2). Их свойства функционально значимы. В цикле разрыв ребра (сбой) можно компенсировать запиткой по другому ребру (циклические сети, надежность). Разрыв сети «ветвь-дерево» обесточивает потребителей (ациклические сети, уязвимость). Надежность сети оценивается морфологическим типом управления. Градация оценки варьирует от «очень высокая уязвимость энергосистемы и потребителей в зоне обслуживания» до «очень низкая уязвимость энергосистемы» [Ильинский, Цаценкин, 1968].

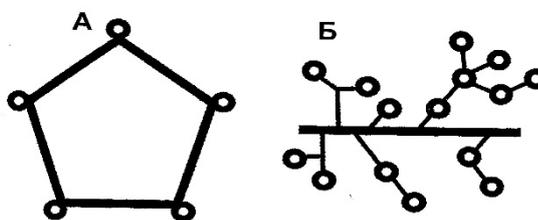


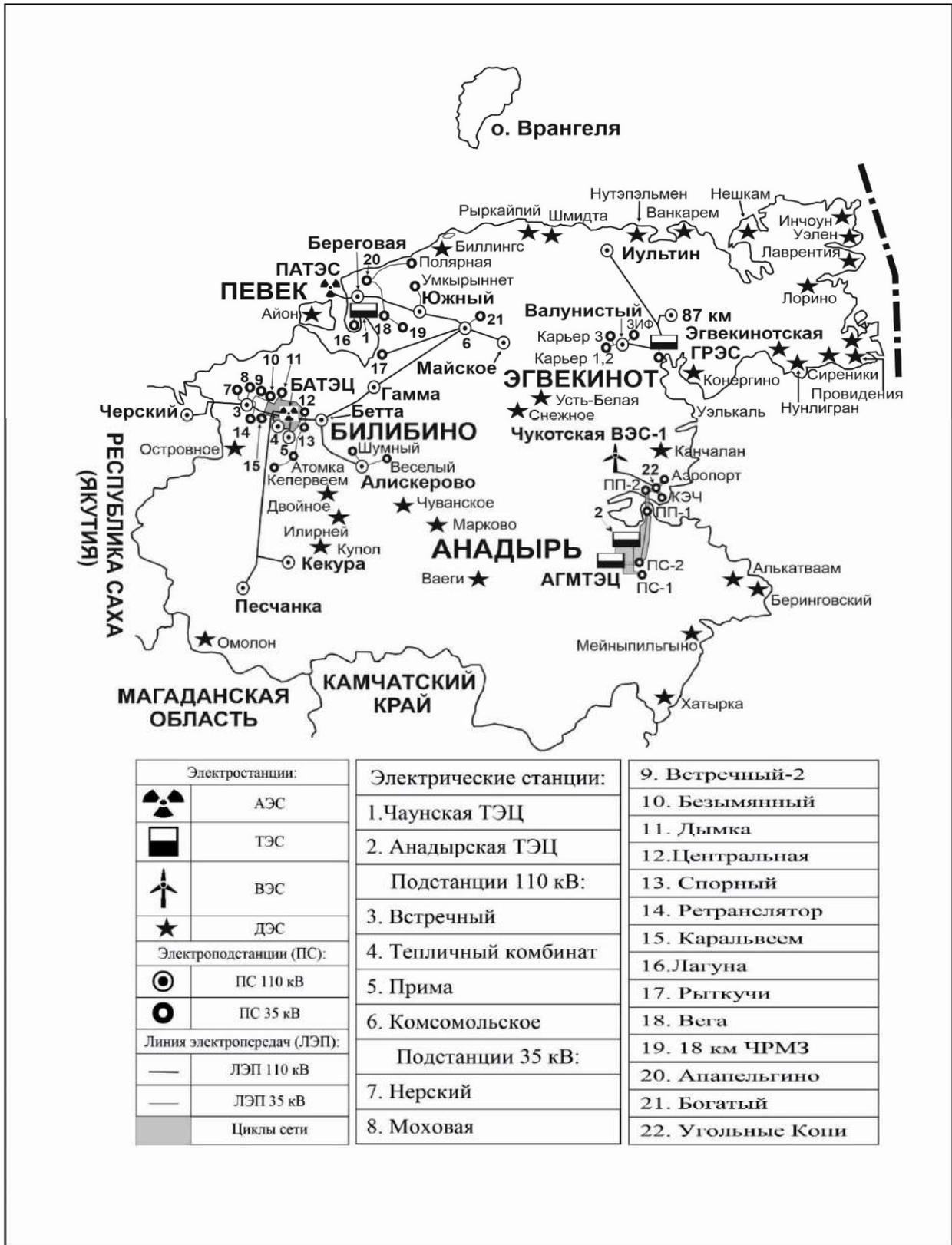
Рис. 2. Структурные элементы энергетического пространства [Атаев, 2008]  
А – цикл (замкнутый контур, циклические сети); Б – ветвь-дерево (ациклические сети)  
Fig. 2. Structural elements of the energy space [Ataev, 2008]  
A – cycle (closed loop, cyclic networks); Б – branch-tree (acyclic networks)

Модель пространственной оптимизации энергосистемы представляет собой взаимное дополнение вертикали централизованной зоны горизонтальной интеграцией локальных систем (разномасштабная энергосистема) [Атаев, 2008; Методы и модели..., 2010]. В результате энергетическое пространство дополняется объектами малой генерации (дизельные электростанции) со своей распределительной сетью, замыкающими локальную зону электроснабжения (минимальная длина сети от генератора до потребителя). Наиболее перспективно комбинирование автономной дизельной генерации с энергоустановками на основе возобновляемых источников энергии.

### Результаты и их обсуждение

В регионе именно горнодобывающая промышленность и электроэнергетика вносят наибольший вклад в валовой региональный продукт. Электроэнергетика изначально развивалась с целью обслуживания добычи полезных ископаемых (рис. 3, табл.).

Энергосистема Чукотки избыточна, объем производства 782,5 млн кВт·ч, а внутреннее потребление – 653,3 млн кВт·ч/год. Часть электроэнергии поставляется в соседний регион (Якутия, пос. Черский). Суммарная мощность электростанций 360,4 МВт.



Составлено автором по данным: [Схема и программа развития электроэнергетики Чукотского округа..., 2022; Системный оператор..., 2023; Схема ЛЭП..., 2023]

Рис. 3. Энергосистема Чукотского автономного округа  
Fig. 3. The power system of the Chukotka Autonomous Okrug



Электрический баланс, генерация и сетевое хозяйство Чукотской энергосистемы (2021 год)  
Electric balance, generation and grid management of the Chukotka Power System (2021)

| Электрический баланс Чукотского автономного округа       |                             |  |   |                            |                |           |
|--|-----------------------------|--|---|----------------------------|----------------|-----------|
| Параметры баланса, млн кВт·ч                             |                             |  | Структура полезного отпуска электроэнергии, в % |                            |                |           |
| Производство   | Потребление                 | Экспорт  | Добывающая промышленность                       | Нужды станций              | Потери в сетях | Население |
| 782,49   | 653,29                      | 13,50  | 51,0  | 17,0                       | 9,0            | 7,0       |
| Электростанции Чукотки                                   |                             |  |   |                            |                |           |
| Электростанция<br>(год ввода в эксплуатацию)             | Установленная мощность, МВт | Объем производства электроэнергии, млн кВт·ч/год | КИУМ в %  |                            |                |           |
| Плавучая атомная ТЭС (ПАТЭС) «Академик Ломоносов» (2020) | 70,000                      | 284,97 «Росэнергоатом»                           | 28,65   |                            |                |           |
| Билибинская атомная ТЭЦ (1974)                           | 36,000                      |  | 67,28   |                            |                |           |
| Анадырская ТЭЦ (1986)                                    | 54,600                      | 258,11 «Чукотэнерго»                             | 12,89   |                            |                |           |
| Анадырская ГМТЭЦ (2006)                                  | 28,650                      |  | 38,19   |                            |                |           |
| Эгвекинотская ГРЭС (1952)                                | 34,000                      |  | 24,21   |                            |                |           |
| Чаунская ТЭЦ (1944)                                      | 39,000                      |  | 20,00   |                            |                |           |
| ДЭС ГП ЧАО «Чукоткоммунхоз» (суммарно 38 единиц)         | 37,269                      |  | 48,08   | 15,25                      |                |           |
| ДЭС МУП «Айсберг»  | 11,690                      | 16,36  | 16,89   |                            |                |           |
| ДЭС МП ЖКХ Билибинского района                           | 7,240                       | 6,10   | 7,71  |                            |                |           |
| ДЭС МП «Чаунский коммунхоз»                              | 1,400                       | 1,50   | 7,13  |                            |                |           |
| ДЭС ООО «Электро-Инчоун»                                 | 0,850                       | 0,97   | 13,42   |                            |                |           |
| ДЭС МУП ЖКХ «Иультинское»                                | 8,428                       | 9,26   | 14,81   |                            |                |           |
| ДЭС АО «Чукотская горно-геологическая компания»          | 28,675                      | 154,44   | 57,55   |                            |                |           |
| Анадырская ВЭС   | 2,580                       | 2,70   | 14,61   |                            |                |           |
| Сумма  | 360,390                     | 782,49   | –   |                            |                |           |
| Сетевое хозяйство Чукотской энергосистемы                |                             |  |   |                            |                |           |
| Энергетический узел (район)                              | Подстанции (ПС)             |  |   | Линии электропередач (ЛЭП) |                |           |
|  | 110 кВ, ед.                 | 35 кВ, ед.                                       | Мощность ПС ≥ 35 кВ, МВа                        | 110 кВ, ед./км             | 35 кВ, ед./км  |           |
| Чаун-Билибинский   | 17                          | 27   | 407,6   | 13 / 1097,0                | 22 / 329,7     |           |
| Анадырский   | –                           | 6  | 65,8  | –                          | 16 / 16,6      |           |
| Эгвекинотский  | 3                           | 5  | 13,7  | 2 / 265,7                  | 5 / 265,7      |           |
| Сумма  | 20                          | 38   | 487,1   | 15 / 1354,4                | 43 / 354,6     |           |

Примечание: КИУМ – коэффициент использования установленной мощности электростанций; АЭС – атомная электростанция; ГРЭС – государственная районная электростанция; ДЭС – дизельная электростанция; ТЭЦ – теплоэлектроцентраль, ГМТЭЦ – газомоторная ТЭЦ; ВЭС – ветроэлектрическая станция. Таблица составлена автором по данным: [Схема и программа развития электроэнергетики Чукотского округа..., 2022; Системный оператор..., 2023].

АО «Чукотэнерго» включает четыре станции. Анадырская ТЭЦ и Эгвекинотская ГРЭС ориентированы на сжигание местного бурого угля (шахта «Угольная»). В 2003 году началась разработка Западно-Озерновского газового месторождения, построен газопровод до г. Анадыря (103 км). Была введена в эксплуатацию Анадырская газомоторная ТЭЦ

(2006 год). Чаунская ТЭЦ использовала каменный уголь из шахты «Беринговская». С 1997 года переведена на привозной уголь Зырянского разреза Якутии (морские поставки). Чаунская ТЭЦ старая станция и полностью выработала ресурс (демонтаж запланирован на 2026 год). Замену выбывающей мощности должна обеспечить новая тепловая электростанция в г. Певеке (50 МВт) [Схема и программа развития электроэнергетики Чукотского округа..., 2022].

Объекты атомной энергетики (АО «Росэнергоатом»). Билибинская атомная ТЭЦ (1974 год) планируется к консервации в 2027 году. Выбывающая мощность компенсирована вводом в эксплуатацию в 2020 году плавучей атомной тепловой электростанции «Академик Ломоносов» (ПАТЭС, пришвартована в порту Певек).

Потенциал дизельных станций суммарно составляет 95,6 МВт. Из них почти  $\frac{1}{2}$  мощности принадлежат «Чукоткоммунхоз», по производству лидирует «Чукотская горно-геологическая компания» (154,4 млн кВт·ч/год). С 2002 года эксплуатируется ветродизельный комплекс Чукотская ВЭС-1 (Анадырский район, Мыс Обсервации).

Сетевое хозяйство в сложных условиях Чукотки представлено узким диапазоном напряжения. Системообразующая сеть сформирована на 35–110 кВ, распределительная – 6–0,4 кВ. Длина сети 35–110 кВ составляет 1709,0 км, а мощность подстанций – 487,1 МВА.

Территориальная организация энергосистемы Чукотки представляет слепок рисунка концентрации населения, транспорта и горнодобывающей промышленности. Зона централизованного электроснабжения включает три изолированных района (см. рис. 3).

Чаун-Билибинский район (Билибинской АТЭЦ, ПАТЭС «Академик Ломоносов» и Чаунской ТЭЦ). Здесь сосредоточен основной сетевой потенциал региона. Район включает Певекский и Билибинский узлы, соединенные сетью 110 кВ (1960 год). При разрыве сети район распадется на два автономных сегмента. После демонтажа Билибинской АТЭЦ прогнозируема актуализация энергетической проблемы г. Билибино. Для компенсации намечено построить новую тепловую станцию (Энергоцентр).

Анадырский район, централизованное электроснабжение обеспечивается параллельной работой Анадырской и газомоторной ТЭЦ. В Эгвекинотском районе электроснабжение обеспечивает единственная Эгвекинотская ГРЭС (34 МВт).

В пределах районов можно выделить циклические сети: Анадырь (8 циклов); Билибино (2 цикла), Певек и Эгвекино по одному циклу (замыкает распределительная сеть). Это ареал концентрации населения, транспорта и экономики региона. В циклах доминирует смешанный тип управления сетями: очень низкая уязвимость энергосистемы.

Остальная территория Чукотского автономного округа – это зона децентрализованного электроснабжения («море периферии»). Основа генерации – дизель-генераторы, их надежность не гарантирована и зависит от комплекса факторов. В основе проблем зависимость от дальнепривозного топлива (до 70 тыс. т/год). Сложная логистика, за короткую навигацию необходимо доставить топливо в порты, далее по зимнику. На своевременный завоз негативно влияет комплекс факторов: частота смены погоды, уровень подьема воды в реках, штормовая погода в заливах Берингова моря и т. п.

Проблемы перспективного развития энергосистемы Чукотки вытекают из ее пространственной и технологической изоляции. Следовательно, пространственное моделирование выступает основой поиска пути решения проблемы.

Региональная изоляция определяет необходимость содержания протяженной сети и крупного резерва мощности электростанций. Потенциал электроэнергетики создавался из расчета на расширение добычи полезных ископаемых и рост населения. Максимум численности населения был зафиксирован в 1989 году (163,2 тыс. чел.). После распада СССР предприятия горнодобычи обанкротились, уехало свыше 100 тыс. чел. (2/3 населения), рабочие поселки обезлюдели. В сельской местности сохранились малые аборигенные поселения (14 тыс. чел.) [Авдеев и др., 2020]. В результате мощности генерации и инфраструктуры были созданы, но оказалась не востребованы.

В последние годы возник всплеск интереса к крупнейшим месторождениям полезных ископаемых, что требует оптимизации энергоснабжения. В качестве такой предлагается пространственная модель разномасштабной энергосистемы (рис. 4).



Составлено автором по данным: [Схема и программа развития электроэнергетики Чукотского округа..., 2022; Схема и программа развития электроэнергетики Магаданской области..., 2022; Системный оператор..., 2023; Схема ЛЭП..., 2023].

Рис. 4. Модель территориальной организации энергосистемы Чукотского автономного округа  
 Fig. 4. Model of the territorial organization of the energy system of the Chukotka Autonomous Okrug

Изоляция Чукотки от энергосистем соседних регионов условна. Электроснабжение п. Черский на крайнем северо-востоке Республики Саха (Якутия) осуществляется по сети 110 кВ (ПС Черский – Встречный). Поселок Черский расположен в зоне децентрализованного электроснабжения Северного энергорайона (Нижнеколымский улус). Таким образом, внешняя связь существует только с изолированным сегментом энергосистемы Якутии [Схема и программа развития электроэнергетики Республики Саха ..., 2020].

Более благоприятна ситуация для объединения с Магаданской областью вдоль маршрута строительства федеральной автодороги «Колыма – Анадырь». Логично параллельное сооружение двухцепной сети 220 кВ (ПС Омсукчан – Песчанка). С севера навстречу сооружается вторая цепь сети 110 кВ (Билибино – Кекура – Песчанка). Результат, объединение Магаданской и Чукотской энергосистемы к 2026 году. Электроэнергетика Магадана избыточна по мощности, резерв превышает 200 % [Схема и программа развития электроэнергетики Магаданской области..., 2022].

Следующий уровень изоляции – это автономная сегментация региональной энергосистемы. Усиление связности узлов Певек – Билибино планируется за счет строительства двухцепной сети 110 кВ. Связь Анадырского и Эгвекинотского районов планируется реализовать за счет сооружения сети Анадырь – Валунистый (110 кВ), что обеспечит доступ Эгвекинота к не востребуемым мощностям Анадырского района. Более реальна сеть ПС Майское – Валунистый (110 кВ). Среди перспективных маршрутов можно упомянуть ПС Майское – Совиное для обеспечения нужд добычи золота (2026 год) [Схема и программа развития электроэнергетики Чукотского округа..., 2022].

Проблемным является и изоляция локального уровня энергетического пространства Чукотки (зона децентрализации). Здесь эксплуатация дизельных электростанций в экстремальных условиях имеет следствием ускоренный износ, высокие расходы на содержание и эксплуатацию. Комбинирование с возобновляемой энергетикой экономит топлива, снижает зависимость от дорогого завоза.

Только ветроэнергетические ресурсы Чукотки достигают более 1,0 трлн. кВт·ч/год. По режиму энергетического насыщения отличаются стабильностью в течение года. Среднегодовая удельная мощность превышает 500 Вт/кв. м [Панин и др., 2016]. Перспективно развитие геотермальной энергетики, на востоке выявлено более 10 групп источников (Лоринские, Чаплинские и др.) [Árnason et al., 2005]. В ряде сельских поселений региона уже функционируют автономные гибридные энергоустановки дизель-генератор – ветроэлектростанция – гелиоустановка (Канчалан, Снежное, Марково) [Альтернативную энергетику..., 2022]. Комбинированная генерация способствует снижению тарифа, достигающего на Чукотке 6–12 руб. / кВт·ч (2022 год). Дизельная генерация формирует тариф еще выше, затраты только на завоз топлива составляют 70 % в калькуляции себестоимости производства [Тарифы..., 2022].

В регионе уже сложилась ситуация, когда промышленные потребители предпочитают создавать собственную автономную генерацию. В условиях территориальной удаленности и энергетической изоляции такая стратегия вполне оправдана в арктических районах [De Witt et al., 2021]. Проектирование гибридной системы с использованием возобновляемой энергетики оптимально для устойчивого энергоснабжения отдаленных территорий [Ali, Jang, 2020]. В том числе и по схеме создания автономных энергосистем [Akram et al., 2020]. Правительство Чукотки и РАО «ЭС Востока» признают перспективность масштабного развития ветроэнергетики в будущем. Между тем доставка топлива все дороже, а ее финансирование поступает несвоевременно, наблюдается деградация речного и прибрежного морского судоходства. Актуальны проекты оснащения чукотских сел ветродизельными комплексами [Бердин и др., 2017].

### Заключение

Энергосистема Чукотки изначально развивалась с целью обслуживания добычи полезных ископаемых. Отраслевой потенциал избыточен. Централизованная энергосистема состоит из трех изолированных частей. Остальная территория – это зона децентрализованного электроснабжения.

Ключевые проблемы энергосистемы вытекают из ее «многослойной» изоляции. Пространственная модель оптимизации представляет разномасштабную энергосистему.



Логично увязать перспективы развития со строительством федеральной дороги «Колыма – Анадырь» и сооружением ЛЭП 220 кВ Омсукчан (ПАО «Магаданэнерго») – Песчанка. Связность изолированных частей региональной энергосистемы может быть обеспечена наращиванием сети 35–110 кВ (связь Чаун-Билибинского, Анадырского и Эгвекинотского районов). В результате, возможна параллельная работа структурных элементов региональной энергосистемы.

В зоне децентрализованного электроснабжения доминирует автономная дизельная генерация с высокой зависимостью от дальнепривозного топлива. Комбинирование с возобновляемой энергетикой способствует экономии дизельного топлива, снижает зависимость от дорогого завоза, способствует снижению отпускного тарифа.

### Список источников

- Алаев Э.Б. 1983. Социально-экономическая география: Понятийно-терминологический словарь. Москва, Мысль, 290 с.
- Альтернативную энергетику развивают на Чукотке (2022 г.). Электронный ресурс. URL: <http://www.chaogov.ru/press-tsentr/novosti-cao...energetiku> (дата обращения 16.05.2023).
- Аэропорты Чукотки: basov-chukotka (2015 г.). Электронный ресурс. URL: [http://www. Basov-chukotka.livejotka.com](http://www.Basov-chukotka.livejotka.com).Аэропорты Чукотки...(дата обращения 27.05.2023).
- ГОСТ Р 57114-2016. Национальный стандарт Российской Федерации «Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы, термины и определения» (Введен в действие 01.06.2017 г.). Электронный ресурс. URL: <http://www.docs.cntd.ru/document/1200139922...>(дата обращения 25.05.2023).
- Население Чукотского автономного округа по муниципальным образованиям и сельским населенным пунктам на 1 января 2022 г. Электронный ресурс. URL: <http://www.hadstat.gcs.ru...naselenie/chukotskogo-ao> (дата обращения 06.06.2023).
- Обзор добывающей промышленности Чукотки (2019 г.). Глобус, геология и бизнес. Электронный ресурс. URL: <http://www.vinedra.ru/glavnaya-tema/chukotka-novye-gorizonty...> (дата обращения 31.06.2023).
- Российский статистический ежегодник. 2021. М., Росстат: 552–553.
- Системный оператор ЕЭС России (СО ЕЭС России). Единая энергетическая система России. Электронный ресурс. URL: <http://www.so-eps.ru/functioning/ees/eps2021/>. (дата обращения 15.05.2023).
- Схема и программа развития электроэнергетики Чукотского автономного округа на 2022–2026 годы. Электронный ресурс. URL: <http://www.чукотка.рф/upload/lbioc/693/6936015a2016772078исув71...>(дата обращения 03.07.2023).
- Схема ЛЭП и электроснабжения России (актуальность данных: 30.06.2023 г.). Интерактивная карта электроэнергетической системы на данных проекта OpenStreetMap. Электронный ресурс. URL: <http://www.freosm.ru> (дата обращения 05.07.2023).
- Схема и программа развития электроэнергетики Магаданской области на 2022–2026 годы (2022 г.). Электронный ресурс. URL: <http://www.minstrov.49gov.ru/common/upload...editor/file/sipr...>(дата обращения 08.07.2023).
- Схема и программа развития электроэнергетики Республики Саха (Якутия) на 2020–2024 гг. Электронный ресурс. URL: <http://www.docs.cntd.ru/dokument/574729169...>(дата обращения 11.07.2023).
- Тарифы на электроэнергию в Чукотском автономном округе. Действуют с 1 января 2022 г. Электронный ресурс. URL: <http://www.energovorpros.ru>. Справочник. Свет. Тарифы на электроэнергию.../ (дата обращения 15.07.2023).
- Чельцов М.Б., Воропай Н.И., Илькевич Н.И., Ковалев Г.Ф., Савельев В.А., Славин Г.Б., Федотова Г.А. 2007. Надежность систем энергетики (сборник рекомендуемых терминов). Москва, Энергия, 192 с.
- Чукотка АО\_Итого. Информационная справка «О состоянии минерально-сырьевой базы твердых полезных ископаемых», 2018 г. Электронный ресурс. URL: <http://www.vims-geo.ru>. Экономика... -i-razvitile-chast-i (дата обращения 30.06.2023).

### Список литературы

- Авдеев Ю.А., Сидоркина З.И., Ушакова В.Л. 2020. Тенденции демографического развития в районах российской восточной Арктики. *Народонаселение*, 23(3): 130–144. <https://doi.org/10.19181/population.2020.23.3.12>
- Атаев З.А. 2008. Географические основы локальной энергетики Центрального экономического района России. Рязань, РГУ им. С.А. Есенина, 283 с.
- Байков В.А., Ткаченко Д.А., Пузаков В.С., Сущенко В.В. 2015. Особенности энергоснабжения удаленных территорий на востоке России на примере Чукотского автономного округа. *Новости теплоснабжения*, 09(181).
- Бердин В.Х., Кокорин А.О., Юлкин Г.М., Юлкин М.А. 2017. Возобновляемые источники энергии в изолированных населенных пунктах Российской Арктики. Москва, Всемирный фонд дикой природы, 80 с.
- Волотковская Н.С., Семёнов А.С., Бебихов Ю.В., Шевчук В.А., Федоров О.В. 2021. Перспективы развития энергетического комплекса Северо-Востока России. *Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики*, 23(3): 58–69. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2021-23-3-58-69>.
- Иванов А.В., Складчиков А.А., Хренников А.Ю. 2021. Развитие электроэнергетики арктических регионов Российской Федерации с учетом использования возобновляемых источников энергии. *Российская Арктика*, 2(13): 62–80. <https://doi.org/10.24412/2658-4255-20212-62-80>.
- Ильинский Н.Ф., Цаценкин В.К. 1968. Приложение теории графов к задачам электромеханики. Москва, Энергия, 200 с.
- Инфраструктура пространственного развития РФ: транспорт, энергетика, инновационная система, жизнеобеспечение. 2020. Под ред. О.В. Тарасова. Новосибирск, Институт экономики и организации производства Сибирского отделения Российской академии наук, 456 с.
- Кучеров Ю.Н., Дьяков А.Ф., Китушин В.Г., Крупенев Д.С., Куменко А.И., Кутовой П.П., Лебедева Л.М., Левина Л.А., Магид С.И., Манов Н.А., Назарычев А.Н., Непомнящий В.А., Овсейчук В.А., Огороков В.Р., Огороков В.Р., Папков Б.В., Пяткова Н.И., Рыжов Ю.А., Рыжов Ю.А., Славин Г.Б., Степанов Н.В., Таджибаев А.И., Федотова Г.А., Цыганков С.С., Чельцов М.Б., Шлайфштейн В.А., Эдельман В.И. 2013. Концепция обеспечения надежности в электроэнергетике. Москва, Энергия, 304 с.
- Мелентьев Л.А. 1982. Оптимизация развития и управления больших систем энергетики. Москва, Высшая школа, 319 с.
- Методы и модели исследования надежности электроэнергетических систем. 2010. Под ред. Н.А. Манова. Сыктывкар, Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук, 292 с.
- Моргунова М.О., Цуневский А.Я. 2012. Энергия Арктики. Москва, ИЦ Энергия, 84 с.
- Оре О. 1980. Теория графов. 2-е изд. Москва, Наука, 356 с.
- Панин С.В., Прохоров В.Н., Смирнова О.О. 2016. Малая возобновляемая энергетика – решение больших проблем. На примере Чукотского автономного округа. *Современные инновации*, 12(14): 47–53.
- Санеев Б.Г., Иванова И.Ю., Тугузова Т.Ф. 2018. Проблемы энергетики Восточной зоны Российской Арктики и возможные пути решения. *Синергия Арктики*, 4: 80–88.
- Санеев Б., Иванова И., Ижбулдин А. 2021. Влияние освоения ресурсов Восточной Арктики на энерго и топливоснабжение потребителей. *Энергетическая политика*, 7(181): 86–95. [https://doi.org/10.46920/2409-5516\\_2021\\_7161\\_86](https://doi.org/10.46920/2409-5516_2021_7161_86)
- Совалов С.А., Семенов В.А. 1988. Противоаварийное управление в энергосистемах. Москва, Энергоатомиздат, 416 с.
- Тархов С.А. 2005. Эволюционная морфология транспортных сетей. Смоленск–Москва, Универсум, 384 с.
- Ali S., Jang C.-M. 2020. Optimum Design of Hybrid Renewable Energy System for Sustainable Energy Supply to a Remote Island. *Sustainability*, 12(3): 1280. <https://doi.org/10.3390/su12031280>
- Akram F., Asghar F., Majeed M.A., Amjad W., Manzoor M.O., Munir A. 2020. Techno-Economic Optimization Analysis of Stand-Alone Renewable Energy System for Remote Areas. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 38: 100673. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2020.100673>



- Arnason K., Franzson H., Richter B., Thordarson S., Hjartarson A. 2005. Geothermal Exploration in Chukotka, Far East Russia. Proceedings World Geothermal Congress, Antalya, Turkey, 24–29 April 2005. Antalya, Turkey: 1–12.
- De Witt M., Stefánsson H., Valfells Á., Larsen J.N. 2021. Energy Resources and Electricity Generation in Arctic areas. *Renewable Energy*, 169: 144–156. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.01.025>.

## References

- Avdeev Yu.A., Sidorkina Z.I., Ushakova V.L. 2020. Demographic Development Trends in the Russian Eastern Arctic. *Population*, 23(3): 130–144 (in Russian). <https://doi.org/10.19181/population.2020.23.3.12>
- Ataev Z.A. 2008. *Geograficheskiye osnovy lokalnoy energetiki Tsentralnogo ekonomicheskogo rayona Rossii* [Geographical bases of local energy of the Central Economic Region of Russia]. Ryazan, Publ. RGU im. S.A. Esenina, 283 p.
- Baykov V.A., Tkachenko D.A., Puzakov V.S., Sushchenko V.V. 2015. Osobennosti energosnabzheniya udalennykh territoriy na vostoке Rossii na primere Chukotskogo avtonomnogo okruga [Features of Energy Supply to Remote Areas in Eastern Russia on the Example of the Chukotka Autonomous Okrug]. *Novosti teplosnabzheniya*, 09 (181).
- Berdin V.H., Kokorin A.O., Yulkin G.M., Yulkin M.A. 2017. *Vozobnovlyayemye istochniki energii v izolirovannykh naselennykh punktakh Rossiyskoy Arktiki* [Renewable Energy Sources in Isolated Settlements of the Russian Arctic]. Moscow, Publ. Vsemirnyy fond dikoy prirody, 80 p.
- Volotkovskaya N.S., Semenov A.S., Bebikhov Yu.V., Shevchuk V.A., Fedorov O.V. 2021. Prospects for the Development of the Energy Complex of the North-East of Russia. *Power engineering: research, equipment, technology*, 23(3): 58–69 (in Russian). <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2021-23-3-58-69>
- Ivanov A.V., Skladchikov A.A., Khrennikov A.Yu. 2021. Development of Electric Power Industry in the Arctic Regions of the Russian Federation, Considering the Use of Renewable Energy Sources. *Russian Arctic*, 2(13): 62–80 (in Russian). <https://doi.org/10.24412/2658-4255-20212-62-80>
- Ilyinsky N.F., Tsatsenkin V.K. 1968. *Prilozheniye teorii grafov k zadacham elektromekhaniki* [Application of Graph Theory to Problems of Electromechanics]. Moscow, Publ. Energiya, 200 p.
- Infrastructure of spatial development of the Russian Federation: transport, energy, innovation system, life support. 2020. Ed. by O.V. Tarasov. Novosibirsk, Publ. Institute of Economics and Production Organization of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 456 p. (in Russian).
- Kucherov Yu.N., Diakov A.F., Kitushin V.G., Krupenev D.S., Kumenko A.I., Kutovoy P.P., Lebedeva L.M., Levina L.A., Magid S.I., Manov N.A., Nazarychev A.N., Nepomnyashchiy V.A., Ovseychuk V.A., Okorokov V.R., Okorokov V.R., Papkov B.V., Pyatkova N.I., Ryzhov Yu.A., Ryzhov Yu.A., Slavin G.B., Stepanov N.V., Tadzhibayev A.I., Fedotova G.A., Tsygankov S.S., Cheltsov M.B., Shlayfshteyn V.A., Edelman V.I. 2013. *Kontseptsiya obespecheniya nadezhnosti v elektroenergetike* [The Concept of Ensuring Reliability in the Electric Power Industry]. Moscow, Publ. Energiya, 304 p.
- Melentyev L.A. 1982. *Optimizatsiya razvitiya i upravleniya bolshikh sistem energetiki* [Optimization of Development and Management of Large Energy Systems]. Moscow, Publ. Vysshaya shkola, 319 p.
- Metody i modeli issledovaniya nadezhnosti elektroenergeticheskikh sistem [Methods and Models for Studying the Reliability of Electric Power Systems]. 2010. Ed. by N.A. Manov. Syktyvkar, Publ. Komi nauchnyy tsentr Uralskogo otdeleniya Rossiyskoy akademii nauk, 292 p.
- Morgunova M.O., Tsunevsky A.Ya. 2012. *Energiya Arktiki* [Energy of the Arctic]. Moscow, Publ. ITs Energiya, 84 p.
- Ore O. 1980. *Teoriya grafov* [Graph Theory]. Moscow, Publ. Nauka, 356 p.
- Panin S.V., Prokhorov V.N., Smirnova O.O. 2016. *Malaya vozobnovlyayemaya energetika – resheniye bolshikh problem. Na primere Chukotskogo avtonomnogo okruga.* [Small Renewable Energy is the Solution to Big Problems. On the Example of the Chukotka Autonomous Okrug]. *Sovremennyye innovatsii*, 12(14): 47–53.
- Saneev B.G., Ivanova I.Yu., Tuguzova T.F. 2018. Energy Problems in the Eastern Zone of Russian Arctic and Possible Solutions. *Synergy of the Arctic*, 4: 80–88 (in Russian).

- Saneev B., Ivanova I., Izhbuldin A. 2021. The Impact of the Development of the Resources of the Eastern Arctic on Energy and Fuel Supply to Consumers. *Energy Policy*, 7(181): 86–95 (in Russian). [https://doi.org/10.46920/2409-5516\\_2021\\_7161\\_86](https://doi.org/10.46920/2409-5516_2021_7161_86).
- Sovalov S.A., Semenov V.A. 1988. *Protivoavariynoye upravleniye v energosistemakh* [Emergency Management in Power Systems]. Moscow, Publ. Energoatomizdat, 416 p.
- Tarkhov S.A. 2005. *Evolyutsionnaya morfologiya transportnykh setey* [Evolutionary Morphology of Transport Networks]. Smolensk–Moscow, Publ. Universum, 384 p.
- Ali S., Jang C.-M. 2020. Optimum Design of Hybrid Renewable Energy System for Sustainable Energy Supply to a Remote Island. *Sustainability*, 12(3): 1280. <https://doi.org/10.3390/su12031280>.
- Akram F., Asghar F., Majeed M.A., Amjad W., Manzoor M.O., Munir A. 2020. Techno-Economic Optimization Analysis of Stand-Alone Renewable Energy System for Remote Areas. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 38: 100673. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2020.100673>.
- Arnason K., Franzson H., Richter B., Thordarson S., Hjartarson A. 2005. Geothermal Exploration in Chukotka, Far East Russia. *Proceedings World Geothermal Congress, Antalya, Turkey, 24–29 April 2005*. Antalya, Turkey: 1–12.
- De Witt M., Stefánsson H., Valfells Á., Larsen J.N. 2021. Energy Resources and Electricity Generation in Arctic areas. *Renewable Energy*, 169: 144–156. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.01.025>.

*Поступила в редакцию 22.08.2023;*

*поступила после рецензирования 24.10.2023;*

*принята к публикации 12.11.2023*

*Received August 22, 2023;*

*Revised October 24, 2023;*

*Accepted November 12, 2023*

**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

**Атаев Заирбег Авукавович**, доктор географических наук, руководитель научно-исследовательского центра «Возобновляемые источники энергии и энергетика», Рязанский государственный университет им. С.А. Есенина, г. Рязань, Россия

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

**Zairbeg A. Ataev**, Doctor of Geographical Sciences, Head of the Research Center "Renewable Energy Sources and Energy", Ryazan State University named after S.A. Yesenin, Ryazan, Russia



УДК 554.1:711.13(470.344)  
DOI 10.52575/2712-7443-2024-48-1-18-29

## Геоморфологический фактор расселения и размещения населения на территории севера Чувашии

<sup>1</sup>Харитонов Ан.Ю., <sup>1</sup>Никонорова И.В., <sup>2</sup>Харитонов Ал.Ю.

<sup>1</sup>Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова,  
Россия, 428000, г. Чебоксары, Московский пр-т, 15

<sup>2</sup>Казанский (Приволжский) федеральный университет,  
Россия, 420008, г. Казань, ул. Кремлёвская, 18

E-mail: andreykh97@mail.ru, niko-inna@yandex.ru, ComradeAlexander@yandex.ru

**Аннотация.** Чебоксарский возвышенно-равнинный район со зрелым эрозионным ландшафтом занимает примерно 1/5 территории на севере Чувашской Республики и простирается вдоль всей правобережной части реки Волги в пределах республики. При изучении системы расселения населения особую важность представляет анализ орографических характеристик территории. Работа отражает взаимосвязь основных физико-географических факторов при подборе населением территорий в ходе основания населенных пунктов. Это особенно важно в условиях распространения эрозионного ландшафта, который можно причислить к «зрелым», что говорит о переходе оврагов в стадию сформировавшихся балок. Исторически данная территория заселялась достаточно плотно, что обусловлено столичным фактором и обильным количеством торговых путей проходивших через нее, с особой ролью водного волжского пути. Актуальность данного исследования обусловлена малоизученностью физико-географического фактора в размещении и расселении населения на территории чувашской части рассматриваемого района. При составлении оценки анализировалась взаимосвязь исторических частей (центральных улиц) поселений с данными по экспозиции и крутизне склонов. В данной работе в качестве объекта исследования выступают населенные пункты, расположенные в вышеизложенном физико-географическом районе. Предметом исследования являются геоморфологические различия поселений, основанных в разные временные промежутки в зависимости от следующих факторов: положение крестьян, статус населенных пунктов при первом упоминании (околоток, выселок и др.), национальность. В рамках этого исследования в качестве основных геоморфологических факторов рассматриваются крутизна и экспозиция склонов.

**Ключевые слова:** размещение населения, населенный пункт, геоморфологический фактор, экспозиция склона, крутизна склона

**Для цитирования:** Харитонов Ан.Ю., Никонорова И.В., Харитонов Ал.Ю. 2024. Геоморфологический фактор расселения и размещения населения на территории севера Чувашии. Региональные геосистемы, 48(1): 18–29. DOI: 10.52575/2712-7443-2024-48-1-18-29

## Geomorphological Factor of Settlement and Distribution of the Population in the North of Chuvashia

<sup>1</sup>Andrey Y. Kharitonov, <sup>1</sup>Inna V. Nikonorova, <sup>2</sup>Alexander Y. Kharitonov

<sup>1</sup>Chuvash State University named after I.N. Ulyanov  
15 Moskovsky Ave, Cheboksary 428000, Russia

<sup>2</sup>Kazan (Volga region) Federal University,  
18 Kremlin St, Kazan 420008, Russia

E-mail: andreykh97@mail.ru, niko-inna@yandex.ru, ComradeAlexander@yandex.ru

**Abstract.** The Cheboksary upland-plain region with a mature erosional landscape occupies approximately 1/5 of the territory in the north of the Chuvash Republic and extends along the entire right

bank of the Volga River within the republic. When studying the population settlement system, analysis of the orographic characteristics of the territory is of particular importance. The work reflects the interrelation of the main physical and geographical factors in the selection of territories by the population during the founding of settlements. This is especially important in the context of the spread of erosional landscapes, which can be classified as “mature”, which indicates the transition of ravines to the stage of formed gullies. Historically, this territory was populated quite densely, which was due to the factor of being capital of the region and the abundant number of trade routes passing through it, with the special role of the Volga waterway. The relevance of this study is due to the lack of knowledge of the physical-geographical factor in the placement and settlement of the population on the territory of the Chuvash part of the region under consideration. When making the assessment, the relationship between the historical parts (main streets) of settlements and data on exposure and slope steepness was analyzed. In this work, the objects of study are settlements located in the above-mentioned physiographic region. The subject of the study is the geomorphological differences of settlements founded in different time periods depending on the following factors: the position of the peasants, the status of settlements at the first mention (ward, settlement etc.), nationality. In this study, the main geomorphological factors are considered: steepness and aspect of slopes.

**Key words:** population distribution, settlement, geomorphological factor, slope exposure, slope steepness

**For citation:** Kharitonov An.Y., Nikonorova I.V., Kharitonov Al.Y. 2024. Geomorphological Factor of Settlement and Distribution of the Population in the North of Chuvashia. *Regional Geosystems*, 48(1): 18–29 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2024-48-1-18-29

---

## Введение

Чувашскую Республику называют «страной оврагов» и это далеко неспроста. Ведь средняя густота овражной сети составляет 0,15 км/км<sup>2</sup>, а балок – 1,27 км/км<sup>2</sup>. Особенности строения рельефа оказывали непосредственное влияние на характер расселения населения на территории республики. Населенные пункты также отличались по характеру специализации при первоначальной закладке, по статусу крестьян и по национальному составу, что также отразилось на основных чертах поселений. С течением времени и со сменой социально-экономических потребностей населения, сменялись и физико-географические характеристики пространств, предпочитаемых при основании населенных пунктов. В существующих работах преимущественно исследуется каждый аспект по отдельности, что приводит к ограничению понимания всей картины. По нашему мнению, более интересные и полные результаты могут быть достигнуты путем аккумуляции данных как в сфере социально-экономической, так и физической географии. Такой подход способствует выявлению более обширного набора взаимосвязей, присутствующих в представленной выборке, что возможно экстраполировать на всю исследуемую территорию. Подытожив, можно заявить, что актуальность данного исследования заключается в необходимости анализа первоначальных факторов, которые влияют на привлекательность территорий в контексте потребностей населения в условиях распространения пересеченного холмисто-волнистого рельефа с множеством оврагов и балок, в определенной крутизне и экспозиции склона для создания населенных пунктов. Конкретно исследуется, какие территории были привлекательны для закладки населенных пунктов в разные исторические периоды с учетом различных комбинаций социально-экономических признаков.

В исследованиях физико-географических особенностей Чебоксарского возвышенно-равнинного района со зрелым эрозионным ландшафтом принимали участие такие ученые Казанского университета, как А.В. Ступишин [1964], А.П. Дедков [Dedkov, 1967] и др. Стоит отметить специалистов Московского университета, в частности С.Н. Ковалёва [2023], а также его работы в соавторстве с Р.С. Чаловым [2021], чувашских ученых: М.М. Сироткину, Е.И. Арчикова, И.В. Никонорову и др. [Никонорова и др., 2020; Харитонов, Никонорова, 2023]. Аспекты социально-экономической географии также обсужда-



лись в работах таких специалистов, как Н.И. Блажко, Ю.Р. Архипова, Н.А. Казакова и др. Интересными результатами также могут быть исследования по истории и краеведению, проведенные В.С. Григорьевым, И.И. Бойко, В.Г. Харитоновой и др. Также при подготовке работы использовались наработки и рекомендации по использованию различных отечественных и зарубежных специалистов в области ГИС-технологий [Lastochkin et al., 2018; Abdumuminov, 2021; Golebiowska et al., 2021; Jebur, 2021; Вахрушев и др., 2022; Comber, Zeng, 2022].

Значимость работы заключается в создании базы для дальнейших исследований на территории Чувашской Республики и возможности использования полученных результатов с целью изучения данного аспекта в других регионах Поволжья и востока европейской части России.

Целью работы является исследование расселения населения в чувашской части Чебоксарского возвышенно-равнинного района со зрелым эрозионным ландшафтом.

### **Объекты и методы исследования**

Объектом исследования являются населенные пункты, находящиеся в чувашской части Чебоксарского возвышенно-равнинного района со зрелым эрозионным ландшафтом. В ее состав входят следующие муниципальные районы: Ядринский, Моргаушский, Чебоксарский, Мариинско-Посадский, Цивильский и Козловский. В работе применен метод выборочной совокупности, куда вошли все населенные пункты из Ядринского, Моргаушского и Мариинско-Посадского районов. Для определения границ физико-географического района использовалась монография А.В. Ступишина «Физико-географическое районирование Среднего Поволжья» [1964]. Характеристика склонам была присвоена в соответствии с работами А.П. Дедкова [Dedkov, 1967]. Предметом исследования является дифференциация расселения населения на данной территории с учетом различных факторов, включая статус крестьян до отмены крепостного права в 1861 году (освобождение государственных крестьян 1866 года), статус населенных пунктов при первом упоминании (околоток, выселок и др.) и национальность, формировавшая населенный пункт. Исходные данные для обработки данной части исследования были получены из «Чувашской энциклопедии» [География. Чувашская энциклопедия..., 2009], выпущенной Чувашским государственным институтом гуманитарных наук в 4 томах и из справочника об административно-территориальном делении [Населенные пункты ..., 2020].

При написании работы были использованы различные общенаучные методы (анализа и синтеза, классификации и систематизации, аналогий). Также были применены общегеографические методы, включая сравнительно-географический и географическую систематизацию. Для анализа использовались ГИС-программы, которые были применены для вычисления экспозиции и крутизны склонов, а также для визуализации обобщенных результатов на карте. Для получения исходных данных по вышеупомянутым факторам были использованы цифровые модели рельефа, SRTM-снимки [SRTM Tile Grabber, 2023]. Программное обеспечение "SAS Planet" применялось для получения космических снимков [SAS Planet, 2023]. Дальнейшая обработка данных осуществлялась с использованием ГИС-программ.

При составлении анализа использовался принцип преобладания характеристики. Данный метод применялся для оценки крутизны и экспозиции склонов в центральных улицах населенных пунктов. Исследовались именно центральные или исторические улицы, поскольку это позволяет оценить первоначальные точки тяготения при формировании населенных пунктов. В качестве ориентира при определении исторических улиц в населенных пунктах использовалась «Карта Казанской губернии 1860 года» [2023]. При отсутствии искомого объекта в упомянутом источнике исследовались улицы Центральная, Главная, Советская, Ленина, Полевая. В работе использовалась градация крутизны скло-

нов «для равнинных районов» по В.К. Жучковой и Э.М. Раковской [2004], где плоскими (субгоризонтальными) считались склоны с уклоном  $0-1^\circ$ ; слабонаклонными равнинами (с очень пологими склонами) –  $1-3^\circ$ ; пологими склонами (наклонными равнинами) –  $3-5^\circ$ ; слабопокатыми –  $5-7^\circ$ ; покатыми –  $7-10^\circ$ ; сильнопокатыми –  $10-15^\circ$ ; крутыми –  $15-20^\circ$ ; очень крутыми –  $20-40^\circ$  и обрывистыми –  $> 40^\circ$ .

### Результаты и их обсуждение

Максимальная крутизна склона на рассматриваемой территории составляет  $38,0^\circ$ , минимальная –  $0^\circ$ . Среднее значение составляет  $3,0^\circ$ , а среднеквадратичное отклонение на уровне 2,2. Данный параметр позволяет нам предположить, что основной массив данных (с доверительной вероятностью 68,26 %) входит в интервал от  $0,4^\circ$  до  $4,0^\circ$ , это наводит на мысль, что основная часть территории находится в пределах следующих зон градации: плоские (субгоризонтальные), слабонаклонные равнины (очень пологие склоны). Мода –  $0,5^\circ$  (рис. 1, 2).



Рис. 1. Населенные пункты из выборочной совокупности чувашской части Чебоксарского возвышенно-равнинного района со зрелым эрозионным ландшафтом  
Fig. 1. Settlements from the sample of the Chuvash part of the Cheboksary high-plain region with a mature erosional landscape

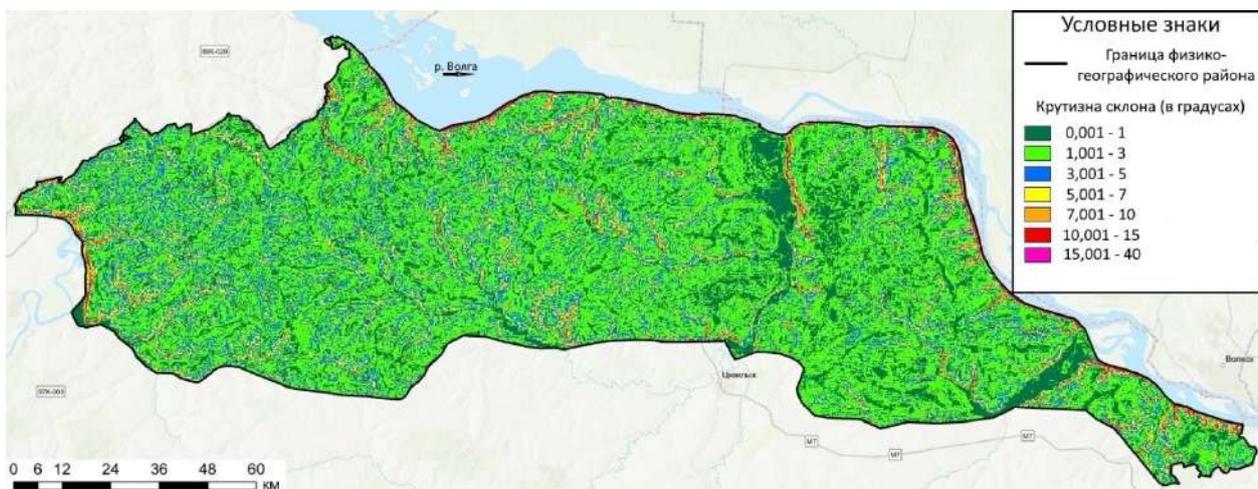


Рис. 2. Крутизна склонов чувашской части Чебоксарского возвышенно-равнинного района со зрелым эрозионным ландшафтом  
Fig. 2. The steepness of the slopes of the Chuvash part of the Cheboksary high-plain region with a mature erosional landscape



Далее обратим внимание на территории, занимаемые исключительно населенными пунктами. Максимальная крутизна склона составляет  $7,0^\circ$ , а минимальная –  $0,3^\circ$ . Среднее значение составляет  $2,5^\circ$ , а среднеквадратичное отклонение на уровне 1,4. Это приводит к выводу, что основной массив данных (с доверительной вероятностью 68,26 %) сосредоточен на интервале  $1,1-3,9^\circ$ . Подводя итог, приходим к выводу: подавляющее большинство населенных пунктов располагается на слабонаклонных равнинах (очень пологие склоны) и пологих склонах (наклонные равнины). Мода находится на отметке  $1,2^\circ$  (см. рис. 1, 2).

Обратимся к более подробному анализу населенных пунктов. Населенные пункты на основе временных рамок группируются в 6 категорий: до 1710, 1711–1759, 1760–1858, 1859–1916, 1917–1944, 1945–н. в. Слабонаклонная категория крутизны склона (66,67 %) наиболее характерна для местности, занимаемой населенными пунктами, основанными до 1710 года. Следующей категорией являются наклонные равнины (33,33 %). При рассмотрении экспозиции склонов можно наблюдать значительную вариабельность, однако поселенцы выбирали склоны с более пологими экспозициями, включая южную, юго-западную и западную (55,56 %). По одному населенному пункту расположено на северной, северо-западной, северо-восточной, восточной экспозициях (по 11,11 %). Поселения монастырских крестьян были построены на слабонаклонных равнинах с северной (1 н. п.) экспозицией; помещичьих крестьян – на слабонаклонных равнинах с северо-восточной экспозицией и наклонных равнинах с юго-западной экспозицией склонов; государственных крестьян – на слабонаклонных (3 н. п.) и наклонных (2 н. п.) равнинах. Среди рассматриваемых населенных пунктов не имеется околотков. 5 (55,56 %) из них образованы чувашами, 3 – (33,33 %) русскими и один смешанным населением (11,11 %). При закладке селения до XVIII века выбирались более крутые склоны с крутизной  $1-3^\circ$ . Экспозиция склона имеет незначительный характер, подобный вывод складывается из среднеквадратичного отклонения, которое составляет 0,6 (табл. 1).

Таблица 1  
Table 1

Населенные пункты, образованные до 1710 года  
Settlements formed before 1710

| Экспозиция склона | Крутизна склона | Доля, % | Экспозиция склона | Крутизна склона | Доля, % |
|-------------------|-----------------|---------|-------------------|-----------------|---------|
| С-В               | $1-3^\circ$     | 11,11   | Юг                | $1-3^\circ$     | 22,22   |
| С-З               | $1-3^\circ$     | 11,11   | Север             | $3-5^\circ$     | 11,11   |
| Восток            | $1-3^\circ$     | 11,11   | Запад             | $3-5^\circ$     | 11,11   |
| Ю-З               | $1-3^\circ$     | 11,11   | Ю-З               | $3-5^\circ$     | 11,11   |

Обратимся к данным, полученным по населенным пунктам, заложенным в период с 1711 по 1759 год. Подавляющее число располагается на территориях с крутизной  $1-3^\circ$  (слабонаклонные равнины). Всего исследовалось в данной категории 47 населенных пунктов. Из представленной выборочной совокупности 76,6 % располагается именно на ней. Также представлены наклонные равнины (17,02 %) и покатые (6,38 %). В данной категории наблюдается небольшой перевес в сторону более крутых экспозиций склона (36,17 %). Наиболее широко представлена юго-восточная (8 н. п. – 17,02 %), северная, северо-западная экспозиция склонов (у обеих 7 н. п. – 14,89). Из общего числа населенных пунктов 40 (86,96 %) были основаны чувашами, а остальные 6 – русскими. Чувашское население предпочитало преимущественно слабонаклонные равнины (85 %), а русское население селилось на наклонных равнинах ( $3-5^\circ$ ), где располагается 50 % (3) населенных пунктов. Представлено 5 околотков, из них 4 располагается на слабонаклонных равнинах с северной (2), северо-восточной и западной (у обеих 1 н.п.) экспозициях. Вероятнее все-

го, это связано с необходимостью большего обзора при защите окрестных территорий. В одном из населенных пунктов располагались монастырские крестьяне, поселение которых находилось на слабонаклонной местности с северной экспозицией склонов. Помещичьи крестьяне жили на пологих (1 н. п.) и покатых склонах (2 н. п.). Государственные крестьяне предпочитали слабонаклонные равнины (81,4 %) при этом экспозиция склонов не была важным фактором, т. к. все экспозиции представлены практически в равных количествах. В данной эпохе, как и прошлой, предпочитаемая для селения крутизна склона остается неизменной – слабонаклонные равнины с крутизной 1–3°. Экспозиция склона становится относительно незначительным фактором, подобный вывод можно сделать из значения среднеквадратичного отклонения, которое оказалось на уровне 1,36 (табл. 2).

Таблица 2  
Table 2Населенные пункты, образованные с 1711 по 1759 год  
Settlements formed from 1711 to 1759

| Экспозиция склона | Крутизна склона | Доля, % | Экспозиция склона | Крутизна склона | Доля, % |
|-------------------|-----------------|---------|-------------------|-----------------|---------|
| Север             | 1–3°            | 12,77   | С-В               | 3–5°            | 2,13    |
| С-В               | 1–3°            | 6,38    | С-З               | 3–5°            | 2,13    |
| С-З               | 1–3°            | 12,77   | Запад             | 3–5°            | 2,13    |
| Запад             | 1–3°            | 8,51    | Ю-З               | 3–5°            | 6,38    |
| Восток            | 1–3°            | 8,51    | Юг                | 3–5°            | 2,13    |
| Ю-З               | 1–3°            | 6,38    | Ю-В               | 3–5°            | 2,13    |
| Юг                | 1–3°            | 10,64   | Север             | 7–10°           | 2,13    |
| Ю-В               | 1–3°            | 10,64   | Ю-В               | 7–10°           | 4,26    |

В следующем временном диапазоне (1760–1858 гг.) наблюдается наибольшая выборка, она представлена 188 населенными пунктами с наибольшим количеством категорий крутизны склонов. Самыми популярными остаются слабонаклонные равнины (76,84 %). Также представлены территории следующих классов: наклонные равнины, слабопокатые (обе 17,51 %), плоские (2,26 %), покатые и сильнопокатые (обе 0,56 %). Наиболее широко представлены населенные пункты, расположенные на восточной (17,51 %) и западной (16,38 %) экспозициях склонов. 30,48 % населенных пунктов закладывались как околотки. На слабонаклонных равнинах располагается 75,13 % населенных пунктов, из них 27,91 % на восточной, а 13,95 % – на северо-западной и западной экспозициях. Если рассматривать экспозиции склонов, то среди околотков наиболее выделяются восточная (24,56 %) и западная (19,3 %). Количество населенных пунктов, заложенных чувашами, составляет 181 или 96,28 %. Подавляющее большинство поселений состояло из государственных крестьян (96,81 %). Достаточно плотно были заселены восточная, западная (обе по 15,47 %) и южная (14,92 %) экспозиции. Русские строили поселения на плоских (1 н. п.), слабонаклонных (2 н. п.), слабопокатых (1 н. п.), покатых (1 н. п.) и сильнопокатых (1 н. п.) территориях. Стоит отметить, что селения на покатых и сильнопокатых склонах были образованы помещиками в непосредственной близости от реки Волги (не более 3 км от современного берега). Все чувашское население числилось как государственные, а русское – помещичьи крестьяне. Соответственно, анализ, сделанный на основе национального происхождения, полностью отражает картину и со статусом крестьян, проживавших на данных территориях. Тенденция преимущественного заселения слабонаклонных равнин сохраняется. Для данной категории характерно большое значение среднеквадратичного отклонения для экспозиции склонов, которое оказалось на уровне 4,95.



Что позволяет говорить о том, что преимущественное значение восточной и западной экспозиций более ярко выражено и имеет значимый характер (табл. 3).

Таблица 3  
Table 3

Населенные пункты, образованные с 1760 по 1858 год  
Settlements formed from 1760 to 1858

| Экспозиция склона | Крутизна склона | Доля, % | Экспозиция склона | Крутизна склона | Доля, % |
|-------------------|-----------------|---------|-------------------|-----------------|---------|
| Север             | 0–1°            | 0,56    | Север             | 3–5°            | 1,69    |
| С-В               | 0–1°            | 0,56    | С-В               | 3–5°            | 0,56    |
| С-З               | 0–1°            | 0,56    | С-З               | 3–5°            | 1,69    |
| Ю-В               | 0–1°            | 0,56    | Запад             | 3–5°            | 3,95    |
| Север             | 1–3°            | 9,60    | Восток            | 3–5°            | 1,13    |
| С-З               | 1–3°            | 9,60    | Ю-З               | 3–5°            | 4,52    |
| С-В               | 1–3°            | 7,34    | Юг                | 3–5°            | 2,26    |
| Восток            | 1–3°            | 15,82   | Ю-В               | 3–5°            | 1,69    |
| Запад             | 1–3°            | 11,30   | Запад             | 5–7°            | 1,13    |
| Ю-З               | 1–3°            | 7,91    | Ю-З               | 5–7°            | 0,56    |
| Юг                | 1–3°            | 6,78    | Юг                | 5–7°            | 0,56    |
| Ю-В               | 1–3°            | 8,47    | Восток            | 7–10°           | 0,56    |
|                   |                 |         | Ю-В               | 10–15°          | 0,56    |

Были исследованы 20 населенных пунктов, возникших с 1859 по 1916 год. 70 % из них располагается на слабонаклонных равнинах. Также представлены наклонные (25 %) и плоские (5 %) равнины. Наблюдается ярко выраженное заселение более крутых склонов, т. е. южной (35 %), юго-западной (15 %) и западной (20 %) экспозиций. Количество околотов составляет 60 %, т. е. 12 населенных пунктов. Из них 83,33 % располагается на слабонаклонных равнинах, преимущественно на южной и юго-западной экспозициях (обе по 30 % – 3 н. п.). Большая часть населенных пунктов, а именно 90 % (18 н. п.), заложена представителями чувашского этноса, 10 % (2 н. п.) – русскими. 95 % (19 н. п.) поселений населяли государственные и лишь 1 н. п. – помещичьи крестьяне. Помещичьи крестьяне жили на слабонаклонной территории с западной экспозицией склона. Картина относительной крутизны склона практически такая же, как и в предыдущих эпохах. Если говорить об экспозиции склона, то наблюдается ярко выраженный уклон в сторону более крутых склонов. Среднеквадратичное отклонение составляет 2,18 (табл. 4).

Таблица 4  
Table 4

Населенные пункты, образованные с 1859 по 1916 год  
Settlements formed from 1859 to 1916

| Экспозиция склона | Крутизна склона | Доля, % | Экспозиция склона | Крутизна склона | Доля, % |
|-------------------|-----------------|---------|-------------------|-----------------|---------|
| Запад             | 0–1°            | 5       | Ю-В               | 1–3°            | 10      |
| С-З               | 1–3°            | 5       | Запад             | 3–5°            | 5       |
| Запад             | 1–3°            | 10      | Восток            | 3–5°            | 5       |
| Восток            | 1–3°            | 5       | Юг                | 3–5°            | 10      |
| Ю-З               | 1–3°            | 15      | Ю-В               | 3–5°            | 5       |
| Юг                | 1–3°            | 25      |                   |                 |         |

В следующей выделенной нами эпохе, которая длится с 1917 до 1944 года, наблюдается превалирование слабонаклонных равнин (59,1 %). Также представлены наклонные равнины (31,82 %), плоские и слабопокатые (обе по 4,55 %). Более крутые склоны относительно экспозиции склона также превалируют (40,91 %). Ровно половина сельских населенных пунктов образовалась вследствие создания колхозов или совхозов преимущественно на слабонаклонных равнинах (63,64 %), а 4,54 % на базе лесопилки, которая расположена на слабонаклонных равнинах на северо-западной экспозиции склона. Костяком в 82,61 % населенных пунктов являлись чуваша. Среднеквадратичное отклонение составляет 3,09, что говорит о достаточно высоком уровне разброса экспозиции склона (табл. 5).

Таблица 5  
Table 5Населенные пункты, образованные с 1916 по 1944 год  
Settlements formed from 1916 to 1944

| Экспозиция склона | Крутизна склона | Доля, % | Экспозиция склона | Крутизна склона | Доля, % |
|-------------------|-----------------|---------|-------------------|-----------------|---------|
| С-В               | 0–1°            | 4,55    | Ю-В               | 1–3°            | 13,64   |
| Север             | 1–3°            | 4,55    | Юг                | 3–5°            | 9,09    |
| С-З               | 1–3°            | 9,09    | С-З               | 3–5°            | 9,09    |
| С-В               | 1–3°            | 9,09    | Запад             | 3–5°            | 4,55    |
| Запад             | 1–3°            | 4,55    | Восток            | 3–5°            | 4,55    |
| Ю-З               | 1–3°            | 4,55    | Север             | 3–5°            | 4,55    |
| Юг                | 1–3°            | 13,64   | Юг                | 5–7°            | 4,55    |

Последняя категория населенных пунктов находится во временном промежутке с 1945 года по настоящее время. Населенные пункты расположились на плоских, слабонаклонных и наклонных равнинах в равных долях. Юго-западная и юго-восточная экспозиция представлена на 66,66 % территории. Оставшаяся часть на северной и северо-восточной экспозиции. 1/3 поселений появилась вследствие образования колхозов и совхозов, на северо-восточной экспозиции слабонаклонных равнин и юго-восточной экспозиции наклонных равнин. 1/3 – конезаводы на плоской и слабонаклонной равнине юго-западной экспозиции. Среднеквадратичное отклонение составляет 0,83, что говорит о слабой значимости экспозиции склонов при основании населенных пунктов, а также высокой значимости плоских равнин для строительства относительно прошлых эпох (табл. 6).

Таблица 6  
Table 6Населенные пункты, образованные с 1945 года по настоящее время  
Settlements formed from 1945 to the present

| Экспозиция склона | Крутизна склона | Доля, % | Экспозиция склона | Крутизна склона | Доля, % |
|-------------------|-----------------|---------|-------------------|-----------------|---------|
| Ю-З               | 0–1°            | 16,67   | Ю-З               | 1–3°            | 16,67   |
| Север             | 1–3°            | 16,67   | Ю-В               | 1–3°            | 16,67   |
| С-В               | 1–3°            | 16,67   | Ю-В               | 3–5°            | 16,67   |

Итак, мы обнаружили, что люди не строили новых поселений на существенных склонах с крутизной более 3°, такая картина наблюдается на протяжении всего временно-



го среза, рассмотренного нами. Чуваши составляют преобладающую часть коренного населения, что предполагает закономерную корреляцию между общей тенденцией и особенностями заселения ими территории. Если говорить о русском населении, то стоит упомянуть, что большинство было помещичьими крестьянами. И, соответственно, наблюдается довольно тесная корреляционная связь между результатами этих показателей. Аналогичным образом это наблюдение справедливо и для поселений, основанных представителями чувашского народа, и для территорий, занятых государственными крестьянами.

### Заключение

В ходе анализа выявилась тесная взаимосвязь физико-географических факторов, особенно геоморфологического, при подборе населением территорий в ходе основания населенных пунктов. Это ярко проявилось в условиях распространения зрелого эрозионного ландшафта Чебоксарского возвышенно-равнинного района Чувашской Республики.

Наименьшее значение экспозиция склона имеет для населенных пунктов, образованных до XVIII века и после 1945 года. На протяжении этого времени населенные пункты создавались на склонах  $1-3^\circ$ , относящихся к слабонаклонным равнинам. Наиболее высокая дифференциация крутизны склона наблюдается в период с 1760 по 1858 год. Вероятнее всего плоские равнины не заселялись, т. к. данные территории использовались как пастбища для выпаса скота. Из общей суммы выборочной совокупности монастырские крестьяне населяли 0,4 %, государственные 95,24 % и помещичьи 4,37 % населенных пунктов. Монастырские крестьяне жили лишь в одном поселении, которое располагалось на наклонной равнине с северной экспозицией склона. Государственные крестьяне в основном селились на слабонаклонных равнинах (78,33 %). Наиболее часто населенные пункты встречаются на западной (15,42 %) и восточной (15 %) экспозиции. Среднеквадратическое отклонение составляет 5,6, что говорит о достаточно высоком разбросе значений. При анализе земель, занимаемых помещичьими крестьянами, нет четкой тенденции, стоит отметить, что из наиболее пологих склонов были заняты именно те, которые располагаются в непосредственной близости от берега реки Волги. Среднеквадратическое отклонение оказалось на уровне 1,5, что говорит о невысоком разбросе расположения населенных пунктов относительно экспозиции склонов. У 61,54 % населенных пунктов, появившихся вследствие создания колхозов на слабонаклонных равнинах, среднеквадратичное отклонение относительно экспозиции склонов находится на уровне 0,7, что позволяет предположить, что данный фактор был незначителен при закладке поселений. Это значит, что основным фактором при подборе территории явилась крутизна склона.

Также стоит отдельно отметить достаточно большое количество населенных пунктов, расположенных на территориях с крутизной  $3^\circ$  и более градусов (23,1 %), что объясняется столичным фактором исследуемой территории (Чебоксары – столица Чувашской Республики). То есть в условиях дефицита земель приходилось занимать относительно неудобные земли. Заселение территорий, описанных выше, производилось и в связи с тем, что исследуемая часть территории республики располагается между двумя экономическими центрами рассматриваемого района Поволжья (Казань и Нижний Новгород). Логично, что через данную территорию проходило много наземных и водных торговых путей.

Результаты данного исследования имеют практическое применение в территориальном планировании, а также могут послужить основой для разработки эффективных систем сельскохозяйственного производства. Более того, полученные выводы и результаты также могут быть учтены при создании туристских маршрутов, в частности при развитии агро- и экотуризма.

### Список источников

- География. Чувашская энциклопедия. 2009. Чувашский государственный институт гуманитарных наук, Чувашское книжное издательство. [Электронный ресурс]. URL: <http://enc.cap.ru/?t=world&lnk=4> (дата обращения: 20.08.2023).
- Населенные пункты Чувашской Республики, 1917–2019 года. Государственный исторический архив Чувашской Республики. 2020. Чебоксары, Чувашское книжное издательство, 574 с.
- Карта Казанской губернии 1860 года. Электронный ресурс. URL: [http://www.etomesto.ru/map-kazan\\_1860-guberniya/](http://www.etomesto.ru/map-kazan_1860-guberniya/) (дата обращения: 20.08.2023).
- SAS Planet. Electronic resource. URL: <https://sas-planet.ru> (date of the application: 20.08.2023).
- SRTM Tile Grabber. Electronic resource. URL: <https://www.dwtkns.com/srtm/> (date of the application: 20.08.2023).

### Список литературы

- Вахрушев Б.А., Кунов А.А., Кунов В.А., Швалеев В.Н. 2022. Особенности подготовки растровых файлов спутниковой съемки SRTM для работы в ГИС-карстовый рельеф. Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. География. Геология, 8(1): 219–228.
- Жучкова В.К., Раковская Э.М. 2004. Методы комплексных физико-географических исследований. М., Академия, 368 с.
- Ковалёв С.Н. 2023. Влияние эрозионно-руслowych систем на инфраструктуру населенных пунктов европейской части России. Географический вестник, 2(65): 49–61. <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2023-2-49-61>.
- Ковалёв С.Н., Чалов Р.С. 2021. Типы взаимосвязи инфраструктуры населённых пунктов с эрозионно-руслowymi системами, Геоморфология, 52(2): 52–62. <https://doi.org/10.31857/S0435428121020048>.
- Никонорова И.В., Гуменюк А.Е., Никитина Е.А., Алексеев Д.В. 2020. Отделение Русского географического общества и научная школа профессора Е.И. Арчикова в Чувашии. В кн.: Науки о Земле: от теории к практике (Арчиловские чтения – 2020). Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 175-летию Русского географического общества и 95-летию со дня рождения доктора географических наук, профессора Е.И. Арчикова, Чебоксары, 05–08 ноября 2020. Чебоксары, Издательский дом «Среда»: 10–14.
- Ступишин А.В. 1964. Физико-географическое районирование Среднего Поволжья. Казань, Издательство Казанского университета, 197 с.
- Харитонов А.Ю., Никонорова И.В., Харитонов А.Ю. 2023. Физико-географические условия и геоморфологический фактор расселения и размещения населения на территории Цивильского района Чувашской Республики. В кн.: Природные опасности: связь науки и практики. Материалы III Международной научно-практической конференции, посвященной 150-летию Михаила Ивановича Сумгина, Саранск, 18–19 мая 2023. Саранск, Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва: 294–300.
- Abdumuminov B.O. 2021. Creation of 3D Model of Place Relief Based on Topographic Maps and GIS. Economy and society, 6–1(85): 15–17. [https://doi.org/10.46566/2225-1545\\_2021\\_1\\_85\\_15](https://doi.org/10.46566/2225-1545_2021_1_85_15).
- Jebur A.K. 2021. Uses and Applications of Geographic Information Systems. Saudi Journal of Civil Engineering, 5(2): 18–25. <https://doi.org/10.36348/sjce.2021.v05i02.001>.
- Comber A., Zeng W. 2022. Areal Interpolation. In: The Geographic Information Science & Technology Body of Knowledge (2nd Quarter 2022 Edition). Ed. by J.P. Wilson. <https://doi.org/10.22224/gistbok/2022.2.2>.
- Dedkov A.P., Illarionov A.G. 1967. Die Entwicklung der Hangformen in Mittleren Wolgagebiet und shdlichen Teil Turgai-Plateau. Evolution des Versants. Universite de Liege, 1: 101–116.
- Golebiowska I., Korycka-Skorupa J., Slomska-Przech K. 2021. Common Thematic Map Types. In: The Geographic Information Science & Technology Body of Knowledge (2nd Quarter 2021 Edition). Ed. by J.P. Wilson. <https://doi.org/10.22224/gistbok/2021.2.7>.



Lastochkin A.N., Zhirov A.I., Boltramovich S.F. 2018. System-Morphological Approach: Another Look at Morphology Research and Geomorphological Mapping. *Geomorphology*, 303: 486–503. <https://doi.org/10.1016/J.GEOMORPH.2017.10.022>

## References

- Vakhrushev B.A., Kunov A.A., Kunov V.A., Shvaleev V.N. 2022. Features of Preparation of Raster Files of Srtm Satellite Imagery for Work in GIS – Karst Relief on the Example of Hypsometric Zoning Karst Massif of Karabi (Crimea Mountains). *Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo. Geografiya. Geologiya*, 8(1): 219–228 (in Russian).
- Zhuchkova V.K., Rakovskaya E.M. 2004. *Metody kompleksnykh fiziko-geograficheskikh issledovaniy [Methods of Complex Physical-Geographical Research]*. Moscow, Publ. Akademiya, 368 p.
- Kovalev S.N. 2023. The Impact of Erosion-Channel Systems on the Infrastructure of Settlements in the European Part of Russia. *Geographical bulletin*, 2(65): 49–61 (in Russian). <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2023-2-49-61>.
- Kovalev S.N., Chalov R.S. 2021. Types of Relations Between Populated Areas Infrastructure and Catchment Erosion-Fluvial Systems. *Geomorfologiya*, 52(2): 52–62 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S0435428121020048>.
- Nikonorova I.V., Gumenyuk A.E., Nikitina E.A., Alekseev D.V. 2020. Department of the Russian Geographic Society and Scientific School of Professor E.I. Archikov in Chuvashia. In: *Geosciences: from theory to practice (Archikov Readings – 2020)*. Materials of the All-Russian scientific and practical conference with international participation, dedicated to the 175th anniversary of the Russian Geographical Society and the 95th anniversary of the birth of Doctor of Geographical Sciences, Professor E.I. Archikova, Cheboksary, 05–08 November 2020. Cheboksary, Publ. «Sreda»: 10–14 (in Russian).
- Stupishin A.V. 1964. *Fiziko-geograficheskoe rayonirovanie Srednego Povolzh'ya [Physico-Geographical Zoning of the Middle Volga Region]*. Kazan, Publ. Kazanskogo universiteta, 197 p.
- Kharitonov A.Yu., Nikonorova I.V., Kharitonov A.Yu. 2023. Physical-Geographical Conditions and Geomorphological Factor Influence Resettlement and Distribution of the Population on the Territory of the Tsvil'sky District of the Chuvash Republic. In: *Natural Hazards: Connection Between Science and Practice*. Materials of the III International Scientific and Practical Conference dedicated to the 150th anniversary of Mikhail Ivanovich Sumgin, Saransk, 18–19 May 2023. Saransk, Publ. Nacional'nyj issledovatel'skij Mordovskij gosudarstvennyj universitet im. N.P. Ogaryova: 294–300 (in Russian).
- Abdumuminov B.O. 2021. Creation of 3D Model of Place Relief Based on Topographic Maps and GIS. *Economy and society*, 6–1(85): 15–17. [https://doi.org/10.46566/2225-1545\\_2021\\_1\\_85\\_15](https://doi.org/10.46566/2225-1545_2021_1_85_15).
- Jebur A.K. 2021. Uses and Applications of Geographic Information Systems. *Saudi Journal of Civil Engineering*, 5(2): 18–25. <https://doi.org/10.36348/sjce.2021.v05i02.001>.
- Comber A., Zeng W. 2022. Areal Interpolation. In: *The Geographic Information Science & Technology Body of Knowledge (2nd Quarter 2022 Edition)*. Ed. by J.P. Wilson. <https://doi.org/10.22224/gistbok/2022.2.2>.
- Dedkov A.P., Illarionov A.G. 1967. Die Entwicklung der Hangformen in Mittleren Wolgagebiet und shdlichen Teil Turgai-Plateau. *Evolution des Versants*. Universite de Liege, 1: 101–116.
- Golebiowska I., Korycka-Skorupa J., Slomska-Przech K. 2021. Common Thematic Map Types. In: *The Geographic Information Science & Technology Body of Knowledge (2nd Quarter 2021 Edition)*. Ed. by J.P. Wilson. <https://doi.org/10.22224/gistbok/2021.2.7>.
- Lastochkin A.N., Zhirov A.I., Boltramovich S.F. 2018. System-Morphological Approach: Another Look at Morphology Research and Geomorphological Mapping. *Geomorphology*, 303: 486–503. <https://doi.org/10.1016/J.GEOMORPH.2017.10.022>

*Поступила в редакцию 10.11.2023;  
поступила после рецензирования 17.12.2023;  
принята к публикации 09.01.2024*

*Received November 10, 2023;  
Revised December 17, 2023;  
Accepted January 09, 2024*

**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

**Харитонов Андрей Юрьевич**, аспирант кафедры физической географии и геоморфологии, ассистент кафедры природопользования и геоэкологии, Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова, г. Чебоксары, Россия

**Никонорова Инна Витальевна**, кандидат географических наук, доцент, заведующая кафедрой физической географии и геоморфологии, Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова, г. Чебоксары, Россия

**Харитонов Александр Юрьевич**, магистр кафедры картографии и геоинформатики, института управления, экономики и финансов, Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, Россия

### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Andrey Y. Kharitonov**, Postgraduate Student of the Department of Physical Geography and Geomorphology, assistant of the Department of Nature Management and Geoecology, Chuvash State University named after I.N. Ulyanov, Cheboksary, Russia

**Inna V. Nikonorova**, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Physical Geography and Geomorphology of the Chuvash state University named after I. N. Ulyanov, Cheboksary, Russia

**Alexander Y. Kharitonov**, Master of the Department of Cartography and Geoinformatics, Institute of Management, Economics and Finance, Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia



УДК 631.6  
DOI 10.52575/2712-7443-2024-48-1-30-44

## Регенеративная агролесомелиорация

**Ивонин В.М.**

Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А.К. Кортунова –  
филиал Донского государственного аграрного университета,  
Россия, 346428, г. Новочеркасск, Пушкинская, 111  
E-mail: Ivoninforest@yandex.ru

**Аннотация.** В условиях негативных природно-антропогенных изменений климата, деградации агроэкосистем и сокращения биоразнообразия возникает необходимость в разработке теоретических основ создания инновационных агролесомелиоративных систем, мелиоративное предназначение которых дополнено регенеративными возможностями. Радиальная диаграмма Венна представляет собой наглядную модель такой системы. Центральный круг этой модели символизирует возможности традиционной агролесомелиорации земель (борьба с засухой, эрозией и дефляцией; формирование биомезоклимата; повышение продуктивности агроценозов и т. д.), а четыре периферийных круга символизируют группы возможностей регенерации (смягчение последствий изменения климата, восстановление деградировавших агроэкосистем и водных объектов, сохранение биоразнообразия). Смягчение последствий изменения климата (путём депонирования атмосферного углерода) и восстановление деградированных пахотных земель, лугов и пастбищ, подвижных песков и залежей происходит в результате синергии защитных лесных насаждений, «зелёного» земледелия и фитомелиоративных мероприятий. Состояние поверхностных водных объектов улучшается за счёт создания на их водосборах регенеративных систем лесных насаждений. Укрывные, кормовые и гнездопригодные свойства лесных насаждений, сельскохозяйственных угодий и водных объектов определяют представительство фауны. Водоохранные зоны и другие охраняемые природные территории, связанные экологическими коридорами, а также микрорекотопы восстановленных угодий способствуют сохранению естественных популяций видов in-situ.

**Ключевые слова:** восстановление деградированных агроэкосистем, восстановительное агролесоводство, изменение климата, защитные лесные насаждения, сохранение биоразнообразия

**Для цитирования:** Ивонин В.М. 2024. Регенеративная агролесомелиорация. Региональные геосистемы, 48(1): 30–44. DOI: 10.52575/2712-7443-2024-48-1-30-44

---

## Regenerative Agroforest Reclaim

**Vladimir M. Ivonin**

Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute –  
branch of the Don State Agrarian University,  
111 Pushkinskaya St, Novocherkassk 346428, Russia  
E-mail: Ivoninforest@yandex.ru

**Abstract.** In the context of negative natural-anthropogenic climate changes, degradation of agroecosystems and reduction of biodiversity, there is a need to develop theoretical foundations for the creation of innovative agroforestry systems, the reclamation purpose of which is complemented by regenerative capabilities. A radial Venn diagram is a visual model of such a system. The central circle of this model symbolizes the possibilities of traditional agroforestry land reclamation (combat drought, erosion and deflation; formation of biomesoclimate; increasing the productivity of agroecosystems, etc.), and four peripheral circles symbolize groups of regeneration opportunities (climate change mitigation, restoration of degraded agroecosystems and water objects, biodiversity conservation). Mitigation of the

climate change effects (by sequestering atmospheric carbon) and restoration of degraded arable lands, meadows and pastures, shifting sands and fallow lands occur as a result of the synergy of protective forest plantings, green farming and phytomeliorative measures. The condition of surface water bodies is improved through the creation of regenerative forest systems in their catchment areas. The covering, feeding and nesting properties of forest plantations, agricultural lands and water bodies determine the representation of fauna. Water protection zones and other protected natural areas connected by ecological corridors, as well as microecotopes of restored lands, contribute to the conservation of natural populations of in-situ species.

**Key words:** restoration of degraded agroecosystems, regenerative agroforestry, climate change, protective forest plantings, biodiversity conservation

**For citation:** Ivonin V.M. 2024. Regenerative Agroforest Reclaim. Regional Geosystems, 48(1): 30–44 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2024-48-1-30-44

## Введение

Резолюция Генеральной Ассамблеи ООН A/RES/73/284 от 1 марта 2019 года провозгласила 2021–2030 годы Десятилетием Организации Объединенных Наций по восстановлению экосистем для расширения усилий по недопущению деградации экосистем и восстановлению деградированных экосистем с повышением осведомлённости о важности этого восстановления [Резолюция Генеральной ..., 2019].

Поэтому, современные исследователи особое внимание обращают на экологию и экономику регенерации деградированных экосистем [Rohr et al., 2018]. Особенно это касается агроэкосистем, так как во всём мире более 20 % обрабатываемых площадей и 10 % лугопастбищ страдают от деградации [Hamdy, Aly, 2014].

По данным Доклада о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения Минсельхоза России [Доклад о состоянии ..., 2022] в 2020 году общая площадь сельскохозяйственных угодий (земли сельскохозяйственного назначения) составляет 197,8 млн га, в том числе пашня занимает 116,2 млн га, сенокосы – 18,7, пастбища – 57,3, залежи – 4,4, многолетние насаждения – 1,2 млн га.

Под влиянием негативных природно-антропогенных процессов происходит деградация этих угодий: увеличиваются площади смытых, размывших и дефлированных земель; ухудшаются физические и химические свойства почв, происходит их иссушение или переувлажнение, истощение и загрязнение; сокращается защитная лесистость; растут площади подвижных песков; снижается биологическое разнообразие. Это сопровождается ужесточением последствий изменений климата, снижением продуктивности сельскохозяйственных угодий или выводом их из хозяйственного оборота с последующим зарастанием сорной травянистой и древесно-кустарниковой растительностью, вырождением естественных и старосеяных травостоев.

Использование почв в сельском хозяйстве (распашка, заготовка растительных кормов, выпас животных) приводят к дегумификации органического вещества почвы. Минерализация его приводит к образованию двуокси углерода, атмосферная концентрация которого вызывает климатические изменения.

Поэтому востребованы регенеративные системы ведения сельского хозяйства [Ахметшина, 2022], которые предназначены для восстановления естественных почвенных процессов, сокращения потерь углерода (эмиссия парниковых газов), для повышения устойчивости сельского хозяйства к изменению климата, увеличения урожайности и биоразнообразия, улучшения качества продукции.

Регенеративные земледельческие технологии в целом способствуют регулированию баланса почвенного органического вещества, что приводит к смягчению процессов изменений климата [Столбовой, 2020].



Регенеративное земледелие в основном сосредоточено на восстановлении естественных почвенных процессов, увеличении биоразнообразия, улучшении водного режима территории, получении экосистемных услуг, поддержании биосеквестрации (форма связывания углерода за счёт интенсификации процессов фотосинтеза с помощью агролесомелиорации, лесовосстановления и др.). Протеканию естественных почвенных процессов содействуют поступления растительных остатков в почвы, повышение продукции фитомассы (в том числе древесной), интенсификации фотосинтеза и поглощения CO<sub>2</sub> из атмосферы. В этих процессах существенную роль играет агролесомелиорация.

В Индии экономическая и экологическая выгода систем агролесомелиорации (агролесоводства) при фермерском производстве определяется фиторемедиацией, повышением плодородия почв, смягчением негативных проявлений изменения климата, получением других экосистемных услуг [Pratap, Shalini, 2019].

В Африке агролесомелиорация обеспечивает активы и доходы от поглощения углерода из атмосферы, энергии древесины, повышения плодородия почвы и улучшения местных климатических условий; она предоставляет экосистемные услуги и снижает воздействие человека на естественные леса [Cheikh et al., 2014].

В США агролесомелиорация способствует решению пяти основных экологических проблем сельского хозяйства: поддержанию плодородия и текущего состояния почв, регулированию поверхностного стока и его качества, сохранению и расширению биоразнообразия, самообновлению и устойчивости экосистем, связыванию углерода [Elevitch et al., 2018].

В России основы агролесомелиоративной науки изложены в работах основоположников защитного лесоразведения [Докучаев, 1892; Высоцкий, 1915 и др.] и современных исследователей [Кулик и др., 2008; Проездов, Маштаков, 2013; Манаенков, 2016; Ерусалимский, Рожков, 2017; Ивонин, 2023].

По Федеральному закону [О мелиорации ..., 2020], агролесомелиорация земель (противоэрозийная, полезащитная, пастбищезащитная) направлена на регулирование водного, воздушного, теплового и питательного режимов почв на мелиорируемых землях посредством осуществления мероприятий по проектированию, созданию и содержанию мелиоративных защитных лесных насаждений (МЗЛН).

### **Объекты и методы исследования**

Объект исследований – регенеративная система, которая, обеспечивая достижение традиционных агролесомелиоративных целей (борьба с засухами, эрозией почв, регулирование биомезоклимата и плодородия почв, снегозадержание, повышенная продуктивность агроценозов или выпасаемых животных и другое), дополнительно обладает возможностями смягчать негативные последствия изменения климата, восстанавливать ранее деградированные сельскохозяйственные угодья и поверхностные водные объекты, а также – сохранять и обогащать биоразнообразие.

Основной метод исследований – визуальное построение и анализ модели регенеративной агролесомелиоративной системы. Этот метод ранее был нами опробован при изучении мелиоративного потенциала лесоаграрного ландшафта и построении визуальной модели систем лесных мелиораций природно-антропогенных ландшафтов [Ивонин, 2019; 2020].

При построении визуальной модели в виде радиальной диаграммы Венна, её основной круг символизировал традиционные цели агролесомелиорации земель, а периферийные круги – новые группы возможностей регенеративной агролесомелиорации. Свободные (не перекрывающиеся друг друга) части периферийных кругов иллюстрируют различия между группами регенеративных возможностей, а перекрывающиеся части – связи исследуемых групп с целями традиционной агролесомелиорации земель. Визуальные пе-

риферийные модели групп регенеративных возможностей представлены диаграммами: горизонтальной и многоуровневой иерархии, столбиковой диаграммы Венна.

### Результаты и их обсуждение

В условиях деградации сельскохозяйственных угодий (в связи с изменениями климата, развитием промышленным путём земледелия и животноводства) достижение традиционных целей агролесомелиорации земель оказалось недостаточным. Возникла дополнительная необходимость смягчения негативных последствий изменений климата, восстановления деградированных сельскохозяйственных угодий и водных объектов, сохранения и обогащения биоразнообразия.

Это определило цели регенеративной агролесомелиорации, объект которой представляет систему, визуальная модель которой соответствует радиальной диаграмме Венна (рис. 1).



Рис. 1. Визуальная модель системы регенеративной агролесомелиорации  
Fig. 1. Visual model of a regenerative agroforestry system

На рис. 1 показано перекрытие четырёх периферийных кругов (представляющих новые группы возможностей регенерации) центральным кругом, иллюстрирующим традиционные цели агролесомелиорации земель.

Периферийный круг 1 представляет возможности смягчения негативных последствий изменения климата, вызванных глобальным потеплением, связанным с концентрацией в атмосфере парниковых газов ( $\text{CO}_2$  и другие), которые задерживают в приземной атмосфере тепло, отраженное от поверхности Земли (рис. 2).

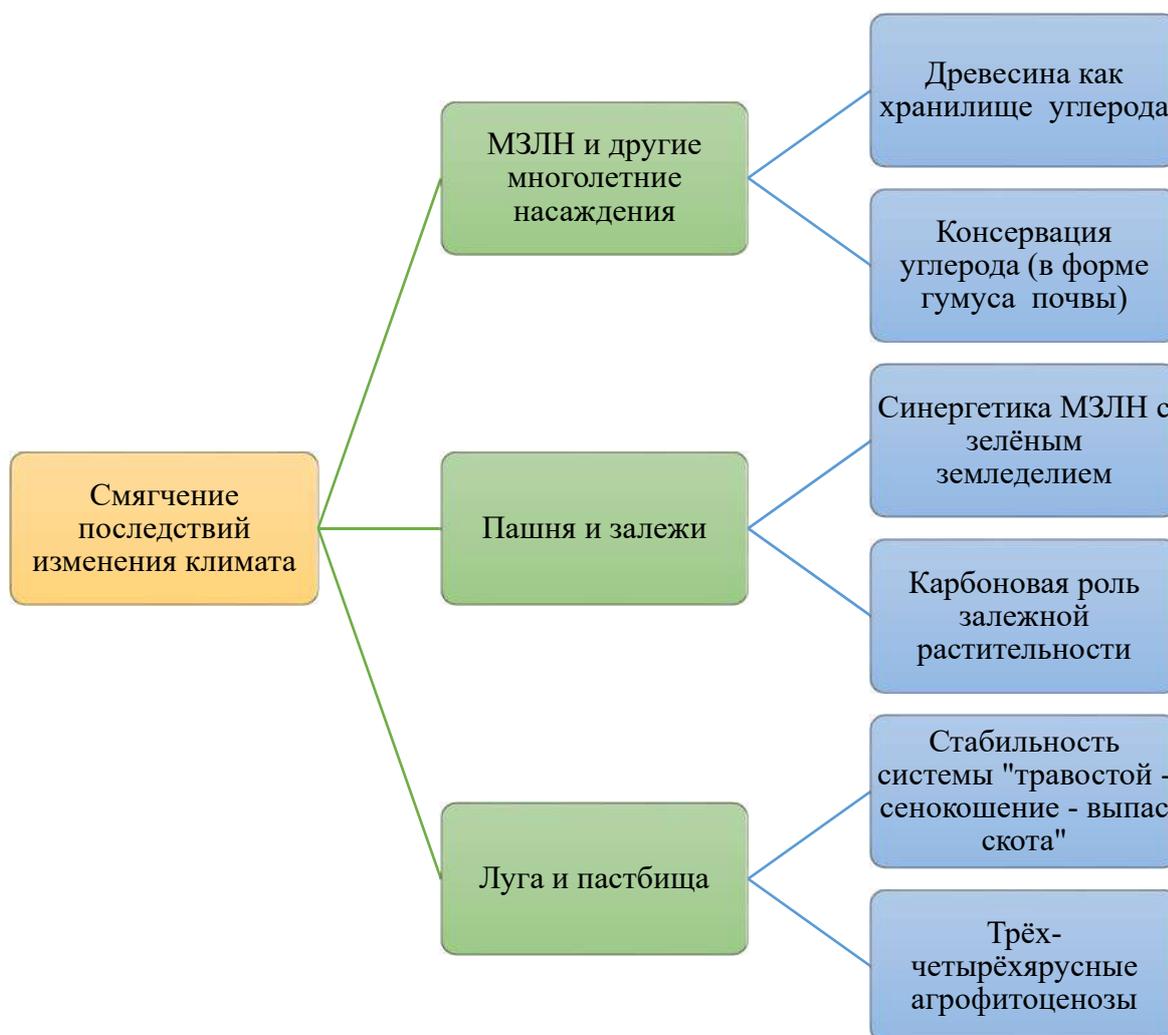


Рис. 2. Потенциал регенеративной агролесомелиоративной системы для смягчения негативных последствий изменений климата  
Fig. 2. The potential of a regenerative agroforestry system to mitigate the negative impacts of climate change

По данным рис. 2, древесина (изъятая из годового цикла биологического круговорота лесного типа) мелиоративных защитных лесных и других многолетних насаждений выступает долговременным хранилищем углерода. Кроме этого, в лесной подстилке и почве древесного полога, под влиянием беспозвоночных животных и микроорганизмов, активизируются процессы гумификации. При этом, развивается незамкнутый цикл углерода, с его консервацией в форме почвенного гумуса.

Сочетания мелиоративных защитных лесных насаждений с зелёным земледелием (нулевая обработка почвы, высокая насыщенность севооборотов многолетними травами,

промежуточные культуры, сидерация, мульчирование верхнего слоя почв, применение компостирования и др.) активизирует процессы секвестрации углерода.

Свой вклад в эти процессы вносят залежи (заброшенные участки пашни или кормовых угодий), которые со временем начинают функционировать как природные степные экосистемы, влияя на параметры углеродного цикла.

Так, эродированные почвы после вывода их из оборота за 5–10 лет становятся более ёмкими для устойчивого поступления CO<sub>2</sub> из атмосферы [Щепашенко и др., 2013].

Природные кормовые угодья усиливают свою карбоновую роль при стабильности системы «травостой – сенокосшение – выпас скота» с соблюдением периодичности сенокосшения, допустимой плотности скота на единице площади, сохранения растительных остатков на поверхности угодий [Калов, Гакаев, 2022].

Карбоновая роль кормовых угодий проявляется максимально при технологиях создания многокомпонентных трёх-четырёхъярусных агрофитоценозов, включающих пастбищный травостой, кормовые кустарники, пастбищезащитные лесные полосы, древесные зонты и затишки.

Восстановление деградированных сельскохозяйственных угодий (периферийный круг 2, см. рис. 1) происходит за счёт регенеративной способности систем агролесомелиорации не только на эродированной, истощённой или загрязнённой пашне, но и на выродившихся лугово-пастбищных угодьях, утративших устойчивость и продуктивность, а также на подвижных песках и других «бросовых» землях (рис. 3).

Восстановительные способности усиливаются при синергии МЗЛН с разнообразными биокосными элементами – защитными покровами на склонах и откосах из деревянных решёток (заполненных почвогрунтом и природным камнем) или геотекстиля из солом, стеблей кукурузы и других местных материалов, простейшими гидротехническими сооружениями, технологиями зелёного или карбонового земледелия, а также – приёмами биоремедиации и культуртехнической подготовки земель [Ивонин, 2023]. Таким образом формируются системы регенеративной агролесомелиорации.

Способности таких систем проявляются в восстановлении деградированных почв на пашне (эродированных, загрязнённых и др.), которое происходит как под пологом лесных полос, так и на прилегающих к ним участках полевых угодий. Под лесным пологом глубина и охват почвенного профиля корневыми системами, формирование лесной подстилки, аккумуляция биогенных элементов, уменьшение глубины промерзания приводят к тёмной окраске почв, возрастанию мощности иллювиальных и гумусовых горизонтов, улучшению биологических (численность микрофлоры, напряжённость биологических процессов), химических (гумус, NPK), физических (плотность, пористость и другое) свойств.

На прилегающих к лесным полосам участках полей процессы восстановления активизируются в зонах ветровых теней (за счёт отложения мелкозёма при дефляции и водной эрозии), а также – накопления снега и положительной динамики водного, теплового и воздушного режимов почв.

Закрайки полезащитных лесных полос, по ширине равные междурядью или его половине, обычно заняты залежной растительностью, в том числе сорными растениями. Поэтому целесообразно создание покрова бобово-злаковых травосмесей на площадях закраек полезащитных, прибалочных и приовражных лесных полос. Посев семян травосмесей проводят по подготовленной почве (обычная агротехника), с дальнейшим периодическим подкашиванием травостоя и оставлением его на месте в качестве мульчи. По верховым опушкам стокорегулирующих лесных полос проводят аналогичные работы, при этом низовые опушки занимают простейшие земляные гидротехнические сооружения (валы или валы-канавы).

Создание постоянного травяного покрова на закрайках возможно методом агростепей – восстановление многовидовых самовоспроизводящихся травянистых фитоценозов

(с использованием целинных семенников), сходных по основным признакам с природными формациями зональных степей [Дзыбов, 2012].

На размытых участках сельскохозяйственных угодий, при необходимости, предусматривают выравнивание рельефа (засыпка водороев или выполаживание оврагов), с последующим травосеянием или облесением.



Рис. 3. Восстановление деградированных сельскохозяйственных земель  
Fig. 3. Restoration of degraded agricultural land

Хозяйственное использование оврагов практикуют выращиванием высокопродуктивных лесных насаждений без существенного нарушения овражных бортов, путём их отсыпки гумусовым слоем почвы, срезанным с прибрежной полосы или выполаживанием и оставлением в ненарушенном состоянии участков противоположных бортов оврага при их шахматном чередовании (с последующим облесением выположенных участков и оставлением для самозаращения ненарушенных участков) и др.

Зелёное (карбоновое) земледелие сочетают с мелиоративными защитными лесными насаждениями, способствующими повышению эффективности сельскохозяйственных технологий и образованию экологических ниш для животных, птиц и насекомых.

Создание сеяных сенокосов лучше проводить (по известным технологиям) с дополнительной посадкой двухрядных полос бобовых кустарников (расстояние между полосами 10–20 м в зависимости от крутизны склонов), что способствует получению на межполосных пространствах наибольшего выхода кормовой массы с единицы площади, особенно на склонах балок и речных долин.

Пастбищный травостой опустыненных угодий дополняют кормовыми кустарниковыми кулисами, пастбищезащитными лесными полосами, затишками и древесными зонами. Так формируются лесопастбища.

Преимущество лесопастбищ определяется повышением фитопродуктивности и формированием устойчивых популяций и фитоценозов, с продлением их продуктивного долголетия.

Создание систем основных и вспомогательных пастбищезащитных лесных полос способствует формированию биомикроклимата, комфортного для животных и кормовых растений, созданию необходимых условий для проведения работ по поверхностному или коренному улучшению этих угодий, организации пастбищеоборотов [Рыбашлыкова и др., 2021].

На фоне лесных насаждений эффективны ресурсосберегающие технологии реформирования краткосрочных пастбищных агрофитоценозов в долголетние, а также – самовозобновления пастбищ и сенокосов.

По Методическим рекомендациям [2018], для закрепления подвижных песков и очагов дефляции на пастбищных угодьях создают ряды или кулисы регенеративно-кормовых насаждений из кустарников и полукустарников, или насаждения редкостойно-куртинного типа. Пространства между такими насаждениями занимает природная или созданная кормовая травянистая и/или полукустарничковая растительность.

Заращение залежей определяется доминированием видов, появление которых зависит от состава лесных насаждений, лугов и пастбищ, расположенных вблизи заброшенных земель. При этом определяются основные направления восстановительных постаграрных сукцессий – сосновые, берёзовые, тополёвые, луговые, смешанные и другие варианты зарастания [Дмитриев, Леднев, 2016; Атутова, Екимовская, 2019; Белоусова, Брыжко, 2021].

Сочетание лесных куртин и травянистых ценозов начинает выполнять регенеративные функции, когда корневые системы постепенно охватывают деградированный почвенный профиль с формированием лесной подстилки или степного войлока, при активизации других почвообразовательных процессов, способствующих зарождению молодого гумусоподобного вещества. Эти регенеративные явления можно усиливать полосным проведением культуртехнических работ с обработкой почвы (по No-till технологии), внесением удобрений и посевом многолетних трав.

Известны экологически безопасные способы санации чернозёмов, загрязнённых тяжёлыми металлами – их вынос из почвы с помощью культур-фитомелиорантов; внесение в почву карбонатного сапропеля или других мелиорантов с повышенной сорбционной способностью [Кирейчева и др., 2008].

В учебнике Лесомелиорация ландшафтов [Ивонин, 2018] утверждается, что защитные лесные насаждения из радиоустойчивых мелколиственных пород в течение многих лет способствуют очищению сельскохозяйственных угодий, загрязнённых радионуклида-

ми: они локализируются в МЗЛН при дефляции и пылении при обработках; радионуклиды закрепляются в почве, частично поглощаются корневыми системами и попадают в древесные растения, в дополнение к аэрозольному (первичному) загрязнению листьев (хвой) и ветвей. Поэтому наиболее радиочувствительные породы (особенно хвойные) выпадают из состава насаждений. Поэтому МЗЛН, в составе которых преобладают радиоустойчивые мелколиственные породы, играют роль геохимических барьеров.

Деградация поверхностных водных объектов на сельскохозяйственных землях (водотоки и водоемы) обычно активизируется при активизации на сопряжённых водосборах процессов эрозии и/или дефляции, при интенсивной хозяйственной деятельности и климатических изменениях. Реабилитация таких объектов (периферийный круг 3, см. рис. 1) происходит за счёт уменьшения количества наносов, поступающих с водосбора, с восстановлением качества воды.

Систему агролесомелиоративной реабилитации деградированного водосбора водотока или водоёма представим в виде столбиковой диаграммы Венна (рис. 4).

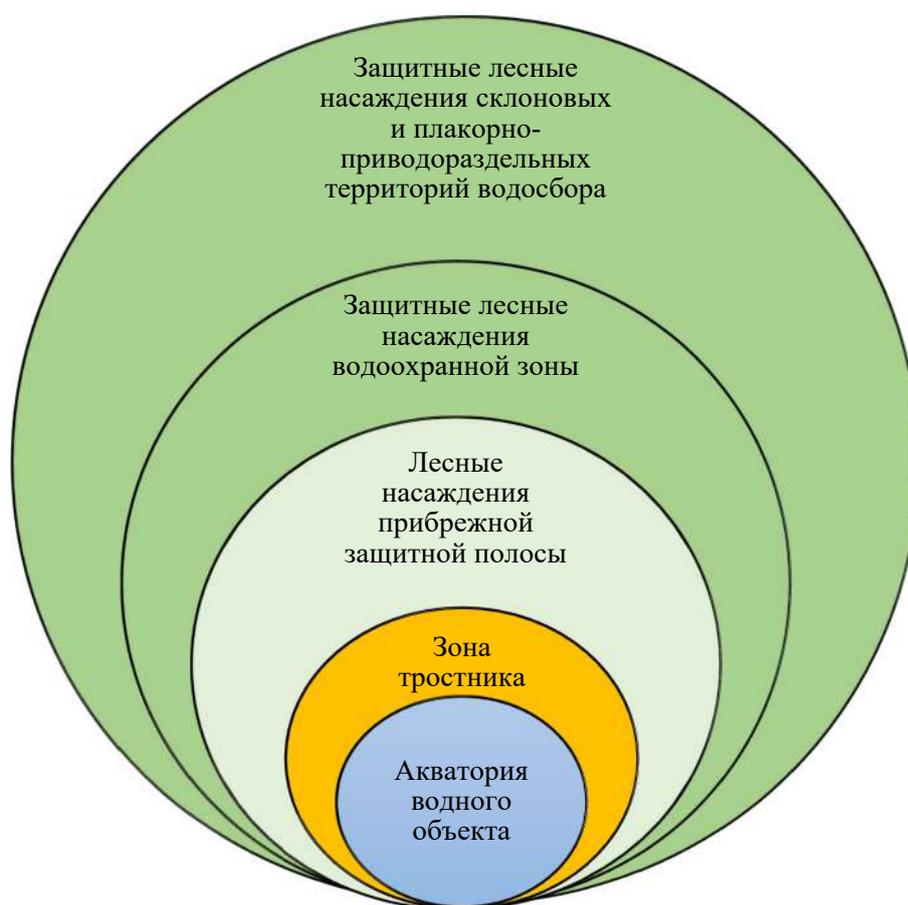


Рис. 4. Система агролесомелиоративной реабилитации деградированного водосбора водного объекта

Fig. 4. System for agroforestry rehabilitation of a degraded catchment area of a water body

В основе рис. 4 лежит акватория поверхностного водного объекта (несельскохозяйственное угодье) как водное пространство, ограниченное естественными или искусственными границами.

Акваторию обычно окружает природная или созданная тростниковая зона (в зоне периодического затопления берегов), где растут различные виды болотной растительности (преимущественно тростник), заросли которых защищают берега от разрушения, участвуют в процессах очистки воды и формируют ниши для диких птиц и животных.

Прибрежная защитная полоса разграничивает несельскохозяйственное угодье водного объекта от преимущественно сельскохозяйственных угодий водосбора. Лесные (водоохранные) насаждения прибрежной полосы препятствуют попаданию в водный объект загрязняющих веществ, защищают берега от эрозии и абразии, содействуют улучшению санитарного состояния прибрежной полосы и самоочищению воды, формируют ниши для фауны, способствуют рекреации. Эти лесные насаждения обычно состоят из древесных лент (берегоукрепительных и санитарных), объединённых участками луговины (природные или улучшенные ценозы многолетних трав).

Защитные лесные насаждения водоохранной зоны, кроме прибрежных (водоохранных) лесных полос, могут включать участки байрачных и пойменных лесов, полезащитные лесные полосы и другие насаждения поймы, надпойменных террас, долинных склонов и балок, включённых в водоохранную зону.

Защитные лесные насаждения склоновых и плакорно-приводораздельных территорий водосбора могут включать полезащитные, стокорегулирующие, прибалочные и другие лесные полосы, водораздельные леса и др.

Таким образом, состояние водных объектов можно улучшать созданием на их водосборных площадях систем МЗЛН, занимающих водоохранные зоны, склоновые и плакорно-приводораздельные территории. Системы таких насаждений, предупреждая эрозию почв, способствуют уменьшению количества наносов, поступающих в водные объекты, и восстановлению качества воды.

Биоразнообразии (видовое и экосистемное) в составе регенеративной системы (периферийный круг 4, см. рис. 1) сохраняется МЗЛН и охраняемыми природными территориями (рис. 5).



Рис. 5. Возможности регенеративной агролесомелиоративной системы по сохранению и обогащению биоразнообразия

Fig. 5. Capabilities of a regenerative agroforestry system to preserve and enrich biodiversity



Регенеративное разнообразие МЗЛН обеспечивают: типы лесных насаждений (лесные массивы, колки, овражно-балочные насаждения, мелиоративные лесные полосы и другие), их многофункциональность (мелиорация земель, охрана почв и вод, кормовая продуктивность и другое), сложная мозаично-ярусная структура (надземная и подземная ярусность, синузии и жизненные формы растений, возрастные парцеллы, микрогруппировки, валёж и сухостой), разнообразный состав насаждений (долевое участие по запасу разных пород). Это способствует сохранению различных видов и сообществ.

Кроме этого, в пределах зон влияния мелиоративных лесных насаждений на сельскохозяйственные угодья возникает мозаичность микроэкотопов (за счёт особенностей микроклимата и освещённости, пестроты плодородия почв), что способствует в известной степени процессам расселения видов.

Обогащению среды обитания фауны в пределах регенеративной агролесомелиоративной системы способствуют: облесение залежей и других территорий, не используемых в аграрном производстве.

Охраняемые природные территории (ОПТ) пополняют такое разнообразие агролесомелиоративной системы. К ОПТ относят: водоохранные зоны и прибрежные защитные полосы; защитные леса и особо защитные участки лесов; особо ценные сельскохозяйственные земли, природные пастбища, заповедные участки – лесные, луговые, орнитологические, энтомологические и иные.

Эти ОПТ связаны друг с другом экологическими коридорами, обеспечивающими естественное регулирование численности и видового состава растений и животных. В качестве экологических коридоров чаще всего выступают: русла рек, их поймы и долины, водораздельные леса; мелиоративные защитные лесные насаждения.

Охраняемые природные территории способствуют сохранению и восстановлению естественных популяций видов и сообществ, *in-situ* (в природных местообитаниях). Это помогает поддерживать структуры ценотических связей, природные процессы эволюции и адаптации в среде регенеративной агролесомелиоративной системы, поддерживающей природоподобное сельскохозяйственное пользование.

Расселение (дисперсия) естественных популяций за пределы ОПТ приводит к занятию микроэкотопов восстановленных угодий. Каждый вид обладает своим темпом дисперсии, но направления расселений особей могут быть различными. Расселение усиливает связи между популяциями регенеративной системы.

### **Заключение**

Регенеративная агролесомелиорация – это новое направление развития агролесомелиоративной науки, которое в условиях опустынивания территорий разрабатывает теоретические основы создания регенеративных агролесомелиоративных систем, основными элементами которых выступают мелиоративные защитные лесные насаждения, дополненные биокосными устройствами и простейшими гидротехническими сооружениями, приёмами биоремедиации и культуртехнической подготовки земель на фоне зелёного или карбонового земледелия.

Визуальную модель такой системы представляет радиальная диаграмма Венна, центральный круг которой символизирует цели традиционной агролесомелиорации земель (противостояние засухам и засухам, эрозийным и дефляционным процессам, формирование биомезоклимата, снегозадержание и снегораспределение, повышение плодородия почв и продуктивности агроценозов), а периферийные круги – новые возможности регенеративной агролесомелиорации (смягчение негативных последствий изменений климата, восстановление деградированных сельскохозяйственных угодий и поверхностных водных объектов, сохранение и обогащение биоразнообразия).

Негативные последствия изменения климата смягчаются в результате улавливания атмосферного углерода и его хранения в форме гумуса почвы и древесины мелиоративных лесных насаждений, с участием в этих процессах «зелёного» (карбонового) земледелия, залежной древесно-травянистой растительности, мелиорированных кормовых угодий.

Деградированные сельскохозяйственные угодья (эродированная или загрязнённая пашня, выродившиеся луга и пастбища, подвижные пески, залежи и другие «бросовые» земли) восстанавливаются за счёт регенеративных способностей систем агролесомелиорации.

На пахотных угодьях восстановительные процессы активны под пологом лесных полос, в зонах постоянного травяного покрова закраек и на прилегающих к ним защищённых участках межполосных полей. Восстановительные процессы на межполосных полях усиливаются при сочетании мелиоративных защитных лесных полос с зелёным (карбоновым) земледелием (No-till технологии обработки почвы, высокая насыщенность севооборотов многолетними травами, промежуточные культуры, сидерация, мульчирование верхнего слоя почв, применение компостирования и др.). На полях, расчленённых водороинами и оврагами, предусматривают их засыпку или выполаживание с последующим посевом многолетних трав или облесением.

На лесопастбищах восстановительные процессы осуществляются при создании многокомпонентных трёх-четырёхъярусных агрофитоценозов (пастбищный травостой, кулисы кормовых кустарников, пастбищезащитные лесные полосы, древесные зонты и затишки). На подвижных песках и очагах дефляции рекомендуют кустарниковые и полукустарниковые регенеративно-кормовые кулисы.

Заращение залежей определяется доминированием видов, появление которых зависит от состава лесных насаждений, лугов и пастбищ, расположенных вблизи заброшенных земель. Лесные насаждения из радиоустойчивых мелколиственных пород за многолетний период способствуют очищению сельскохозяйственных угодий, загрязнённых радионуклидами.

На сельскохозяйственных землях поверхностные водные объекты улучшают путём создания реабилитационных систем лесных насаждений на водосборных площадях. Такие системы уменьшают количества наносов, поступающих с водосборов в водные объекты, и способствуют восстановлению качества воды.

Разнообразие типов лесных насаждений, их многофункциональность, сложная мозаично-ярусная структура и разнообразный состав МЗЛН обеспечивают мозаичность микроэкотопов, а значит, и представительство фауны.

Охраняемые природные территории (водоохранные зоны и другие ОПТ), связанные экологическими коридорами (мелиоративные защитные лесные полосы и другие), сохраняют и восстанавливают естественные популяции сообществ и видов, *in-situ*, что поддерживает структуры ценологических связей, природные процессы эволюции и адаптации к среде регенеративных агролесомелиоративных систем, способствующих природоподобию сельскохозяйственного пользования. Расселение (дисперсия) естественных популяций за пределы ОПТ происходит с помощью микроэкотопов восстановленных угодий.

Таким образом, новое направление агролесомелиоративной науки поддерживается логико-теоретическими представлениями о регенеративных агролесомелиоративных системах. Практическая реализация этих представлений целесообразна в условиях деградации сельскохозяйственных угодий, особенно в степной зоне.

### Список источников

- Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации в 2020 году. 2022. М., ФГБНУ «Росинформагротех», 384 с.
- Ивонин В.М. 2018. Лесомелиорация ландшафтов. Лесные насаждения для улучшения функционирования, сохранения и рекультивации природно-антропогенных ландшафтов. Новочеркасск, Лик, 206 с.



- Методические рекомендации по фитомелиоративной реконструкции деградированных и опустыненных пастбищ Российской Федерации инновационными экологически безопасными ресурсосберегающими технологиями. 2021. Под ред. А.И. Беляева, К.Н. Кулика, А.С. Манаенкова. Волгоград, ФНЦ агроэкологии РАН, 68 с.
- О мелиорации земель: Федеральный закон № 4-ФЗ от 10.01.1996 (с изменениями на 08.12.2020). Электронный ресурс. URL: <http://docs.cntd.ru/document/9015302> (дата обращения: 1.03.2023).
- Резолюция Генеральной Ассамблеи ООН. A/RES/73/284 от 1. 03. 2019 г. 8 с. URL: <http://aonb.astranet.ru/file/A/RES/73/284/r.pdf> (дата обращения: 11.05.2023).

### Список литературы

- Атутова Ж.В., Екимовская О.А. 2019. Основные тенденции восстановительной динамики аграрно трансформированных геосистем Тункинской котловины. Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле, 27: 16–31. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2019.27.16>
- Ахметшина Л.Г. 2022. Возможности российского сельского хозяйства в снижении выбросов парниковых газов и адаптации к климатическим изменениям. Вестник Алтайской академии экономики и права, 4-1: 5–14. <https://doi.org/10.17513/vaael.2129>
- Белюсова А.П., Брыжко И.В. 2021. Анализ зарастания сельскохозяйственных угодий на территории Пермского края по спутниковым снимкам Landsat ИнтерКарто. ИнтерГИС, 27(4): 150–161. <https://doi.org/10.35595/2414-9179-2021-4-27-150-161>
- Высоцкий Г.Н. 1915. Ергеня: Культурно-фитологический очерк. Труды Бюро по прикладной ботанике, 8(10–11): 1113–1443.
- Дзыбов Д.С. 2012. Повышение биологического разнообразия агроландшафтов в степной и лесостепной зонах методом агростепей. Земледелие, 3: 11–13.
- Дмитриев А.В., Леднев А.В. 2016. Влияние периода зарастания на ботанический состав и продуктивность залежных земель. Вестник Бурятской Государственной Сельскохозяйственной Академии им. В.Р. Филиппова, 2(43): 7–12.
- Докучаев В.В. 1892. Наши степи прежде и теперь. Правительственный вестник, 27: 39–41.
- Ерусалимский В.И., Рожков В.А. 2017. Многофункциональная роль защитных лесных насаждений. Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева, 88: 121–137. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2017-88-121-137>
- Ивонин В.М. 2019. Анализ мелиоративного потенциала лесоаграрного ландшафта. Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации, 2(34): 51–67. <https://doi.org/10.31774/2222-1816-2019-2-51-67>
- Ивонин В.М. 2020. Визуальная модель системы лесных мелиораций природно-антропогенных ландшафтов. Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации, 3(39): 68–82. <https://doi.org/10.31774/2222-1816-2020-3-68-82>
- Ивонин В.М. 2023. Синергетика систем агролесомелиорации. Региональные геосистемы, 47(1): 62–75. <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2023-47-1-62-75>
- Калов Р.О., Гакаев Р.А. 2022. Место природных травяных экосистем в глобальном углеродном балансе. Проблемы региональной экологии, 6: 50–54. <https://doi.org/10.24412/1728-323X-2022-6-50-54>
- Кирейчева Л.В., Яшин В.М., Ильинский А.В. 2008. Санация и восстановление плодородия техногенно загрязненных почв. Агротехнический вестник, 5: 8–10.
- Кулик К.Н., Павловский Е.С., Свинцов И.П. 2008. Агролесомелиорация в России: история и стратегия развития. Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук, 4: 28–30.
- Манаенков А.С. 2016. Развитие основ степного и защитного лесоразведения: теоретические, прикладные аспекты и задачи в современных условиях. Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование, 2(30): 5–23. <https://doi.org/10.15350/2306-2827.2016.2.5>
- Проездов П.Н., Маштаков Д.А. 2013. Лесомелиорация в первой четверти XXI века: исторические вехи, концепция, теория, эксперимент, практика, стратегия развития. Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова, 8: 24–28.
- Рыбашлыкочка Л.П., Сивцева С.Н., Маховикова Т.Ф. 2021. Роль защитных лесных насаждений разных типов в кормовой продуктивности пастбищных угодий Западного Прикаспия.

- Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство, 16(4): 389–399. <https://doi.org/10.22363/2312-797X-2021-16-4-389-399>
- Столбовой В.С. 2020. Регенеративное земледелие и смягчение изменений климата. Достижения науки и техники АПК, 34(7): 19–26. <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-10703>
- Щепашенко Д.Г., Мухортова Л.В., Швиденко А.З., Ведрова Э.Ф. 2013. Запасы органического углерода в почвах России. Почвоведение, 2: 123–132. <https://doi.org/10.7868/S0032180X13020123>
- Hamdy A., Aly A. 2014. Land Degradation, Agriculture Productivity and Food Security. Conference: V International Scientific Agricultural Symposium "Agrosym 2014". In: Fifth International Scientific Agricultural Symposium "Agrosym 2014". Proceedings of the Fifth International Scientific Agricultural Symposium, 23–26 October 2014. Bosnia-Herzegovina, University of East Sarajevo, Faculty of Agriculture: 708–717.
- Elevitch C.R., Mazaroli D.N., Ragone D. 2018. Agroforestry Standards for Regenerative Agriculture. Sustainability, 10(9): 3337. <https://doi.org/10.3390/su10093337>
- Mbow Ch., Smith P., Skole D., Duguma L., Bustamante M. 2014. Achieving Mitigation and Adaptation to Climate Change Through Sustainable Agroforestry Practices in Africa. Current Opinion in Environmental Sustainability, 6(1): 8–14. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2013.09.002>
- Rohr J.R., Bernhardt E.S., Cadotte M.W., Clements W.H. 2018. The Ecology and Economics of Restoration: When, What, Where, and How to Restore Ecosystems. Ecology and Society, 23(2): 16. <https://doi.org/10.5751/ES-09876-230215>
- Pratap T., Shalini T. 2019. Tree Crop Interaction in Agroforestry System: A Review. International Journal of Chemical Studies, 7(1): 2359–2361.

## References

- Atutova Zh.V., Ekimovskaya O.A. 2019. The Main Trends of Restorative Dynamics of Agrarian-Transformed Geosystems of the Tunkinskaya Depression. The Bulletin of Irkutsk State University». Series «Earth Sciences», 27: 16–31 (in Russian). <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2019.27.16>
- Akhmetshina L.G. 2022. Opportunities for Russian Agriculture to Reduce Greenhouse Gas Emissions and Adapt to Climatic Changes. Vestnik Altayskoy akademii ekonomiki i prava, 4-1: 5–14 (in Russian). <https://doi.org/10.17513/vaael.2129>
- Belousova A.P., Bryzhko I.V. 2021. Analysis of Overgrowing of Agricultural Lands on the Perm Region Based on Landsat Satellite Images. InterCarto. InterGIS, 27(4): 150–161 (in Russian). <https://doi.org/10.35595/2414-9179-2021-4-27-150-161>
- Vysotsky G.N. 1915. Ergenya: Kulturno-fitologicheskii ocherk [Ergeni: Cultural and Phytological Essay]. Trudy Byuro po prikladnoy botanike, 8(10–11): 1113–1443.
- Dzybov D.S. 2012. Widening of Biodiversity of Agrolandscapes in Steppe and Forest-Steppe Zones with Agrosteppe Approach. Zemledelie, 3: 11–13 (in Russian).
- Dmitriev A.V., Lednev A.V. 2016. Influence of the Overgrowing Period on the Botanical Composition and Productivity of Abandoned Lands. Vestnik of Buryat State Academy of Agriculture named after V. Philippov, 2(43): 7–12 (in Russian).
- Dokuchaev V.V. 1892. Nashi stepi prezhde i teper [Our Steppes Before and Now]. Pravitelstvennyy vestnik, 27: 39–41.
- Erusalimskii V.I., Rozhkov V.A. 2017. The Multifunctional Role of Protective Forest Plantations. Dokuchaev Soil Bulletin, 88: 121–137 (in Russian). <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2017-88-121-137>
- Ivonin V.M. 2019. Forest Landscape Reclamation Potential Analysis. Scientific Journal of the Russian Research Institute of Problems of Melioration, 2(34): 51–67 (in Russian). <https://doi.org/10.31774/2222-1816-2019-2-51-67>
- Ivonin V.M. 2020. Visual Model of Forest Reclamation System of Natural Anthropogenic Landscapes. Scientific Journal of the Russian Research Institute of Land Reclamation Problems, 3(39): 68–82 (in Russian). <https://doi.org/10.31774/2222-1816-2020-3-68-82>
- Ivonin V.M. 2023. Synergetics of Agroforestry Systems. Regional Geosystems, 47(1): 62–75 (in Russian). <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2023-47-1-62-75>
- Kalov R.O., Gakaev R.A. 2022. The Place of Natural Grass Ecosystems in the Global Carbon Balance. Regional Environmental Issues, 6: 50–54 (in Russian). <https://doi.org/10.24412/1728-323X-2022-6-50-54>



- Kireycheva L.V., Yashin V.M., Ilinskiy A.V. 2008. Sanatsiya i vosstanovleniye plodorodiya tekhnogenno zagryaznennykh pochv [Sanitation and Restoration of the Fertility of Technogenically Polluted Soils]. *Agrokhimicheskiy vestnik*, 5: 8–10.
- Kulik K.N., Pavlovsky E.S., Svintsov I.P. 2008. Sylvicultural Reclamation in Russia: History and Strategy of Development. *Vestnik of the Russian Agricultural Sciences*, 4: 28–30 (in Russian).
- Manaenkov A.S. 2016. The Formation of Steppe And Protective Afforestation: Theoretical and Applied Aspects in the Contemporary Context. *Vestnik of Volga State University of Technology Series «Forest. Ecology. Nature Management»*, 2(30): 5–23 (in Russian). <https://doi.org/10.15350/2306-2827.2016.2.5>
- Proezdov P.N., Mashtakov D.A. 2013. Gro-Forestry in the First Quarter of the 21-th Century: Historical Milestones, Concept, Theory, Experiment, Practice, Strategy Development. *Vestnik Saratovskogo gosagrouniversiteta im. N.I. Vavilova*, 8: 24–28 (in Russian).
- Rybashlykova L.P., Sivtseva S.N., Makhovikova T.F. 2021. Role of Different Types of Protective Forest Stands in Fodder Productivity of Rangeland in the Western Caspian Region. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*, 16(4): 389–399 (in Russian). <https://doi.org/10.22363/2312-797X-2021-16-4-389-399>
- Stolbovoy V.S. 2020. Regenerative Agriculture and Climate Change Mitigation. *Achievements of Science and Technology of AIC*, 34(7): 19–26 (in Russian). <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-10703>
- Schepashchenko D.G., Mukhortova L.V., Shvidenko A.Z., Vedrova E.F. 2013. The Pool of Organic Carbon in the Soils of Russia. *Eurasian Soil Science*, 46(2): 107–116 (in Russian). <https://doi.org/10.1134/S1064229313020129>
- Hamdy A., Aly A. 2014. Land Degradation, Agriculture Productivity and Food Security. Conference: V International Scientific Agricultural Symposium "Agrosym 2014". In: Fifth International Scientific Agricultural Symposium "Agrosym 2014". Proceedings of the Fifth International Scientific Agricultural Symposium, 23–26 October 2014. Bosnia-Herzegovina, University of East Sarajevo, Faculty of Agriculture: 708–717.
- Elevitch C.R., Mazaroli D.N., Ragone D. 2018. Agroforestry Standards for Regenerative Agriculture. *Sustainability*, 10(9): 3337. <https://doi.org/10.3390/su10093337>
- Mbow Ch., Smith P., Skole D., Duguma L., Bustamante M. 2014. Achieving Mitigation and Adaptation to Climate Change Through Sustainable Agroforestry Practices in Africa. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 6(1): 8–14. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2013.09.002>
- Rohr J.R., Bernhardt E.S., Cadotte M.W., Clements W.H. 2018. The Ecology and Economics of Restoration: When, What, Where, and How to Restore Ecosystems. *Ecology and Society*, 23(2): 16. <https://doi.org/10.5751/ES-09876-230215>
- Pratap T., Shalini T. 2019. Tree Crop Interaction in Agroforestry System: A Review. *International Journal of Chemical Studies*, 7(1): 2359–2361.

*Поступила в редакцию 30.05.2023;  
поступила после рецензирования 21.08.2023;  
принята к публикации 29.10.2023*

*Received May 30, 2023;  
Revised August 21, 2023;  
Accepted October 29, 2023*

**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

**Ивонин Владимир Михайлович**, Заслуженный деятель Науки РФ, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесоводства и лесных мелиораций, Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт – филиал Донского государственного аграрного университета, г. Новочеркасск, Россия

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

**Vladimir M. Ivonin**, Science of the Russian Federation, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Forestry and Forest Reclamation of the Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute - branch of the Don State Agrarian University, Novocherkassk, Russia



УДК 911.2

DOI 10.52575/2712-7443-2024-48-1-45-54

## Особенности строения бассейнов и гидрологического режима рек Северо-Черноморского сектора

Нагалеvский Э.Ю., Голубятникова Е.В.

Кубанский государственный университет  
Россия, 350040, г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149  
E-mail: kat.ko97@yandex.ru

**Аннотация.** В статье рассмотрены морфометрические и гидрологические характеристики бассейнов рек Анапского района Краснодарского края, которые относятся к Северо-Черноморскому гидрологическому сектору. Выполнено описание физико-географических условий протекания рассматриваемых рек. Собраны подробные статистические данные морфометрических (например, длина и ширина бассейна, площадь водосбора, степень извилистости и разработанности русла, коэффициент густоты речной сети) и гидрологических показателей (расход воды, водный, ледовый и уровневый режимы, скорость течения, глубина). Систематизированы данные об антропогенной нагрузке на бассейны и выявлена степень их загрязнения. Предложены меры для улучшения качества водных ресурсов Анапского района.

**Ключевые слова:** Северо-Черноморский гидрологический сектор, гидрографическая сеть, речная сеть, бассейн реки, гидрологический режим, уровневый режим, ледовые явления, расход воды

**Для цитирования:** Нагалеvский Э.Ю., Голубятникова Е.В. 2024. Особенности строения бассейнов и гидрологического режима рек Северо-Черноморского сектора. Региональные геосистемы, 48(1): 45–54. DOI: 10.52575/2712-7443-2024-48-1-45-54

## The Basin Structure and Hydrological Regime of the North Black Sea Sector's Rivers

Eduard Yu. Nagalevsky, Ekaterina V. Golubyatnikova

Kuban State University,  
149 Stavropol St., Krasnodar 350040, Russia  
E-mail: kat.ko97@yandex.ru

**Abstract.** The article considers the morphometric and hydrological characteristics of the river basins of the Anapa district of the Krasnodar Territory, which belong to the North Black Sea hydrological sector. The description of the physical and geographical conditions of the flow of the rivers under consideration is carried out. Special attention is paid to the nature of the relief and the characteristics of soils, which have a direct impact on the studied parameters of river systems. Detailed statistical data of morphometric (for example, the length and width of the basin, the catchment area, the degree of meandering and development of the channel, the density coefficient of the river network) and hydrological (water flow, water, ice and level regimes, flow velocity, depth, and others) indicators are collected. The data on anthropogenic load on the basins are systematized, the characteristics of the volume of groundwater withdrawal from river basins are given and the degree of their pollution is revealed. The main chemical indicators exceeding the background values for the rivers of the studied territory are presented. Measures are proposed to improve the quality of water resources of the Anapa district.

**Keywords:** North-Black Sea hydrological sector, hydrographic network, river network, river basin, hydrological regime, level regime, ice phenomena, water flow



**For citation:** Nagalevsky E.Y., Golubyatnikova E.V. 2024. The Basin Structure and Hydrological Regime of the North Black Sea Sector's Rivers. *Regional Geosystems*, 48(1): 45–54 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2024-48-1-45-54

## Введение

Черноморское побережье Кавказа – это географический и исторический регион, представляющий собой причерноморскую полосу Краснодарского края, Абхазии и Грузии. Оно простирается на 725 км, из которых 410 км побережья принадлежит России в границах Краснодарского края [Геращенко, 2017].

Реки, протекающие по данной территории, относятся к трем гидрологическим секторам: Северо-Черноморскому, Южно-Черноморскому и Аджарскому [Панов и др., 2012]. В данной работе рассмотрены речные системы Северо-Черноморского сектора, расположенные в границах Анапского района Краснодарского края. Они обладают общими чертами физико-географического строения территорий бассейнов, условиями протекания рек и относятся к одному типу водного режима. Расположение бассейнов в развитой туристско-рекреационной зоне Черноморского побережья является фактором, зачастую негативно влияющим на экологическое состояние рек. Поэтому, целью данной работы является систематизация сведений о морфометрических и гидрологических показателях бассейнов рек Северо-Черноморского гидрологического сектора в границах Анапского района и выявление уровня антропогенного влияния на них. Это позволит судить о степени устойчивости природно-территориальных и природно-аквальных комплексов, а также поможет в разработке мер по улучшению экологического состояния и сохранению биоразнообразия территории.

Изучением территории Северо-Западного Кавказа, а в частности Краснодарского Причерноморья, в разное время занималось большое количество ученых, физико- и экономико-географов (например, Гвоздецкий Н.А., Докучаев В.В., Зенкевич В.П., Герасимов И.П., Живаго А.В. и др.) [Геращенко, 2019]. Работа выполнена в соответствии с накопленным ранее материалом, который был систематизирован и проанализирован.

## Объекты и методы исследования

Для проведения сбора, анализа, систематизации данных и их структурирования, установления пространственных различий в изучаемых объектах, в работе применяются описательный и сравнительно-географический методы исследования.

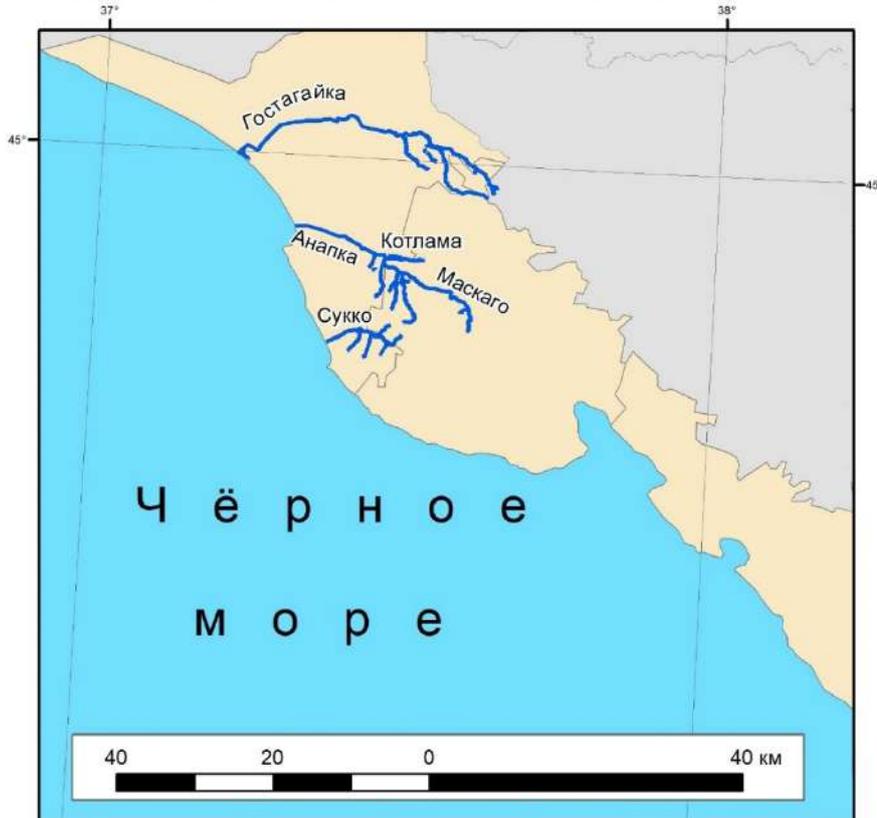
Анапский район (с 2004 года входит в муниципальное образование город-курорт Анапа с прежним статусом) – административно-территориальная единица в западной части Краснодарского края. Является популярным климатическим и бальнеологическим курортом Краснодарского Причерноморья, что подтверждается количеством ежегодно приезжающих сюда туристов (более 4 млн человек за 2022 год и более 3,5 млн за летний период 2023 года) [Volkova et al., 2023].

Территория Анапского района целиком входит в водохозяйственный участок 06.03.00.001 (Кубанский бассейновый округ, реки бассейна Черного моря от мыса Панатия до восточной границы р. Джанхот). Западная часть территории участка (город-курорт Анапа) включает Благовещенскую гряду, Старокубанские плавни и западные отроги Главного Кавказского хребта. Рельеф изменяется от низменно-равнинного на северо-западе до горного на юго-востоке. В геоморфологическом отношении низменный плоско-равнинный район представляет собой плавневую равнину древней дельты Кубани [Antipceva et al., 2019].

### Результаты и их обсуждение

Гидрографическая сеть Анапского района включает в себя прибрежную часть Черного моря, реки (малые и самые малые), а также озера (Чембурка, Анапские плавни, Сукко) и лиманы (Витязевский, Кизилташский, Бугазский) [Ресурсы, 1964].

Всего по территории района протекают более 30 рек (рис., табл. 1).



Картограмма местоположения крупнейших рек Анапского района  
The map of the location of the largest rivers of the Anapa region

Таблица 1  
Table 1

Общие сведения о крупнейших реках Анапского района  
General information about the largest rivers of the Anapa region

| Название реки | Место впадения                 | Длина реки, км | Площадь водосбора, км <sup>2</sup> |
|---------------|--------------------------------|----------------|------------------------------------|
| Гастогайка    | Черное море, Витязевский лиман | 35             | 236                                |
| Гарькавая     | Гастогайка                     | 12             | 40,1                               |
| Шумай         | Гастогайка                     | 11             | 23,6                               |
| Анапка        | Анапская бухта, Черное море    | 5,6            | 411                                |
| Куматырь      | Анапка                         | 14             | 59,1                               |
| Катлама       | Анапские плавни                | 25             | 270                                |
| Масгаго       | Катлама                        | 19             | 138                                |
| Сукко         | Черное море                    | 12             | 89,2                               |

Реки изучаемой территории (за исключением р. Анапки) берут начало на северо-западной оконечности Большого Кавказа на высотах 250–500 м (табл. 2). Верховья рек находятся в горах северо-западных отрогов Большого Кавказа, а рельеф средней и нижней частей бассейнов носит в основном равнинный характер. Озерность бассейнов равна 0 %.



Грунты в холмистой части бассейнов глинистые, с примесью щебня, в равнинной полосе супесчаные (табл. 3). Окаймляющая бассейны холмистая полоса покрыта молодым листовым лесом с преобладанием дуба и граба, перемежающимся с густым кустарником, преимущественно орешником. В пониженной части поверхности бассейнов в основном распаханы, встречаются небольшие кустарники [Канонников, 1977; Казакова, Мищенко, 2019].

Таблица 2  
Table 2

Основные сведения о бассейнах рек Анапского района  
 Basic information about the river basins of the Anapa region

| Название реки | Высота истока, м над ур. моря | Средняя высота бассейна, Н, м | Длина бассейна, км | Средняя ширина бассейна, км | Наибольшая ширина бассейна, км | Коэффициент густоты речной сети, км/км <sup>2</sup> |
|---------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------|-----------------------------|--------------------------------|---|
| Гастогайка    | 260                           | 112                           | 28,0               | 8,4                         | 14,8                           | 0,50  |
| Анапка        | 20                            | –                             | 30,0               | –                           | 18,0                           | 0,31  |
| Катлама       | 250                           | 122                           | 18,6               | 14,5                        | 21,5                           | 0,37  |
| Сукко         | 500                           | 180                           | 12,0               | 7,4                         | 9,0                            | 0,30  |

Таблица 3  
Table 3

Морфометрическая характеристика бассейнов рек Анапского района  
 Morphometric characteristics of river basins of the Anapa region

| Название реки | Лесистость, % | Типы почв                 | Средний уклон русла реки, ‰ |
|---------------|---------------|---------------------------|-----------------------------|
| Гастогай      | 17            | черноземы южные глинистые | 0,015                       |
| Катлама       | 24            | черноземы южные глинистые | –                           |
| Сукко         | 65            | горно-лесные              | 0,013                       |

Все реки Анапского района относятся к рекам с паводочным режимом (табл. 4). Уровневый режим характеризуется наибольшими высотами в зимний период и в начале весны. Максимальный годовой уровень отмечается в марте и приходится на весеннее половодье. Далее уровень понижается и достигает минимума в августе – сентябре, а затем повышается и достигает наибольших значений в феврале – марте. Аналогичный ход имеют и расходы воды [Нагалеvский и др., 2018].

Резкое увеличение уровней и расходов воды в течение года связано с дождевыми паводками. Паводки, благодаря значительным осадкам, большим уклонам и сравнительно небольшим размерам бассейнов рек, отличаются кратковременностью, чрезвычайно интенсивным подъемом и спадом уровня воды.

Кратко охарактеризуем отличительные особенности отдельных рек Анапского района.

Река Гастогайка (Гастогай) берет начало в 0,7 км к северу от г. Макитра. Русло реки на всем протяжении хорошо разработано, в районе станицы Гостагаевской глубоко врезано в дно долины. В верхнем течении оно слабо извилистое, а в нижнем и среднем течении – более извилистое. Глубины реки, как правило, составляют 0,3–0,4 м, местами увеличиваясь до 1,0 м и лишь у нижней окраины станицы Гостагаевской достигают 1,5 м. Скорость течения в реке 0,1–0,4 м/с. Балочная сеть хорошо развита. По балкам выходят родники, питающие протекающие в них небольшие реки. Долина основной реки в истоках имеет вид ущелья, но уже в 2 км от истока расширяется и становится трапециевидной [Государственный водный реестр, 2023; Нагалеvский, 2018].

Таблица 4  
Table 4Характеристика гидрологического режима рек Анапского района  
Characteristics of the hydrological regime of rivers of the Anapa region

| Название реки | Средний годовой расход воды, м <sup>3</sup> /с | Наибольший средний месячный расход воды, м <sup>3</sup> /с | Наименьший средний месячный расход воды, м <sup>3</sup> /с | Средний многолетний объем стока, млн м <sup>3</sup> | Ледовые явления   |
|---------------|--|--|--|---|---|
| Гастогайка    | 0,3  | 0,7  | 0,031  | 9,58  | Отмечаются с XII по II, ср. число дней – 36, продолжительность ледостава 19 дней. Толщина льда 10–15 см |
| Анапка        | –  | –  | –  | –   | Отмечаются с I по II. Продолжительность ледостава до 20–30 дней. Толщина льда 5–10 см                   |
| Катлама       | 1,77   | –  | 0,177  | 55,85   | Отмечаются с XII по II. Толщина льда 5–10 см  |
| Сукко         | 0,69   | –  | 0,05   | 22,0  | Отмечаются с XII по II  |

Бассейн почти симметричен. Притоков длиной более 10 км два – Шумай (11 км) и Гарькавая (12 км), а менее 10 км – 21, общей длиной 49 км. Основные притоки: р. Шумай (длина 11 км), балка Шкуратка (длина 7,9 км), р. Гарькавая (длина 12 км), балка Каламетка (длина 6,3 км), балка Хаджиторамка (длина 6,0 км). Наибольшие пруды находятся в бассейнах р. Гарькавая и балки Шкуратка, площадью зеркала 0,46 км<sup>2</sup> и 0,36 км<sup>2</sup>. На мелких притоках реки, балках, устроены два водохранилища сезонного регулирования: на балке Капустина, емкостью 1,14 млн м<sup>3</sup>, и балке без названия, емкостью 1,2 млн м<sup>3</sup>, из которых до 1960-х гг. производился забор воды на орошение [Ахметгареева, Нагалеvский, 2018].

Основные населенные пункты: станица Гостагаевская, село Нижняя Гостагаевка, поселок Виноградный.

Река Анапка берет начало из Анапских плавней (за исток принято место впадения рек Катлама и Куматырь в Анапские плавни). В водосбор входят бассейны рек Катлама, Куматырь, Анапские плавни и озеро Чембургское. Речная сеть развита слабо: рек длиной более 10 км три: Куматырь (14 км), Катлама (25 км) и ее левый приток – р. Маскага (19 км). Притоков длиной менее 10 км – 19, общей длиной 69 км.

Ширина русла собственно р. Анапки 30–50 м. Наибольшая глубина составляет 0,2–0,5 м и скорость течения – около 0,1 м/с. Основные населенные пункты: город Анапа, поселки Рассвет, Заря, Семигорский, станицы Натухаевская и Анапская, село Усатова Балка [Государственный водный реестр, 2023; Панов и др., 2012].

Река Катлама (Котлама, Катламыш) берет начало из небольшого родника в 11,5 км к северу от станицы Тоннельская и в 4 км к северо-востоку от окраины села Натухаевская.

Наиболее развита левобережная часть бассейна. Долина реки асимметричная, на преобладающем протяжении трапецеидальная и только у истока V-образная. На всем протяжении долины встречается много родников с незначительным дебитом. Русло умеренно извилистое, неразветвленное. Преобладающая ширина реки составляет 0,5–1 м. Основным притоком является р. Маскага (длина 19 км). Кроме нее в бассейне насчитывается 14 рек, общей протяженностью 56 км. На р. Катламе и ее притоке р. Маскаге существуют 2 водохранилища сезонного регулирования стока общей емкостью около 2,9 млн м<sup>3</sup>.



Глубины незначительные и изменяются в пределах 10–40 см, местами (на плесах) достигают 1–1,5 м. Скорости течения не превышают 0,3 м/сек.

Вода не имеет вкуса и запаха, в верхнем и среднем течении прозрачная, а в половодье мутная, относится к гидрокарбонатному классу ( $\text{HCO}_3^-$ ). Средняя минерализация воды 350–800 мг/л. С наступлением межени вода реки переходит в сульфатный ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) класс (20–36 % экв.) [Борисов, 2005; Нагалецкий, 2003].

Река Сукко отличается большими уклонами в верховье и средней части бассейна. Притоки в реку поступают равномерно с правого и левого берега. Русло реки извилистое. Ширина русла в верховье не превышает 1,5 м, а в нижнем течении достигает 7 м. Глубины незначительные и изменяются от 10 до 30 см, скорость течения не превышает 0,6 м/с в межень, в паводки может превышать 2 м/с. В бассейне реки на одном из притоков организована запруда, емкостью 0,19 млн  $\text{м}^3$ , площадью водного зеркала 5 га [Ресурсы, 1964; Борисов, 2005].

Все речные бассейны Анапского района вследствие своего физико-географического положения подвержены высокой антропогенной нагрузке (табл. 5).

Таблица 5  
Table 5

Характеристика антропогенного использования речных бассейнов Анапского района  
Characteristics of anthropogenic use of river basins of the Anapa region

| Название реки  | Забор вод на орошение, млн $\text{м}^3$ | Сброс сточных вод, тыс. $\text{м}^3/\text{год}$ | Осуществление инвестиционных проектов   |
|----------------|---|---|---|
| Гастогай       | нет                                     | 50  | Особая экономическая зона «Новая Анапа»   |
| Цыбанова балка | нет                                     | есть  | Производственная база по сортировке и переработке твердых отходов. Кирпичный завод. Завод строительных материалов |
| Катлама        | нет                                     | 158   | Рекреационная зона – гольф-клуб (в пойме реки, в 2 км ниже станицы Натухаевской)                                  |
| Сукко          | 0,07                                    | 351   | Частное строительство   |

Наибольшему антропогенному воздействию подвержены средние и нижние водосборные площади рек Гастогай и Катлама, где расположены населенные пункты и сельскохозяйственные угодья, общая занимаемая площадь которых составляет более 60–70 % от площади водосборов. В настоящее время мелиоративные системы в бассейнах не эксплуатируются, водохранилища используются для аккумуляции зимне-весеннего стока и рекреации. Все крупные реки района имеют рыбохозяйственное значение.

Бассейн реки Сукко подвержен антропогенному воздействию только в нижнем течении, где расположены населенные пункты и санаторно-курортные учреждения. Сельскохозяйственные поля занимают незначительную площадь бассейна реки (менее 4 %), мелиоративные системы отсутствуют [Лопатина, Назаревский, 1972].

Для водоснабжения населения, проживающего в бассейнах рек Анапского района, используются подземные воды (табл. 6).

Таблица 6  
Table 6

Характеристика объема изъятия подземных вод из бассейнов рек Анапского района  
Characteristics of the volume of groundwater withdrawal from river basins of the Anapa region

| Название реки | Объем изъятия подземных вод, млн $\text{м}^3/\text{год}$ | Норматив допустимого изъятия водных ресурсов из бассейна, млн $\text{м}^3/\text{год}$ |
|---------------|--|---|
| Гастогай      | 0,55   | 0,73  |
| Катлама       | 1,80   | 2,30  |
| Сукко         | 0,42   | 0,55  |

Существенно загрязняют изучаемые водотоки черноморского побережья взвешенные вещества, углеводороды, аммоний, железо, медь, марганец, кадмий. Наибольшее количество химических элементов, превышающих предельно допустимые концентрации (ПДК) на устьевых участках рек, наблюдается на р. Гастогай. На остальных реках превышение характерно для 2–4 показателей (табл. 7) [Жирма и др., 2014; О состоянии природопользования, 2023].

Таблица 7

Table 7

Основные химические показатели, превышающие фоновые значения по рекам Анапского района  
Main chemical indicators exceeding background values for the rivers of the Anapa region

| Водный объект | Химические показатели  |
|---------------|--|
| Гастогай      | нефтяные углеводороды, железо (Fe), ионы меди ( $\text{Cu}^{2+}$ ), марганца ( $\text{Mn}^{2+}$ ), общий фосфор (P), фосфаты |
| Катлама       | аммоний ( $\text{NH}_4^+$ ), железо (Fe)   |
| Сукко         | Аммоний ( $\text{NH}_4^+$ ), железо (Fe), ионы меди ( $\text{Cu}^{2+}$ ), кадмий (Cd)  |

Загрязнение рек района связано со сбросом сточных вод и диффузионным привнесом загрязняющих веществ с сельскохозяйственных полей и неканализованных селитебных территорий, расположенных на водосборной площади.

Все изучаемые водотоки по состоянию загрязненности воды (удельный комбинаторный индекс загрязненности воды) характеризуются классами «загрязненные» и «очень загрязненные», что влечет за собой необходимость принятия определенных мер для улучшения качества водных ресурсов Анапского района: проведения мониторинга состояния дна, берегов рек и уровня загрязнения воды, работ по расчистке русел, строительства водоочистных сооружений, ремонта водопроводной сети [Шушкова, Жирма, 2018; Вяткина, Пашковская, 2020; Нагалеvский, Нагалеvский 2019].

### Заключение

В результате изучения бассейнов рек Северо-Черноморского сектора в границах Анапского района выявлены следующие их особенности:

- средняя высота бассейнов составляет от 100 до 200 м, уклон русел рек колеблется от 0,013 до 0,015 ‰, что соответствует равнинному рельефу;
- коэффициент густоты речной сети в среднем для территории района равен 0,37 км/км<sup>2</sup> (показывает степень развитости гидрографической сети);
- по размеру все реки района относятся к категории «малые» (площадь водосбора менее 2 тыс. км<sup>2</sup> и длина менее 200 км);
- грунты в верховьях рек глинистые, с примесью щебня, в равнинной полосе супесчаные;
- все изучаемые реки Анапского района относятся к рекам с паводочным режимом: преобладает дождевое питание, наибольшие уровни (и расходы) воды наблюдаются в феврале – марте, а межень – в теплую часть года (соответствует крымскому типу рек);
- скорости течения рек не превышают 0,6 м/с (соответствует показателям равнинных рек);
- минерализация воды в реках составляет 350–800 мг/л, что говорит о среднем и высоком содержании солей;
- организованного забора воды на орошение в бассейнах рек (кроме р. Сукко) не производится, однако происходит изъятие подземных вод на питьевые цели;



– в средних и нижних частях бассейны рек распаханы и подвержены высокой антропогенной нагрузке (сельскохозяйственные угодья, населенные пункты, санаторно-курортные учреждения);

– все речные системы отличаются большой степенью загрязненности из-за неконтролируемого сброса сточных вод, часто характеризуемых превышением ПДК по нескольким химическим показателям.

Все собранные данные могут быть использованы для определения показателей, обеспечивающих экологическое благополучие водных объектов и необходимых условий для охраны здоровья населения и водопользования с помощью бальной системы интегральных оценок, которая является универсальным способом измерения и соотношения любых частных показателей.

#### Список источников

- Государственный водный реестр. Электронный ресурс. URL: <https://textual.ru/gvr/> (дата обращения: 15 сентября 2023).
- Нагалецкий Э.Ю., Нагалецкий Ю.Я. 2019. Гидрография Северо-Западного Кавказа. Краснодар, ИПЦ КубГУ, 96 с.
- О состоянии природопользования и об охране окружающей среды Краснодарского края в 2022 году. Доклад. 2023. Краснодар, 397 с.
- Ресурсы поверхностных вод СССР. Гидрологическая изученность. Т. 9. Закавказье и Дагестан. Вып. 1. Западное Закавказье. 1964. Л., Гидрометеиздат, 224 с.

#### Список литературы

- Ахметгареева М.М., Нагалецкий Ю.Я. 2018. Гидрографическая сеть Черноморского побережья Краснодарского края. В кн.: Современные территориальные исследования. Краснодар, Просвещение-Юг: 11–14.
- Борисов В.И. 2005. Реки Кубани. Краснодар, Кубанское книжное издательство, 120 с.
- Вяткина Д.А., Пашковская А.А. 2020. Геоэкологическое состояние Черноморского побережья Краснодарского края. В кн.: Охрана биоразнообразия и экологические проблемы природопользования. Сборник статей Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Пенза, 28–29 мая 2020. Пенза, Пензенский государственный аграрный университет: 72–74.
- Герашенко И.Н. 2019. Квантификация истории географических исследований территории Черноморского побережья в современных границах Краснодарского края (XIX в. и первая половина XX века). Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки, 43(1): 5–15. <https://doi.org/10.18413/2075-4671-2019-43-1-5-15>.
- Герашенко И.Н. 2017. Особенности гидрографии и гидрологии Северного Кавказа. Таврический научный обозреватель, 3–1(20): 106–113.
- Жирма В.В., Марухно А.В., Щеглова З.П. 2014. Экологическое состояние черноморских рек как фактор рекреационного потенциала территории. В кн.: Курортно-рекреационный комплекс в системе регионального развития: инновационные подходы. Материалы II Международной научно-практической конференции, Небуг, 24–25 апреля 2014. Краснодар, Кубанский государственный университет: 155–158.
- Казакова И.С., Мищенко А.А. 2019. Основные факторы формирования речной сети (на примере Кавказа). В кн.: Региональные географические исследования. Краснодар, Кубанский государственный университет: 46–47.
- Канонников А.М. 1977. Природа Кубани и Причерноморья. Краснодар, Книжное издательство, 112 с.
- Лопатина Е.Б., Назаревский О.Р. 1972. Оценка природных условий жизни населения. М., Наука, 148 с.
- Нагалецкий Ю.Я. 2003. Физическая география Краснодарского края. Краснодар, Северный Кавказ, 256 с.
- Нагалецкий Ю.Я. 2018. Гидрографическая сеть Черноморского побережья Краснодарского края. В кн.: Современные территориальные исследования. Краснодар, Просвещение-Юг: 11–14.

- Нагалеvский Ю.Я., Папенко И.Н., Нагалеvский Э.Ю. 2018. Гидрология. Санкт-Петербург, Издательство Лань, 380 с.
- Панов В.Д., Базелюк А.А., Лурье П.М. 2012. Реки Черноморского побережья Кавказа: гидрография и режим стока. Ростов-на-Дону, Донской издательский дом, 606 с.
- Шушкова И.А., Жирма В.В. 2018. Водохозяйственные проблемы курортов Краснодарского Причерноморья. В кн.: Туристско-рекреационный комплекс в системе регионального развития. Материалы VI Международной научно-практической конференции, Краснодар, 11–15 апреля 2018. Краснодар, Кубанский государственный университет: 302–304.
- Antipceva J., Volkova T., Mishchenko A. 2019. Geomorphological Zoning of the Azov-Black Sea Coast of Krasnodar Region. Proceedings of the Fourteenth International MEDCOAST Congress on Coastal and Marine Sciences, Engineering, Management and Conservation, Marmaris, 22–26 October 2019. Marmaris, MEDCOAST, 14: 565–572.
- Volkova T., Goretskiy V., Klimov N., Rudenko I., Nagalevsky, E. Klimov N. 2023. Recreational Use of the Black Sea Coast of Russia in Krasnodar Krai: Significance and Sensitivity of Natural Complexes. Anais Brasileiros de Estudos Turístico-Abet, 12: 1–10. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7806573>.

### References

- Akhmetgareeva M.M., Nagalevskiy Yu.Ya. 2018. Hidrograficheskaya set Chernomorskogo poberezhia Krasnodarskogo kraia [Hydrographic Network of the Black Sea Coast of the Krasnodar Territory]. In: Sovremennye territorial'nye issledovaniya [Modern Territorial Studies]. Krasnodar, Publ. Prosveshchenie-Yug: 11–14.
- Borisov V.I. 2005. Reki Kubani [Rivers of the Kuban]. Krasnodar, Publ. Kubanskoe knizhnoe izdatel'stvo, 120 p.
- Vyatkina D.A., Pashkovskaya A.A. 2020. Geocological Condition of the Black Sea Coast of the Krasnodar Region. In: Protection of biodiversity and environmental problems of nature management. Collection of articles of the All-Russian (national) scientific and practical conference, Penza, 28–29 May 2020. Penza, Publ. Penza State University: 72–74 (in Russian).
- Gerashchenko I.N. 2019. Quantitate the History of Geographical Explorations of the Territory of the Black Sea Coast in Modern Borders of Krasnodar Krai (the 19th Century and the First Half of the 20th Century). Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural Sciences Series, 43(1): 5–15 (in Russian). <https://doi.org/10.18413/2075-4671-2019-43-1-5-15>.
- Gerashchenko I.N. 2017. Osobennosti gidrografii i gidrologii Severnogo Kavkaza [Features of Hydrography and Hydrology of the North Caucasus]. Tavricheskiy nauchnyy obozrevatel', 3–1(20): 106–113.
- Zhirma V.V., Marukhno A.V., Shcheglova Z.P. 2014. Ekologicheskoye sostoyaniye chernomorskikh rek kak faktor rekreatsionnogo potentsiala territorii [Ecological State of the Black Sea Rivers as a Factor in the Recreational Potential of the Territory]. In: Kurortno-rekreatsionnyy kompleks v sisteme regional'nogo razvitiya: innovatsionnye podkhody [Resort and recreation complex in the system of regional development: innovative approaches]. Materials of the II International Scientific and Practical Conference, Nebug, 24–25 April 2014. Krasnodar, Publ. Kuban state university: 155–158.
- Kazakova I.S., Mishchenko A.A. 2019. Osnovnyye faktory formirovaniya rechnoy seti (na primere Kavkaza) [Main Factors in the Formation of a River Network (On the Example of the Caucasus)]. In: Regional'nye geograficheskie issledovaniya [Regional Geographical Studies]. Krasnodar, Publ. Kuban state university: 46–47.
- Kanonnikov A.M. 1977. Priroda Kubani i Prichernomor'ya [Nature of Kuban and the Black Sea region]. Krasnodar, Publ. Knizhnoe izdatel'stvo, 112 p.
- Lopatina E.B., Nazarevsky O.R. 1972. Otsenka prirodnykh usloviy zhizni naseleniya [Assessment of Natural Living Conditions of the Population]. Moscow, Publ. Nauka, 148 p.
- Nagalevskiy Yu.Ya. 2003. Fizicheskaya geografiya Krasnodarskogo kraia [Physical Geography of the Krasnodar Region]. Krasnodar, Publ. Severnyy Kavkaz, 256 p.
- Nagalevskiy Yu.Ya. 2018. Hidrograficheskaya set Chernomorskogo poberezhia Krasnodarskogo kraia [Hydrographic Network of the Black Sea Coast of the Krasnodar Territory]. In: Sovremennye



- territorial'nye issledovaniya [Modern Territorial Studies]. Krasnodar, Publ. Prosveshchenie-Yug: 11–14.
- Nagalevskiy Yu.Ya., Papenko I.N., Nagalevsky E.Yu. 2018. *Gidrologiya* [Hydrology]. Sankt-Peterburg, Publ. Lan', 380 p.
- Panov V.D., Bazelyuk A.A., Lur'e P.M. 2012. *Reki Chernomorskogo poberezh'ya Kavkaza: gidrografiya i rezhim stoka* [Rivers of the Black Sea Coast of the Caucasus: Hydrography and Flow Regime]. Rostov-na-Donu, Publ. Donskoy izdatel'skiy dom, 606 p.
- Shushkova I.A., Zhirma V.V. 2018. *Vodokhozyaystvennyye problemy kurortov Krasnodarskogo Prichernomoria* [Water Management Problems of the Resorts of the Krasnodar Black Sea Region]. In: *Turistsko-rekreacionnyy kompleks v sisteme regional'nogo razvitiya* [Tourist and Recreational Complex in the System of Regional Development]. Materials of the VI International Scientific and Practical Conference, Krasnodar, 11–15 April 2018. Krasnodar, Publ. Kuban state university: 302–304.
- Antipceva J., Volkova T., Mishchenko A. 2019. *Geomorphological Zoning of the Azov-Black Sea Coast of Krasnodar Region*. Proceedings of the Fourteenth International MEDCOAST Congress on Coastal and Marine Sciences, Engineering, Management and Conservation, Marmaris, 22–26 October 2019. Marmaris, MEDCOAST, 14: 565–572.
- Volkova T., Goret'skiy V., Klimov N., Rudenko I., Nagalevsky, E. Klimov N. 2023. *Recreational Use of the Black Sea Coast of Russia in Krasnodar Krai: Significance and Sensitivity of Natural Complexes*. *Anais Brasileiros de Estudos Turístico-Abet*, 12: 1–10. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7806573>

*Поступила в редакцию 08.11.2023;  
поступила после рецензирования 06.12.2023;  
принята к публикации 12.01.2024*

*Received November 08, 2023;  
Revised December 06, 2023;  
Accepted January 12, 2024*

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

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Нагалеvский Эдуард Юрьевич**, кандидат географических наук, доцент, заведующий кафедрой физической географии института географии, геологии, туризма и сервиса, Кубанский государственный университет, г. Краснодар, Россия

**Eduard Yu. Nagalevsky**, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Physical Geography, Institute of Geography, Geology, Tourism and Service, Kuban State University, Krasnodar, Russia

**Голубятникова Екатерина Вячеславовна**, аспирант, преподаватель кафедры физической географии института географии, геологии, туризма и сервиса, Кубанский государственный университет, г. Краснодар, Россия

**Ekaterina V. Golubyatnikova**, postgraduate student, teacher of the Department of Physical Geography, Institute of Geography, Geology, Tourism and Service, Kuban State University, Krasnodar, Russia



УДК 551.435.1 (571.55)  
DOI 10.52575/2712-7443-2024-48-1-55-66

## Русловая морфодинамика малых рек днищ Тункинской системы котловин

**Безгодова О.В.**

Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН,  
Россия, 664033, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1  
E-mail: ola.bezgodova.23@yandex.ru

**Аннотация.** Проведен анализ русловой морфодинамики рек Ихе-Ухгунь, Енгарга и Тунка в пределах днищ котловин Тункинской системы за 1989–2021 гг. с использованием анализа разновременных космических снимков, методов дистанционного зондирования и топографических карт. Полученные морфометрические и морфодинамические характеристики позволили выявить различные по морфодинамике типы русел, получить количественные показатели излучин. Наиболее динамичными оказались участки морфодинамических типов русел с протеканием антропогенных процессов. Также активные изменения протекают на отдельных элементах речных русел и пойм – побочнях, осередках, излучинах, старицах. Общие природные условия и факторы морфодинамики речных русел способствуют распространению в днищах котловин широкопойменного типа русла со свободными излучинами. После мелиоративных работ для бассейнов малых рек характерно снижение частоты затопляемости поймы, уменьшение площади стариц и отмирание проток.

**Ключевые слова:** антропогенные деформации, данные дистанционного зондирования, излучины, малые реки, русловая морфодинамика, Тункинская система котловин

**Благодарности:** Работа выполнена в рамках госзадания № АААА-А21-121012190017-5 «Морфолитогенез Внутренней Азии: теоретические, методические и практические аспекты исследования».

**Для цитирования:** Безгодова О.В. 2024. Русловая морфодинамика малых рек днищ Тункинской системы котловин. Региональные геосистемы, 48(1): 55–66. DOI: 10.52575/2712-7443-2024-48-1-55-66

---

## Channel Morphodynamics of Small Rivers in the Bottom of the Tunka Basins System

**Olga V. Bezgodova**

Institute of Geography SB RAS,  
1 Ulan-Batorskaya St, Irkutsk 664033, Russia  
E-mail: ola.bezgodova.23@yandex.ru

**Abstract.** The analysis of the channel morphodynamics of the Ihe-Uhgun, Engarga and Tunka rivers within the bottoms of the Tunka basins system was carried out using methods of remote sensing, analysis of multi-temporal space images and topographic maps for 1989–2021. Morphometric and morphodynamic parameters was collected and made it possible to identify various channel types that differ in morphodynamics, and to obtain quantitative indicators of meanders. In general, morphodynamic types remain stable except for areas transformed by anthropogenic processes. Also, active changes occur on individual elements of river channels and floodplains – braid bars, point bars, meanders, oxbows. General natural conditions and factors of morphodynamics of river channels contribute to the spread in the bottoms of basins a wide floodplain type of channel with meanders of free meandering. The basins of



small rivers are characterized by a decrease in the frequency of floodplain flooding, a decrease in the area of oxbow lakes, and the death of channels after reclamation work.

**Keywords:** anthropogenic deformations, bends, channel morphodynamics, remote sensing data, small rivers, Tunka basin system

**Acknowledgements:** The work was carried out within the framework of state assignment № AAAA-A21-121012190017-5 “Morpholithogenesis of Inner Asia: theoretical, methodological and practical aspects of the study”.

**For citation:** Bezgodova O.V. 2024. Channel Morphodynamics of Small Rivers in the Bottom of the Tunka Basins System. *Regional geosystems*, 48(1): 55–66 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2024-48-1-55-66

## Введение

Изучение влияния природных и антропогенных факторов на проявление русловых процессов и развитие пойменно-русловых комплексов в бассейнах малых рек имеет большое значение для решения практических задач по устойчивому развитию природных и антропогенных территорий, а также для решения теоретических вопросов формирования рельефа речных бассейнов. Информация о динамике речных русел и пойменных комплексов необходима при планировании и проведении различных хозяйственных мероприятий. Русловые деформации отражают геолого-геоморфологическое развитие речной долины.

Малые реки являются наименее изученными элементами гидрологической сети, при этом они являются чувствительными к изменениям природных и антропогенных факторов. В пределах малых речных бассейнов находится наибольшая концентрация населения, а ведение хозяйственной деятельности может привести к изменениям в стоке и расходах воды, что приведет к резкой динамике русловых процессов. Природные комплексы являются нестабильными во времени, что может привести к нарушению антропогенно преобразованных территорий. Например, такие явления, как размыв и обрушение берегов у грунтовых дорог, а также размыв хозяйственных участков, могут возникать из-за этой нестабильности. В настоящее время малые реки Тункинской системы, включая Тункинскую и Хойтогольскую котловины, являются малоизученными в области русловедения [Безгодова, 2021, 2022], чаще всего работы по русловой морфодинамике рассматривают территорию европейской части России [Завадский и др., 2010; Варенов и др., 2015, Иванов, Ермолаев, 2017].

Цель данного исследования заключается в изучении русловой морфодинамики малых рек в днищах котловин Тункинской системы на примере рек Ихе-Ухгунь, Енгарга и Тунка. В рамках исследования выполнены задачи:

- 1) получить морфометрические и морфодинамические показатели русловых форм рельефа с использованием современных космических снимков за период с 1989 по 2021 г.;
- 2) проанализировать динамику элементов речных русел и долин с использованием разновременных космических снимков и топографических карт; определить степень влияния антропогенного фактора в динамике форм руслового рельефа.

## Объект и методы исследований

Бассейны рек Ихе-Ухгунь (площадь 846 км<sup>2</sup>, протяженность 76 км), Енгарга (площадь 495 км<sup>2</sup>, протяженность 27 км) и Тунка (площадь 811 км<sup>2</sup>, протяженность 48 км) расположены в пределах горного обрамления (хр. Тункинские Гольцы (рис. 1) с высотами 2800–3000 м), а также днищ Тункинской и Хойтогольской котловин, которые входят в Тункинскую систему Байкальской рифтовой зоны [Уфимцев и др., 2006]. Падение русел варьирует от 1210 до 1540 м. Являются левыми притоками р. Иркут.

Горное обрамление котловин (хр. Тункинские Гольцы) сложено трудноразмываемыми породами верхнепротерозойских интрузий [Нагорья ..., 1974]. Днища котловин сложены легкоразмываемыми четвертичными рыхлыми отложениями. Помимо Тункинских Гольцов естественными водоразделами бассейнов являются: межкотловинная перемычка (Ниловская) с высотами до 1700 м, сложенная неогеновыми базальтами; песчаный массив Бадар (инверсионное поднятие) с высотой до 865 м, в составе которого выделяются плейстоценовые и голоценовые эоловые пески [Выркин, 1991]. Для рассматриваемых бассейнов можно выделить следующие общие черты тектонического и геолого-геоморфологического строения: дренирование в верховьях руслами рек трудно размываемых пород с выходом в котловинную часть, покрытыми легко размываемыми отложениями; асимметричный рисунок речной сети (р. Енгарга – правобережная асимметричность, реки Ихе-Ухгунь и Тунка – левобережная асимметричность); по линиям тектонических трещин заложены верхние звенья малой речной сети; средние и нижние течения расположены в области опускающихся блоков земной коры, что обуславливает общее направление притоков рек в сторону нисходящих участков и усиление процессов заболачивания, а также формирование озеровидных расширений русел.

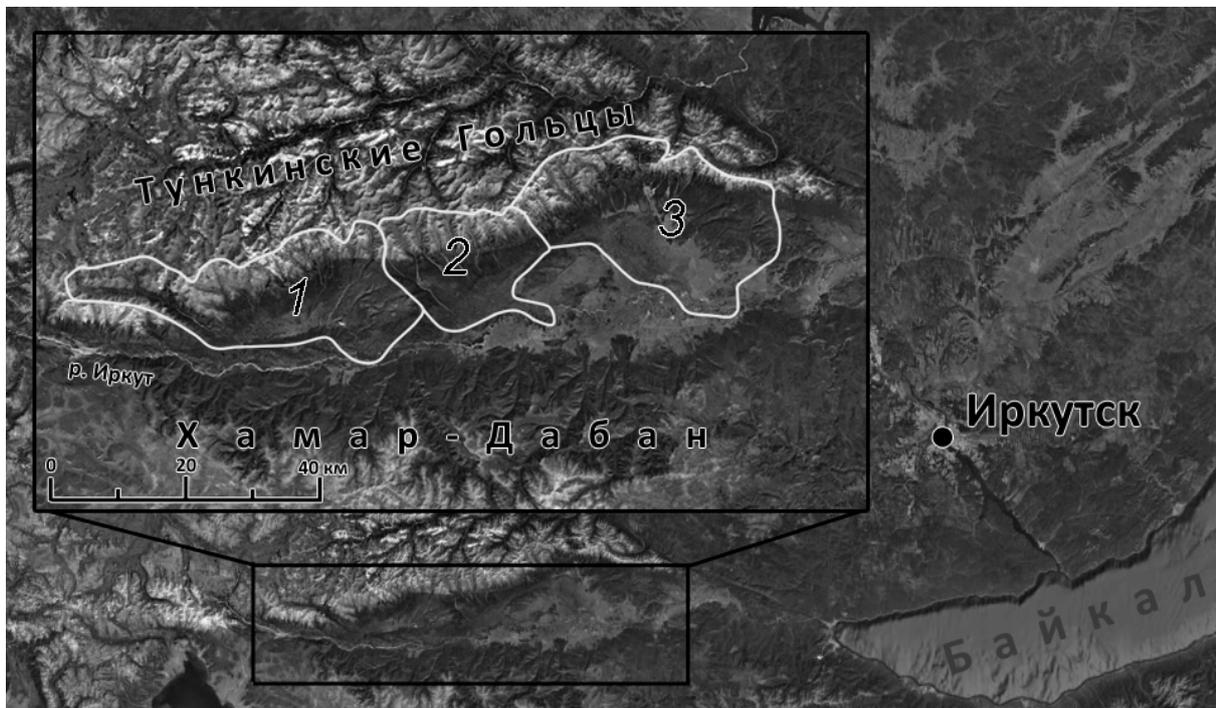


Рис.1. Географическое положение территории исследования. Снимок *Maxar*, 2021 год  
Цифрами обозначены бассейны: 1 – р. Ихе-Ухгунь, 2 – р. Енгарга, 3 – р. Тунка  
Fig.1. Geographic location of the study area. *Maxar* 2021 pictures.  
The numbers indicate river basins: 1 – Ihe-Uhgun, 2 – Yengarga, 3 – Tunka

От днищ котловин к горному обрамлению отмечена дифференциация атмосферных осадков. В горной части выпадает 510 мм осадков и к центральной части бассейнов снижается до 364 мм (по данным метеостанции в с. Тунка [Картушин, 1969]). Большая часть осадков выпадает в виде ливней в июне – августе (более 70 %) [Василенко, Воропай, 2015]. Основное питание рек осуществляется за счет дренирования эрозионной сети притоков Тункинских Гольцов, которые получают сток от талых и атмосферных вод.

Данное исследование основано на работах российских (Р.С. Чалова [2008, 2020], Р.С. Чалова и др. [2020], А.В. Чернова [2009], А.Л. Варенова и др. [2015], Д.И. Школьного [2022]) и зарубежных ученых (М. Church, R.I. Ferguson [2015], X. Guo et al. [2019],

F. Monegaglia et al. [2019], K. Zhao et al. [2021]), которые изучали русловые процессы и русловую морфодинамику. Для анализа использовались данные дистанционного зондирования, полевые исследования за 2018–2021 гг. и картографические материалы. С помощью космических снимков *Maxar* в программе *Google Earth Pro* за 2015–2021 гг., *ESRI* за 2021 год и топографических карт (1989 г., М 1: 100 000) определены типы русловых процессов и проведено измерение морфометрических показателей на ключевых отрезках рек. Привязка, оцифровка и анализ космических снимков проведены с использованием программы *QGIS 3.22* (рис. 2). Далее на ключевых отрезках рек получены основные морфометрические показатели русел и их элементов, на основе рассчитанных коэффициентов определены типы излучин.

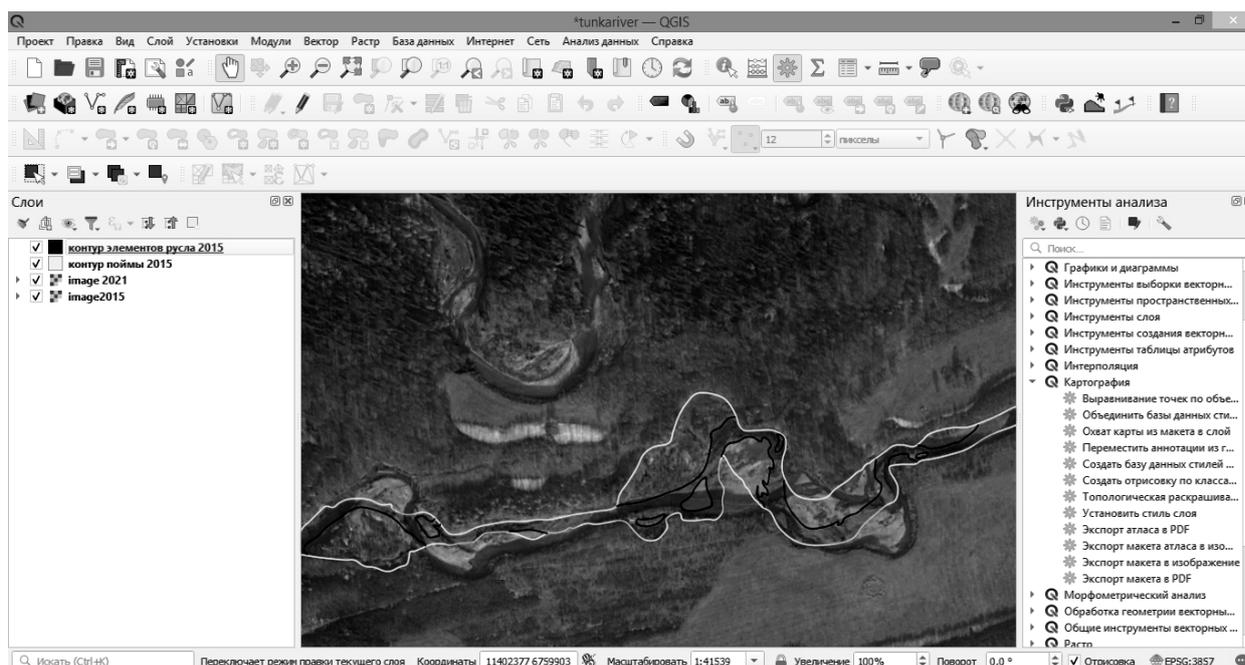


Рис.2. Наложение контура поймы (белый) и элементов речного русла (черный) на участок разветвленно-извилистого русла р. Ихе-Ухгунь за 2015 год на снимок *Maxar* 2021 года в программе *QGIS 3.22*

Fig.2. Overlay of the floodplain contour (white) and river channel elements (black) on a section of the branched-winding Ihe-Uhgung river channel for 2015 on *Maxar* image 2021 in *QGIS 3.22*

Топографические карты за 1989 год масштабов 1:100 000 использовались автором для определения мест антропогенных спрямлений русел, измерения площади мелиоративных каналов, деформаций элементов русел и пойм (стариц, проток, крупных излучин).

### Результаты и их обсуждение

Для исследования были выбраны ключевые отрезки рек, расположенные в днищах котловин (меньшая стабильность русел в плане, по сравнению с горной частью бассейнов) с участками антропогенного преобразования. Для р. Ихе-Ухгунь это отрезок «оз. Каторжан – устье р. Хаюрты» – 17 км. Для р. Енгарги выбран отрезок «оз. Енгаргинское – устье», протяженностью 11 км. Для р. Тунки ключевой отрезок длиной 25 км – «оз. Большой Саган-Нур – устье».

Наиболее динамичные участки русел установлены с помощью анализа разновременных космических снимков *Maxar* за период 2015–2021 гг. Для р. Ихе-Ухгунь выделено три нестабильных участка: высыхающее русло притока – р. Ихе-Булнай в пределах поймы, где также происходит сокращение площади старичных озер; отрезок с нарастающим извилистостью русла на адаптированном участке русла в районе улуса Хойто-Гол; уча-

сток смены ведущей роли рукава в пределах широкопойменного разветвленно-извилистого русла [Безгодова, 2022]. Для р. Енгарги наиболее динамичный участок – старое пересыхающее русло в нижнем течении, а для р. Тунки – спрямление излучин в районе мелиоративных каналов с общим снижением количества старичных озер.

*Общие природные факторы русловой морфодинамики русел.* Развитие широкопойменных участков со свободными излучинами для изучаемых рек связано с особенностями морфоструктурного строения территорий (днища котловин); темпами тектонического опускания блоков фундамента, на которых расположены озерно-аллювиальные и аллювиальная равнины; поднятием смежных участков (Ниловская межкотловинная перемычка и хребет Тункинские Гольцы), увеличивающим снос рыхлого вещества; расположением рек в пределах легко размываемых аллювиальных и флювиогляциальных пород плейстоцена и голоцена (пески, супеси).

При выходе русла р. Ихе-Ухгунь из горной части, где преобладают трудно размываемые породы верхнего протерозоя, в Хойтогольскую котловину формируется широкопойменный тип русла. Ниже по течению наличие нисходящих движений фундамента в центре Хойтогольской котловины и легко размываемые рыхлые отложения привели к смене типа русла на разветленно-извилистый. Это способствует аккумуляции стока наносов и воды. Синхронизация вершин некоторых излучин обусловлена тектоническим фактором. При близком прохождении русла к трудно размываемым базальтовым породам неогена Ниловской межкотловинной перемычки появляются адаптированные излучины. Также на реках Енгарга и Тунка образуются излучины адаптированного типа при близком прохождении русла к песчаным отложениям массива Бадар.

На основе анализа данных космоснимков *ESRI* за 2021 год для каждого ключевого отрезка изучаемых рек получены морфометрические характеристики излучин: длина ( $l$ ), ширина русла ( $br$ ), шаг ( $L$ ), стрела прогиба ( $h$ ). Типы излучин определены с помощью расчета параметрических коэффициентов – отношения длины к стреле прогиба ( $l/h$ ) и степени развитости излучины ( $l/L$ ) (см. табл.).

Морфометрические показатели рек Ихе-Ухгунь, Енгарга и Тунка на ключевых отрезках русел  
Morphometric indicators of the Ihe-Uhgun, Yengarga and Tunka rivers at key sections of the channels

| Название реки | Протяженность участка (км)/ кол-во излучин | Коэффициент развитости излучины | Отношение длины к стреле прогиба |
|---------------|--|---------------------------------|----------------------------------|
| Ихе-Ухгунь    | 17/51                                      | От 1,08 до 4,07 (среднее 1,79)  | От 0,29 до 8,09 (среднее 2,27)   |
| Енгарга       | 11/79                                      | От 1,09 до 6,31 (среднее 1,89)  | От 0,33 до 5,16 (среднее 2,14)   |
| Тунка         | 25/105                                     | От 1,08 до 4,5 (среднее 1,78)   | От 0,84 до 13,13 (среднее 3,15)  |

*Морфодинамические типы русел р. Ихе-Ухгунь.* Среднее течение р. Ихе-Ухгунь отличается наибольшим разнообразием морфодинамических типов из-за сложности геолого-геоморфологического строения территории. Выделены три типа русловых процессов: широкопойменный со свободными излучинами и извилистым руслом, широкопойменный тип преимущественно с адаптированными излучинами и разветленно-извилистым руслом, адаптированный с извилистым руслом и участками антропогенного преобразования [Безгодова, 2022]. Протяженность участков с широкопойменным типом составляет 14,3 км, а с адаптированным типом – 2,5 км.



Среднее течение р. Ихе-Ухгунь характеризуется наименьшей степенью меандрирования на всем своем протяжении. По данным космоснимка *ESRI* за 2021 год на участке с широкопойменным типом русла (протяженность 2,5 км) до разветвления русла выделено 6 излучин. Далее, на участке с широкопойменным разветвленно-извилистым типом русла (протяженность 5,5 км) с преимущественно адаптированными излучинами, отмечено 35 излучин. На разветвленном участке русла со свободными излучинами (протяженность 3 км) в 1989 году существовало 14 излучин, а к 2021 году осталось 6 излучин. Затем следует спрямленный адаптированный участок, который сменяется извилистым участком со свободными излучинами (протяженностью 3,3 км). Всего на ключевом участке р. Ихе-Ухгунь выделено 7 излучин динамической оси, 16 сегментные пологие, 8 сегментные развитые, 3 сегментные крутые, 9 петлеобразные и крутые петлеобразные, 3 синусоидальные, 3 пальцеобразные и 2 сложные излучины.

В районе оз. Каторжан на участке р. Ихе-Ухгунь, который характеризуется широкопойменным типом русла со свободными излучинами, ширина русла варьирует от 6 до 29 м. Ширина поймы изменяется от 290 до 380 м, ширина долины – от 1,1 км до 1,6 км. Падение русла достигает 13,2 м/км. По данным космоснимка *ESRI* 2021 года отмечены следы палеоразветвлений русла в пределах поймы, которые в настоящее время не являются основными в стоке воды и наносов. В русле также присутствуют побочни. На участке с широкопойменным разветвленно-извилистым типом русла, где преимущественно расположены адаптированные излучины, произошла смена ведущего рукава реки в переносе наносов и воды (правый стал ведущим).

Левый рукав реки был основным руслом, отвечающим за перенос воды и наносов, согласно данным топокарты за 1989 год. Правый рукав отмечен на карте как пересыхающий. К настоящему времени ситуация изменилась: левый рукав больше не является основным, он частично обмелел и потерял связь с основным руслом реки выше по течению. Площадь старичных озер на участке сократилась, а наличие рисунка палеоизлучин говорит о динамичности данного участка реки. Ширина русла на участке с широкопойменным разветвленно-извилистым типом русла варьирует от 11 до 19 м, ширина поймы достигает 890 м, а ширина долины составляет 1,3–1,5 км. Падение русла на этом участке составляет 4,6 м/км.

Отмершие излучины на участке разветвленного русла со свободными излучинами имеют старичный режим осадконакопления. Смещение русла с севера на юг отмечено по формированию побочней. Ширина русла изменяется от 13 до 20 м, ширина сегментно-гвивистой поймы – 690 м, долины на участке – 2,2–2,7 км. Падение русла составляет 6,9 м/км. На последнем участке изучаемого отрезка р. Ихе-Ухгунь отмечено увеличение извилистости русла, а также активная аккумуляция наносов в виде осередков и побочней. Ширина русла здесь от 19 до 39 м, а сегментно-гвивистой поймы – до 795 м. Ширина долины до 2,6 км, а падение русла составляет 1,9 м/км.

Таким образом, наиболее динамичный участок русла р. Ихе-Ухгунь – широкопойменный разветвленно-извилистый тип из-за смены ведущей роли рукавов и процесса отмирания протоков. Здесь же мелиоративные работы привели к снижению затопляемости высокой поймы, о чем свидетельствуют данные о снижении обводненности стариц и увлечении площади хозяйственных участков на пойме (согласно анализу космоснимков за 1989–2021 гг.).

*Морфодинамические типы русел рек Енгарга и Тунка.* Ключевые отрезки русел рек Енгарга и Тунка расположены в пределах озерно-аллювиальной равнины р. Иркут, в настоящий момент для которой характерно тектоническое опускание [Расказов и др., 2000]. Опускающиеся участки земной коры являются местом сбора стока малых рек – притоков Енгарги и Тунки, здесь образуются обширные поймы и долины с озерными расширениями русел. В пределах ключевых участков заболоченные поймы преобразованы мелиоративными каналами. Широкопойменный извилистый тип русла преимущественно с

адаптированными излучинами, а также широкопойменный извилистый тип со свободными излучинами отмечен для р. Енгарги и р. Тунки. Различия в наборе морфодинамических типов русел выявлены только для участков спрямления: для Енгарги отмечено антропогенно преобразованное (спрямленное) русло, а для р. Тунки выделены относительно прямолинейные участки русла (рис. 3 и 4). Протяженность участков широкопойменного типа со свободными излучинами для р. Енгарги составляет 3,4 км, р. Тунки – 17,5 км; с адаптированными излучинами для р. Енгарги – 6,9 км, для р. Тунки – 6,1 км.

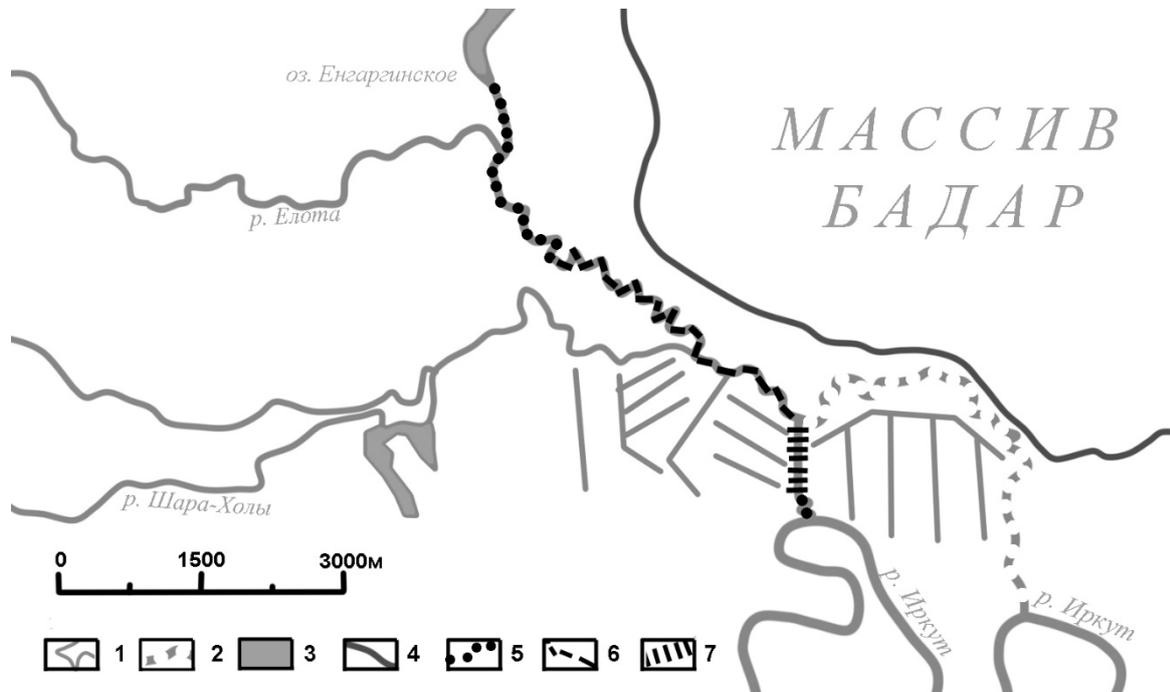


Рис.3. Карта-схема морфодинамических типов русла на участке «оз. Енгаргинское – устье р. Енгарги». Цифрами обозначены: 1 – реки и мелиоративные каналы, 2 – пересыхающее русло р. Енгарги, 3 – озера, 4 – грунтовая дорога. Морфодинамический тип русла: 5 – широкопойменный извилистый тип русла со свободными излучинами, 6 – широкопойменный извилистый тип русла преимущественно с адаптированными излучинами, 7 – антропогенно преобразованное (спрямленное) русло

Fig.3. Schematic map of the morphodynamic types of the Yengarga channel in the section of «lake Yengarginskoe – the mouth of the Yengarga river». The numbers indicate: 1 – rivers and reclamation canals, 2 – drying up Yengarga river bed, 3 – lakes, 4 – dirt road.

Morphodynamic type of channel: 5 – wide-floodplain meandering type of channel with free bends, 6 – wide-floodplain meandering type of channel mainly with adapted bends, 7 – anthropogenically transformed (straightened) channel

Для рек Тунка и Енгарга нехарактерно большое разнообразие морфодинамических типов русел, но при этом их отличает большая степень извилистости и значительная площадь мелиоративных каналов на пойме. Для изучаемого отрезка Енгарги по данным космоснимка *ESRI* за 2021 год в пределах широкопойменного извилистого типа русла со свободными излучинами встречается 17 излучин и после спрямленного участка – 10 излучин; на участке с адаптированными излучинами выделено 52 излучины. По типам выделяются: 9 излучин динамической оси, 16 сегментных пологих, 13 сегментных развитых, 13 сегментных крутых, 15 петлеобразных, 5 синусоидальных, 2 пальцеобразные и 6 сложных излучин.

Ширина русла Енгарги на участке широкопойменного извилистого русла со свободными излучинами варьирует от 6 до 18 м, при ширине сегментной ровной поймы

162–295 м. Ширина долины изменяется от 0,8 км до 1,1 км, а падение русла – 1,2 м/км. В пределах поймы и долины встречаются озера, реке старичные. Далее выделяется протяженный участок русла с адаптированными излучинами с озерными комплексами на пойме и мелиоративными каналами. Ширина русла на данном участке варьирует от 6 до 19 м, сегментная ровная пойма имеет ширину 100–255 м, ширина долины достигает 1,1–1,5 км. Падение русла – 1,01 м/км. Здесь на левом берегу отмечены редкие следы вогнутых понижений и старичных озер, местами пересохших, тогда как на правом берегу рисунок палеосети отсутствует. Левый берег полностью покрыт лесной растительностью, при этом на правом берегу лесной покров почти отсутствует, что благоприятно для нивелирования поверхности рельефа процессами пойменной аккумуляции.

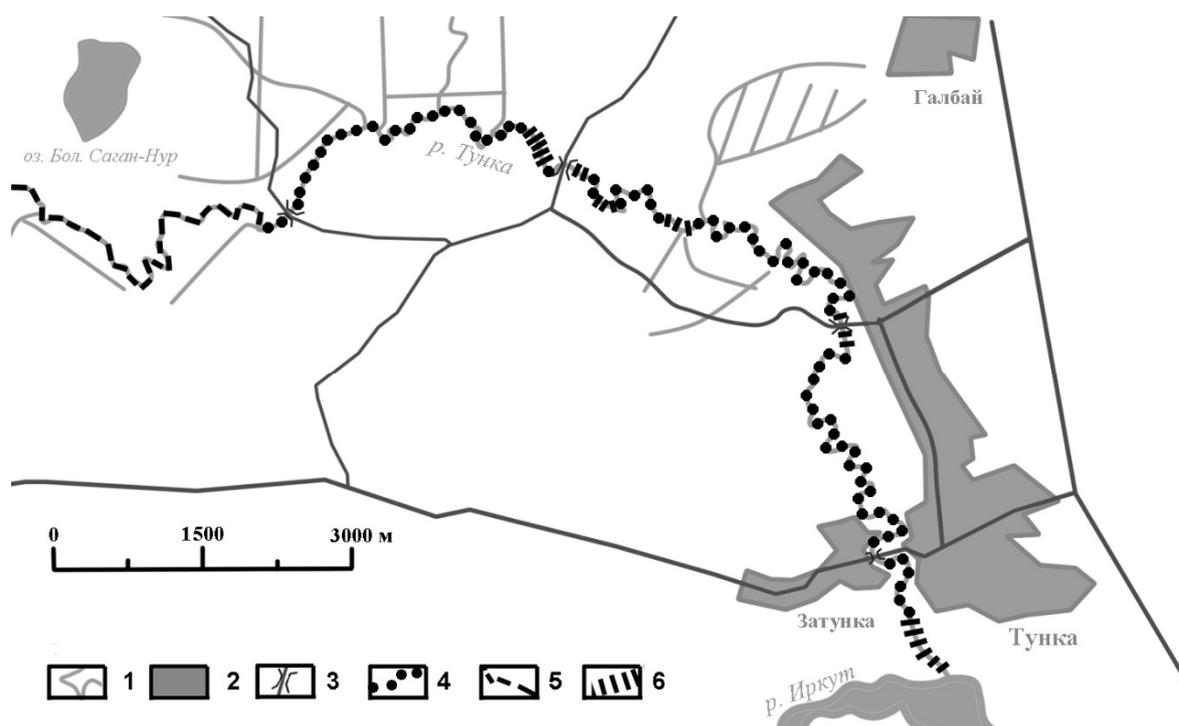


Рис. 4. Карта-схема морфодинамических типов русла на участке «оз. Бол. Саган-Нур – устье р. Тунка» Цифрами обозначены: 1 – реки и мелиоративные каналы, 2 – населенные пункты, 3 – мосты и дороги.

Морфодинамические типы русел: 4 – широкопойменный извилистый тип русла со свободными излучинами, 5 – широкопойменный извилистый тип русла преимущественно с адаптированными излучинами, 6 – относительно прямолинейные участки русла

Fig. 4. Schematic map of the morphodynamic types of the Tunka channel in the section of «lake Bolshoy Sagan-Nur – the mouth of the Tunka river» The numbers indicate: 1 – rivers and reclamation canals, 2 – settlements, 3 – bridges and roads. Morphodynamic types of channels: 4 – wide-floodplain meandering type of channel with free bends, 5 – wide-floodplain meandering type of channel mainly with adapted bends, 6 – relatively straight sections of the channel.

Как показано на топографической карте масштаба 1:100 000, изданной в 1989 году, р. Енгарга впадала в р. Иркут ниже по течению на 6,8 км. В настоящий момент старое русло не функционирует как основное, наблюдается старичный режим осадконакопления. До строительства мелиоративного канала русло сменяло участок с адаптированными излучинами на свободные, где насчитывалось 88 излучин. После спрямленного участка основное русло было отведено в небольшую протоку р. Иркут, для которой характерен широкопойменный извилистый тип русла со свободными излучинами.

Для отрезка р. Тунки «оз. Большой Саган-Нур – устье» по данным космоснимка ESRI за 2021 год выделено два морфодинамических типа русла: широкопойменный извилистый тип русла со свободными излучинами, где отмечено 72 излучины; широкопоймен-

ный извилистый тип русла преимущественно с адаптированными излучинами (33 излучины). По типам выделяются: 6 излучин динамической оси, 28 сегментных пологих, 22 сегментные развитые, 9 сегментных крутых, 21 петлеобразная и крутая петлеобразная, 5 пальцеобразных и 14 сложных.

От оз. Саган-Нур начинается участок извилистого типа русла преимущественно с адаптированными излучинами, ширина русла здесь изменяется от 9 до 19 м. Пойма от сегментной ровной переходит в сегментно-гравистую, а ширина варьирует от 970 м до 1200 м при ширине долины до 2,5 км. Падение русла на данном участке – 1,22 м/км. Отсюда вниз по течению к устью наблюдается нарастание общей степени извилистости русла и переход на широкопойменный тип со свободными излучинами. Ширина русла на этом участке 11–52 м, ширина поймы сужается от 970 до 330 м к устью (сегментно-гравистая), ширина долины от 1,8 до 1,1 км, падение русла – 0,45 м/км (самый низкий показатель из всех рассматриваемых отрезков рек).

*Антропогенный фактор динамики русел.* В пределах территории бассейнов рек Ихе-Ухгунь, Енгарга и Тунка в 80-х годах XX века проведены работы по строительству мелиоративных каналов. На ключевом участке русла р. Ихе-Ухгунь в районе улуса Хойто-Гол ведется активная хозяйственная деятельность. Большая часть высокой поймы занята хозяйственными участками, жилыми постройками и пастбищами для крупного рогатого скота. В процессе мелиоративных работ русло реки было спрямлено с целью уменьшения затопляемости поймы и эрозии берегов. Однако, согласно космическим снимкам и полевым исследованиям, на данный момент русло становится более извилистым. Наблюдаются участки с обваливанием береговых уступов, а также отмечено увеличение площади побочней по данным снимков *Maxar* за период с 2015 по 2021 г. Русловые процессы привели к формированию извилистого типа русла с начальным формированием адаптированных излучин. В целом для бассейна р. Ихе-Ухгунь отмечается снижение уровня воды в старичных озерах и отмирание пальцеобразных излучин из-за наличия мелиоративных каналов на левом берегу реки, которые занимают площадь 4,6 км<sup>2</sup>.

Для рек Енгарга и Тунка антропогенные трансформации пойм были связаны с проведением мелиоративных мероприятий (строительство осушительных каналов). Длина мелиоративного канала на р. Енгарге составляет 0,7 км и по нему в настоящий момент осуществляется основной сток воды и наносов реки. Канал сохраняет преимущественно прямолинейную форму, местами имея четковидные расширения до 11 м (при средней ширине канала 5 м). Общая площадь мелиоративных каналов на правом берегу Енгарги – 4,4 км<sup>2</sup>. Осушение привело к снижению площади старичных озер на 38 %.

На р. Тунке русло не претерпело прямых изменений. Основные мелиоративные работы затронули русла притоков (Хобок, Кынгарга и др.). Общая площадь мелиоративных каналов на правом берегу Тунки – 2 км<sup>2</sup>. Протяженность сети мелиоративных каналов в пределах поймы р. Тунки – 13,8 км. На притоках отмечено общее снижение извилистости (по данным космических снимков *Maxar* за 2015–2021 гг.). Снижение извилистости может привести к заилению русел вследствие уменьшения расходов воды (из-за перераспределения стока воды) [Варенов и др., 2015]. Мелиоративные работы привели к снижению плановых деформаций русел, а также к ослаблению продольного и поперечного смещения всех типов излучин в пределах мелиоративных систем по сравнению с участками без антропогенного преобразования (выше по течению притоков).

### Заключение

Наиболее активные русловые деформации в пределах изучаемого отрезка русла р. Ихе-Ухгунь «оз. Каторжан – устье р. Хаюрты» отмечены на участке с разветвленно-извилистым руслом, где произошла смена ведущего рукава для переноса воды и наносов. С 1989 по 2021 г. основные изменения морфометрии затронули элементы речного русла и



поймы (старицы, побочни и протоки). Активное развитие русловых процессов в правом рукаве в пределах разветвленно-извилистого участка и увеличение концентрации стока воды и наносов привели к общему увеличению количества излучин на ключевом отрезке реки.

Наиболее динамичным участком р. Енгарги на отрезке «оз. Енгаргинское – устье» без учета антропогенного преобразования является широкопойменный тип русла преимущественно с адаптированными излучинами, с учетом антропогенного фактора – отрезок русла после строительства мелиоративного канала, где произошла остановка русловых процессов. Для широкопойменного типа характерны наибольшие средние и максимальные показатели коэффициента развитости излучин (среднее 1,89), при этом с наименьшими показателями для отношения длины к стреле прогиба (среднее значение 2,14).

Для р. Тунки на изучаемом отрезке «оз. Большой Саган-Нур – устье» наиболее динамичный участок – широкопойменный тип со свободными излучинами, где отмечено общее снижение количества старичных озер и спрямление излучин в районе мелиоративных каналов. Абсолютный максимум и максимум среднего значения показателя отношения длины к стреле прогиба (среднее 3,15) связаны с активным тектоническим прогибанием фундамента озерно-аллювиальной равнины, которое усиливает процессы меандрирования в пределах данного участка.

### Список литературы

- Безгодова О.В. 2021. Применение морфометрического анализа для бассейнов малых рек котловин Байкальской рифтовой зоны. Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле, 31(3): 290–300. <https://doi.org/10.35634/2412-9518-2021-31-3-290-300>
- Безгодова О.В. 2022. Русловая морфодинамика среднего течения реки Ихе-Ухгунь. В кн.: Архитектура многополярного мира в XXI веке: экология, экономика, геополитика, культура и образование. VII Международная научно-практическая конференция, Биробиджан, 30 апреля 2022. Биробиджан, Приамурский государственный университет им. Шолом-Алейхема: 104–110.
- Варенов А.Л., Ботавин Д.В., Завадский А.С., Тарбеева А.М., Чалов Р.С. 2015. Русловые процессы на малых реках староосвоенной территории (на примере рек бассейна р. Кудьмы, Приволжская возвышенность). В кн.: Эрозионные и русловые процессы. М., Географический факультет Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова: 131–160.
- Василенко О.В., Воропай Н.Н. 2015. Особенности формирования климата котловин юго-западного Прибайкалья. Известия Российской академии наук. Серия географическая, 2: 104–111.
- Выркин В.Б. 1991. Общность и различия некоторых черт природы Тункинской ветви котловин, География и природные ресурсы, 4: 61–68.
- Иванов М.А., Ермолаев О.П. 2017. Геоморфометрический анализ бассейновых геосистем Приволжского федерального округа по данным STRM и ASTER GDEM. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 14(2): 98–109. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2017-14-2-98-109>.
- Завадский А.С., Лобанов Г.В., Петухова Л.Н., Серебренникова И.А., Смирнова Е.А., Чернов А.В. 2010. Результаты стационарных исследований русловых процессов на реках ЕТР. В кн.: Эрозионные и русловые процессы. М., Изд-во «Макс-пресс»: 220–251.
- Картушин В.А. 1969. Агроклиматические ресурсы юга Восточной Сибири. Иркутск, Издательство Восточно-Сибирской книги, 100 с.
- Нагорья Прибайкалья и Забайкалья. 1974. М., Наука, 359 с.
- Рассказов С.В., Логачев Н.А., Брандт И.С., Иванов А.В., Рассказов С.В. 2000. Геохронология и геодинамика позднего кайнозоя (Южная Сибирь Южная и Восточная Азия). Новосибирск, Наука, Сибирское отделение, 288 с.
- Уфимцев Г.Ф., Щетников А.А., Филинов И.А. 2006. Новейшая геодинамика Тункинского рифта (Прибайкалье). Литосфера, 2: 95–102.
- Чалов Р.С. 2008. Русловедение: теория, география, практика. Русловые процессы: факторы, механизмы, формы проявления и условия формирования речных русел. М., Изд-во ЛКИ, 610 с.

- Чалов Р.С. 2020. Генетическая составляющая типизации речных русел. *Геоморфология*, 2: 3–20. <https://doi.org/10.31857/S0435428120020030>.
- Чалов Р.С., Лю Ш., Чернов А.В., Михайлова Н.М., Чалов С.Р., Чалова А.С., Чалова Е.Р., Беркович К.М., Дай Ч., Цай И., Чжун Г., Лао Ш. 2020. Сравнительный анализ русловых процессов на больших реках России (азиатская часть), Монголии и Китая. В кн.: *Эрозионные и русловые процессы*. М., Географический факультет МГУ: 307–338.
- Чернов А.В. 2009. География и геоэкологическое состояние русел и пойм рек Северной Евразии, М., Крона, 684 с.
- Школьный Д.И. 2022. Пространственное распределение и географические закономерности развития экстремальных размывов берегов рек на территории России. В кн.: *Эрозия почв и русловые процессы*. М., ФГБОУ МГУ: 272–294.
- Church M., Ferguson R.I. 2015. Morphodynamics: Rivers Beyond Steady State. *Water Resources Research*, 51(4): 1883–1897. <https://doi.org/10.1002/2014WR016862>.
- Guo X., Chen D., Parker G. 2019. Flow Directionality of Pristine Meandering Rivers is Embedded in the Skewing of High-Amplitude Bends and Neck Cutoffs. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(47): 23448–23454. <https://doi.org/10.1073/pnas.1910874116>.
- Monegaglia F., Tubino M., Zolezzi G. 2019. Interaction Between Curvature-Driven Width Oscillations and Channel Curvature in Evolving Meander Bends. *Journal of Fluid Mechanics*, 876: 985–1017. <https://doi.org/10.1017/jfm.2019.574>.
- Zhao K., Lanzoni S., Gong Z., Coco G. 2021. A Numerical Model of Bank Collapse and River Meandering. *Geophysical Research Letters*, 48(12): e2021GL093516. <https://doi.org/10.1029/2021GL093516>.

## References

- Bezgodova O.V. 2021. Application of Morphometric Analysis for Small River Basins of the Baikal Rift Zone Basins. *Bulletin of Udmurt University. Series Biology. Earth Sciences*, 31(3): 290–300 (in Russian). <https://doi.org/10.35634/2412-9518-2021-31-3-290-300>.
- Bezgodova O.V. 2022. Ruslovaya morfodinamika srednego techeniya reki Ihe-Uhgun [Channel Morphodynamics of the Middle Reaches of the Ihe-Ukhgun River]. In: *Arkhitektura mnogopolyarnogo mira v XXI veke: ekologiya. ekonomika. geopolitika. kultura i obrazovaniye* [Architecture of a Multipolar World in the 21st Century: Ecology, Economics, Geopolitics, Culture and Education]. VII International Scientific and Practical Conference, Birobidzhan, 30 April 2022. Birobidzhan, Publ. Priamurskiy gosudarstvennyy universitet im. Sholom-Aleykhema: 104–110.
- Varenov A.L., Botavin D.V., Zavadsky A.S., Tarbeyeva A.M., Chalov R.S. 2015. Ruslovye processy na mal'nykh rekakh staroosvoennoy territorii (na primere rek bassejna reki Kud'my, Privolzhskaya vozvyshennosti) [Channel Processes on small Rivers of the Old Developed Territory (On the Example of the Rivers of the Kudma River Basin, Privolzhskaya Upland)]. In: *Eroziionnyye i ruslovyye protsessy* [Erosion and Channel Processes]. Moscow, Publ. Geograficheskiy fakultet Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta im. M.V. Lomonosova: 131–160.
- Vasilenko O.V., Voropay N.N. 2015. Features of Climate Formation of Depressions in South-Western Baikal Region. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya*, 2: 104–111 (in Russian).
- Vyrkin V.B. 1991. Obshhnost' i razlichija nekotorykh chert prirody Tunkinskoj vetvi kotlovin [Generality and Differences of Some Features of the Nature of the Tunka Branch Basins]. *Geografiya i prirodnyye resursy*, 4: 61–68.
- Ivanov M.A., Ermolaev O.P. 2017. Geomorphometric Analysis of River Basins of the Volga Federal District Using SRTM and Aster GDEM Data. *Current problems in remote sensing of the Earth from space*, 14(2): 98–109 (in Russian). <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2017-14-2-98-109>.
- Zavadsky A.S., Lobanov G.V., Petukhova L.N., Serebrennikova I.A., Smirnova E.A., Chernov A.V. 2010. Rezultaty stacionarnykh issledovaniy ruslovykh processov na rekakh ETR [Results of Stationary Studies of Channel Processes on the ETR Rivers]. In: *Eroziionnyye i ruslovyye protsessy* [Erosion and Channel Processes]. Moscow, Publ. Max-press: 220–251.
- Kartushin V.A. 1969. Agroklimaticheskie resursy juga Vostochnoj Sibiri [Agroclimatic Resources of the South of Eastern Siberia]. Irkutsk, Publ. Vostochno-Sibirskoy knigi, 100 p.



- Nagor'ya Pribajkal'ya i Zabajkal'ya [Highlands of the Baikal Region and Transbaikalia]. 1974. Moscow, Publ. Nauka, 359 p.
- Rasskazov S.V., Logachev N.A., Brandt I.S., Ivanov A.V., Rasskazov S.V. 2000. Geohronologiya i geodinamika pozdnego kajnozoya (Yuzhnaya Sibir', Yuzhnaya i Vostochnaya Aziya) [Geochronology and Geodynamics of the Late Cenozoic (Southern Siberia, Southern and Eastern Asia)]. Novosibirsk, Publ. Nauka, 288 p.
- Ufimtsev G.F., Shchetnikov A.A., Filinov I.A. 2006. Novejshaja geodinamika Tunkinskogo rifta (Pribajkal'e) [Recent Geodynamics of the Tunka Rift (Baikal Region)]. *Litosfera*, 2: 95–102.
- Chalov R.S. 2008. Ruslovedenie: teoriya, geografiya, praktika. Ruslovyje processy: faktory, mekhanizmy, formy proyavleniya i usloviya formirovaniya rechnyh rusel [Ruslovedenie: Theory, Geography, Practice. Channel Processes: Factors, Mechanisms, Forms of Manifestation and Conditions for the Formation of River Channels]. Moscow, Publ. LKI, 610 p.
- Chalov R.S. 2020. The Genetic Component of River Bed Typologies. *Geomorphology*, 2: 3–20 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S0435428120020030>.
- Chalov R.S., Liu Sh., Chernov A.V., Mikhaylova N.M., Chalov S.R., Chalova A.S., Chalova E.R., Berkovich K.M., Day Ch., Tsay I., Chzhun G., Lao Sh. 2020. Sravnitel'nyj analiz ruslovyh processov na bol'shikh rekah Rossii (aziatskaya chast'), Mongolii i Kitaya [Comparative Analysis of Channel Processes on Large Rivers of Russia (Asian Part), Mongolia and China]. In: *Eroziionnyye i ruslovyje protsessy* [Erosion and Channel Processes]. Moscow, Publ. Geograficheskij fakultet MGU: 307–338.
- Chernov A.V. 2009. Geografiya i geoekologicheskoe sostoyanie rusel i pojm rek Severnoj Evrazii [Geography and Geoecological State of Channels and Floodplains of the Rivers of Northern Eurasia]. Moscow, Publ. Krona, 684 p.
- Shkolny D.I. 2022. Prostranstvennoe raspredelenie i geograficheskie zakonomernosti razvitiya ekstremal'nyh razmyvov beregov rek na territorii Rossii [Spatial Distribution and Geographic Patterns of Development of Extreme Erosion of River Banks on the Territory of Russia]. In: *Eroziya pochv i ruslovyje protsessy* [Soil Erosion and Channel Processes]. Moscow, Publ. FGBOU MGU: 272–294.
- Church M., Ferguson R.I. 2015. Morphodynamics: Rivers Beyond Steady State. *Water Resources Research*, 51(4): 1883–1897. <https://doi.org/10.1002/2014WR016862>.
- Guo X., Chen D., Parker G. 2019. Flow Directionality of Pristine Meandering Rivers is Embedded in the Skewing of High-Amplitude Bends and Neck Cutoffs. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(47): 23448–23454. <https://doi.org/10.1073/pnas.1910874116>.
- Monegaglia F., Tubino M., Zolezzi G. 2019. Interaction Between Curvature-Driven Width Oscillations and Channel Curvature in Evolving Meander Bends. *Journal of Fluid Mechanics*, 876: 985–1017. <https://doi.org/10.1017/jfm.2019.574>.
- Zhao K., Lanzoni S., Gong Z., Coco G. 2021. A Numerical Model of Bank Collapse and River Meandering. *Geophysical Research Letters*, 48(12): e2021GL093516. <https://doi.org/10.1029/2021GL093516>.

*Поступила в редакцию 01.10.2023;*

*поступила после рецензирования 08.11.2023;*

*принята к публикации 22.11.2023*

*Received October 01, 2023;*

*Revised November 08, 2023;*

*Accepted November 22, 2023*

**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

**Безгодова Ольга Витальевна**, младший научный сотрудник лаборатории геоморфологии, Институт географии им. В.Б. Сочавы Сибирского отделения Российской академии наук, г. Иркутск, Россия

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

**Olga V. Bezgodova**, Junior Researcher, Laboratory of Geomorphology of Institute of Geography Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia



ДК 551.579; 556.18

DOI 10.52575/2712-7443-2024-48-1-67-76

## **Агрометеорологическое обоснование систем двухстороннего регулирования на пolderных землях Калининградской области**

**Спирин Ю.А.**

Институт географии РАН,  
Россия, 117312, г. Москва, ул. Вавилова, 37  
E-mail: spirin.yuriy@rambler.ru

**Аннотация.** На территории Калининградской области, являющейся полуэксклавом Российской Федерации, остро стоит вопрос о ее продовольственной безопасности и ресурсном самообеспечении. Одним из наиболее традиционных и стабильных решений, способных устранить эту проблему, является развитие сельскохозяйственного комплекса на территории региона. Важным аспектом его развития можно считать отлаженную работу гидромелиоративной сети. Последние 10 лет по мере финансовых возможностей ведутся работы по реконструкции и капитальному ремонту пolderных осушительных систем, действующих на территории региона, но тем не менее остается еще много нерешенных задач в этом направлении. Одной из таких может выступить преобразование осушительных систем в осушительно-увлажнительные. Этому способствует много причин, одна из которых – это временами недостаточная влагообеспеченность во время вегетационного периода сельскохозяйственной растительности. Цель работы: обосновать необходимость систем двухстороннего регулирования на пolderных землях Калининградской области путем проведения ряда агрометеорологических расчетов с целью оценки интенсивности засушливости пolderных земель, а также выявить ее вероятностное распределение. Произведена оценка увлажненности пolderных земель путем расчета гидротермического коэффициента увлажнения Селянинова в период с 1960 по 2022 г. на основе данных метеостанции г. Советска. Проанализированы данные по количеству выпавших осадков: число лет с отклонениями ниже нормы и наибольшие периоды, в которых сумма осадков не превышала 5 мм за каждый год. Результаты исследования подтвердили наличие засушливых периодов во время вегетации сельскохозяйственной растительности, а также выявлена потенциальная вероятность их возникновения.

**Ключевые слова:** гидротермический коэффициент увлажнения, засушливые периоды, системы двухстороннего регулирования, осушительно-увлажнительная сеть, пolderные земли, продовольственная безопасность

**Для цитирования:** Спирин Ю.А. 2024. Агрометеорологическое обоснование систем двухстороннего регулирования на пolderных землях Калининградской области. Региональные геосистемы, 48(1): 67–76. DOI: 10.52575/2712-7443-2024-48-1-67-76

---

## **Agrometeorological Substantiation of Two-Way Regulation Systems on Polder Lands of the Kaliningrad Region**

**Yuri A. Spirin**

Institute of Geography, Russian Academy of Science,  
37 Vavilova St, Moscow 117312, Russia  
E-mail: spirin.yuriy@rambler.ru

**Abstract.** On the territory of the Kaliningrad region, which is a semi-exclave of the Russian Federation, the issue of its food security and resource self-sufficiency is acute. One of the most traditional and stable solutions that can solve this problem is the development of the agricultural complex in the region. An important aspect of its development is the smooth operation of the drainage network. Over the past 10 years, as financial



resources allow, work has been carried out on the reconstruction and overhaul of polder drainage systems operating in the region, but nevertheless there are still many unsolved problems in this direction. One of these could be the transformation of drainage systems into drying-humidifying ones. There are many reasons for this, one of which is insufficient moisture supply during the growing season of agricultural vegetation. The purpose of the work is to carry out a series of agrometeorological calculations regarding the intensity of aridity, its probabilistic distribution, and also to analyze the results obtained. An assessment was made of the moisture content of polder lands using the means of calculating the Selyaninov hydrothermal moisture coefficient in the period from 1960 to 2022 based on data from the Sovetsk weather station. The data on the amount of precipitation were analyzed: the number of years with deviations below normal and the longest periods in which the amount of precipitation did not exceed 5 mm for each year. The results of the study confirmed the presence of dry periods during the growing season of agricultural vegetation.

**Key words:** hydrothermal moisture coefficient, dry periods, two-way regulation systems, drying-humidifying network, polder lands; food security

**For citation:** Spirin Yu.A. 2024. Agrometeorological Substantiation of Two-Way Regulation Systems on Polder Lands of the Kaliningrad Region. *Regional Geosystems*, 48(1): 67–76 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2024-48-1-67-76

## Введение

Сельское хозяйство играет важную роль в экономике Калининградской области, в частности обеспечивает продовольственную безопасность территории и содействует ее устойчивому экономическому развитию. Этот фактор является краеугольным камнем в вопросе комфортной жизнедеятельности и защите населения из-за географического положения территории (отсутствие сухопутной границы с основной частью РФ) в совокупности с обостренной геополитической ситуацией в мире, складывающейся в последние годы [Рослая, Черкашина, 2019; Волошенко и др., 2022; Федоров и др., 2023]. К сожалению, такой важный вид деятельности затруднен климатическими и ландшафтными особенностями региона.

Калининградская область относится к зоне избыточного увлажнения. По данным метеорологических наблюдений, проведенных за последние 60 лет, сумма осадков в год составляет 815 мм<sup>1</sup>. Этот фактор определяет наличие на территории области хорошо развитой речной сети, которая отличается большой густотой, в 10 раз превышающую средневропейскую. Безусловно, густая речная сеть – природное богатство региона, но этот факт сильно усложняет использование сельскохозяйственных территорий. При этом стоит учитывать, что большое количество плодородных земель расположено на польдерных массивах. Польдеры здесь занимают порядка 100 тыс. га (70 % от всех польдерных земель РФ). Самый крупный польдерный массив площадью порядка 68 тыс. га расположился на Нижненеманской низменности в границах МО «Славский городской округ» (далее Славский район).

В совокупности две эти особенности послужили толчком к формированию широкой осушительной гидромелиоративной сети в Калининградской области, которая покрывает 1047,8 тыс. га (из них земли сельхозпроизводителей 594,5 тыс. га) и, в частности, все польдеры [Спирин, Пунтусов, 2018.]. Целью создания подобных систем служит поддержание оптимального уровня влажности почв и борьба с затоплениями земель, что способствует рациональному ведению сельскохозяйственной деятельности. Несмотря на важное значение гидромелиоративного комплекса в вопросах ведения сельского хозяйства региона, он находится не в самом лучшем техническом состоянии. В последние годы ведутся активные работы по реконструкции и ремонту осушительной сети, но тем не менее остается еще много нерешенных задач в этом направлении [Спирин, Пунтусов, 2021].

<sup>1</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных. Электронный ресурс. URL: <http://meteo.ru/> (дата обращения: 1 ноября 2023).

Одной из таких задач может выступить преобразование польдерных осушительных систем в осушительно-увлажнительные. Этому способствует много причин, одна из которых – это временами недостаточная влагообеспеченность во время вегетационного периода сельскохозяйственной растительности [Брыль, 2015; Галкин, 2021]. На сегодняшний день аграрии фиксируют периоды засушливости внутри года, но современная численная оценка данного явления отсутствует, да и в целом обозначенная климатическая особенность зачастую уходит на второй план в сравнении с избытком увлажнения. В свою очередь, данная проблема влечет за собой финансовые убытки в стратегической для региона сфере, не такие высокие, как подтопления земель, но вполне существенные, чтобы на это начать обращать внимание. Современные климатические тенденции не обошли Калининградскую область стороной [Газина, Клименко, 2008; Бондаренко и др., 2018; Двоглазова, 2019], поэтому в перспективе ситуация будет ухудшаться. Все вышесказанное формирует следующую цель работы: обосновать необходимость систем двухстороннего регулирования на польдерных землях Калининградской области путем проведения ряда агрометеорологических расчетов с целью оценки интенсивности засушливости польдерных земель, а также выявить ее вероятностное распределение.

### Объекты и методы исследования

Полигоном для исследования станет самый крупный польдерный массив, расположенный на территории Славского района, результаты, полученные по нему, можно будет экстраполировать на другие польдеры региона из-за их географической близости и идентичной природной структуры [Спирин, Зотов, 2023]. Источником метеорологических данных для расчета стала гидрометеорологическая станция в городе Советске, которая находится в непосредственной близости к рассматриваемому объекту исследования. Доступная выборка необходимых расчетных характеристик в открытых источниках затрагивает период с 1959 по 2022 г. (1959 год не в полном объеме, поэтому будет фигурировать не во всех расчетах). Выборка может считаться репрезентативной, так как в ней учитываются оперативная и историческая климатические нормы, и может в полной мере дать картину современного состояния рассматриваемого вопроса.

В качестве характеристики уровня влагообеспеченности региона будет использован гидротермический коэффициент увлажнения Г.Т. Селянинова (ГТК) [Ерошенко и др., 2020; Панфилова и др., 2023], его градации представлены в табл. 1 [Зоидзе и др., 2012; Переведенцев и др., 2012; Галимова и др., 2019]. Он будет рассчитан в период активной вегетации сельскохозяйственной растительности, в частности с мая по июль включительно, которые сформируют сезон. Дата устойчивого перехода температуры через границу  $> 10\text{ }^{\circ}\text{C}$  наблюдается в мае, а в августе вся растительность уже сформирована.

Таблица 1  
Table 1

Градации гидротермического коэффициента увлажнения Г.Т. Селянинова  
Gradation of hydrothermal humidification coefficient G.T. Selyaninova

| Значение ГТК | Влагообеспеченность (степень засушливости)    |
|--------------|---|
| $> 2,00$     | Переувлажненная                               |
| 2,00–1,51    | Избыточная                                    |
| 1,50–1,41    | Повышенная                                    |
| 1,40–1,11    | Достаточная (оптимальная)                     |
| 1,10–0,76    | недостаточная                                 |
| 0,75–0,61    | Низкая (слабая засуха)                        |
| 0,60–0,41    | Очень низкая (средняя засуха)                 |
| 0,40–0,21    | Исключительно низкая (сильная засуха)         |
| $< 0,20$     | Катастрофически низкая (очень сильная засуха) |



Помимо ГТК будут проанализированы осадки: число лет с отклонениями ниже нормы и наибольшие периоды, в которых сумма осадков не превышала 5 мм за каждый год [Скворцов и др., 2017; Гольдварг и др., 2019; Ионова и др., 2019].

### Результаты и их обсуждение

Рассчитаем ГТК для мая, июня, июля и их совокупности (сезона) в период с 1960 по 2022 г., результат расчета представлены на рис. 1. Далее вычислим базовые статистические характеристики полученного ряда ГТК и запишем их в табл. 2.

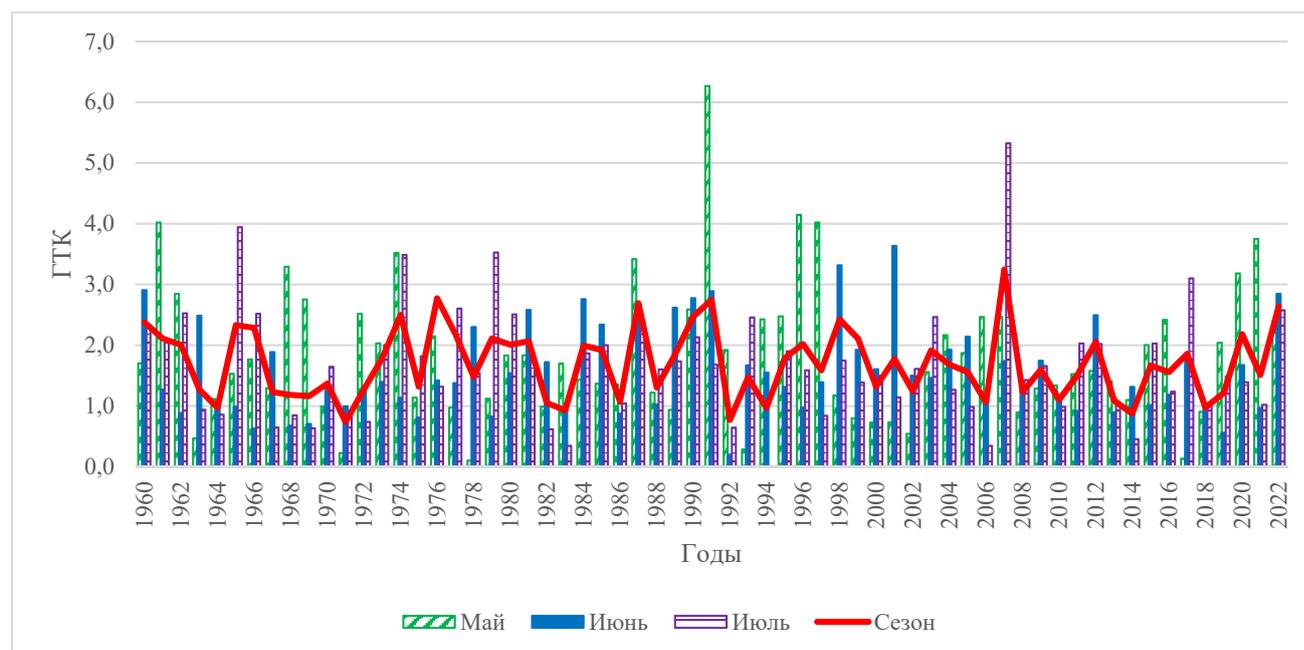


Рис. 1. Многолетний ход ГТК Селянинова (май – июль) в период с 1960 по 2022 г. на основе данных метеостанции г. Советска

Fig. 1. Long-term progress of the Selyaninov State Customs Committee (May – July) in the period from 1960 to 2022 based on data from the Sovetsk weather station

Таблица 2  
Table 2

Базовые статистические характеристики полученного ряда ГТК в период с 1960 по 2022 г.  
 Basic statistical characteristics of the obtained series of HTCs in the period from 1960 to 2022

| Период                            | Май  | Июнь | Июль | Сезон |
|-----------------------------------|------|------|------|-------|
| Среднее значение                  | 1,84 | 1,58 | 1,67 | 1,69  |
| Максимальное значение             | 6,27 | 3,64 | 5,32 | 3,25  |
| Минимальное значение              | 0,10 | 0,20 | 0,01 | 0,74  |
| Среднее квадратическое отклонение | 1,14 | 0,75 | 0,94 | 0,57  |
| Коэффициент вариации              | 0,62 | 0,48 | 0,56 | 0,34  |

В результате расчета получены следующие средние многолетние значения ГТК: май – 1,84 (избыточная влагообеспеченность); июнь – 1,58 (избыточная влагообеспеченность); июль – 1,67 (избыточная влагообеспеченность); сезон 1,69 – (избыточная влагообеспеченность). Наблюдаются высокие средние квадратические отклонения и коэффициенты вариации по отдельным месяцам, что говорит о большом разбросе относительно среднего. Для более детального анализа ситуации с засушливостью рассмотрим распределение ГТК (табл. 3).

Таблица 3  
Table 3

Повторяемость ГТК Селянинова (май – июль) в период с 1960 по 2022 г.  
на основе данных метеостанции г. Советска  
Frequency of the Selyaninov State Customs Committee (May–July)  
in the period from 1960 to 2022 based on data from the Sovetsk weather station

| ГТК              | > 2,00 | 2,00 – 1,51 | 1,50 – 1,41 | 1,40 – 1,11 | 1,10 – 0,76 | 0,75 – 0,61 | 0,60 – 0,41 | 0,40 – 0,21 | < 0,20 |
|------------------|--------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------|
| Май              |        |             |             |             |             |             |             |             |        |
| Количество лет   | 24     | 11          | 2           | 10          | 8           | 2           | 2           | 2           | 3      |
| Повторяемость, % | 38,10  | 17,46       | 3,17        | 15,87       | 12,70       | 3,17        | 3,17        | 3,17        | 4,76   |
| Июнь             |        |             |             |             |             |             |             |             |        |
| Количество лет   | 15     | 12          | 3           | 12          | 16          | 3           | 1           | 2           | 0      |
| Повторяемость, % | 23,81  | 19,05       | 4,76        | 19,05       | 25,40       | 4,76        | 1,59        | 3,17        | 0,00   |
| Июль             |        |             |             |             |             |             |             |             |        |
| Количество лет   | 20     | 14          | 3           | 6           | 11          | 5           | 1           | 2           | 2      |
| Повторяемость, % | 31,75  | 22,22       | 4,76        | 9,52        | 17,46       | 7,94        | 1,59        | 3,17        | 3,17   |
| Сезон            |        |             |             |             |             |             |             |             |        |
| Количество лет   | 21     | 16          | 2           | 13          | 10          | 1           | 1           | 0           | 0      |
| Повторяемость, % | 33,33  | 25,40       | 3,17        | 20,63       | 15,87       | 1,59        | 1,59        | 0,00        | 0,00   |

По данным табл. 3 можно сделать выводы, что недостаточная влагообеспеченность и ниже будет иметь следующую повторяемость: май – 26,97 %; июнь – 34,92 %; июль – 33,33 %; сезон – 19,05 %. Другими словами, в течение десяти лет два сезона могут оказаться с недостаточной влагообеспеченностью и ниже, а в каждом третьем году, один из месяцев в сезоне может оказаться засушливым. Засуха имеет уже не такую частую повторяемость: май – 14,27 %; июнь – 9,52 %; июль – 15,87 %; сезон – 3,17 %.

Рассмотрим количество осадков, выпавших в период с 1960 по 2022 г. (май – июль) (рис. 2) и число лет с отклонениями ниже нормы (табл. 4).

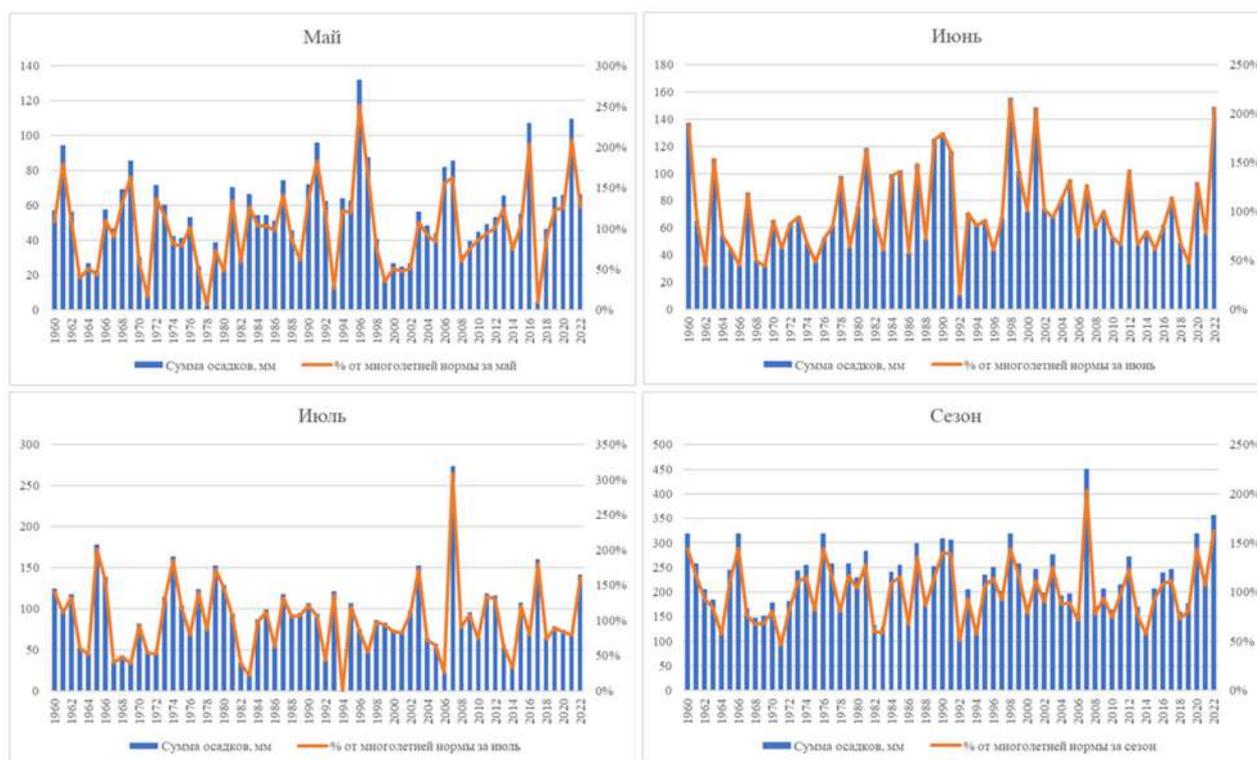


Рис. 2. Количество осадков по данным метеостанции г. Советска в период с 1960 по 2022 г.  
Fig. 2. Amount of precipitation according to the Sovetsk weather station in the period from 1960 to 2022



Таблица 4  
Table 4

Количество осадков ниже 80 % от многолетней нормы и их процентное распределение по данным метеостанции г. Советска в период с 1960 по 2022 г.  
The amount of precipitation is below 80 % of the long-term norm and its percentage distribution according to the Sovetsk weather station in the period from 1960 to 2022

| % от многолетней нормы | 80,0 – 60,1 | 60,0 – 40,1 | 40,0 – 20,1 | 20,0 – 0,0 | Всего < 80   |
|------------------------|-------------|-------------|-------------|------------|--------------|
| Май                    |             |             |             |            |              |
| Количество лет         | 6           | 10          | 3           | 3          | 22 из 63     |
| Повторяемость, %       | 9,52        | 15,87       | 4,76        | 4,76       | 34,92 из 100 |
| Июнь                   |             |             |             |            |              |
| Количество лет         | 16          | 8           | 0           | 1          | 25 из 63     |
| Повторяемость, %       | 25,40       | 12,70       | 0,00        | 1,59       | 39,68 из 100 |
| Июль                   |             |             |             |            |              |
| Количество лет         | 10          | 6           | 6           | 1          | 23 из 63     |
| Повторяемость, %       | 15,87       | 9,52        | 9,52        | 1,59       | 36,51 из 100 |
| Сезон                  |             |             |             |            |              |
| Количество лет         | 10          | 6           | 0           | 0          | 16 из 63     |
| Повторяемость, %       | 15,87       | 9,52        | 0,00        | 0,00       | 25,40 из 100 |

Как видно из таблицы 4 складывается следующая повторяемость осадков ниже 80 % от нормы: май – 34,92 %; июнь – 39,68 %; июль – 36,51 %; сезон – 25,40 %. Такую динамику осадков можно считать причиной сложившейся ситуации с ГТК, а точнее с его разбросом. Не меньший интерес представляют самые продолжительные периоды, в которых сумма осадков не превышала 5 мм (рис. 3) и их процентное распределение (табл. 5).

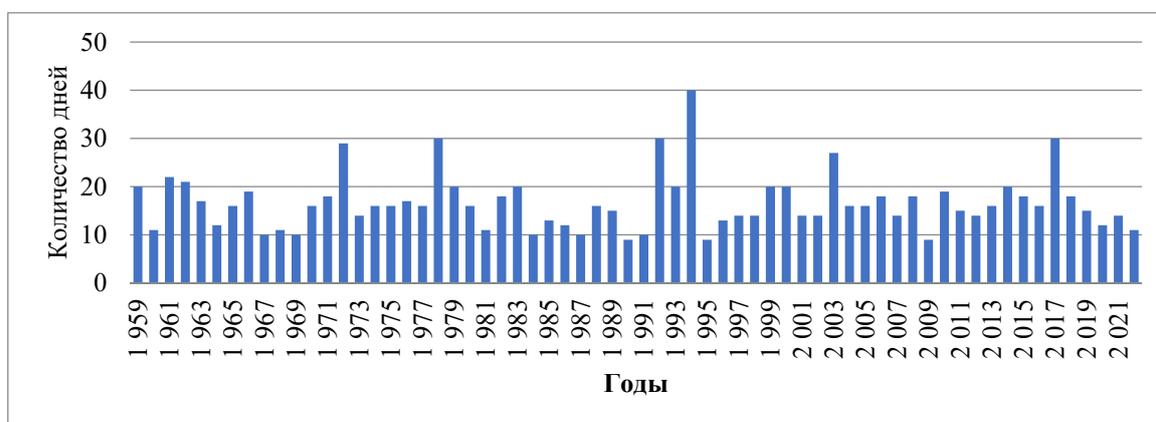


Рис. 3. Самые продолжительные периоды, в которых сумма осадков не превышала 5 мм (за сезон) по данным метеостанции г. Советска с 1959 по 2022 г.

Fig. 3. The longest periods in which the amount of precipitation did not exceed 5 mm (per season) according to the Sovetsk weather station from 1959 to 2022

Таблица 5  
Table 5

Процентное распределение самых продолжительных периодов, в которых сумма осадков не превышала 5 мм (за сезон) по данным метеостанции г. Советска с 1959 по 2022 г.  
Percentage distribution of the longest periods in which the amount of precipitation did not exceed 5 mm (per season) according to the Sovetsk weather station from 1959 to 2022

| Самые продолжительные периоды, в которых сумма осадков не превышала 5 мм (дней) | От 0 до 10 | От 11 до 20 | От 21 до 30 | От 31 до 40 |
|---|------------|-------------|-------------|-------------|
| Количество сезонов  | 8          | 48          | 7           | 1           |
| Повторяемость, %  | 12,5       | 75,0        | 10,9        | 1,6         |

Как следует из табл. 5 с вероятностью около 12,5 % в сезоне может фиксироваться затяжное отсутствие осадков более 21 дня. Как показывает опыт местных аграриев, это может стать весомой проблемой во время периода вегетации. Бывали случаи, когда отсутствие осадков даже приводило к ЧП и серьезным потерям урожая.

Уровень и частота засушливости на первый взгляд могут показаться не такими серьезными, но если взять во внимание работающую на осушение мелиоративную систему, которую нельзя включать и отключать по щелчку пальцев, то ситуация приобретает более неблагоприятный характер. Сложно сказать, какие реальные значения дефицита увлажнения будут фиксироваться на сельскохозяйственных территориях с учетом данного фактора, но определенно можно утверждать, что ситуация обстоит хуже, чем показывают расчеты в представленной статье.

Любые меры, направленные на оптимизацию работы осушительной сети с целью предотвращения переосушения при ее сегодняшнем техническом состоянии, обречены на провал. Такие действия почти во всех случаях приведут к затоплению земель. Предположим, получилось спрогнозировать период засухи и к ее началу постепенно уменьшить интенсивность осушения путем отключения насосного оборудования, но проблема в том, что, когда засушливость сменится периодом переувлажнения, многие насосы могут не запуститься из-за их износа, что приведет к затоплению сельскохозяйственных земель и к серьезному ущербу сельскохозяйственной растительности. Но точное прогнозирование интервала, в котором будет дефицит увлажнения, – весьма сложная задача, и зачастую при таком способе регулирования уровня грунтовых вод отключение оборудования будет происходить ошибочно, а в те редкие случаи, когда оно будет отключаться вовремя, вероятность успешного запуска всего комплекса насосных станций низкая. Не стоит забывать, что даже при выключенных насосных станциях часть грунтовых вод будет уходить самоотеком по дренажной системе, тем самым уменьшая влажность почвы. Один из немногих адекватных методов регулирования влажности – это система двухстороннего регулирования. В условиях хорошего технического состояния всей сети, это будет мощным инструментом в рациональном ведении сельского хозяйства.

### Заключение

Проведенные расчеты показали следующие средние многолетние значения ГТК: май – 1,84 (избыточная влагообеспеченность); июнь – 1,58 (избыточная влагообеспеченность); июль – 1,67 (избыточная влагообеспеченность); сезон 1,69 – (избыточная влагообеспеченность). Несмотря на высокую влагообеспеченность региона, внутри года в 1 из 3 месяцев будет фиксироваться дефицит влаги, а в 2 из 10 годов сезон в целом можно охарактеризовать как недостаточно увлажненный. Современные климатические тенденции могут повлечь за собой ухудшение сложившейся ситуации.

Осадки ниже 80 % от нормы имеют следующую повторяемость: май – 34,92 %; июнь – 39,68 %; июль – 36,51 %; сезон – 25,40 %. С вероятностью 12,5 % в сезоне будет фиксироваться затяжное отсутствие осадков более 21 дня, что пагубно влияет на продуктивность и качество сельскохозяйственных культур.

Несмотря на то, что случаи засушливости относительно редки, картина в реальности обстоит куда более пессимистично из-за осушительной мелиоративной сети, работающей в период вегетации сельскохозяйственной растительности. Избыточное увлажнение в совокупности с засушливыми периодами еще раз подтверждает, что Калининградская область – это зона рискованного земледелия. Геополитическая ситуация в мире подразумевает, что для региона нужно организовать необходимое материально-техническое обеспечение с целью формирования осушительно-увлажнительной сети. Без этих стратегических шагов область всегда будет иметь риски в краткосрочный, а порой и в долгосрочный период вступить в фазу отсутствия продовольственного самообеспечения.



## Список литературы

- Бондаренко Л.В., Маслова О.В., Белкина А.В., Сухарева К.В. 2018. Глобальное изменение климата и его последствия. Вестник Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова, 2(98): 84–93.
- Брыль С.В. 2015. Адаптация сельского хозяйства к глобальному изменению климата. Природообустройство, 5: 83–87.
- Волошенко К.Ю., Морачевская К.А., Новикова А.А., Лыжина Е.А., Калиновский Л.В. 2022. Трансформация продовольственной самообеспеченности Калининградской области в условиях внешних вызовов. Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле, 67(3): 409–430. <https://doi.org/10.21638/spbu07.2022.302>.
- Газина Е.А., Клименко В.В. 2008. Изменения климата Восточной Европы за последние 250 лет по инструментальным данным. Вестник Московского университета. Серия 5: География, 3: 60–66.
- Галимова Р.Г., Переведенцев Ю.П., Яманаев Г.А. 2019. Агроклиматические ресурсы Республики Башкортостан. Вестник ВГУ. Серия: География. Геоэкология, 3: 29–39.
- Галкин Д.Г. 2021. Направления адаптации сельского хозяйства к последствиям глобальных климатических изменений. Вестник Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова, 18(2(116)): 13–20. <https://doi.org/10.21686/2413-2829-2021-2-13-20>.
- Гольдварг Б.А., Боктаев М.В., Филиппов Е.Г., Донцова А.А. 2019. Влияние количества осадков в период вегетации на урожайность районированных сортов ярового ячменя в засушливой центральной зоне республики Калмыкия. Зерновое хозяйство России, 5(65): 14–17. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2019-65-5-14-17>.
- Двоглазова Н.В. 2019. Современное состояние климатической системы Калининградской области на фоне глобального потепления. Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Серия: Естественные и медицинские науки, 1: 35–45.
- Ерошенко Л.М., Дедушев И.А., Ромахин М.М., Ерошенко А.Н., Ерошенко Н.А., Ромахина В.В. 2020. Влияние гидротермического коэффициента на крупяные качества сортов ячменя в условиях Нечерноземной зоны. Вестник Алтайского государственного аграрного университета, 2(184): 26–32.
- Зоидзе Е.К., Задорнова Т.И., Хомякова Т.В. 2012. Опыт агроклиматического и оперативного мониторинга засушливых явлений в России по наземным данным. Труды Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова, 565: 152–164.
- Ионова Е.В., Лиховидова В.А., Лобунская И.А. 2019. Засуха и гидротермический коэффициент увлажнения как один из критериев оценки степени ее интенсивности (обзор литературы). Зерновое хозяйство России, 6(66):18–22. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2019-66-6-18-22>.
- Панфилова О.Н., Чугунова Е.В., Дерунова С.Н. 2023. Зависимость урожая зерна кукурузы и уборочной влажности от ГТК в условиях Волгоградской области. Аграрный научный журнал, 1: 34–40. <https://doi.org/10.28983/asj.y2023i1pp34-40>.
- Переведенцев Ю.П., Шарипова Р.Б., Важнова Н.А. 2012. Агроклиматические ресурсы Ульяновской области и их влияние на урожайность зерновых культур. Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле, 2: 120–126.
- Рослая В.Н., Черкашина О.В. 2019. Угрозы продовольственной безопасности Калининградской области. Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук, 6: 30–32.
- Скворцова Ю.Г., Филенко Г.А., Фирсова Т.И., Газе В.Л., Анисимова Н.Н. 2017. Влияние водного стресса на посевные качества семян озимой пшеницы. Зерновое хозяйство России, 6(54): 52–55.
- Спирин Ю.А., Зотов С.И. 2023. Водотоки польдеров: методы исследований и геоэкологическая оценка. М., Научно-издательский центр Инфра-М, 217 с. <https://doi.org/10.12737/1903343>.
- Спирин Ю.А., Пунтусов В.Г. 2018. Особенности формирования уровня грунтовых вод на польдере насосной станции № 20а в Славском районе Калининградской области. Мелиорация и водное хозяйство, 2: 27–30.
- Спирин Ю.А., Пунтусов В.Г. 2021. Тенденции и перспективы развития гидромелиоративного комплекса Славского района Калининградской области. Овощи России, 2: 86–92. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-2-86-92>.

Федоров Г.М., Волошенко К.Ю., Жданов В.П. 2023. Стратегия развития и экономическая безопасность Калининградской области. Калининград, Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, 72 с.

### References

- Bondarenko L.V., Maslova O.V., Belkina A.V., Sukhareva K.V. 2018. Global Climate Change and Its After-Effects. *Bulletin of the Russian Economic University named after G.V. Plekhanova*, 2(98): 84–93 (in Russian).
- Bryl S.V. 2015. Adaptation of Agriculture to Global Climate Change. *Environmental Engineering*, 5: 83–87 (in Russian).
- Voloshenko K.Yu., Morachevskaya K.A., Novikova A.A., Lyzhina E.A., Kalinovskiy L.V. 2022. Transformation of Food Self-Sufficiency of Kaliningrad Oblast in the Face of External Challenges. *Vestnik of Saint Petersburg University. Earth Sciences*, 67(3): 409–430 (in Russian). <https://doi.org/10.21638/spbu07.2022.302>.
- Gazina E.A., Klimenko V.V. 2008. Climate Changes in East Europe During the Last 250 Years According to the Instrumentally Obtained Data. *Moscow University Bulletin. Series 5, Geography*, 3: 60–66 (in Russian).
- Galimova R.G., Perevedentsev Yu.P., Yamanaev G.A. 2019. Agro-Climatic Resources of the Republic of Bashkortostan. *VSU Bulletin. Series: Geography. Geoecology*, 3: 29–39 (in Russian).
- Galkin D.G. 2021. Agriculture Adaptation to Consequences of Global Climate Changes. *Bulletin of the Russian Economic University named after G.V. Plekhanova*, 18(2(116)): 13–20 (in Russian). <https://doi.org/10.21686/2413-2829-2021-2-13-20>.
- Goldvarg B.A., Boktaev M.V., Filippov E.G., Dontsova A.A. 2019. The Effect of Precipitations in a Vegetation Period on Productivity of the Zoned Spring Barley Varieties in the Arid Central Zone of the Republic of Kalmykia. *Grain Economy of Russia*, 5(65): 14–17 (in Russian). <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2019-65-5-14-17>
- Dvoeglazova N.V. 2019. The Current State of the Climate System of the Kaliningrad Region and Global Warming. *Bulletin of the Baltic Federal University. I. Kant. Series: Natural and Medical Sciences*, 1: 35–45 (in Russian).
- Eroshenko L.M., Dedushev I.A., Romakhin M.M., Yeroshenko A.N., Yeroshenko N.A., Romakhina V.V. 2020. The Influence of the Hydrothermal Coefficient on Groats Qualities of Barley Varieties Under the Conditions of the Non-Chernozem Zone. *Bulletin of the Altai State Agrarian University*, 2(184): 26–32 (in Russian).
- Zoidze E.K., Zadornova T.I., Khomyakova T.V. 2012. Practice Agroclimatic and Operational Monitoring Drought Events in Russia on Ground Data. *Proceedings of the Main Geophysical Observatory named after. A. I. Voeykova*, 565: 152–164 (in Russian).
- Ionova E.V., Likhovidova V.A., Lobunskaya I.A. 2019. Drought and Hydrothermal Humidity Factor as One of the Criteria to Estimate Its Intensity Degree (Literature Review). *Grain Economy of Russia*, 6(66):18–22 (in Russian). <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2019-66-6-18-22>.
- Panfilova O.N., Chugunova E.V., Derunova S.N. 2023. Dependence of the Corn Grain Yield and Harvesting Humidity on the SCC in the Conditions of the North-West of the Volgograd Region. *The Agricultural Scientific Journal*, 1: 34–40 (in Russian). <https://doi.org/10.28983/asj.y2023i1pp34-40>.
- Perevedentsev Yu.P., Sharipova R.B., Vazhnova N.A. 2012. Agroclimatic Resources of the Ulyanovsk Region and Their Impact on the Yield of Crops. *Bulletin of Udmurt University. Biology series. Geosciences*, 2: 120–126 (in Russian).
- Roslava V.N., Cherkashina O.V. 2019. Ugrozy продовольственной безопасности Калининградской области [Threats to Food Security in the Kaliningrad Region]. *Aktualnyye problemy gumanitarnykh i estestvennykh nauk*, 6: 30–32.
- Skvortsova Yu.G., Filenko G.A., Firsova T.I., Gaze V.L., Anisimova N.N. 2017. The Effect of Water Stress on Quality and Productivity of Winter Wheat Seeds. *Grain Economy of Russia*, 6(54): 52–55 (in Russian).
- Spirin Yu.A., Zotov S.I. 2023. Polder Watercourses: Research Methods and Geoecological Assessment. Moscow, Publ. LLC “Scientific Publishing Center Infra-M”, 217 p. (in Russian). <https://doi.org/10.12737/1903343>.



- Spirin Yu.A., Puntusov V.G. 2018. Peculiarities of Forming the Levels Regime of Groundwaters on Polder of Pumping Station № 20a in Slavsk District of Kaliningrad Region. Reclamation and Water Management, 2: 27–30 (in Russian).
- Spirin Yu.A., Puntusov V.G. 2021. Trends and Prospects for the Development of the Irrigation and Drainage Complex of the Slavsky District of the Kaliningrad Region. Vegetable crops of Russia, 2: 86–92 (in Russian). <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-2-86-92>.
- Fedorov G.M., Voloshenko K.Yu., Zhdanov V.P. 2023. Strategiya razvitiya i ekonomicheskaya bezopasnost Kaliningradskoy oblasti [Development Strategy and Economic Security of the Kaliningrad Region]. Kaliningrad, Publ. Immanuel Kant Baltic Federal University, 72 p.

*Поступила в редакцию 24.11.2023;*

*поступила после рецензирования 29.12.2023;*

*принята к публикации 25.01.2024*

*Received November 24, 2023;*

*Revised December 29, 2023;*

*Accepted January 25, 2024*

**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

**Спирин Юрий Александрович**, научный сотрудник лаборатории гидрологии, Институт географии РАН, г. Москва, Россия

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

**Yuri A. Spirin**, Researcher, Laboratory of Hydrology, Institute of Geography, Russian Academy of Science, Moscow, Russia



УДК 911.5  
DOI 10.52575/2712-7443-2024-48-1-77-90

## Концепция наземного покрова (Land Cover) как основа дистанционного мониторинга земель

<sup>1</sup>Савин И.Ю., <sup>2</sup>Березуцкая Э.Р.

<sup>1</sup>Почвенный институт им. В.В. Докучаева,  
Россия, 119017, Москва, Пыжевский пер. 7, стр. 2

<sup>2</sup>Российский университет дружбы народов,  
Россия, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6  
E-mail: savigory@gmail.com, ebigildina@gmail.com

**Аннотация.** На основе анализа литературных первоисточников сделан обзор наиболее часто используемых определений и подходов к классификации объектов наземного покрова (Land Cover). Установлено, что часто авторы смешивают понятия наземного покрова с понятиями «растительность» и «земельные угодья». Наиболее логичным выглядит понимание наземного покрова как (био)физического состояния земной поверхности. Смешение объектов наземного покрова с растительностью и земельными угодьями приводит к тому, что используемые в мире классификации наземного покрова также часто включают в себя объекты из классификаций растительности, почв, ландшафтов, землепользования. Наиболее логичной и детальной является классификация наземного покрова мира, разработанная под эгидой ФАО в 2000 году. На основе данной классификации предложена классификация наземного покрова с учетом специфики территории России. Установлено, что комбинации классов наземного покрова закономерно повторяются в пространстве. Предложены новые подходы к классификации пространственных комбинаций наземного покрова, основанные на анализе контрастности и соподчиненности классов наземного покрова.

**Ключевые слова:** наземный покров, мониторинг земель, классификация наземного покрова, дистанционное зондирование, Landsat, Sentinel-2

**Благодарности:** Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6).

**Для цитирования:** Савин И.Ю., Березуцкая Э.Р. 2024. Концепция наземного покрова (Land Cover) как основа дистанционного мониторинга земель. Региональные геосистемы, 48(1): 77–90. DOI: 10.52575/2712-7443-2024-48-1-77-90

---

## The Concept of Land Cover as a Basis for Remote Sensing Monitoring of Land

<sup>1</sup>Igor Yu. Savin, <sup>2</sup>Elina R. Berezutskaya

<sup>1</sup>V.V. Dokuchaev Soil Science Institute,  
2 p., 7 Pyzhevsky Lane, Moscow 119017, Russia

<sup>2</sup>Peoples' Friendship University of Russia,  
6 Miklukho-Maklaya St, Moscow 117198, Russia  
E-mail: savigory@gmail.com, ebigildina@gmail.com

**Abstract.** Based on the analysis of literature primary sources, a review of the most frequently used definitions and approaches to the classification of land cover objects (Land Cover) is made. It was found



that authors often mix the concepts of land cover with the concepts of "vegetation" and "land". The most logical understanding of land cover as a (bio)physical state of the earth's surface. The mixing of land cover objects with vegetation and land use leads to the fact that land cover classifications used in the world also often include objects from the classifications of vegetation, soils, landscapes, and land use. The most logical and detailed is the classification of the world land cover developed under the auspices of FAO in 2000. On the basis of this classification the classification of land cover is proposed taking into account the specifics of the territory of Russia. It is found that combinations of land cover classes are regularly repeated in space. New approaches to the classification of spatial combinations of land cover based on the analysis of contrast and spatial subordination of land cover classes are proposed.

**Keywords:** Land Cover, land monitoring, land cover classification, remote sensing, Landsat, Sentinel-2

**Acknowledgements:** The work was carried out within the framework of realization of the most important innovative project of state importance "Development of the system of ground and remote monitoring of carbon pools and greenhouse gas fluxes on the territory of the Russian Federation, provision of creation of the system of accounting data on the fluxes of climatically active substances and carbon budget in forests and other ground ecological systems" (reg. № 123030300031-6).

**For citation:** Savin I.Yu., Berezutskaya E.R. 2024. The Concept of Land Cover as a Basis for Remote Sensing Monitoring of Land. Regional geosystems, 48(1): 77–90 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2024-48-1-77-90

---

## Введение

Данные дистанционного зондирования очень широко используются для картографирования и мониторинга природных ресурсов. Уже более 50 лет успешно эксплуатируются специально созданные природно-ресурсные спутники, которые позволяют получать информацию о различных природных ресурсах (*Landsat*, *Sentinel*, *MODIS*, *SPOT*, *NOAA AVHRR*, *Kosmos* и многие другие). Появление таких спутников положило начало развитию отдельных научных направлений, целью которых явилось развитие методов и технологий прикладного анализа получаемой спутниковой информации. Так, появились направления спутникового картографирования и мониторинга атмосферы и океана [Вельтищев, Семенченко, 2005], растительности [Xie et al., 2008], геологических объектов [Asadzadeh, de Souza Filho, 2016], почв [Dharumarajan et al., 2023], водных объектов [Schmugge et al., 2002], земель сельскохозяйственного и лесохозяйственного назначения [Лупян и др., 2011], промышленных и селитебных объектов [Kaur, Pandey, 2022].

В основе всех разрабатываемых систем спутникового мониторинга природных ресурсов лежит анализ специфики взаимодействия солнечной энергии (или электромагнитных волн, специально генерируемых спутниковой аппаратурой) с земной поверхностью, которая интерпретируется с точки зрения возможности детектирования и дистанционного мониторинга конкретного объекта (ресурса) [Vincent, 1997]. В свою очередь, специфика взаимодействия солнечной энергии с земной поверхностью предопределяется состоянием этой поверхности и отражательной способностью объектов, которые находятся на поверхности Земли. Таким образом, объекты на земной поверхности образуют в комплексе тот отраженный сигнал, который и фиксируется аппаратурой, установленной на борту спутниковой платформы и который в виде изображений получают пользователи спутниковых данных.

Это означает, что специфика изображений земной поверхности на спутниковых данных определяется тем, какие объекты на ней расположены и каковы их спектральные отражательные свойства. А это, в свою очередь, предопределяет возможности детектирования и мониторинга объектов на земной поверхности по спутниковым данным, а также детектирование по изображению объектов на земной поверхности и специфики компонентов природных объектов, находящихся под поверхностью Земли (например, геологических или почвенных).

Кроме того, отражательные свойства земной поверхности участвуют в регулировании радиационного баланса биосферы Земли [Stephens et al., 2015]. Изменение альбедо земной поверхности также является одной из причин изменений климата [Stephens et al., 2015].

Все это привело к повышенному интересу к изучению состояния земной поверхности как самостоятельного объекта, что наиболее успешно развивалось в зарубежных странах в виде концепции Land Cover (LC) (здесь и далее в тексте используется термин «наземный покров» (НП)).

Таким образом, изучение наземного покрова является важной задачей не только для понимания природных процессов, но и для разработки стратегий устойчивого развития и охраны окружающей среды.

Но, несмотря на высокую значимость, это научное направление до сих пор недостаточно научно обосновано. Отсутствует общепринятая терминология и классификация наземного покрова. Целью настоящей статьи является обзор основных понятий и классификаций наземного покрова для выработки подходов, которые наиболее полно отражали бы суть этого природного объекта и облегчали его использование для создания новых методов картографирования и мониторинга земельных ресурсов.

### Объекты и методы исследования

Несмотря на несколько десятилетий развития учения о НП, до сих пор отсутствует общепринятое определение этого объекта. В табл. приведены наиболее часто используемые определения.

Определения понятия НП  
Definitions of the concept of Land cover

| № | Оригинальное определение  | В переводе на русский язык   | Ссылка                  |
|---|---|--|-------------------------|
| 1 | Landcover is used to describe the physical material at the surface of the earth. Land covers include grass, asphalt, trees, bare ground, water, etc.  | Понятие «наземный покров» используется для описания физического состояния земной поверхности. Оно включает в себя травянистый покров, асфальт, деревья, открытую поверхность почвы, водную поверхность и др. | Fuller et al., 2000     |
| 2 | Land cover (LC) is the physical material at the surface of the Earth. It is the result of both natural and human forces                               | Наземный покров – это физический материал на поверхности Земли. Он является результатом как природных, так и антропогенных воздействий.  | Yang, Xin, 2021         |
| 3 | Land cover is defined as a collection of objects present on or above the surface of the Earth, including vegetation, buildings, water, rocks and soil | Наземный покров определяется как совокупность объектов, присутствующих на поверхности Земли или над ней, включая растительность, объекты застройки, воду, горные породы и почву.                             | Bartholomé et al., 2002 |
| 4 | Landcover is used to describe the physical material at the surface of the earth. Land covers include grass, asphalt, trees, bare ground, water, etc.  | Наземный покров – это биофизическая оболочка, наблюдаемая на земной поверхности, которая включает в себя как природные объекты, так и антропогенные.   | Land cover..., 2024     |



Окончание таблицы  
End of the table

|    |   |   |                             |
|----|---|---|-----------------------------|
| 5  | Land cover (LC) is defined as the biophysical material over the surface of the Earth and immediate subsurfaces including, among others, grass, shrubs, forests, croplands, barren, waterbodies (including groundwater), and man-made structures | Наземный покров можно рассматривать как проекцию измеримых и наблюдаемых свойств ландшафтной оболочки на земной поверхности в разных масштабах, которые определяются пространственным разрешением данных дистанционного зондирования.                           | Global land ..., 2024       |
| 6  | Land cover refers to the surface cover on the ground like vegetation, urban infrastructure, water, bare soil etc.   | Наземный покров – это термин, который можно отнести к физическому покрову земной поверхности, включающий в себя разные типы земельных участков и их характеристики. Например, леса, пастбища, горы, города, сельскохозяйственные угодья, водные объекты и т. д. | What is a land ..., 2024    |
| 7  | Land cover is the observed (bio)physical cover on the earth's surface.  | Наземный покров – наблюдаемый (био)физический покров на поверхности Земли.  | Jansen, Di Gregorio, 2000   |
| 8  | Наземный покров (или напочвенный покров) используется для описания материала, покрывающего поверхность Земли. К наземному покрову относятся трава, асфальт, деревья, голая земля, вода и т. д.  | –   | Макарова, Владимирова, 2020 |
| 9  | Land cover is the observed (bio)physical cover on the earth's surface. Land cover refers to the surface cover on the ground, whether vegetation, urban infrastructure, water, bare soil or other.   | Наземный покров – это физический материал на поверхности Земли. Наземный покров относится к земной поверхности с растительностью, селитебной инфраструктурой, водными объектами, открытой поверхностью почв и др.   | What does land..., 2024     |
| 10 | Land cover data documents how much of a region is covered by forests, wetlands, impervious surfaces, agriculture, and other land and water types.   | Наземный покров описывает покрытие территории лесами, болотами, искусственными поверхностями, сельскохозяйственной деятельностью и другими типами поверхности суши и воды.  | Ocean service..., 2024      |

Анализ приведенных в табл. 1 определений показывает, что многие авторы определяют НП как (био)физическое состояние поверхности, что является вполне логичным. Именно (био)физическое состояние предопределяет отражательные свойства поверхности

Земли, энергетический баланс и специфику ее изображения на данных дистанционного зондирования. Попытка включения в определение НП терминов использования земель (Land Use) (селитебные территории, пашня и т. п.) вряд ли выглядит логичным (см., например, определения номер 1, 6, 9, 10), так как наземные объекты одного (био)физического типа могут иметь разное использование и попадать в разные классы. Так, например, (био)физический объект «древесная растительность» может иметь разное использование (лесная плантация, неуправляемый лес, плодовые насаждения, парковая зона и т. д.). То есть, с точки зрения НП это один и тот же объект, а с точки зрения землепользования – совершенно разные объекты.

Определение 5 жестко связывает НП с пространственным разрешением данных дистанционного зондирования, что также вряд ли логично. Наземный покров существует вне зависимости от данных дистанционного зондирования, которые могут лишь служить инструментом для его мониторинга. Поэтому связывать определение понятия НП с генерализованностью спутниковых данных вряд ли правильно.

Наиболее логичным нам представляется определение НП как (био)физического состояния поверхности Земли. Исходя из этого определения и должны строиться классификации наземного покрова.

### ***Классификации наземного покрова***

Классификации наземного покрова на начальном этапе возникали в виде легенд (списков классов) к тем картам, которые строились на основе спутниковых данных. В большинстве случаев в прошлом веке эти карты строились в мелком масштабе (с размером пикселя в несколько километров или 1 км). С появлением данных *MODIS* подобные продукты появились и с более высоким пространственным разрешением (250–500 м). Количество классов наземного покрова на подобных картах обычно составляло около 10–20 и они во многом повторяют друг друга.

Одной из наиболее известных и распространенных является классификация НП, созданная под эгидой Международной геосферно-биосферной программы ООН (IGBP) [Loveland et al., 2000]. Она была предложена для глобальной карты наземного покрова, созданной на основе данных NOAA-AVHRR с пространственным разрешением 1 км в 1993 году. Легенда карты включает 17 классов наземного покрова, что позволяет решать поставленные перед программой задачи:

- водная поверхность;
- вечнозеленые хвойные леса;
- вечнозеленые лиственные леса;
- опадающие хвойные леса;
- листопадные лиственные леса;
- смешанные леса;
- сомкнутые кустарниковые сообщества;
- разреженные кустарниковые сообщества;
- древесные саванны;
- саванны;
- травянистая растительность;
- болота;
- пашня;
- городские и застроенные территории;
- смесь пашни с естественной растительностью;
- ледники и снежники;
- лишенная растительности поверхность.

Как видно из этого перечня, он содержит классы не только НП, но и классы землепользования (пашня, городские территории). Кроме того, в данной классификации очень



слабо отражены смешанные классы наземного покрова, которые в большинстве случаев являются преобладающими на земной поверхности.

Более детальная версия глобальной карты НП была построена Бостонским университетом под эгидой NASA [2024] на основе данных MODIS за 2000–2001 годы. Пространственное разрешение этой карты также составляет 1 км, и она использует ту же легенду (классификацию НП), но с обновленными алгоритмами картографирования.

Похожий продукт создается ежегодно и Институтом космических исследований РАН в России на основе данных MODIS с пространственным разрешением 250 м на местности [Лупян и др., 2011]. Несмотря на то, что он позиционируется авторами как карта растительности, по своему содержанию (используемой классификации) он очень близок к картам наземного покрова, рассмотренным выше.

Серия спутниковых карт НП была издана университетом Мэриленд (США). Последняя, наиболее детальная, из них – в 2019 году. Она построена на основе спутниковых данных *Landsat* с пространственным разрешением 30 м на местности, но позиционируется авторами как «карта наземного покрова – землепользований» [Hansen et al., 2022].

В качестве легенды для этих карт была использована специально разработанная классификация, включающая 20 классов:

- пустыни;
- полупустынные территории;
- густая невысокая растительность;
- разреженная древесная растительность;
- сомкнутая древесная растительность;
- вновь возникшая древесная растительность;
- уничтоженная древесная растительность (не пожары);
- солончаки и соры;
- болота с редкой растительностью;
- болота с густой низкой растительностью;
- болота с разреженной древесной растительностью;
- болота с сомкнутой древесной растительностью;
- болота, заросшие древесной растительностью;
- болота с уничтоженной древесной растительностью (не пожары);
- ледники;
- водная поверхность;
- пахотные угодья;
- застроенные территории;
- океан;
- нет данных.

Основные из этих классов показаны на карте в процентах (например, застроенная территория на 60–70 %, или с показом высоты деревьев, или с показом проективного покрытия низкой растительности).

В отличие от классификации IGBP, эта классификация НП более детальна с точки зрения именно (био)физического состояния поверхности и менее близка к обычной классификации растительности. В ней задействованы классы НП, многие из которых действительно характеризуют (био)физическое состояние поверхности, а не просто классы растительности или ландшафтов.

Оригинальные подходы к классификации НП были разработаны Институтом прикладного системного анализа в Австрии (IIASA) в рамках проекта *Land Use Land Cover Changes* [van Minnen et al., 1996]. В рамках этих подходов в классификацию было введено разделение всех объектов НП на естественные, искусственные и полустественные. Которые на следующем уровне делились на покрытые растительностью и непокрытые

растительностью. А далее шло разделение на более дробные классы, которые во многом повторяли классы классификации IGBP, но на более детальном и иногда количественном уровне (высота, плотность растительного покрова). Всего было выделено 40 классов НП. Но в большинстве случаев наименования классов совпадают с классами растительности или природных зон (например, тундра, пустыни и т. п.), а не непосредственно классами НП.

Последующие работы ИАСА в области картографирования и классификации НП были направлены на использование более детальных спутниковых данных или данных, собираемых в рамках краудсорсинговых технологий, и не внесли существенных изменений в классификацию НП.

Существенным вкладом в развитие классификации НП является создание классификационной системы, разработанной специалистами ФАО [Di Gregorio, Jansen, 2000], которая была представлена в виде компьютерной иерархичной системы. Она аккумулировала опыт многих предыдущих подходов [Anderson et al., 1976; СЕС, 1993; UNEP/FAO, 1994; UNEP, 2024], а также многочисленных классификаций растительности. На самом высоком уровне в ней выделяются два класса: под растительностью и без растительности. На следующем уровне эти классы делятся на наземные и водные. На третьем уровне эти классы разделяются на естественные, искусственные и полустественные. Дальнейшее разделение на классы НП идет с использованием специально разработанных классификаторов, отличных для разных классов более высоких уровней классификации. По ним выделяется еще до 4 иерархических уровней классификации. Дополнительно полученные классы НП характеризуются показателями окружающей среды (климат, рельеф, почвы...), которые не влияют на классификационное положение НП. В классификации не предусмотрено выделение смешанных классов НП, но считается, что при переходе от классификации к легенде карты вполне могут возникать смешанные классы НП, отображаемые на картах. При этом рекомендовано указывать не более 3 классов НП в картографическом выделе.

Данная классификация на сегодняшний момент является наиболее полной и действительно опирается именно на (био)физические характеристики наземного покрова.

### **Результаты и их обсуждение**

В идеале классификация наземного покрова должна быть базовой и систематизировать в себе все накопленные научные знания об объекте исследований. Классификация должна основываться на базовом понимании «наземного покрова» как (био)физическом состоянии земной поверхности. Наземный покров должен рассматриваться как особый объект земной поверхности, который имеет свои специфические свойства, изменяется во времени и имеет специфику размещения в пространстве. Таким образом, классификация наземного покрова должна быть уникальной и не содержать в себе элементов классификации растительности, климата, почв, рельефа, созданных человеком искусственных объектов.

Помимо этого, необходимо разделить пространственный и типологический аспекты рассмотрения наземного покрова. Существует типологическая единица наземного покрова – «тип наземного покрова», которая обладает на земной поверхности своей географией. Отсюда следует, что классификация типов наземного покрова не должна касаться их пространственного размещения. Последнее может быть объектом отдельного классифицирования. Только при таком подходе можно достичь независимости типологической классификации наземного покрова от масштаба исследования и разрешить проблему унификации подходов к инвентаризации и картографированию наземного покрова. Этот принцип хорошо выдержан в классификации НП ФАО [Di Gregorio, Jansen, 2000].



Но в этой классификации почти не проработан вопрос классификации пространственных объектов НП.

Для решения задачи картографирования и мониторинга НП на уровне России и субъектов РФ оптимальным выглядит адаптация классификации ФАО (2000) (как наиболее проработанной и логичной) в следующем виде.

На самом высоком уровне выглядит логичным выделение 3 классов:

- земная поверхность с растительностью;
- земная поверхность без растительности;
- водные поверхности.

Эти 3 класса в свою очередь подразделяются на:

- естественные;
- искусственные.

Следовательно, базовыми на первом уровне классификации являются 6 классов НП, каждый из которых делится на втором, третьем и четвертом уровнях следующим образом:

1. земная поверхность с естественной растительностью
  - 1.1. древесная
    - 1.1.1. хвойная
    - 1.1.2. широколиственная
    - 1.1.3. мелколиственная
    - 1.1.4. смешанная
  - 1.2. кустарниковая
    - 1.2.1. хвойная
    - 1.2.2. лиственная
  - 1.3. травянистая
  - 1.4. моховая и лишайниковая
2. земная поверхность с искусственной растительностью
  - 2.1. древесная
    - 2.1.1. хвойная
    - 2.1.2. лиственная
  - 2.2. кустарниковая
  - 2.3. травянистая
3. естественная земная поверхность без растительности
  - 3.1. обнаженные почвы
  - 3.2. обнажения горных пород
  - 3.3. ледники и снежники
4. искусственная земная поверхность без растительности
  - 4.1. здания и строения
  - 4.2. автодороги
  - 4.3. железные дороги
  - 4.4. асфальтовые покрытия
  - 4.5. карьеры
  - 4.6. насыпи и отвалы
5. естественные водные объекты
  - 5.1. озера
  - 5.2. реки и ручьи
6. искусственные водные объекты
  - 6.1. водохранилища, запруды, искусственные озера
  - 6.2. каналы

Каждый из этих классов НП может характеризоваться дополнительными (био)физическими показателями. Например, растительность может характеризоваться разреженностью и высотой, дороги – типом покрытия и шириной, открытая поверхность почв и горных пород – их цветом (или отражательной способностью) и т. п. Эти показатели, по сути, аналогичны классификаторам в классификации ФАО [Di Gregorio, Jansen, 2000], но качественно отличаются от них для каждого типа НП.

Данная классификация характеризует (био)физическое состояние объектов в среднем, а не в конкретный момент времени. Так, например, зимой многие объекты НП покрыты снегом, но это не является основанием для отнесения этих объектов к классу 3.3.

Классификация имеет большое фундаментальное значение, но ее практическая значимость зависит от пространственного размещения классов НП и от их визуализации в виде карт. Использование классификации НП при картографировании имеет ряд особенностей.

Во-первых, это пространственная неоднородность НП, а во-вторых, – генерализованность карт. Большинство карт НП создается на основе анализа спутниковой информации, и степень генерализованности карты предопределяется как особенностями пространственной неоднородности НП, так и размером пикселя как элементарной единицы анализа. Путь показа преобладающего типа НП на картах, принятый почти на всех глобальных картах, является самым простым, но одновременно и самым неточным с точки зрения отражения географии НП. Улучшить качество карт можно путем отражения многокомпонентности НП на карте (например, показывать не только преобладающий класс НП, а до 3 классов, включая и сопутствующие классы НП, как предлагают [Di Gregorio, Jansen, 2000]).

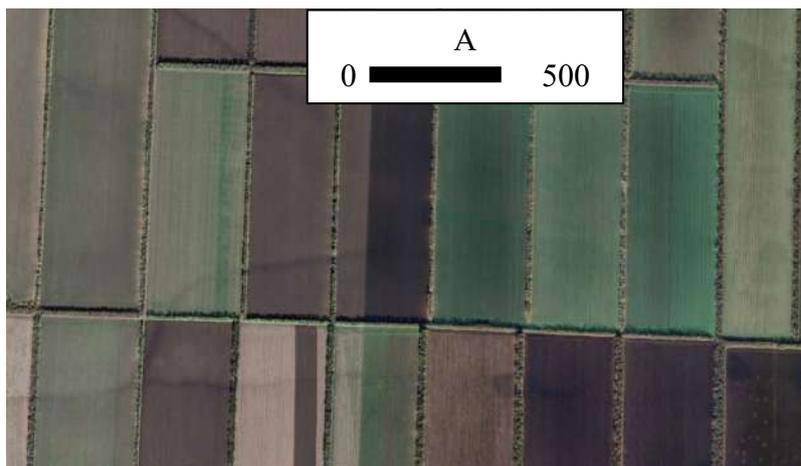
С нашей точки зрения, на картах НП в идеальном случае следует отражать закономерные пространственные комбинации НП. Наличие подобных закономерных пространственных комбинаций НП предопределяется как природными условиями территории (рельеф, почвы, растительность, климат), так и спецификой хозяйственной деятельности. На рис. представлены примеры подобных комбинаций в виде их изображений на спутниковых данных.

Данные закономерные пространственные комбинации можно классифицировать по подобию классификации структур почвенного покрова [Фридланд, 1972]. То есть, в качестве классификаторов можно использовать информацию о взаимосвязи компонентов НП и о контрастности входящих в комбинацию классов НП. В результате могут быть выделены:

1. Сочетания НП. Комбинации с контрастными компонентами НП и с выраженной односторонней связью между ними.
2. Вариации НП. Комбинации с неконтрастными компонентами НП и с выраженной односторонней связью между ними.
3. Мозаики НП. Комбинации с контрастными компонентами НП и без выраженной связи между ними.
4. Ташеты НП. Комбинации с неконтрастными компонентами НП и без выраженной связи между ними.

У В.М. Фридланда [1972] еще выделяются комплексы и пятнистости, которые характеризуются не просто связью между компонентами, а их взаимным влиянием друг на друга. В отличие от почвенного покрова выделять такие комбинации в случае НП вряд ли целесообразно.

Контрастность комбинации НП может определяться на основе Коэффициента спектральной контрастности (КСК), который представляет собой среднюю арифметическую для всех каналов и сроков съемки величину градиентов спектральной яркости для выдела НП.



Примеры закономерных пространственных комбинаций НП черноземной зоны (А – комбинация в районе интенсивного сельскохозяйственного использования территории, состоящая из искусственной травянистой растительности, искусственной древесной растительности и грунтовых дорог; Б – комбинация в районе населенных пунктов, состоящая из строений, автодорог, асфальтовых покрытий, искусственной древесной и травянистой растительности, открытой поверхности почвы)

Examples of regular spatial combinations of Land cover in Chernozemic zone (А – a combination, in an area of intensive agricultural use of the territory, consisting of artificial grassy vegetation, artificial woody vegetation and dirt roads; Б – in the area of settlements, consisting of buildings, highways, asphalt pavements, artificial woody and grassy vegetation, open soil surface)

Введение в классификацию структур наземного покрова информации о связях между классами обусловлено тем, что в некоторых комбинациях от присутствия одного класса может зависеть присутствие другого класса. Так, например, при интенсивном сельскохозяйственном использовании земель (см. рис.) наличие полей с посевами культур ведет за собой присутствие дорог для подъезда к ним, а также местами лесополос между полями. В зависимости от площади дорог эта комбинация может быть классифицирована как вариация НП (при небольшой площади дорог) или как сочетание НП (при большой площади дорог). В качестве другого примера приведем следующий. Комбинация травянистой растительности в балке с отдельными кустарниками. В этом примере присутствие кустарников никак не обусловлено присутствием травянистой растительности. Поэтому эта комбинация НП должна быть классифицирована как ташет НП.

Конечно же, приведенные предложения по классификации наземного покрова являются рабочими и нуждаются в дальнейшей апробации и валидации.

В качестве основного источника информации о наземном покрове выступают спутниковые данные [van Minnen et al., 1996; Loveland et al., 2000], что накладывает некоторые ограничения на использование предлагаемых подходов на практике. Например, при разделении на основе спектрально-отражательных свойств могут возникнуть сложности при распознавании близких по отражательным признакам классов, но находящихся в разных категориях по естественному или искусственному происхождению. Примерами таких классов выступает, например, «хвойная растительность», одновременно находящаяся в категориях 1.1 и 2.1.1, или такие классы, как «озера» и «искусственные озера». В настоящее время надежные алгоритмы автоматизированного распознавания такого признака наземных объектов как их искусственное или естественное происхождение отсутствуют. И это ограничивает отнесение отдельных объектов наземного покрова к классификационным выделам (см. выше). Эта задача может быть решена привлечением приемов визуального (не автоматизированного) дешифрирования [Савин, Жоголев, Прудникова, 2019], в рамках которых эксперт-дешифровщик может установить визуально с каким объектом он имеет дело – с естественным или искусственным. Но, при использовании такого подхода теряется технологичность, оперативность картографирования и повышается его субъективность. С развитием и широким внедрением в процесс автоматизированной обработки спутниковых данных систем искусственного интеллекта уже в ближайшем будущем проблема полной формализации экспертных подходов будет решена и вышеуказанный недостаток будет устранен.

### **Заключение**

Наземный покров является важным компонентом поверхности Земли, который предопределяет ее энергетический баланс и возможности картографирования и мониторинга других природных объектов (почв, растительности, водных объектов, специфики антропогенного воздействия) по данным дистанционного зондирования.

Классификация наземного покрова должна базироваться на (био)физических характеристиках земной поверхности.

Предложена классификация закономерно повторяющихся в пространстве компонентов наземного покрова, основанная на данных о контрастности компонентов комбинаций наземного покрова, а также о наличии компонентов, обуславливающих появление в комбинации других компонентов.

Предложенные классификации наземного покрова и его пространственных комбинаций нуждаются в дополнительной апробации и валидации.

### **Список источников**

- Вельтищев Н.Ф., Семенченко Б.А. 2005. Дистанционные методы измерений в гидрометеорологии. М., МГУ, 129 с.
- CEC (Commission of the European Communities). 1993. CORINE Land Cover – Guide technique. Brussels.
- Global land products. Electronic resource. URL: [https://www.aboutgis.com/Publications/Mountrakis\\_IJRS\\_2015\\_Global\\_land\\_products.pdf](https://www.aboutgis.com/Publications/Mountrakis_IJRS_2015_Global_land_products.pdf) (date of the application 18.01.2024).
- Land cover map. Electronic resource. URL: <https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Landcover> (date of the application 18.01.2024).
- NASA. Electronic resource. URL: [https://neo.gsfc.nasa.gov/view.php?datasetId=MCD12C1\\_T1](https://neo.gsfc.nasa.gov/view.php?datasetId=MCD12C1_T1) (date of the application 12.01.2024).
- Ocean service. Electronic resource. URL: <https://oceanservice.noaa.gov/facts/lclu.html> (date of the application 12.01.2024).



- UNEP. Electronic resource. URL: [https://www1.biology.uni-hamburg.de/bonline/afrika/afrika\\_forest/www.unep\\_wcmc.org/forest/global\\_map.htm](https://www1.biology.uni-hamburg.de/bonline/afrika/afrika_forest/www.unep_wcmc.org/forest/global_map.htm) (date of the application 12.01.2024).
- UNEP/FAO. 1994. Report of the UNEP/FAO Expert Meeting on Harmonizing Land Cover and Land Use Classifications. GEMS Report Series, 25 p.
- What does land cover. Electronic resource. URL: <https://ids-water.com/2020/05/06/what-does-land-cover-include/> (date of the application 12.01.2024).
- What is a land cover. Electronic resource. URL: <https://mv-organizing.com/what-is-a-land-cover-type/> (date of the application 17.01.2024).

### Список литературы

- Лупян Е.А., Савин И.Ю., Барталев С.А., Толпин В.А., Балашов И.В., Плотников Д.Е. 2011. Спутниковый сервис мониторинга состояния растительности («ВЕГА»). Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 8(1): 190–198.
- Макарова М.А., Владимирова Н.А. 2020. Обзор ресурсов открытых пространственных данных о растительном покрове земли в сети интернет. Ботанический журнал, 105(4): 387–407. <https://doi.org/10.31857/S0006813620040067>.
- Савин И.Ю., Жоголев А.В., Прудникова Е.Ю. 2019. Современные тренды и проблемы почвенной картографии. Почвоведение, 5: 517–528. <https://doi.org/10.1134/S0032180X19050101>.
- Фридланд В.М. 1972. Структура почвенного покрова. М., Мысль, 336 с.
- Anderson J.R., Hardy E.E., Roach J.T., Witmer R.E. 1976. A land use and land cover classification system for use with remote sensor data. Washington, United States Government Printing Office, 28 p.
- Asadzadeh S., de Souza Filho C. R. 2016. A Review on Spectral Processing Methods for Geological Remote Sensing. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 47: 69–90. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2015.12.004>.
- Bartholomé E., Belward A., Frédéric A., Bartalev S., Carmona-Moreno C., Eva H., Fritz S., Grégoire J.M., Mayaux P., Stibig H.J.E.E. 2002. GLC 2000: Global Land Cover Mapping for the Year 2000: Project Status November 2002. Italy, Institute for Environment and Sustainability, 66 p.
- Dharumarajan S., Seenipandi K., Adhikari K., Manickam L., Kumar N. 2023. Remote Sensing of Soils. Mapping, Monitoring, and Measurement. Elsevier, 717. <https://doi.org/10.1016/C2022-0-00254-3>.
- Di Gregorio A., Jansen L.J.M. 2006. Land Cover Classification System (LCCS): Classification Concepts and User Manual. Rome, CD-ROM. FAO, 179 p.
- Fuller R., Smith G., Sanderson J., Hill R., Thomson A., Clarke R. 2000. Countryside Survey 2000 Module 7: Land Cover Map 2000. NERC/Institute of Terrestrial Ecology, 99 p.
- Hansen M.C., Potapov P.V., Pickens A.H., Tyukavina A., Hernandez-Serna A., Zalles V., Turubanova S., Kommareddy I., Stehman S.V., X-P Song. 2022. Global Land Use Extent and Dispersion within Natural Land Cover Using Landsat Data. Environmental Research Letters, 17(3): 034050. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac46ec>.
- Jansen L., Di Gregorio A. 2000. Land Cover Classification System (LCCS): Classification Concepts and User Manual. Rome : Food and Agriculture Organization of the United Nations, 190 p.
- Kaur R., Pandey P. 2022. A Review on Spectral Indices for Built-Up Area Extraction Using Remote Sensing Technology. Arabian Journal of Geosciences, 15: 391. <https://doi.org/10.1007/s12517-022-09688-x>.
- Loveland T.R., Reed B.C., Brown J.F., Ohlen D.O., Zhu Z., Yang L., Merchant J. W. 2000. Development of a Global Land Cover Characteristics Database and IGBP DISCover from 1 km AVHRR Data. International Journal of Remote Sensing, 21(6–7): 1303–1330. <https://doi.org/10.1080/014311600210191>.
- Schmugge T.J., Kustas W.P., Ritchie J.C., Jackson T.J. 2002. Al Rango Remote Sensing in Hydrology. Advances in Water Resources, 25(8–12): 1367–1385. [https://doi.org/10.1016/S0309-1708\(02\)00065-9](https://doi.org/10.1016/S0309-1708(02)00065-9).
- Stephens G.L., O'Brien D., Webster P.J., Pilewski P., Kato S., Li J. 2015. The Albedo of Earth. Reviews of Geophysics, 53(1): 141–163. <https://doi.org/10.1002/2014RG000449>.
- van Minnen J.G., Fischer G., Stolbovoi V. 1996. A Land-Cover Classification for Modeling Natural Land Cover within the IIASA LUC Project. Laxenburg, Austria: WP-96-026.

- Vincent R.K. 1997. *Fundamentals of Geological and Environmental Remote Sensing*. Prentice Hall, Upper Saddle River, 370 p.
- Yang J., Xin H. 2021. The 30 m Annual Land Cover Dataset and Its Dynamics in China from 1990 to 2019. *Earth System Science Data*, 13 (8): 3907–3925. <https://doi.org/10.5194/essd-13-3907-2021>.
- Xie Y., Sha Z., Yu M. 2008. Remote Sensing Imagery in Vegetation Mapping: a Review. *Journal of Plant Ecology*, 1(1): 9–23. <https://doi.org/10.1093/jpe/rtm005>.

## References

- Lupyan E.A., Savin I.Yu., Bartalev S.A., Tolpin V.A., Balashov I.V., Plotnikov D.E. 2011. Satellite Service of Vegetation Monitoring "VEGA". *Modern problems of remote sensing of the Earth from space*, 8(1): 190–198 (in Russian).
- Makarova M.A., Vladimirova N.A. 2020. The Review of the Internet Open Spatial Resources on Earth's Vegetation Cover. *Botanical Journal*, 105(4): 387–407 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S0006813620040067>.
- Savin I.Y., Zhogolev A.V., Prudnikova E.Y. 2019. Modern Trends and Problems of Soil Mapping. *Eurasian Soil Science*, 52 (5): 471–480 (in Russian). <https://doi.org/10.1134/S1064229319050107>.
- Friedland V.M. 1972. *Struktura pochvennogo pokrova [The Structure of the Soil Cover]*. Moscow, Publ. Mysl, 336 p.
- Anderson J.R., Hardy E.E., Roach J.T., Witmer R.E. 1976. *A land use and land cover classification system for use with remote sensor data*. Washington, United States Government Printing Office, 28 p.
- Asadzadeh S., de Souza Filho C. R. 2016. A Review on Spectral Processing Methods for Geological Remote Sensing. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 47: 69–90. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2015.12.004>.
- Bartholomé E., Belward A., Frédéric A., Bartalev S., Carmona-Moreno C., Eva H., Fritz S., Grégoire J.M., Mayaux P., Stibig H.J.E.E. 2002. *GLC 2000: Global Land Cover Mapping for the Year 2000: Project Status November 2002*. Italy, Institute for Environment and Sustainability, 66 p.
- Dharumarajan S., Seenipandi K., Adhikari K., Manickam L., Kumar N. 2023. *Remote Sensing of Soils. Mapping, Monitoring, and Measurement*. Elsevier, 717. <https://doi.org/10.1016/C2022-0-00254-3>.
- Di Gregorio A., Jansen L.J.M. 2006. *Land Cover Classification System (LCCS): Classification Concepts and User Manual*. Rome, CD-ROM. FAO, 179 p.
- Fuller R., Smith G., Sanderson J., Hill R., Thomson A., Clarke R. 2000. *Countryside Survey 2000 Module 7: Land Cover Map 2000*. NERC/Institute of Terrestrial Ecology, 99 p.
- Hansen M.C., Potapov P.V., Pickens A.H., Tyukavina A., Hernandez-Serna A., Zalles V., Turubanova S., Kommareddy I., Stehman S.V., X-P Song. 2022. Global Land Use Extent and Dispersion within Natural Land Cover Using Landsat Data. *Environmental Research Letters*, 17(3): 034050. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac46ec>.
- Jansen L., Di Gregorio A. 2000. *Land Cover Classification System (LCCS): Classification Concepts and User Manual*. Rome : Food and Agriculture Organization of the United Nations, 190 p.
- Kaur R., Pandey P. 2022. A Review on Spectral Indices for Built-Up Area Extraction Using Remote Sensing Technology. *Arabian Journal of Geosciences*, 15: 391. <https://doi.org/10.1007/s12517-022-09688-x>.
- Loveland T.R., Reed B.C., Brown J.F., Ohlen D.O., Zhu Z., Yang L., Merchant J. W. 2000. Development of a Global Land Cover Characteristics Database and IGBP DISCover from 1 km AVHRR Data. *International Journal of Remote Sensing*, 21(6–7): 1303–1330. <https://doi.org/10.1080/014311600210191>.
- Schmugge T.J., Kustas W.P., Ritchie J.C., Jackson T.J. 2002. Al Rango Remote Sensing in Hydrology. *Advances in Water Resources*, 25(8–12): 1367–1385. [https://doi.org/10.1016/S0309-1708\(02\)00065-9](https://doi.org/10.1016/S0309-1708(02)00065-9).
- Stephens G.L., O'Brien D., Webster P.J., Pilewski P., Kato S., Li J. 2015. The Albedo of Earth. *Reviews of Geophysics*, 53(1): 141–163. <https://doi.org/10.1002/2014RG000449>.
- van Minnen J.G., Fischer G., Stolbovoi V. 1996. *A Land-Cover Classification for Modeling Natural Land Cover within the IIASA LUC Project*. Laxenburg, Austria: WP-96-026.
- Vincent R.K. 1997. *Fundamentals of Geological and Environmental Remote Sensing*. Prentice Hall, Upper Saddle River, 370 p.



- Yang J., Xin H. 2021. The 30 m Annual Land Cover Dataset and Its Dynamics in China from 1990 to 2019. *Earth System Science Data*, 13(8): 3907–3925. <https://doi.org/10.5194/essd-13-3907-2021>.
- Xie Y., Sha Z., Yu M. 2008. Remote Sensing Imagery in Vegetation Mapping: a Review. *Journal of Plant Ecology*, 1(1): 9–23. <https://doi.org/10.1093/jpe/rtm005>.

*Поступила в редакцию 29.01.2024;  
поступила после рецензирования 27.02.2024;  
принята к публикации 02.03.2024*

*Received January 29, 2024;  
Revised February 27, 2024;  
Accepted March 02, 2024*

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

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Савин Игорь Юрьевич**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик Российской академии наук, Почвенный институт им. В.В. Докучаева, г. Москва, Россия

**Igor Yu. Savin**, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, V.V. Dokuchaev Soil Institute, Moscow, Russia

**Березуцкая Элина Рамилевна**, аспирант института экологии, департамент рационального природопользования, Российский университет дружбы народов, г. Москва, Россия

**Elina R. Berezutskaya**, Postgraduate Student of the Institute of Ecology, Department of Environmental Management, Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia



УДК 528.85  
DOI 10.52575/2712-7443-2024-48-1-91-105

## Корреляция урожайности зерновых культур и вегетационного индекса SAVI на территории Республики Татарстан

<sup>1</sup>Сабирзянов А.М., <sup>1</sup>Панасюк М.В., <sup>2</sup>Аширбеков Ш.У.

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

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО Московский государственный университет геодезии и картографии,  
Россия, 105064, г. Москва, Гороховский пер., 4

E-mail: sabiralmaz@mail.ru, mp3719@yandex.ru, shasirbekov@gmail.com

**Аннотация.** В статье рассмотрены возможности применения данных дистанционного зондирования Земли и геоинформационных технологий для анализа и прогнозирования урожайности зерновых сельскохозяйственных культур, выращиваемых в различных почвенных зонах Республики Татарстан. Выявлены ключевые факторы, влияющие на рост и развитие растений в почвенно-климатических условиях региона. Приводятся результаты обработки геоданных со спутниковых снимков Landsat-8 с помощью методов спектрального анализа, позволившие рассчитать значения вегетационных индексов для зерновых культур. Результаты корреляционно-регрессионного анализа данных 2021 года привели к выявлению высокой степени тесноты корреляционной связи ( $r = 0,8$ ) между индексом SAVI и средней урожайностью зерновых культур для заданной выборки муниципальных районов, представляющих все почвенные зоны региона. Данная зависимость отражает нелинейные соотношения между показателями. Дается характеристика динамики значений индекса SAVI в период фазы вегетации растительности на основе анализа тренда временного ряда. Показано, что высокие для региона среднесуточные температуры, способствующие торможению роста и развития растений, достоверно отражаются невысокими значениями индекса SAVI. Приводится вывод об обратной связи индекса растительности SAVI и показателя водного индекса на полях зерновых культур региона.

**Ключевые слова:** дистанционное зондирование Земли, фотограмметрия, геоинформационные технологии, мультиспектральный анализ, вегетационный индекс, корреляционно-регрессионный анализ, урожайность зерновых культур

**Для цитирования:** Сабирзянов А.М., Панасюк М.В., Аширбеков Ш.У. 2024. Корреляция урожайности зерновых культур и вегетационного индекса SAVI на территории Республики Татарстан. Региональные геосистемы, 48(1): 91–105. DOI: 10.52575/2712-7443-2024-48-1-91-105

---

## Correlation of Grain Crop Yield and Vegetation Index SAVI on Territory of the Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>Almaz M. Sabirzyanov, <sup>1</sup>Mikhail V. Panasyuk, <sup>2</sup>Shynbolat U. Ashirbekov

<sup>1</sup>Kazan (Volga Region) Federal University,  
18 Kremlevskaya St, Kazan 420008, Russia

<sup>2</sup>Moscow State University of Geodesy and Cartography,  
4 Gorohovskiy St, Moscow 105064, Russia

E-mail: sabiralmaz@mail.ru, mp3719@yandex.ru, shasirbekov@gmail.com

**Abstract.** The article considers the possibilities of using Earth remote sensing data and geoinformation technologies to analyze and predict the yield of grain crops grown in different soil zones of the Republic of Tatarstan. The key factors influencing the growth and development of plants in soil and climatic



conditions of the region are identified. The results of geodata processing from Landsat-8 satellite images using spectral analysis methods, which allowed to calculate the values of vegetation indices for grain crops, are presented. The results of correlation-regression analysis of 2021 data led to the detection of a high degree of correlation closeness ( $r = 0.8$ ) between SAVI index and average grain yield for a given sample of municipal districts representing all soil zones of the region. This dependence reflects non-linear relations between the indicators. The dynamics of SAVI index values during vegetation phase is characterized on the basis of time series trend analysis. It is shown that high average daily temperatures, contributing to the inhibition of plant growth and development, are reliably reflected by low values of the SAVI index for the region. The conclusion about the inverse relationship between vegetation index SAVI and water index in grain crops fields of the region is given.

**Key words:** Earth remote sensing, photogrammetry, geoinformation technologies, multispectral analysis, vegetation index, correlation and regression analysis, grain crop yield

**For citation:** Sabirzyanov A.M., Panasyuk M.V., Ashirbekov Sh.U. 2024. Correlation of Grain Crop Yield and Vegetation Index SAVI on Territory of the Republic of Tatarstan. Regional Geosystems, 48(1): 91–105 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2024-48-1-91-105

---

## Введение

Объективная и актуальная информация о состоянии сельскохозяйственных угодий является основой поиска решений по устойчивому развитию сельскохозяйственной отрасли как отдельно региона, так и страны в целом.

Несмотря на относительно небольшие размеры, территория Республики Татарстан является достаточно неоднородной в плане почвенных и климатических условий ведения сельскохозяйственного производства. Смена природных зон в регионе происходит при преимущественном движении в меридиональном направлении, что обуславливает характер изменения как почвенных, так и климатических условий. Изменение климатических условий проявляется преимущественно в определенной территориальной дифференциации среднегодовых температур, гидротермического коэффициента, режима температуры и осадков, являющихся одними из главных факторов урожайности сельскохозяйственных культур региона.

Объектом проведенного исследования послужили агроландшафты зернового клина обрабатываемых пахотных угодий территорий десяти муниципальных районов Республики Татарстан, образующих репрезентативную в плане учета дифференциации почвенно-климатических условий выборку.

Предмет исследования – мониторинг урожайности основных зерновых культур, выращиваемых на территории региона, осуществляемый на основе применения технологий дистанционного зондирования и методов геоинформационного анализа.

Целью данной работы является исследование связи между значениями показателей средней урожайности зерновых культур в муниципальных районах Республики Татарстан и сезонными пиковыми значениями вегетационного индекса *SAVI* для территорий данных районов.

## Объекты и методы исследования

Территория Республики Татарстан делится на три почвенные зоны, где различаются почвенные показатели, где типы, подтипы и плодородность почв сгруппированы в массивах нескольких муниципальных районов [География Татарстана, 1994]. Территориальное зонирование по этим показателям включает Предкамье (северная часть республики), Предволжье (западная часть) и Закамье (восточная, юго-восточная часть республики) (рис. 1а).

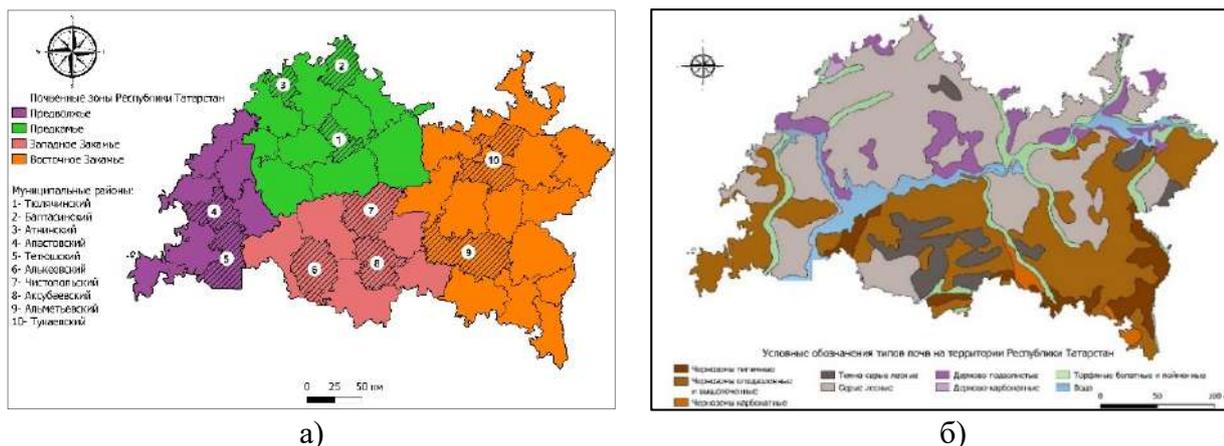


Рис. 1а. Почвенно-географические зоны Республики Татарстан с исследуемыми территориями муниципальных районов; 1б. Почвенная карта Республики Татарстан  
Fig. 1a. Soil-geographical zones of the Republic of Tatarstan with the studied territories of municipal districts; 1b. Soil map of the Republic of Tatarstan

В почвах Предкамья, где расположены 12 муниципальных районов республики и территория городского округа Казань, преобладают светло-серые лесные (29 %) и дерново-подзолистые почвы (21 %). 18,3 % занимают серые и тёмно-серые лесные почвы. На возвышенностях и холмах встречаются дерновые почвы. 22,5 % занимают смытые почвы, пойменные – 6–7 %, болотные – около 2 %. Для ряда муниципальных районов (Балтасинский, Кукморский, Мамадышский) характерна эрозия почв, которой подвержено до 40 % территории.

Территория Предволжской зоны включает в себя шесть муниципальных районов республики. В северной части Предволжья большинство территории занимают лесостепные почвы, которые составляют 51,7 % из всех земель, в том числе серые и тёмно-серые. Площадь оподзоленных и выщелоченных чернозёмов в данной зоне – более 24 %.

Самую большую по размерам территорию занимает почвенная зона Закамья, которая включает 25 муниципальных районов и городской округ Набережные Челны.

Ввиду вытянутости территории Закамья в широтном направлении, для нее характерна неоднородность климатических условий и почвенного покрова, что приводит к выделению в его составе двух зон (подзон) – Западного и Восточного Закамья.

В Западном Закамье на долю выщелоченных чернозёмов приходится 52,2 % всех почв, а серых и темно-серых – 28,3% и обыкновенных чернозёмов – чуть более 13 % всех почв данной зоны.

Восточное Закамье характеризуется наличием карбонатных чернозёмов (около 3 %) и меньшей площадью выщелоченных и обыкновенных чернозёмов – 39,4 % и 6,4 % соответственно [Сулейманова, 2014]. На юго-восточной части Закамья доминируют чернозёмы различных подтипов (87,3 %), а доля лесостепных почв составляет лишь 4,9 % всех почв данной территории (см. рис. 1б, 2).

Материалами исследования являлись космические снимки территории Республики Татарстан, выполненные спутником *Landsat-8*.

В условиях изучаемого региона все зерновые культуры достигают максимального значения вегетационной массы в фазах роста и развития растений: выход в трубку – молочная спелость, которые отмечаются обычно в первой половине июля. При этом интенсивный рост зерновых культур наблюдается с начала июня до середины июля. Поэтому были использованы космические снимки, полученные в период с 3 июня по 16 июля 2021 года с разрешением на местности 30 метров на пиксель. Исследуемые муниципальные районы разных почвенных зон республики выбирались с учетом перекрытия двух соседних витков съемки со спутника *Landsat-8*, чтобы достичь частоты съемки раз в восемь дней.

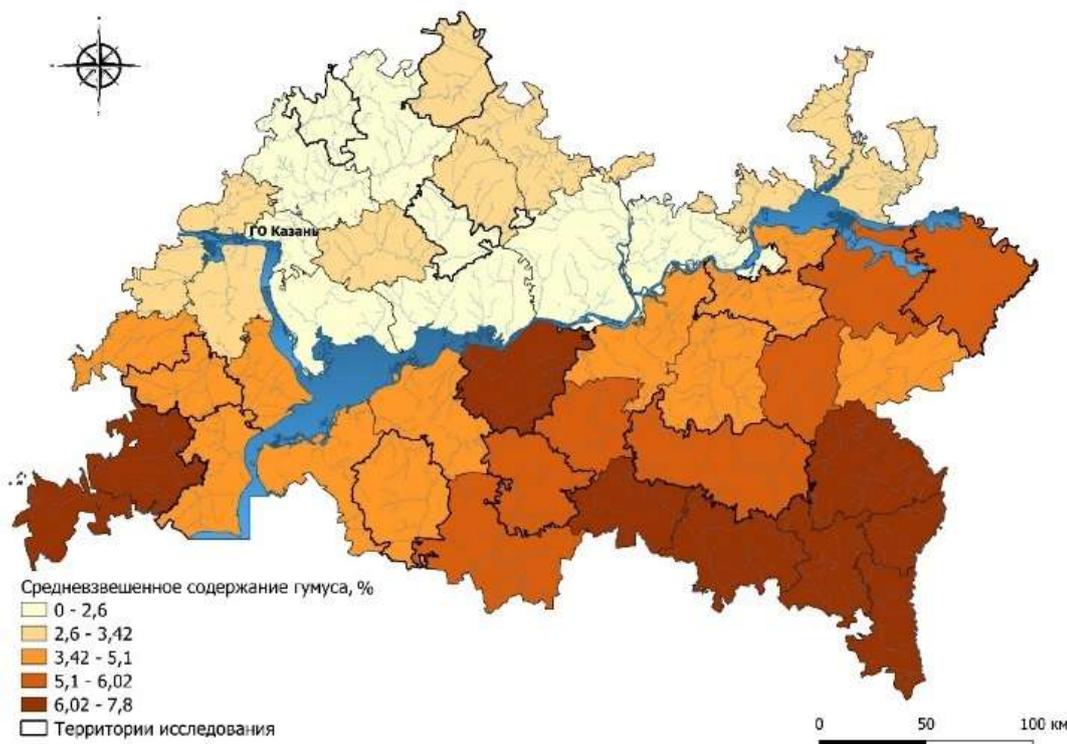


Рис. 2. Средневзвешенное содержание гумуса в пахотных почвах Республики Татарстан  
 Fig. 2. Weighted average humus content in arable soils of the Republic of Tatarstan

Исходными данными для анализа являлись космические снимки с портала USGS (United States Geological Survey) [Earth Explorer..., 2023] (рис.3).

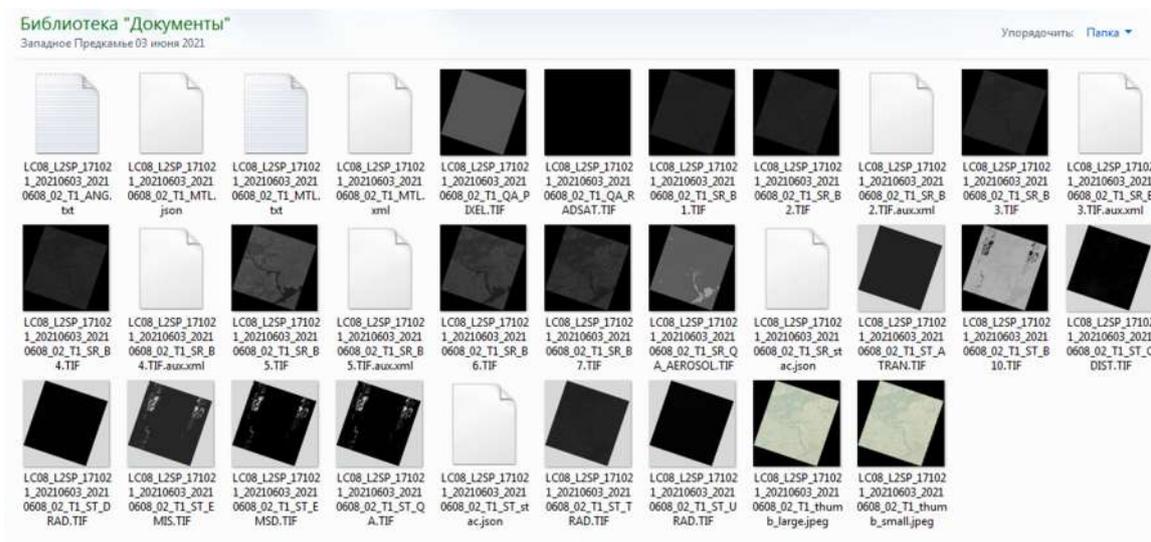


Рис. 3. Космические снимки Landsat-8 среднего пространственного разрешения, используемые для исследования

Fig. 3. Landsat-8 satellite images of medium spatial resolution used for research

После выбора снимка интересующей территории его можно скачать как архив файлов со всеми спектральными каналами, так и отдельные снимки. Космические снимки имеют формат «GeoTIFF», который представляет собой растровые данные в формате «TIFF» с географической привязкой.

Для работы создан векторный слой с границами полей всех изучаемых территорий муниципальных районов и выгружены поля, занятые в 2021 году зерновыми культурами. С помощью инструмента «Конструктор запросов» в пределах территорий исследуемых муниципальных районов были выделены области пашни, отвечающие запросу «Зерно», и удалены объекты, не отвечающие данному условию. Все исследовательские работы проводились в геоинформационной системе *Quantum GIS (QGIS)* версии 3.28 [Учебное пособие по QGIS, 2023].

Весь комплекс работ по исследованию зерновых сельскохозяйственных угодий на территории Республики Татарстан проводился в геоинформационной системе *Quantum GIS (QGIS)* версии 3.28.6.

При помощи алгоритмов расчета индексов вегетации и функции «Калькулятор растров» был создан растр, в котором выполнен расчет вегетационного индекса *SAVI*. Созданные растры включались в рабочие слои и добавлялись к рабочей панели *QGIS*, после чего проводилась обрезка растровых изображений по «маске» для получения значений вегетационных индексов в пределах территорий полей каждого изучаемого муниципального района.

Для анализа и мониторинга сельскохозяйственных земель используются различные вегетационные индексы [Ерошенко, 2017; Белоусова, 2019; Раджабова и др., 2020; Долина, 2023]. Разработан веб-сервис (<http://www.indexdatabase.de>), где хранится информационная база, в которой представлены сведения о содержании и возможностях использования индексов. Среди вегетационных индексов, имеющихся в базе, можно выделить: *NDVI (Normalized Difference VI)* – нормализованный разностный индекс растительности [Index: Transformed NDVI, 2023]; *SAVI (Soil Adjusted VI)* – почвенный индекс растительности; *ARVI (Atmospherically Resistant VI)* – индекс растительности, устойчивый к влиянию атмосферы; *NDWI (Normalized Difference Water Index)* – нормализованный разностный водный индекс; *CIGreen (Green Chlorophyll Index)* – относительный индекс хлорофилла и др. Они позволяют оценивать значения ряда показателей растительности при особенностях своего применения. Выбор индекса зависит от задач, поставленных в исследованиях. Важно учитывать, что один и тот же индекс может по-разному применяться для различных природных зон, так как вегетационная биомасса их территорий различается объемом и качеством. Для достижения поставленной цели все индексы были рассчитаны так, чтобы определить наиболее подходящий из них.

Статистический анализ данных проводился с использованием пакетов R, Python statsmodels. Данные пакеты статистических программ широко используются для выполнения статистических расчетов, в том числе для геоаналитики и цифрового моделирования геообъектов.

### Результаты и их обсуждение

В работе был использован векторный слой с границами пашни – «Виды сельскохозяйственных культур 2021 г. Республики Татарстан», который разработан отделом геоинформационных систем акционерного общества «Республиканский информационно-вычислительный центр» Республики Татарстан (АО «РИВЦ») для производственных задач. Столбцы с данными включают: наименование муниципального района, площадь пашни и наименование возделываемой сельскохозяйственной культуры (рис. 4).

Для целей исследования слой с границами угодий был отредактирован. С помощью инструмента «Конструктор запросов» в пределах территорий исследуемых муниципальных районов были выделены области пашни, отвечающие запросу «Зерно», и удалены объекты, не отвечающие данному условию (рис. 5).

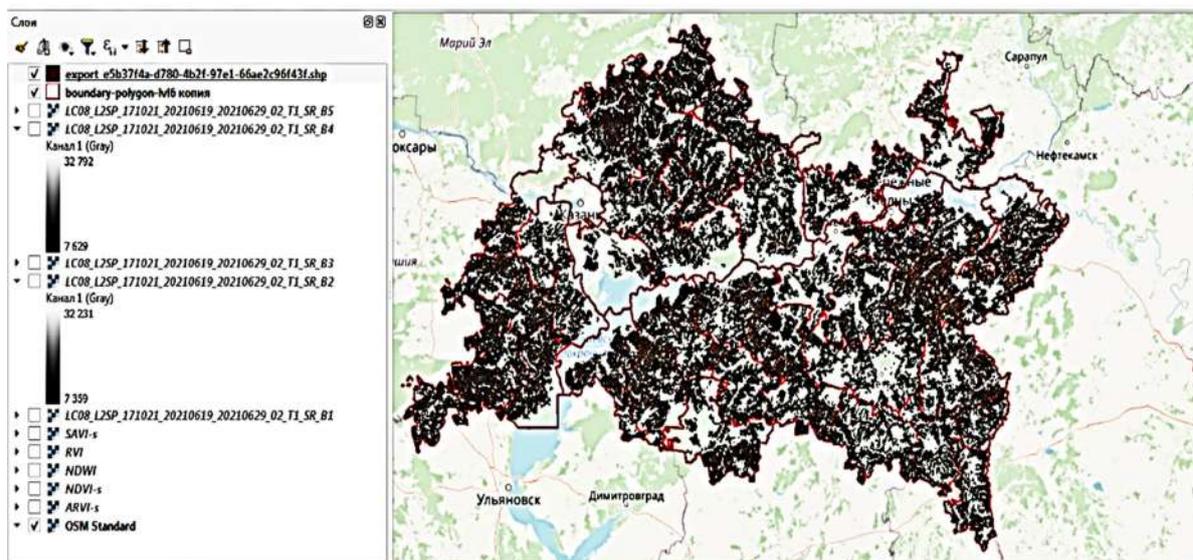


Рис. 4. Векторный слой «Виды сельскохозяйственных культур Республики Татарстан в 2021 году»  
Fig. 4. Vector layer “Types of agricultural crops of the Republic of Tatarstan in 2021”

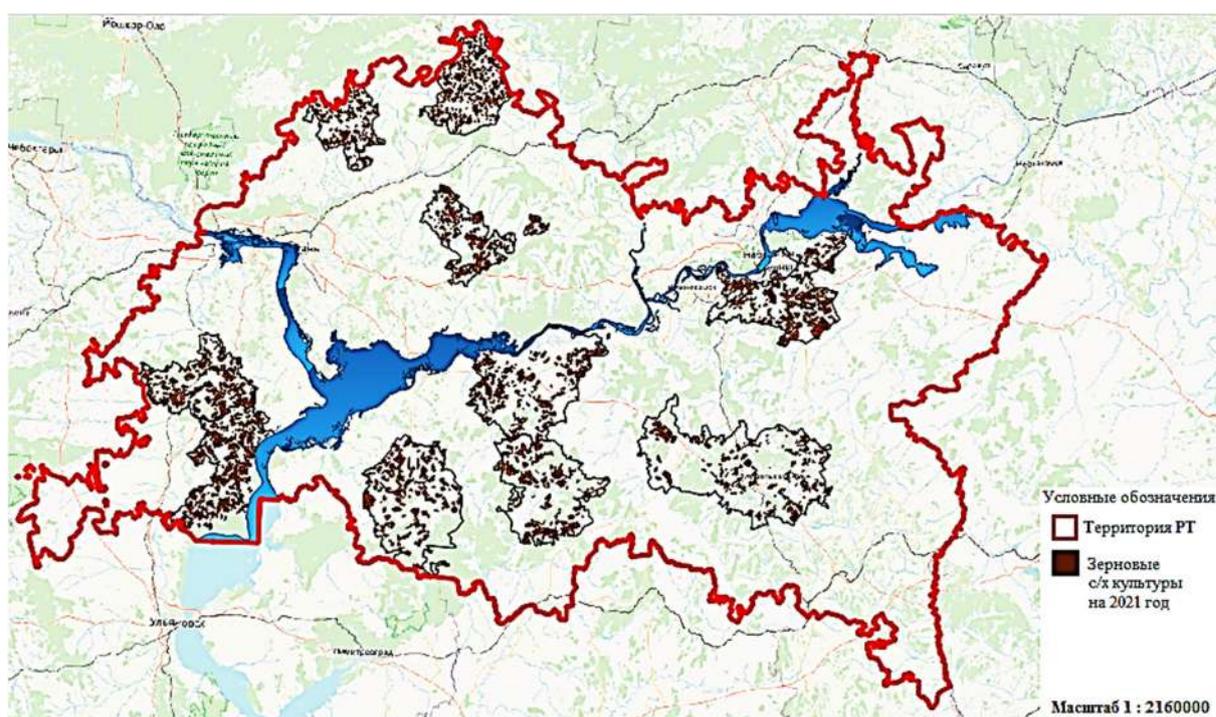


Рис. 5. Векторный слой с границами зерновых угодий на территории исследуемых районов по состоянию на 2021 год  
Fig. 5. Vector layer with boundaries of grain lands on the territory of the studied areas as of 2021

Вегетационные индексы позволяют отслеживать динамику роста растений, определять фазы их развития, а также оценивать воздействие различных факторов, таких как климатические условия территории, доступность воды, почвенное питание и применение удобрений. В данном направлении уже долгое время ведутся зарубежные исследования. Отсутствие или невозможность получения высококачественных космических снимков земель сельскохозяйственного назначения до сих пор тормозит развитие данного направления в России.

В мире в настоящее время есть возможности получать и анализировать свыше 160 различных индексов на основе данных дистанционного зондирования Земли.

Для анализа состояния растительности на земной поверхности используются вегетационные индексы, получаемые с мультиспектральных каналов диапазонов волн, – красный (*RED*) или ближний инфракрасный (*NIR*). (*RED*) [Bannari et al., 1996; Henrich et al., 2009; Сабирзянов, 2015].

Изучение возможностей применения каждого из индексов для мониторинга сельскохозяйственных земель Татарстана привело к выводам, что лучшим с точки зрения цели исследования является индекс *SAVI*, поскольку он в большей степени учитывает влияние почвенного разнообразия на растительный покров.

Индекс *SAVI* был разработан в 1988 году [Huete, 1988] для количественного определения растительности на основе измерения разницы между ближним инфракрасным диапазоном и красным диапазоном при подавлении влияния пикселей почвы. Он является относительным индексом, который показывает точку пересечения изолиний при отражении в каналах красного диапазона (*Red*) и инфракрасного диапазона (*NIR*). Особенности коэффициента *SAVI* обуславливают предпочтительность его применения в регионах, отличающихся наличием нескольких почвенных зон [Коротков, Астапов, 2020]. Также по этому индексу можно выделить и изреженную растительность как на светлых, так и темных почвах из-за возможности эмпирического уточнения влияния фактора почвенного покрова.

Формула расчета индекса *SAVI*:

$$SAVI = ((NIR - Red) / (NIR + Red + L)) \times (1 + L),$$

где *NIR* = значения пикселей из ближнего инфракрасного канала; *Red* = значения пикселей из ближнего красного канала; *L* = значение покрытия зеленой растительности.

Для расчета индекса *SAVI* использовался показатель значения покрытия зеленой растительности *L*, равный 0,7.

В качестве объектов исследования роста и развития зерновых сельскохозяйственных культур были выбраны территории десяти муниципальных районов Республики Татарстан (РТ). Они относятся к четырем почвенным зонам региона, отражая разнообразие их почвенно-климатических условий и являясь своеобразными образцами, которые позволяют охарактеризовать условия зоны в целом. Распределение районов по почвенным зонам относительно равномерно. Так, Предкамье и Западное Закамье представлено в исследовании тремя районами, а Предволжье и Восточное Закамье – двумя. При выборе объектов также учитывалось место муниципального района в общем рейтинге урожайности зерновых культур [Министерство сельского хозяйства ..., 2023].

При помощи инструмента «Зональная статистика» геоинформационной системы *QGIS* по геоданным космических снимков были получены средние значения индекса *SAVI* для выбранных территорий муниципальных районов Республики Татарстан для различных дат вегетационного периода, когда наблюдаются максимальные значения индекса. Полученные значения индекса *SAVI* представлены на рис. 6 по почвенно-климатическим зонам республики. В скобках приведены рейтинги районов по производству сельскохозяйственной зерновой продукции в 2021 году. Период исследования охватывает 3 июня – 16 июля 2021 года.

По полученным данным изменения индекса *SAVI* провели анализ, который показал, что самый интенсивный рост и развитие зерновых культур в 2021 году происходил во второй декаде июля.

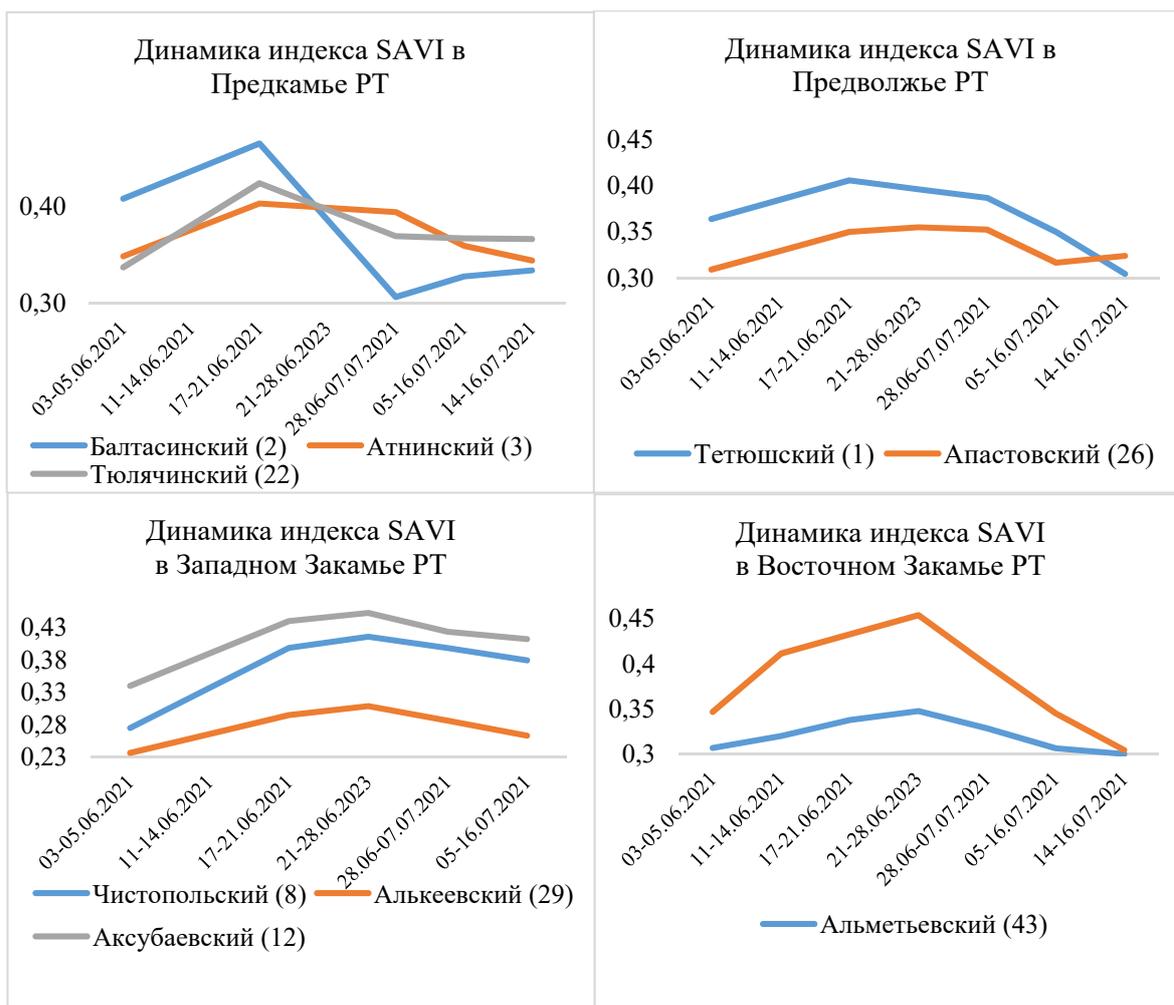


Рис. 6. Значения индекса SAVI для территорий муниципальных районов по почвенно-климатическим зонам Республики Татарстан в 2021 году  
Fig. 6. SAVI index values for the territories of municipal districts by soil and climatic zones of the Republic of Tatarstan in 2021

Наибольший индекс *SAVI* был достигнут к 19 июня в условиях Балтасинского и Тетюшского муниципальных районов (0,4653), где были более благоприятные условия для роста и развития зерновых культур. При этом данные районы являются лидерами по сбору урожая зерновых в республике (занимают второе и первое места соответственно). Также это объясняется внесением достаточного количества минеральных и органических удобрений в этих районах. Исследования по внесенным удобрениям также имеют важное значение в нашей работе. Проведенные аналитические расчеты зависимости роста и развития зерновых культур (в том числе и анализ данных ДЗЗ) во всех исследуемых районах от почвенных и агрохимических факторов, которые выделены отдельным разделом наших исследований и которые также будут в скором времени опубликованы.

В 2021 году в западной части Татарстана максимальные показатели индекса *SAVI* в зонах Предкамья и Предволжья наблюдались в период 19–23 июня, а в восточной части республики в Западном Закамье пик индекса приходился на 28 июня, на Восточном Закамье – на 21 июня.

Результаты исследований подтверждают сильную взаимосвязь между вегетативным индексом *SAVI* и количеством накопленного хлорофилла в растениях, который отражается через индекс *CIGreen*. Таким образом, *SAVI* может рассматриваться как показатель фотосинтетической биомассы [Коротков, Астапов, 2020]. Кроме того, чем выше значение вегетационного индекса *CIGreen*, тем выше значение индекса растительности – *SAVI* (рис. 7).

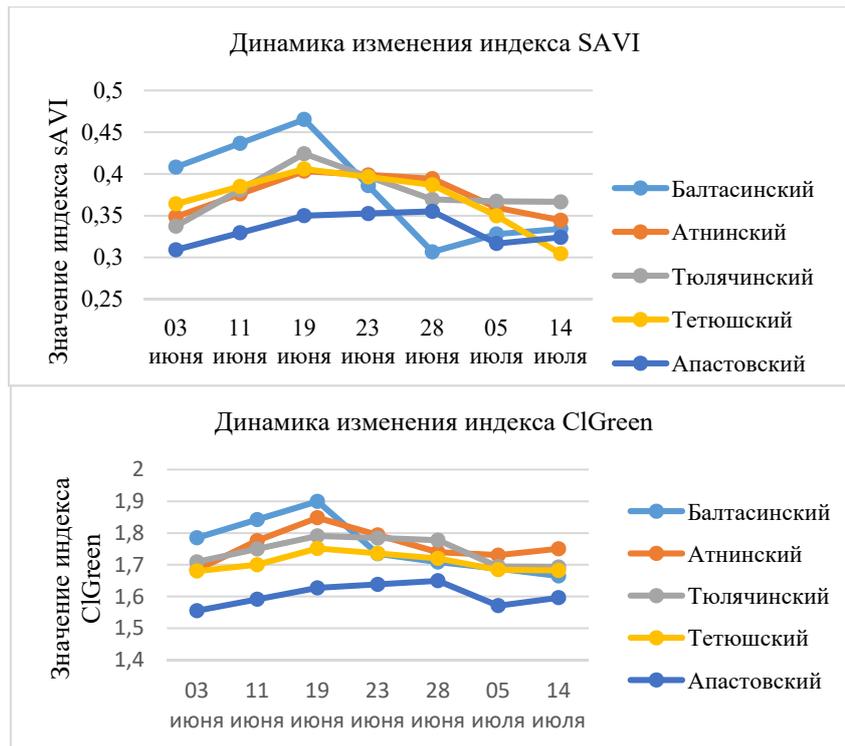


Рис. 7. Динамика изменения индексов SAVI и CIGreen в почвенных зонах Предкамья и Предволжья Республики Татарстан  
Fig. 7. Dynamics of changes in the SAVI and CIGreen indices in the soil zones of the Pre-Kama and Pre-Volga regions of the Republic of Tatarstan

Корреляционно-регрессионный анализ на основе данных 2021 года (табл.) позволил выявить взаимосвязь между значениями индекса SAVI и показателем урожайности зерновых культур.

Индексы SAVI и средняя урожайность зерновых культур для муниципальных районов Республики Татарстан в 2021 году  
SAVI indices and average grain yield for municipal districts of the Republic of Tatarstan in 2021

| Значения | Предкамье    |           |             | Предволжье |             | Западное Закамье |             |              | Восточное Закамье |            |
|----------|--------------|-----------|-------------|------------|-------------|------------------|-------------|--------------|-------------------|------------|
|          | Балтасинский | Атнинский | Тюлячинский | Тетюшский  | Апастовский | Чистопольский    | Алькеевский | Аксубаевский | Альметьевский     | Тукаевский |
| $i$      | 1            | 2         | 3           | 4          | 5           | 6                | 7           | 8            | 9                 | 10         |
| $x_i$    | 0,4653       | 0,4034    | 0,4243      | 0,4061     | 0,3501      | 0,419            | 0,3051      | 0,4505       | 0,3478            | 0,4539     |
| $y_i$    | 23,0         | 22,5      | 14,8        | 24,0       | 14,7        | 18,7             | 13,5        | 18,0         | 6,8               | 17,5       |

Приведенные в табл. значения:  $i$  – номер муниципального района исследования;  $x_i$  – значение индекса SAVI;  $y_i$  – средняя урожайность зерновых культур по официальным данным министерства сельского хозяйства и продовольствия РТ, ц/га.

Проведенный статистический анализ позволил сделать вывод о нелинейном характере зависимости между значениями индекса и урожайностью. Наибольшая теснота связи при значении коэффициента нелинейной парной корреляции, равном 0,9042, характерна для модели полиномиальной регрессии, где степень полинома равна 4. Уравнение регрессии имеет вид:

$$y = 1 \times 10^6 x^4 - 210^6 x^3 + 941474 x^2 - 239040 x + 22574$$

Значение коэффициента ранговой корреляции Спирмена, равное 0,8 ( $p < 0,05$ ), показывает высокую тесноту связи между показателями индекса *SAVI* и урожайности. Сравнение линейной и различных нелинейных моделей зависимости показывает, что наибольшее значение коэффициента детерминации ( $R^2$ ), равное 0,8176, т. е. наиболее высокая доля дисперсии зависимой переменной, объясняемая моделью, характерна для модели полиномиальной регрессии при степени полинома, равной 4. Это позволяет сделать вывод о в целом нелинейном характере зависимости между данными показателями. График уравнения регрессии представлен на рис. 4.

Таким образом, можно утверждать, что вегетационный индекс *SAVI* может применяться для анализа зависимости прогноза урожайности зерновых культур от значений данного индекса. График регрессионной модели зависимости пиковых значений данного индекса и средней урожайности зерновых культур региона, полученных в период начала фазы колошения и урожайности, представлен на рис. 8.

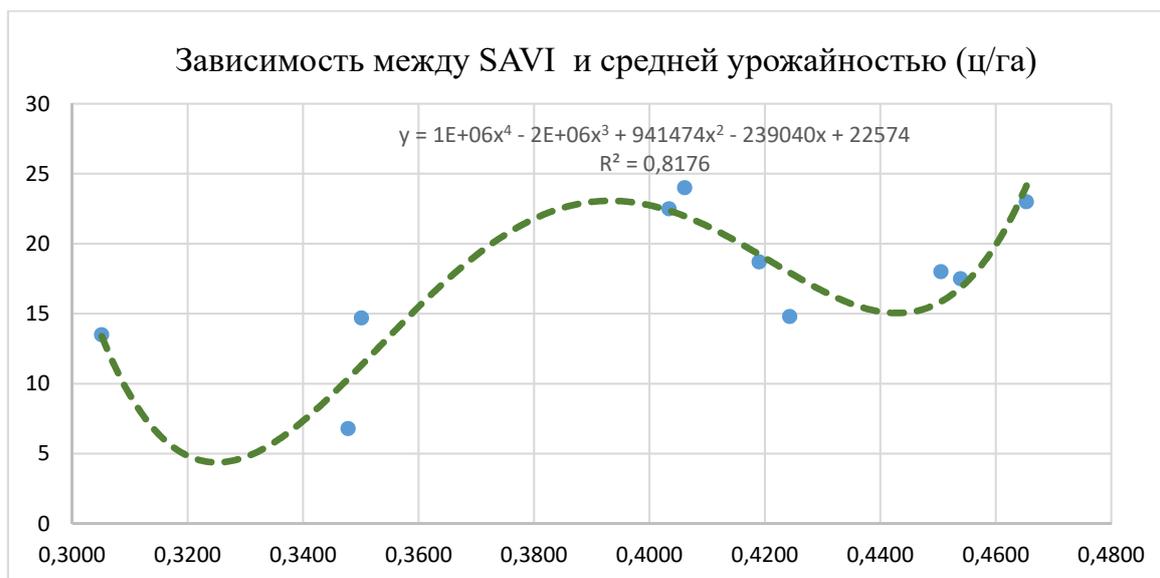


Рис. 8. График уравнения регрессионной модели зависимости между индексом SAVI и показателем средней урожайности

Fig. 8. Graph of the regression equation of relationship between the SAVI index and the average yield indicator

Для более точного прогнозирования достижения показателей урожайности изучаемых сельскохозяйственных культур необходимо также учитывать погодные условия и состояние плодородности почв, которые различаются в почвенных зонах региона [Сабирзянов, 2008; Береза и др., 2015; Белоусова, 2019].

С целью анализа влияния динамики погодных условий в каждой из исследуемых почвенных зон были проанализированы изменения средних дневных температур в активный период вегетации за июнь 2021 года (рис. 9).

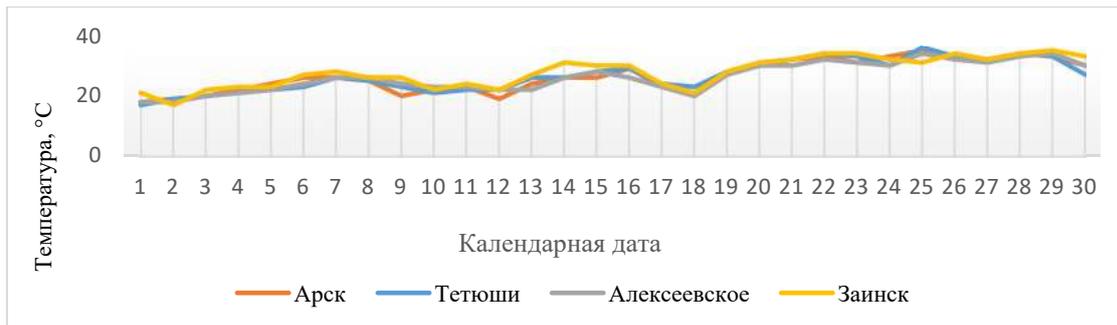


Рис. 9. Изменения средней дневной температуры воздуха в июне 2021 года  
Fig. 9. Changes in the average daily air temperature in June 2021

Для исследования влияния температур на рост и развитие зерновых культур в почвенных зонах Республики Татарстан использовались данные метеорологических станций региона и литературные источники [Трошко и др., 2021]. Для муниципальных районов зоны Предкамья использовались данные метеостанции, расположенной в г. Арске, в Предволжье – данные метеостанции г. Тетюши. Температурные данные зоны Западного Закамья были получены с метеорологической станции пгт Алексеевское, Восточного Закамья – г. Заинска [Архив погоды Татарстан, 2023].

Проанализировав соответствие динамики значений индекса *SAVI* и динамики дневных температур в заданном периоде начала вегетации растений, можно сделать вывод о том, что достаточно высокие среднесуточные температуры, способствующие торможению роста и развития растений (для зерновых культур в первой половине июня 2021 года от 22,6 °С в Предкамье до 24,6 °С в Закамье), достоверно отражаются невысокими значениями индекса *SAVI*.

При температуре выше 24 °С фотосинтез замедляется, а с дальнейшим повышением температуры полностью прекращается [Кусова, 2017]. Это прямо отражается в данных, полученных с помощью космических снимков инфракрасного и красного диапазонов при подавлении влияния пикселей почвы.

Результаты исследования также позволили сделать вывод о том, что муниципальные районы Республики Татарстан, имеющие большее значение показателя индекса растительности *SAVI*, имеют меньшее значение показателя водного индекса на полях зерновых культур и, таким образом, меньшую достаточность увлажнения этих угодий.

### Заключение

Данные мониторинга сельскохозяйственных угодий, проводимого на основе методов и технических средств дистанционного зондирования Земли, позволяют выявить и оценить связь между значениями вегетационных индексов и урожайностью зерновых культур в заданных почвенно-климатических условиях исследуемых территорий. Выводы могут быть получены на основе анализа серий космических снимков, полученных с мультиспектральных каналов – комбинаций каналов вегетационных индексов.

Почвенные условия территории Республики Татарстан отличаются разнообразием, что проявляется в наличии трех больших почвенных зон, характеризующихся неоднородностью почвенных показателей. Результаты исследования связи между значениями вегетационных индексов и урожайностью зерновых культур, полученные для различных почвенно-климатических условий территорий Республики Татарстан, показывают, что для всех почвенных зон наилучшие результаты в плане выявления связи с показателями урожайности результаты дает вегетационный индекс *SAVI*.



Существует прямая связь между данным индексом и количеством накопленного хлорофилла в растениях, находящихся в процессе роста. Увеличение данного индекса приводит и к увеличению значений вегетационного индекса *CIGreen*.

Достижение пиковых значений вегетационного индекса *SAVI* зависит от почвенных показателей, метеорологических условий, в том числе количества выпавших осадков и температуры воздуха. Среднемесячные индексы *SAVI*, полученные на основе данных дистанционного зондирования, с высокой степенью адекватности отражают состояние почвенных и погодных условий ведения сельскохозяйственной деятельности, в том числе количества выпавших осадков и температуры воздуха.

Проведенный статистический анализ позволил сделать вывод о высокой тесноте связи (коэффициент ранговой корреляции Спирмена, равный 0,8, при  $p < 0,05$ ) между индексом *SAVI* и показателем средней урожайности зерновых культур для выборки территорий муниципальных районов, представляющих все почвенные зоны региона. Результаты регрессионного анализа зависимости позволили сделать выводы о нелинейной (полиномиальной) зависимости между значениями индекса *SAVI* и урожайностью.

Полученные результаты анализа зависимости между *SAVI* и средней урожайностью зерновых (в частности, значение  $R^2 = 0,8176$  функции регрессии) подтверждают возможность прогноза урожайности зерновых культур на территориях муниципальных районов Республики Татарстан на основе данных о пиковых значениях вегетационного индекса *SAVI*. Проведенные исследования, в частности, показали, что почвенные зоны Предкамья и Предволжья, территории которых отличаются наиболее благоприятными почвенно-климатическими условиями для роста и развития зерновых культур, характеризуются относительно высокими значениями индекса *SAVI* и более высокой средней урожайностью зерновых культур по сравнению с территорией зоны Закамья.

Изучение соответствия динамики значений индекса *SAVI* и динамики дневных температур в период начала вегетации растений говорит о том, что относительно высокие (для зерновых культур в первой половине июня 2021 года от 22,6 °С в Предкамье, до 24,6 °С в Закамье) среднесуточные температуры вегетационного периода, способствующие торможению роста и развития растений, приводят к относительно невысоким значениям индекса *SAVI*.

Результаты исследования позволили сделать вывод о том, что территории муниципальных районов Республики Татарстан, имеющие большее значение показателя индекса растительности *SAVI*, имеют меньшее значение показателя водного индекса для полей зерновых культур и, таким образом, меньшую достаточность их увлажнения.

Мониторинг урожайности зерновых культур, проводимый на основе ГИС-технологий и технологий дистанционного зондирования Земли, позволяет на основе полученных геоданных, включающих почвенные и погодные условия территорий, состояние роста и развития посевов зерновых культур, провести развернутый анализ спектра вегетационных индексов в плане их возможностей для выявления закономерностей роста и развития сельскохозяйственных культур в различных почвенно-климатических условиях территорий региона. Это создает предпосылки для решения задач оперативного прогнозирования урожайности зерновых культур, способствуя повышению качества результатов прогнозирования и эффективности зернового хозяйства региона.

*В исследовании использовались предоставленные отделом геоинформационных систем акционерного общества «Республиканский информационно-вычислительный центр» Республики Татарстан (АО «РИВЦ») слои и материалы, которые упростили работу по выборке полей с зерновыми культурами, а также аналитические материалы Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Татарстан. Коллектив авторов выражает работникам этих организаций благодарность за сотрудничество. Желаем вам успехов и новых достижений в развитии цифровизации агропромышленного комплекса республики.*

### Список источников

- Архив погоды: Татарстан. Погода и климат. Электронный ресурс. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/archive.php?id=ru&region=16> (дата обращения 07.04.2023).
- География Татарстана. 1994. Казань, Магариф, 142 с.
- Кусова Н.В. 2017. Развитие зернового хозяйства. Орел, Орловская областная научная универсальная публичная библиотека им. И.А. Бунина, 36 с.
- Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Татарстан. Правительство РТ. Электронный ресурс. URL: <https://agro.tatarstan.ru/> (дата обращения 17.02.2023).
- Сулейманова Г.В. 2014. География Республики Татарстан. Казань, Казанский национальный исследовательский технологический университет, 322 с.
- Учебное пособие QGIS. QGIS documentation. Электронный ресурс. URL: [https://docs.qgis.org/3.28/ru/docs/training\\_manual](https://docs.qgis.org/3.28/ru/docs/training_manual) (дата обращения 12.04.2023).
- Earth Explorer. USGS. Electronic resource. URL: <http://earthexplorer.com/> (date of the application 08.04.2023).
- Index: Transformed NDVI. Electronic resource. URL: <https://www.indexdatabase.de/db/i-single.php?id=202> (date of the application 20.10.2023).

### Список литературы

- Белоусова А.П. 2019. Применение вегетационных индексов при анализе использования пахотных угодий (на примере Уинского района Пермского края). Вестник Сибирского государственного университета геосистем и технологий, 24(4): 208–218. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2019-24-4-208-218>.
- Береза О.В., Страшная А.И., Лупян Е.А. 2015. О возможности прогнозирования урожайности озимой пшеницы в Среднем Поволжье на основе комплексирования наземных и спутниковых данных. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 12(1): 18–30.
- Долина К.В. 2023. Применение геоинформационных технологий и данных дистанционного зондирования Земли для выявления особенностей роста и развития сельскохозяйственных культур в различных почвенно-климатических условиях на территории Республики Татарстан. Магистерская диссертация по направлению 05.04.03 «Картография и геоинформатика. Казань, КФУ, 97 с.
- Ерошенко Ф.В. 2017. Оценка качества зерна озимой пшеницы в Ставропольском крае по данным дистанционного зондирования Земли. Бюллетень Ставропольского научно-исследовательского института сельского хозяйства, 9: 118–128.
- Коротков А.А., Астапов А.Ю. 2020. Вегетационный индекс NDVI для мониторинга растительности. Наука и образование, 3(3): 131–140.
- Раджабова Р.Т., Алексеенко Н.А., Курамагомедов Б.М., Тажудинова З.Ш., Султанов З.М. 2020. Использование индексных изображений при дешифрировании растительного покрова Внутригорного Дагестана. Юг России: экология, развитие, 15(4(57)): 126–136. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2020-4-126-136>.
- Сабирзянов А.М. 2008. Формирование урожая яровой пшеницы в зависимости от использования факторов химизации в условиях Предкамья Республики Татарстан. Автореф. дис. ... канд. сельскохозяйств. наук. Казань, 20 с.
- Сабирзянов А.М. 2015. Применение дистанционного зондирования для прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур (на примере Нурлатского муниципального района Республики Татарстан). Землеустройство, кадастр и мониторинг земель, 4(124): 36–39.
- Трошко К.А., Денисов П.В., Лупян Е.А., Плотников Д.Е., Толпин В.А. 2021. Особенности состояния зерновых культур в регионах европейской части России и Сибири в июне 2021 г. по данным дистанционного мониторинга. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 18(3): 325–331. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2021-18-3-325-331>.
- Bannari A., Morin D., Bonn F., Huete A.R. 1996. A Review of Vegetation Indices. Remote Sensing Reviews, 13(1–2): 90–120. <https://doi.org/10.1080/02757259509532298>.



- Henrich V., Götze E., Jung A., Sandow C., Thürkow D., Gläßer C. 2009. Development of an Online Indices Database: Motivation, Concept and Implementation. In: Proceedings of the 6th EARSeL Imaging Spectroscopy Sig Workshop Innovative Tool for Scientific and Commercial Environment Applications. Israel, Tel Aviv: 16–18.
- Huete A.R. 1988. A Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI). Remote Sensing of Environment, 25(3): 295–309. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(88\)90106-X](https://doi.org/10.1016/0034-4257(88)90106-X).

## References

- Belousova A.P. 2019. Application of Vegetation Indexes in the Analysis of Arable Land Use (on the Example of Uinsky District of Perm Krai). Bulletin of Siberian State University of Geosystems and Technologies, 24(4): 208–218 (in Russian). <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2019-24-4-208-218>.
- Bereza O.V., Strashnaya A.I., Lupyan E.A. 2015. On the Possibility to Predict the Yield of Winter Wheat in the Middle Volga Region on the Basis of Integration of Land and Satellite Data. Current Problems in Remote Sensing of the Earth From Space, 12(1): 18–30 (in Russian).
- Dolina K.V. 2023. Primeneniye geoinformatsionnykh tekhnologiy i dannykh distantsionnogo zondirovaniya Zemli dlya vyyavleniya osobennostey rosta i razvitiya selskokhozyaystvennykh kultur v razlichnykh pochvenno-klimaticheskikh usloviyakh na territorii Respubliki Tatarstan [Application of Geoinformation Technologies and Earth Remote Sensing Data to Identify the Characteristics of the Growth and Development of Agricultural Crops in Various Soil and Climatic Conditions on the Territory of the Republic of Tatarstan]. Master's thesis in the direction 05.04.03 “Cartography and geoinformatics”. Kazan, Publ. KFU, 97 p.
- Eroshenko F.V. 2017. Ocenka kachestva zerna ozimoy pshenicy v Stavropol'skom krae po dannym distantsionnogo zondirovaniya Zemli [Assessment of Winter Wheat Grain Quality in the Stavropol Territory Based on Earth Remote Sensing Data]. Byulleten' Stavropol'skogo nauchno-issledovatel'skogo instituta sel'skogo hozyajstva, 9: 118–128.
- Korotkov A.A., Astapov A.Yu. 2020. Vegetation Index NDVI for Vegetation Monitoring. The Education and Science Journal. 3(3): 131–140 (in Russian).
- Radzhabova R.T., Alekseenko N.A., Kuramagomedov B.M., Tazhudinova Z.Sh., Sultanov Z.M. 2020. The Use of Index Images for Decoding the Vegetation Cover of Inner Mountain Dagestan, Russia. South of Russia: ecology, development, 15(4(57)): 126–136 (in Russian). <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2020-4-126-136>.
- Sabirzyanov A.M. 2008. Formirovaniye urozhaya yarovoy pshenitsy v zavisimosti ot ispolzovaniya faktorov khimizatsii v usloviyakh Predkama Respubliki Tatarstan [Formation of Spring Wheat Harvest Depending on the Use of Chemicalization Factors in the Conditions of the Cis-Kama Region of the Republic of Tatarstan]. Abstract dis. ... cand. agric. sciences. Kazan, 20 p.
- Sabirzyanov A.M. 2015. Application of Remote Sensing for Forecasting Crop Yields (on the Example of the Nurlatsky Municipal District of the Republic of Tatarstan). Land management, cadastre and land monitoring, 4(124): 36–39 (in Russian).
- Troshko K.A., Denisov P.V., Lupyan E.A., Plotnikov D.E., Tolpin V.A. 2021. The State of Grain Crops in the European Part of Russia and Siberia in June 2021 Based on Remote Sensing Data. Current Problems in Remote Sensing of the Earth From Space, 18(3): 325–331. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2021-18-3-325-331>
- Bannari A., Morin D., Bonn F., Huete A.R. 1996. A Review of Vegetation Indices. Remote Sensing Reviews, 13(1–2): 90–120. <https://doi.org/10.1080/02757259509532298>.
- Henrich V., Götze E., Jung A., Sandow C., Thürkow D., Gläßer C. 2009. Development of an Online Indices Database: Motivation, Concept and Implementation. In: Proceedings of the 6th EARSeL Imaging Spectroscopy Sig Workshop Innovative Tool for Scientific and Commercial Environment Applications. Israel, Tel Aviv: 16–18.
- Huete A.R. 1988. A Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI). Remote Sensing of Environment, 25(3): 295–309. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(88\)90106-X](https://doi.org/10.1016/0034-4257(88)90106-X).

*Поступила в редакцию 07.11.2023;  
поступила после рецензирования 22.12.2023;  
принята к публикации 27.01.2024*

*Received November 07, 2023;  
Revised December 22, 2023;  
Accepted January 27, 2024*



**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

**Сабирзянов Алмаз Мансурович**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры географии и картографии, ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Россия

**Панасюк Михаил Валентинович**, доктор географических наук, профессор кафедры географии и картографии, ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Россия

**Аширбеков Шынболат Уланович**, аспирант кафедры географии, ФГБОУ ВО Московский государственный университет геодезии и картографии, Москва, Россия

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Almaz M. Sabirzyanov**, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Geography and Cartography, Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia

**Mikhail V. Panasyuk**, Doctor of Geographical Sciences, Professor of the Department of Geography and Cartography, Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia

**Shynbolat U. Ashirbekov**, Postgraduate student of the Department of Geography, Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia



УДК 551.4 (571.5)  
DOI 10.52575/2712-7443-2024-48-1-106-117

## Фитотоксичность городских почв Иркутска и Ангарска

Лопатина Д.Н.

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

**Аннотация.** В 2022–2023 гг. исследованы некоторые свойства городских почв Иркутска и Ангарска. Для этого проведены полевые исследования на данных территориях. Выполнено морфологическое описание полевых почвенных профилей. Отобраны образцы почв, пород и растительности для выполнения физико-химических анализов и определения свойств почв на исследуемых территориях. Проведена пробоподготовка почв по различным методикам, проведен анализ фитотоксичности почв, согласно ГОСТ Р ИСО 22030-2009 «Качество почвы. Биологические методы. Хроническая фитотоксичность в отношении высших растений». Выполнена обработка полученных результатов: выявлен процент проросших семян редьки масличной (*Raphanus sativus L. var. oleifera Metzg.*) в верхних горизонтах почв ключевых участков городов Иркутск и Ангарск, определена длина отростков и длина корней в почвах исследуемых образцов. В статье приводятся морфологические описания полевых почвенных профилей ключевых участков. Согласно полученным данным, в городе Иркутске самыми чистыми являются берега рек Иркут и Ушаковка, а самым загрязненным участком оказывается берег озера (Ново-Ленинские болота). Почвы лесополос и парков в Ангарске оказались наименее загрязненными, о чем можно судить по высокому проценту проросших семян редьки масличной. Загрязнены почвы проезжих улиц и дворов. В среднем, согласно полученным результатам и методике, почвы города Иркутска и пригорода оказались менее токсичными, чем почвы города Ангарска. Исходя из полученных средних значений длины отростков и корней редьки в образцах, почвы города Иркутска и его пригородов оказались в целом несколько менее фитотоксичны по сравнению с почвами города Ангарска. Однако необходимо отметить, что в условиях города сохраняются естественные ландшафты с помощью различных средообразующих и средосохраняющих объектов – парки, рожи, лесопосадки и т. д., почвы этих участков оказались наименее токсичными.

**Ключевые слова:** городские почвы, урбанозем, фитотоксичность почв, биоиндикация, загрязнение почв, Иркутск, Ангарск

**Благодарности:** Исследование выполнено за счет средств государственного задания (№ госрегистрации темы АААА-А21-121012190055-7 (№ FWEM-2021-0002).

**Для цитирования:** Лопатина Д.Н. 2024. Фитотоксичность городских почв Иркутска и Ангарска. Региональные геосистемы, 48(1): 106–117 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2024-48-1-106-117

---

## Phytotoxicity of Irkutsk and Angarsk Urban Soils

Daria N. Lopatina

V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS,  
1 Ulan-Batorskaya str., Irkutsk 664033, Russia  
E-mail: daryaneu@mail.ru

**Abstract.** In 2022–2023 some properties of urban soils of Irkutsk and Angarsk were studied. To do this, field studies were carried out in these territories. Morphological description of field soil profiles was performed. Samples of soils, rocks and vegetation were taken for physical and chemical analyses and determination of soil properties in studied areas. Soil sample preparation was carried out according to various methods, soil phytotoxicity analysis was carried out in accordance with GOST R ISO 22030-2009

“Soil Quality. Biological methods. Chronic phytotoxicity to higher plants”. The obtained results were processed: the percentage of germinated oilseed radish seeds (*Raphanus Sativus*) in the upper soil horizons of key areas of the cities of Irkutsk and Angarsk was detected, the length of the processes and the length of the roots in the soils of the studied samples were determined. The article provides morphological descriptions of field soil profiles of key areas. According to the data received, in the city of Irkutsk, the banks of the Irkut and Ushakovka rivers are the cleanest, and the most polluted area is the shore of the lake (Novo-Leninsky swamps). The soils of forest belts and parks in Angarsk were the least polluted, as can be judged by the high percentage of sprouted seeds of oilseed radish. The soils of passing streets and courtyards are polluted. On average, according to the results and methodology obtained, the soils of the city of Irkutsk and the suburbs turned out to be less toxic than the soils of the city of Angarsk. The average length of shoots and radish roots in soil samples of the city of Irkutsk and its suburbs turned out to be an order of magnitude higher than the values in the city of Angarsk. However, it should be noted that in the conditions of the city natural landscapes are preserved with the help of various environmental-forming and medium-protecting objects – parks, groves, forest plantations, etc., the soils of these areas turned out to be the most non-toxic.

**Key words:** urban soils, urbanozem, soil phytotoxicity, bioindication, soil pollution, Irkutsk, Angarsk

**Acknowledgements:** The study was carried out at the expense of a state assignment (No. State Registration of Topic AAAA-A21-121012190055-7 (No. FWEM-2021-0002).

**For citation:** Lopatina D.N. 2024. Phytotoxicity of Irkutsk and Angarsk Urban Soils. Regional Geosystems, 48(1): 106–117. DOI: 10.52575/2712-7443-2024-48-1-106-117

## Введение

На фоне растущего антропогенного воздействия на природу и тем более городскую среду, изучение загрязнения и токсичности городских почв приобретает острую актуальность. Для данной работы целью было описание типов почв, представленных на исследуемых территориях, а также изучение некоторых свойств городских почв Иркутска и Ангарска. Для этого были проведены следующие этапы:

1. Прделаны полевые исследования почв городов Ангарск и Иркутск, выполнены описания полевых почвенных профилей.
2. Взяты образцы почв, пород и растительности.
3. По общепринятым методикам проведена подготовка образцов и сделан анализ на фитотоксичность почв.
4. Выполнена систематика и диагностика почв на исследуемой территории.
5. Изучены некоторые свойства почв, проведена сравнительная характеристика двух городских территорий исследования.

### *Иркутск*

Город Иркутск – старинный сибирский город, который в настоящее время является крупным промышленным, торговым и культурно-образовательным центром Иркутской области. Он расположился по берегам реки Ангары и на прилегающих к ее долине возвышенностях, в местах впадения рек Иркут и Ушаковка в Ангару, в 65 км от озера Байкал.

По степени загрязненности Иркутск отнесен к сильно загрязненным городам, что объясняется расположением промышленных объектов в пределах Иркутска, а также климатическими особенностями (для Иркутска характерны безветренная погода и температурные инверсии) [Бояркин, Бояркин, 2007].

### *Ангарск*

Ангарск – это город нефтехимиков, который находится в междуречье Ангары и Китоя на плоской равнине. Через город Ангарск проходит Транссибирская железная дорога. Хорошо развито транспортное сообщение как внутри города, так и с соседними регионами.



Появление и интенсивное строительство города связано с появлением Ангарского нефтехимического комбината, который в настоящее время носит название «Ангарская нефтехимическая компания». Хорошо развита городская инфраструктура.

Ангарск является масштабным промышленным центром. Здесь находится «Ангарская нефтехимическая компания», включающая 19 подразделений, в числе которых многие заводы, такие как: нефтеперерабатывающий, химический, коксогазовый, ремонтно-механический, полимеров и оргсинтеза, бытовой химии, автотранспортное предприятие, ремонтно-строительный трест и другие предприятия. Нефтеперерабатывающий завод перерабатывает до 22–23 млн т нефти в год.

Город Ангарск – это конечный пункт нефтепровода в Западную Сибирь.

Также в Ангарске представлены машиностроение, металлообработка, лесопереработка, производство цемента, строительная индустрия, Ангарская швейная фабрика по пошиву верхней одежды, мясокомбинат, хлебозавод, молокозавод, птицефабрика и другие.

Ангарск входит в число самых загрязненных городов России, но в то же время он считается наиболее благоустроенным городом. Ангарск – достаточно зеленый город, с большим количеством парков, лесонасаждений и рощ [Бояркин, Бояркин, 2007].

### ***Физико-географическая характеристика городов Иркутск и Ангарск***

Иркутская область расположена на стыке южной части Сибирской платформы и Байкальской рифтовой зоны, что определяет и разнообразие геологических пород, и различные физико-географические явления и процессы, характер рельефа и специфику формирования природных ландшафтных комплексов.

### ***Геоморфологическая характеристика***

Территория городов Иркутск и Ангарск и их окрестностей располагается в зоне перехода от платформы к Байкальской рифтовой зоне, сложенной юрскими и четвертичными отложениями.

Значительная часть города Иркутска находится в пределах высокой поймы Ангары и террас Иркуты, Ушаковки, Каи, Топки и других рек на аллювиальных отложениях совместно со склоновыми образованиями. Для склонов речных долин города Иркутска характерна пологость, обычно уклоны – не более 12°.

По геологическому строению город Иркутск относится к Иркутской антиклинали, сложенной породами присаянской, прикудинской и черемховской свит. На нижнекембрийских отложениях ангарской свиты (доломиты, карбонатные и кремнистые брекчии) встречаются нижнеюрские аргиллиты, песчаники. Далее залегают различные четвертичные отложения: аллювиальные, делювиальные, пролювиальные, элювиальные и другие). Современные породы представлены аллювиальными отложениями в поймах, делювиальными на склонах, пролювиальными в понижениях и конусах выноса, элювиальными – на водоразделах. В надпойменных террасах можно встретить лессовидные отложения.

В городах Иркутск и Ангарск местами преобладают техногенные отложения – свалки, отсыпки, шлаки, бессистемно накапливающиеся культурные слои.

Для данных территорий характерны флювиальные и сезонно-мерзлотные процессы, которые активизируются с перепадами водно-температурного режима, землетрясениями, техногенными влияниями [Геоэкологическая..., 1990; Атлас..., 2004].

### ***Климат***

В городских условиях юга Восточной Сибири важнейшей метеорологической характеристикой является ветер, так как он влияет на нижние слои атмосферы – их застой или перемешивание и т. д., а сплошная застройка городов увеличивает неровность поверхности, что, в свою очередь, уменьшает скорости ветра в приземном слое атмосферы в городах. Микроклимат городов Иркутск и Ангарск связан со строением долин рек и пере-

носом воздушных масс. Зимы характеризуются умеренными, иногда сильными, морозами, лето – в основном жаркое, зимой и весной дуют ветры [Геоэкологическая..., 1990].

### ***Растительность***

Зеленые насаждения города Иркутска: парки, сады, скверы, бульвары, насаждения в жилых микрорайонах и кварталах, при учебных и школьных заведениях, при клубах, дворцах культуры, на участках промышленных предприятий, учреждений здравоохранения и др., а также насаждения на улицах, в санитарно-защитных зонах, на кладбищах, а также питомники и цветочные хозяйства.

Рощи, сады и парки – самые крупные озелененные территории общего пользования.

Основные свойства зеленой зоны города Иркутска – это образование благоприятной окружающей среды и сохранение ландшафтов. В городских условиях и на пригородных территориях зеленые растения и деревья призваны выступать важным условием стабилизации экологической ситуации. Типичными деревьями для зеленой зоны городов Иркутск и Ангарск являются тополь бальзамический, клен ясенелистный, также для озеленения высаживаются сосны и лиственницы [Геоэкологическая..., 1990].

Несмотря на то, что Ангарск является промышленным городом, на его территории большое количество зелени: парков, лесопосадок, рощ. Ангарск создает впечатление очень зеленого города. Большое количество хвойных парков и рощ помогает очищать воздух, сохранять ландшафт, создавать условия для прогулок горожан на свежем воздухе.

### **Объекты и методы исследования**

Отбор образцов в полевых условиях, пробоподготовка и выполнение анализов почв и растительности осуществлялись по общепринятым методикам [Аринушкина, 1970; Агрохимические..., 1975; Теория и практика..., 2006].

Выкопаны почвенные разрезы, и из каждого горизонта почвы был взят образец. Для анализа на фитотоксичность почвы использовались только верхние слои почвы (на глубине 0–10 см), а также погребенный гумусовый горизонт.

Точки отбора (рис. 1) были выбраны с целью охватить различные типы городских территорий (жилые дворы, улицы, парки, лесопосадки). Также взяты образцы в наиболее загрязненных пригородах города Иркутска, таких как рабочий поселок Маркова и поселок Смоленщина (находятся в непосредственной близости от Иркутской ТЭЦ, имеются котельные и т. д.).

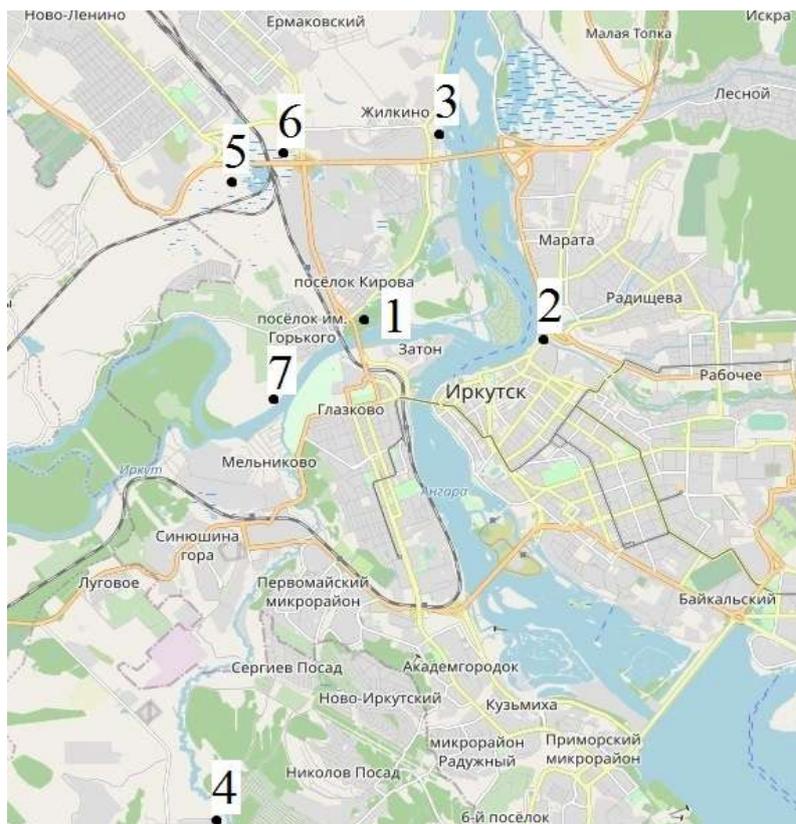
Диагностика почв проведена при помощи «Классификации и диагностики почв России» [Шишов и др., 2004], а также с использованием других литературных источников [Milne, 1935; Thorp, Baldwin, 1938; Bushnell, 1942; Speidel, Agnew, 1982; Miller, Schaeztl, 1993; Doerr et al., 2000; Воробьева, 2009; Воробьева, 2010; Brevik et al., 2016,].

Проведен анализ фитотоксичности почв, согласно ГОСТ Р ИСО 22030-2009 [2009]. Тестируемыми растениями (рис. 2) при выполнении лабораторного опыта были выбраны семена редьки масличной, поскольку редька – культура, которая чувствительна к условиям произрастания и к воздействию тяжелых металлов.

Взятые навески почвы, весом 40 г, помещены в стеклянные чашки Петри. Почва увлажнена дистиллированной водой и смешана до однородной массы. Предварительно увлажненные семена редьки уложены пинцетом на поверхность каждого образца и слегка вдавлены в почву.

В каждую чашку, согласно методике, помещено 10 семян, в том числе в контрольную чашку (холостой опыт, без почвы). Работа проводилась в двух повторностях. Результаты представлены в виде средних значений двух повторностей.

Выполнен подсчет процента взошедших семян, а также измерены длины отростков и корней растений.



А



Б

Рис. 1. Схема размещения ключевых площадок на изучаемых территориях:

А – город Иркутск; Б – город Ангарск

Fig. 1. Scheme of key sites in the territories under study: А – Irkutsk city; Б – the city of Angarsk



Рис.2. Проведение анализа фитотоксичности почв при помощи высаживания семян редьки  
Fig. 2. Analysis of soil phytotoxicity by planting radish seeds

### Результаты и их обсуждение

В полевых исследованиях описаны городские почвы Иркутска и Ангарска, проведены морфологические описания почвенных профилей (рис. 3), выполнена систематика и диагностика почв ключевых участков. Здесь представлены почвы различных типов, от торфяно-глеевых до темногумусовых типичных.



А

Б

В

Рис. 3. Почвенные профили некоторых ключевых участков города Ангарска:  
А – урбо-абразем аккумулятивно-карбонатный; Б – дерново-подзолистая типичная почва;  
В – темногумусовая типичная почва

Fig. 3. Soil profiles of some key areas of the city of Angarsk: A – urbo-abrasem accumulative-carbonate;  
Б – sod-podzolic typical soil; В – dark-humus typical soil

Однако, несмотря на городские условия, часто сохраняются участки естественных ландшафтов, на которых распространены естественные типы почв: в парках, в рощах и на болотах, где отмечается минимум антропогенного воздействия, даже несмотря на высокую, в среднем, степень загрязненности городских территорий.



Ниже приведены описания почвенных профилей некоторых ключевых участков (см. рис. 3) здесь представлены: 1 – Типичная городская почва, которую по современной классификации почв на сайте «Классификация почв России» можно назвать урбо-абразем аккумулятивно-карбонатный. Это почва с отсутствующим гумусовым горизонтом, вместо которого находится насыпь антропогенного песка, а внизу профиля – карбонатная порода; 2 – Естественная дерново-подзолистая типичная почва в Парке Строителей, здесь полностью сохранены естественные генетические горизонты почвы; 3 – Естественная темногумусовая почва во дворе жилого дома в городе Ангарске, на карбонатной породе и под остепненной растительностью.

### ***Описание почвенных профилей некоторых ключевых участков***

#### **А**

##### Площадка 1

Местоположение: въезд в г. Ангарск. 10 м до автомобильной дороги.

Растительность: преобладает сорная, встречается разнотравье.

Порода: карбонатная супесь.

Тип почвы: урбо-абразем аккумулятивно-карбонатный.

Ствол: постлитогенного почвообразования.

Отдел: абраземы.

Морфологическое описание почв:

0–2 см – АУ – дернина, не вскипает от 10 % HCl.

2–12 см – ВСА – светло-коричневый, рыхлый, не вскипает от 10 % HCl, песок.

12–16 см – ВССА – светло-коричневый, слабоуплотненный, не вскипает, песок.

С 16 см – ССА – серо-бежевый, уплотненный, вскипает, супесь.

#### **Б**

##### Площадка 4

Местоположение: г. Ангарск, Парк Строителей.

Растительность: сосновый лес, лесное разнотравье.

Порода: бескарбонатная супесь.

Тип почвы: дерново-подзолистая типичная.

Ствол: постлитогенного почвообразования.

Отдел: текстурно-дифференцированные почвы.

Морфологическое описание почв:

0–3 см – АУ – дерновый горизонт, не вскипает от 10 % HCl.

3–11 см – АУ – темный, рыхлый, структура мелкозернистая, не вскипает от 10 % HCl, супесь, переход постепенный.

11–14 см – АЕЛ – коричневый, слабоуплотненный, не вскипает, супесь, структура мелкозернистая, переход постепенный.

15–25 см – ВЕЛ – светло-коричневый, уплотненный, не вскипает, супесь.

С 25 см – светло-рыжий, плотный, супесь, не вскипает.

#### **В**

##### Площадка 6

Местоположение: г. Ангарск. Двор жилого дома на другой стороне дороги от Сквера семьи.

Растительность: насаждения. 1 ряд – лиственницы, 2 ряд – березы. Клевер, разнотравье. Трава разреженная, сухая, похожая на остепненную.

Порода: карбонатная супесь.

Тип почвы: темногумусовая типичная.

Ствол: постлитогенного почвообразования.

Отдел: органо-аккумулятивные почвы.

Морфологическое описание почв:

0–3 см – АУ – дерновый горизонт, сухой, пыльный, слабое кипение от 10 % HCl.

3–8 см – АУ – темный, рыхлый, сухой, пыльный, структура мелкозернистая, умеренное вскипание от 10 % HCl, супесь, включения камней.

8–11 см – АUB – коричневый, сухой, пыльный, слабоуплотненный, вскипает, супесь, включения камней.

11–18 см – В – коричневый, сухой, пыльный, уплотненный, сильное вскипание, супесь, включения камней.

С 18 см С – светло-рыжий, сухой, пыльный, очень плотный, супесь, бурное вскипание, с 24 по 25 см – полоска извести, включения камней.

#### **Фитотоксичность почв**

Почва становится токсичной, когда в ней накапливаются тяжелые металлы, токсичные вещества [Красильников, 1958]. Известно, что почвы Иркутской области загрязнены тяжелыми металлами [Геохимия..., 2008; Potential accumulation..., 2023], а значит, могут обладать токсическими свойствами. Эти свойства проявляются в подавлении развития растений и микроорганизмов в токсичной почве. Выявлено, что в таких почвах содержится также большое число токсичных микроорганизмов различных систематических групп.

Когда уровень загрязнения почв повышен, видовая структура растений становится проще, потому что уменьшается количество редких видов, но на таких территориях могут формироваться новые виды, которые имеют высокую стойкость к фитотоксичности почв.

Далее представлены результаты анализа на фитотоксичность почвы (процент проросших семян редьки в почвах городов Иркутск и Ангарск) (табл., рис. 4).

Процент проросших семян редьки в почвах городов Иркутск и Ангарск  
Percentage of sprouted radish seeds in the soils of the cities of Irkutsk and Angarsk

| Иркутск          |   |                         | Ангарск          |   |                         |
|------------------|---|-------------------------|------------------|---|-------------------------|
| № образца        | Местоположение  | Процент проросших семян | № образца        | Местоположение  | Процент проросших семян |
| 1                | Берег р. Иркут, 300 м до Иркутского моста                             | 100                     | 1А               | Въезд в г. Ангарск, 10 м до автомобильной трассы  | 55                      |
| 2                | Берег р. Ушаковки, 10 м до впадения в р. Ангару                       | 100                     | 2А               | Двор административного здания, сосновый лесок   | 60                      |
| 3                | Берег р. Ангары, п. Жилкино   | 80                      | 3А               | Пригород на ул. Карла Маркса, 5 метров до автомобильной дороги                                  | 22                      |
| 4                | п. Маркова, 10 метров до р. Кая.-20 метров от автомобильной дороги    | 70                      | 4А               | Пригород на ул. Карла Маркса, 5 метров до автомобильной дороги (погребенный гумусовый горизонт) | 65                      |
| 5                | Ново-Ленинские болота, 300 м до автомобильной дороги                  | 80                      | 5А               | Парк Строителей, сосновый лес   | 80                      |
| 6                | Озера по пути в мкр. Ново-Ленино, овраг, 20 м до автомобильной дороги | 40                      | 6А               | Ул. Чайковского, сосновый парк  | 85                      |
| 7                | Под Кайской горой, дачное садоводство, 100 м до берега р. Иркут       | 77                      | 7А               | Двор жилого дома на другой стороне дороги от Сквера семьи                                       | 55                      |
| Холостая проба 1 |   | 100                     | Холостая проба 2 |   | 100                     |

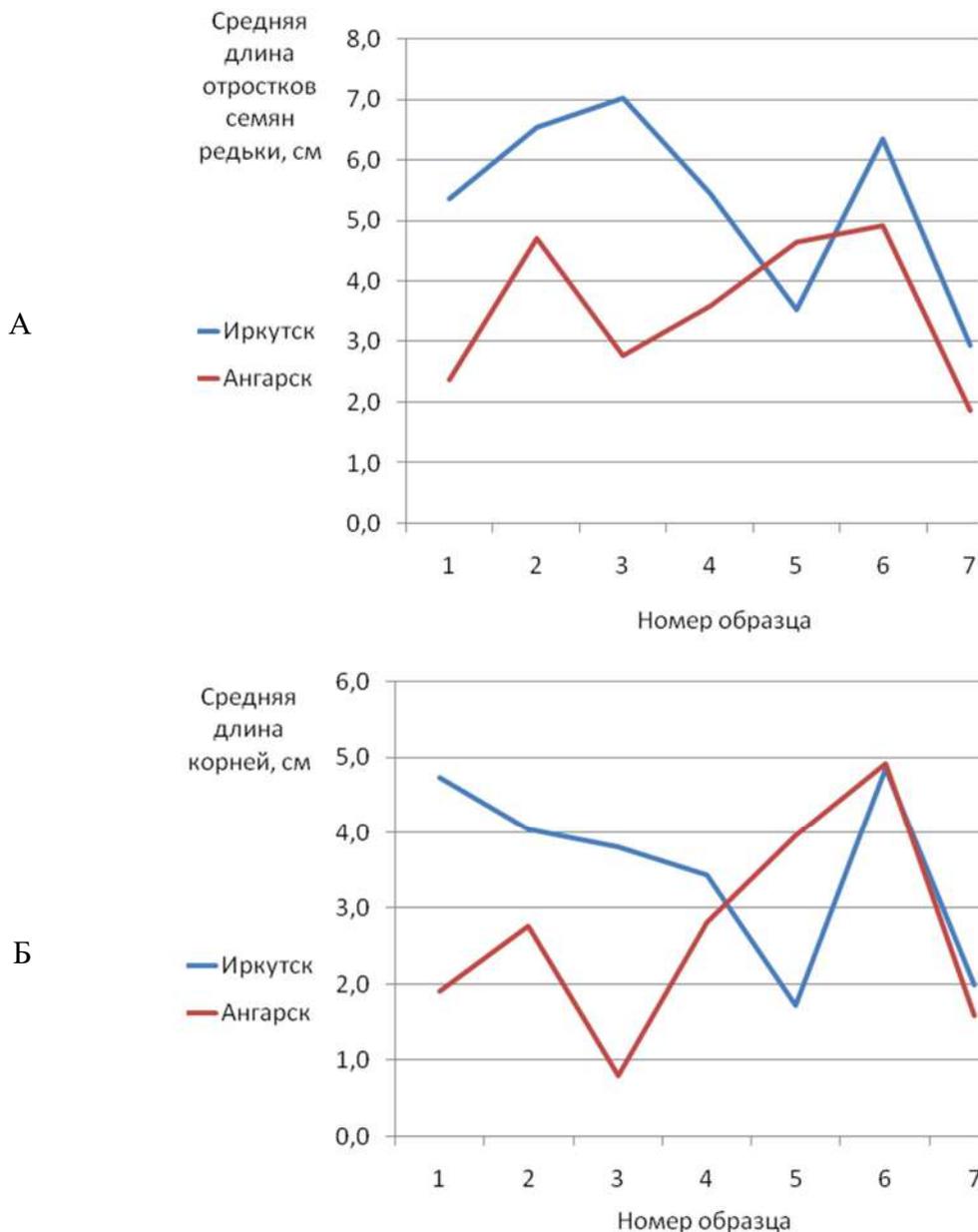


Рис. 4. Средняя длина отростков (А) и корней (Б) редьки в почвах городов Иркутск и Ангарск  
 Fig. 4. Average length of processes and radish roots in the soils of the cities of Irkutsk and Angarsk

Из результатов (см. табл.) следует, что для некоторых образцов города Иркутска характерна наибольшая всхожесть семян редьки (100 %) – это площадки на берегах рр. Иркут и Ушаковка (образцы 1, 2), наименьшая для берега озера вблизи мкр. Ново-Ленино (образец 6). Почвы других ключевых площадок характеризуются хорошей всхожестью семян (более 60 %).

Для образцов почв парков и лесопосадок города Ангарска характерен высокий процент пророста семян редьки. Наименьший процент всхожести семян – в образцах почв улиц и жилых дворов (образцы 1А, 3А, 7А). В почве с погребенным гумусовым горизонтом на пригорке на улице Карла Маркса в городе Ангарске наблюдается крайне низкий процент проросших семян в верхнем гумусовом горизонте (образец 3А), а в погребенном горизонте, наоборот, наблюдается вполне удовлетворительный (65 %) процент проросших семян (образец 4А).

Важным показателем при изучении всхожести семян в городских почвах является длина самих отростков, а также длина корней (см. рис. 4).

Выявлено, что средние значения длин отростков и корней редьки в образцах почв города Иркутска и его пригородов оказались в целом несколько выше по сравнению со средними значениями длин отростков и корней редьки в почвах города Ангарска.

Средняя длина отростков по городу Иркутску составляет 5,3 см с доверительным интервалом 0,87 см. По городу Ангарску средняя длина отростков – 3,6 см с доверительным интервалом 0,60 см. Средняя длина корней по городу Иркутску – 3,5 см с доверительным интервалом 0,7 см, а по городу Ангарску средняя длина корней составила 2,7 см с доверительным интервалом 0,79 см.

Средняя сумма длин отростков и корней по городу Иркутску составила 8,8 см с доверительным интервалом 1,0 см, а по городу Ангарску – 6,3 см с доверительным интервалом 0,95 см.

Исходя из полученных средних значений длин отростков и корней редьки в образцах, почвы города Иркутска и его пригородов оказались в целом несколько менее фитотоксичны по сравнению с почвами города Ангарска.

### Заключение

Согласно полученным результатам, в городе Иркутске наиболее загрязненным участком оказался берег озера по пути в мкр. Ново-Ленино, относительно чистыми являются берега рек Иркут и Ушаковка, а почвы других ключевых площадок характеризуются хорошей всхожестью семян (более 65 %). Почвы пригорода Иркутска (рп. Маркова) показали удовлетворительный процент всхожести семян и, согласно методике, являются нефитотоксичными.

В городе Ангарске наиболее загрязненными оказались почвы улиц и жилых дворов. В почве с погребенным гумусовым горизонтом на пригорке по оживленной улице Карла Маркса в городе Ангарске замечен очень низкий процент проросших семян в верхнем гумусовом горизонте, а в погребенном горизонте семена редьки взошли в удовлетворительном количестве (65 %). Почвы парков и лесопосадок города Ангарска являются наиболее чистыми – об этом свидетельствует высокий процент пророста семян редьки. Если исходить из полученных средних значений длины отростков и корней редьки в образцах, почвы города Иркутска и его пригородов оказались в целом несколько менее фитотоксичны по сравнению с почвами города Ангарска.

Однако необходимо отметить, что в условиях города бывают сохранены естественные ландшафты с помощью различных средообразующих и средосохраняющих объектов – парки, рощи, лесопосадки и т. д., почвы этих участков оказались наиболее чистыми.

### Список источников

- Аринушкина Е.В. 1970. Руководство по химическому анализу почв. М., Издательство Московского университета, 487 с.
- Атлас. Иркутская область: экологические условия развития. 2004. М., Иркутск, 90 с.
- Бояркин В.М., Бояркин И.В. 2007. География Иркутской области (природа, население, хозяйство, экология). Иркутск, ИД «Сарма», 256 с.
- Воробьева Г.А. 2009. Почвы Иркутской области: вопросы классификации, номенклатуры и корреляции. Иркутск, Издательство Иркутского государственного университета, 149 с.
- ГОСТ Р ИСО 22030-2009. Качество почвы. Биологические методы. Хроническая фитотоксичность в отношении высших растений. 2009. М., Изд-во стандартов, 20 с.
- Potential accumulation of toxic trace elements in soils during enhanced rock weathering. Electronic resource. URL: [www/bsssjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/ejss.13343](http://www/bsssjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/ejss.13343) (Date Views 27.12.2023).



## Список литературы

- Агрохимические методы исследования почв. 1975. М., Наука, 656 с.
- Воробьева Г.А. 2010. Почва как летопись природных событий Прибайкалья: проблемы эволюции и классификации почв. Иркутск, Издательство Иркутского государственного университета, 205 с.
- Геохимия окружающей среды Прибайкалья (Байкальский геоэкологический полигон). 2008. Под ред. В.И. Гребенщикова. Новосибирск, Гео, 234 с.
- Геоэкологическая характеристика городов Сибири. 1990. Под ред. А.Н. Антипова. Иркутск, Издательство Института географии СО АН СССР, 224 с.
- Красильников Н.А. 1958. Микроорганизмы почвы и высшие растения. М., Издательство АН СССР, 463 с.
- Теория и практика химического анализа почв. 2006. Под ред. Л.А. Воробьевой. М., ГЕОС, 400 с.
- Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И., Герасимова М.И. 2004. Классификация и диагностика почв России. Смоленск, Ойкумена, 341 с.
- Brevik E.C., Miller B.A., Pereira P., Kabala C., Baumgarten A., Jordan A. 2016. Soil Mapping, Classification, and Pedologic Modeling: History and Future Directions. *Geoderma*, 264: 256–274. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.05.017>.
- Bushnell T.M. 1942. Some Aspects of the Soil Catena Concept. *Soil Science Society of America Journal*, 7: 466–476. <https://doi.org/10.2136/sssaj1943.036159950007000C0079x>.
- Doerr S.H., Shakesby R.A., Walsh R.D. 2000. Soil Water Repellency: Its Causes, Characteristics and Hydro-Geomorphological Significance. *Earth-Sciences Reviews*, 51(1–4): 33–65. [https://doi.org/10.1016/S0012-8252\(00\)00011-8](https://doi.org/10.1016/S0012-8252(00)00011-8).
- Miller B.A., Schaetzl R.J. 1993. History of Soil Geography in the Context of Scale. *Geoderma*, 264: 284–300. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.08.041>.
- Milne G. 1935. Composite Units for the Mapping of Complex Soil Association. *Transactions of the Third International congress of Soil Science*, 1: 345–347.
- Speidel D.H., Agnew A.F. 1982. *The Natural Geochemistry of Our Environment*. Boulder, CO, Westview, 214 p.
- Thorp J., Baldwin M. 1938. Nomenclature of the Higher Categories of Soil Classification as Used in the Department of Agriculture. *Soil Science Society of America Journal*, 3: 260–271.

## References

- Agrohimicheskie metody issledovaniya pochv [Agrochemical Methods of Soil Research]. 1975. Moscow, Publ. Nauka, 656 p.
- Vorob'eva G.A. 2010. Pochva kak letopis' prirodnyh sobytij Pribajkal'ja: problemy jevoljucii i klassifikacii pochv [Soil as a Chronicle of Natural Events of the Baikal Region: Problems of Evolution and Classification of Soils]. Irkutsk, Publ. Izdatel'stvo Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta, 205 p.
- Geochemistry of Baikal Environment. Baikal Geocological Polygon. 2008. Ed. by V.I. Grebenshnikov. Novosibirsk, Publ. Geo, 234 p. (in Russian).
- Geojekologicheskaja harakteristika gorodov Sibiri [Geocological Characteristics of Siberian Cities]. 1990. Ed. by A.N. Antipov. Irkutsk, Publ. Instituta geografii SO AN SSSR, 224 p.
- Krasilnikov N.A. 1958. Mikroorganizmy pochvy i vysshie rastenija [Soil Microorganisms and Higher Plants]. Moscow, Publ. AN SSSR, 463 p.
- Theory and Practice of Chemical Analysis of Soils. 2006. Ed. by L.A. Vorobeve. Moscow, Publ. GEOS, 400 p. (in Russian).
- Shishov L.L., Tonkonogov V.D., Lebedeva I.I., Gerasimova M.I. 2004. Klassifikacija i diagnostika pochv Rossii [Classification and Diagnostics of Soils in Russia]. Smolensk, Publ. Ojkumena, 341 p.
- Brevik E.C., Miller B.A., Pereira P., Kabala C., Baumgarten A., Jordan A. 2016. Soil Mapping, Classification, and Pedologic Modeling: History and Future Directions. *Geoderma*, 264: 256–274. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.05.017>.
- Bushnell T.M. 1942. Some Aspects of the Soil Catena Concept. *Soil Science Society of America Journal*, 7: 466–476. <https://doi.org/10.2136/sssaj1943.036159950007000C0079x>.



- Doerr S.H., Shakesby R.A., Walsh R.D. 2000. Soil Water Repellency: Its Causes, Characteristics and Hydro-Geomorphological Significance. *Earth-Sciences Reviews*, 51(1–4): 33–65. [https://doi.org/10.1016/S0012-8252\(00\)00011-8](https://doi.org/10.1016/S0012-8252(00)00011-8).
- Miller B.A., Schaetzl R.J. 1993. History of Soil Geography in the Context of Scale. *Geoderma*, 264: 284–300. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.08.041>.
- Milne G. 1935. Composite Units for the Mapping of Complex Soil Association. *Transactions of the Third International congress of Soil Science*, 1: 345–347.
- Speidel D.H., Agnew A.F. 1982. *The Natural Geochemistry of Our Environment*. Boulder, CO, Westview, 214 p.
- Thorp J., Baldwin M. 1938. Nomenclature of the Higher Categories of Soil Classification as Used in the Department of Agriculture. *Soil Science Society of America Journal*, 3: 260–271.

*Поступила в редакцию 21.09.2023;*  
*поступила после рецензирования 28.12.2023;*  
*принята к публикации 25.01.2024*

*Received September 21, 2023;*  
*Revised December 28, 2023;*  
*Accepted January 25, 2024*

**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

**Лопатина Дарья Николаевна**, кандидат географических наук, научный сотрудник лаборатории геохимии ландшафтов и географии почв, Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, г. Иркутск, Россия

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

**Daria N. Lopatina**, Candidate of Geographical Sciences, Researcher of the Laboratory of Landscape Geochemistry and Soil Geography, Institute of Geography V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS, Irkutsk, Russia



УДК 910.3:504.436(470.325)  
DOI 10.52575/2712-7443-2024-48-1-118-130

## Рекреационная привлекательность родников Красненского и Ракитянского районов Белгородской области

**Орехова Г.А.**

Белгородский государственный национальный исследовательский университет,  
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85  
E-mail: ga-li-na-80@mal.ru

**Аннотация.** Изучены родники двух административных районов Белгородской области, которые являются памятниками природы регионального значения или перспективны для присвоения такого статуса. Предложены изменения в методику для определения соответствия родников критериям памятников природы. Даны конкретные предложения по перечню родников, которые должны пополнить группу памятников природы на данной территории. Определена рекреационная привлекательность исследуемых родников и вклад отдельных параметров в ее оценку. Показано, что природная привлекательность родника и пейзажная выразительность его окрестностей связаны слабо, что обусловлено разными подходами, применяемыми при оценке этих параметров. Обнаружена весьма тесная связь между результатами рекреационной оценки и оценки рекреационной привлекательности.

**Ключевые слова:** родники, Белгородская область, памятники природы, пейзажная выразительность, рекреационная оценка родников, рекреационный потенциал родников, рекреационная привлекательность

**Для цитирования:** Орехова Г.А. 2024. Рекреационная привлекательность родников Красненского и Ракитянского районов Белгородской области. Региональные геосистемы, 48(1): 118–130. DOI: 10.52575/2712-7443-2024-48-1-118-130

---

## Recreational Attractiveness of Springs Krasnensky and Rakityansky Districts of the Belgorod Region

**Galina A. Orekhova**

Belgorod State National Research University,  
85 Pobeda St, Belgorod 308015, Russia  
E-mail: ga-li-na-80@mal.ru

**Abstract.** The springs of two administrative districts of the Belgorod region, which are natural monuments of regional significance or are promising for giving such status, were studied. The purpose of the study was to determine their recreational attractiveness and compare the proposed recreational assessments to determine the most promising ones. Changes to the methodology for determining the compliance of springs with the criteria of natural monuments are proposed. Specific proposals are given for the list of springs that should replenish the group of natural monuments in this territory. The recreational attractiveness of the studied springs and the contribution of individual parameters to its assessment were determined. It has been established that most of the studied springs are characterized by high recreational attractiveness. It is shown that in both areas the maximum contribution to the assessment of the recreational attractiveness of springs is made by their sanitary and ecological condition. The hypothesis about the close relationship between the natural attractiveness of the spring and the landscape expressiveness of its surroundings was not confirmed, which is due to different approaches used to assess these parameters; only a weak connection was found. A very close connection has been proven between the results of the recreational assessment and the assessment of recreational attractiveness, which allows us to recommend a simple recreational assessment to obtain reliable information about the recreational attractiveness of the spring.

**Keywords:** springs, Belgorod region, natural monuments, landscape expressiveness, recreational assessment of springs, recreational potential of springs, recreational attractiveness

**For citation:** Orekhova G.A. 2024. Recreational Attractiveness of Springs Krasnensky and Rakityansky Districts of the Belgorod Region. *Regional Geosystems*, 48(1): 118–130 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2024-48-1-118-130

## Введение

В течение ряда лет автор занимается изучением родников Белгородской области и на этой основе может утверждать, что «родниковый бум» по-прежнему продолжается: число публикаций, посвященных родникам, растет быстрыми темпами. В этой связи сложно согласиться с мнением [Гришуткин, Щурков, 2023], что в публикациях родники в качестве туристических объектов рассматриваются не часто как в России, так и в зарубежных странах. Многочисленные результаты свидетельствуют, что повсеместно происходит антропогенная деградация родников, уменьшение их количества и снижение качества [DellaSala, Goldstein, 2022; Currell, Katz, 2022]. По мере увеличения антропогенных нагрузок на территорию деградация родников нарастает [Ильина и др., 2020], что вызывает большие опасения в связи с влиянием источников на биоразнообразие, на распространение редких и эндемичных видов, их ключевой экологической функциональностью в ландшафтах, значительной культурной и социально-экономической ценностью. Звучат призывы признать родники особой группой экосистем, которая заслуживает пристального внимания к ее сохранению [Cantonati et al., 2020]. Основными угрозами для родников являются сельское хозяйство, развитие водоснабжения, добыча полезных ископаемых (истощение подземных вод), загрязнение подземных вод, посещение родников (рекреация), вторжение чужеродных видов [Соболева, Анищенко, 2022; DellaSala, Goldstein, 2022]. Однако многие источники и на сегодняшний день считаются символами чистоты и хорошего качества воды, жизненной и духовной силы [Jokiel, Michalczyk, 2021].

Следует отметить изменение направления исследований родников: работы описательного характера сменяются работами, посвященными различной оценке источников. Использование источников приобретает все большее значение в туризме. Это может быть оздоровительный, экологический, религиозный туризм [Akhmedenov, Idrisova, 2021]. По мнению В.М. Швеца с соавторами [2002], родники являются фактором, определяющим рекреационное значение ландшафта. При этом, если родник является памятником природы, то рекреационное значение природного комплекса, где он находится, повышается. Следует согласиться с мнением А.Н. Соловьева, что «особо охраняемые природные территории (ООПТ) изымаются из традиционного хозяйственного оборота с целью использования их нематериальных ресурсов в научном, культурно-познавательном, культовом, рекреационном отношении» [Соловьев, 2020, с. 17]. В разных регионах России усиливается внимание к рекреационному использованию родников и включению их в группу региональных памятников природы [Каткова и др., 2013; Плевако и др., 2014; Бородулина, 2022; Гришуткин, Щуряков, 2023]. Такие работы широко проводятся и в Белгородской области [Новых, Орехова, 2010; Новых и др., 2015; 2023а; 2023б].

Ранее мы рассматривали типы использования родников в Белгородской области [Новых и др., 2022] и установили, что для области характерны хозяйственно-питьевое, рекреационное и культовое использование. Преобладающими являются первые два типа, а конкретный лидер определяется природными особенностями территории и особенностями размещения населения: при господстве малобежитных родников и повышенной плотности сельского населения господствует хозяйственно-питьевое использование, при увеличении дебита родников и уменьшении плотности населения лидирует рекреационное.



По мнению [Ghosh, Mukhopadhyay, 2022], родники повышают геотуристический потенциал территории, а для его оценки необходимо использовать не только параметры самого родника, такие как гидрологические и геоморфологические особенности, значимость для локальной экосистемы, природная красота местности, но и вовлеченность объекта в локальную рекреационную программу, включающую доступность, обустроенность родника, проведение мониторинга природных вод, значимость объекта для местного населения. Многочисленные исследования в России также охватывают вопросы рекреационной оценки родников, при этом предлагаются разные подходы к такой оценке [Сивохиц, 2005; Каткова и др., 2013; Гришуткин, Щуряков, 2023].

Целью исследования являлось определение рекреационной привлекательности родников двух административных районов Белгородской области и сравнение предлагаемых рекреационных оценок для определения наиболее перспективных.

### Объекты и методы исследования

В настоящее время в практику природопользования все шире внедряется бассейновый подход [Лисецкий и др., 2013], который мы ранее активно использовали в своих работах [Новых и др., 2022]. Но в данной статье при отборе территорий для исследования применено административное деление территории области, что не является шагом назад, но обусловлено особенностями объектов исследования. В качестве таковых выступили родники, либо входящие в региональную сеть ООПТ, либо перспективные для включения. Мероприятия по совершенствованию сети ООПТ на региональном уровне проводятся администрациями районов, поэтому при анализе рекреационной привлекательности родников использовано такое деление.

Выбор конкретных районов для исследования обусловлен двумя факторами:

1. Для ряда районов области, включая названные Ракитянский и Красненский, в 2023 году был проведен очередной этап мониторингового исследования, что позволяет обсуждать актуальную ситуацию.

2. Размещение изучаемых районов в разных частях области (западной и восточной) позволяет сравнивать ситуацию и устанавливать пространственные различия.

Ракитянский район расположен на северо-западе Белгородской области в Псельско-Ворсклинском физико-географическом районе. Красненский район находится на северо-востоке Белгородской области, входит в состав Потуданьско-Тихососненского физико-географического района [Географический атлас..., 2018].

Изучаемые районы характеризуются следующими особенностями по отношению к родникам:

1. Ракитянский район, наряду с Краснояружским и Новооскольским, не имеет на своей территории родников, относящихся к памятникам природы регионального значения [Об утверждении..., 2017];

2. На территории Красненского района находится один памятник природы – родник «Рубленый». Этот родник характеризуется лучшим оформлением среди всех родников Белгородской области: здесь представлен не только комплекс сооружений (часовня, декоративный сруб, купель), но и информационные стенды с паспортом родника и результатами определения химического состава воды, т. е. научная информация о роднике, хорошо продумана организация территории [Новых и др., 2023а].

Ранее в Ракитянском районе нами было изучено 78 родников, в Красненском – 24. Для детального мониторингового обследования были отобраны охраняемые и перспективные для охраны родники: четыре в Красненском районе и пять в Ракитянском. Полевое обследование родников проводилось в 2023 году. Оно включало обновление паспортов родников, отбор проб и определение основных загрязнителей родниковых вод, проведение серии оценок рекреационной значимости родников.

Основные методы исследования, использованные в работе: экспедиционный, опросный, описание, измерение, картографический, математико-статистический, сравнительный анализ.

При определении и анализе рекреационной значимости родников использованы следующие конкретные методики:

– определения соответствия родников критериям памятников природы регионального значения [Швец и др., 2002]. Детальный пример применения методики представлен в работе [Новых, Орехова, 2010]. Ниже, в разделе «Результаты и их обсуждение» приведены предложения по совершенствованию указанной методики;

– методика рекреационной оценки родников, разработанная на кафедре географии, геоэкологии и безопасности жизнедеятельности НИУ «БелГУ» в 2015–2016 гг. Подробная характеристика показателей, использованных в системе оценки, и шкала оценки обсуждались ранее в работах [Новых и др., 2023 а, б];

– методика оценки пейзажной выразительности с использованием шкалы, разработанной Б.И. Кочуровым и Н.В. Бучацкой [2007]. Шкала включает 7 параметров: общее впечатление от пейзажа, выразительность рельефа, обилие водных поверхностей, пространственное разнообразие растительности, природоохранные и уникальные объекты, антропогенное воздействие, использование территории в рекреационных целях. Применение названной шкалы обусловлено тем, что, по мнению психологов [Джанджугазова, 2014], Среднерусская возвышенность имеет почти идеальный с точки зрения психологического восприятия пейзаж, который отражает гармоничное сочетание пространственной вертикали и горизонтали. Такой пейзажный облик ландшафта вызывает целую гамму ассоциаций, чувств и эмоций. Данная шкала обсуждалась нами в [Новых и др., 2023а]. Для удобства интерпретации результатов весь интервал итоговых оценок был разделен на пять интервалов: низкая, пониженная, средняя, повышенная, высокая. Однако, познакомившись с другими методиками, в частности, с [Гришуткин, Щуряков, 2023], считаем необходимым внести некоторые изменения в названия интервалов оценок: очень низкая – 1–6 баллов, низкая – 7–12 баллов, средняя – 13–18 баллов, высокая – 19–24 балла, очень высокая – 25–30 баллов;

– рекреационный потенциал территории определяли по методике Е.Г Катковой с соавторами [2013]. Параметры, включенные в оценку: эстетические свойства ландшафта, дебит источника, наличие каптажного устройства, создающего дополнительный эстетический эффект, частота посещаемости родника. Итогом оценки является выделение родниковых районов с высоким, средним и низким уровнем рекреационного потенциала. В отличие от методик, рассмотренных выше, итогом является качественная оценка, что не позволяет провести статистические расчеты сравнения оценок;

– методика оценки туристско-рекреационного потенциала родников (рекреационной привлекательности) [Гришуткин, Щуряков, 2023]. Отличается от предыдущей методики своей объемностью и детальностью, включает пять блоков оценок: природная привлекательность, культурно-познавательная привлекательность, инфраструктура, благоустройство, санитарно-экологическое состояние. Впервые используется нами для родников Белгородской области. В данной методике применен иной подход для оценки критериев: если в предыдущих методиках отсутствие критерия оценивалось в 0 баллов, то здесь оно оценивается в один балл. Некоторые критерии сложны для применения: например, оценка биологического разнообразия требует участия специалиста-биолога. Или возьмем критерий «Состояние каптажа»: предусмотрена оценка ветхого, среднего и хорошего состояния. Как оценивать отсутствие каптажа? Не указано. В таких случаях мы присваивали критерию нулевое значение, т. е. несколько видоизменяли методику.

Математико-статистическая обработка результатов включала определение тесноты корреляционной связи между уровнями различных оценок.

## Результаты и их обсуждение

В связи с ландшафтным значением родники часто попадают в разряд памятников природы. Ранее [Новых, Орехова, 2010] мы анализировали распределение региональных памятников природы (родников) на территории области и предлагали направления совершенствования перечня охраняемых родников для районов, в которых такие объекты отсутствуют. Затем были опубликованы предложения по совершенствованию сети ООПТ в разделе родники для некоторых других районов, в частности для Белгородского [Орехова и др., 2020]. При этом была использована указанная в предыдущем разделе методика определения соответствия родников критериям памятников природы регионального значения [Швец и др., 2002].

В 2017 году на областном уровне была проведена инвентаризация памятников природы, их число уменьшилось с 105 до 83. Самым значительным было снижение количества охраняемых родников в Красногвардейском районе. На рис. 1 представлена картограмма количества охраняемых родников по районам и городским округам области в соответствии с Постановлением Правительства Белгородской области [Об утверждении..., 2017].

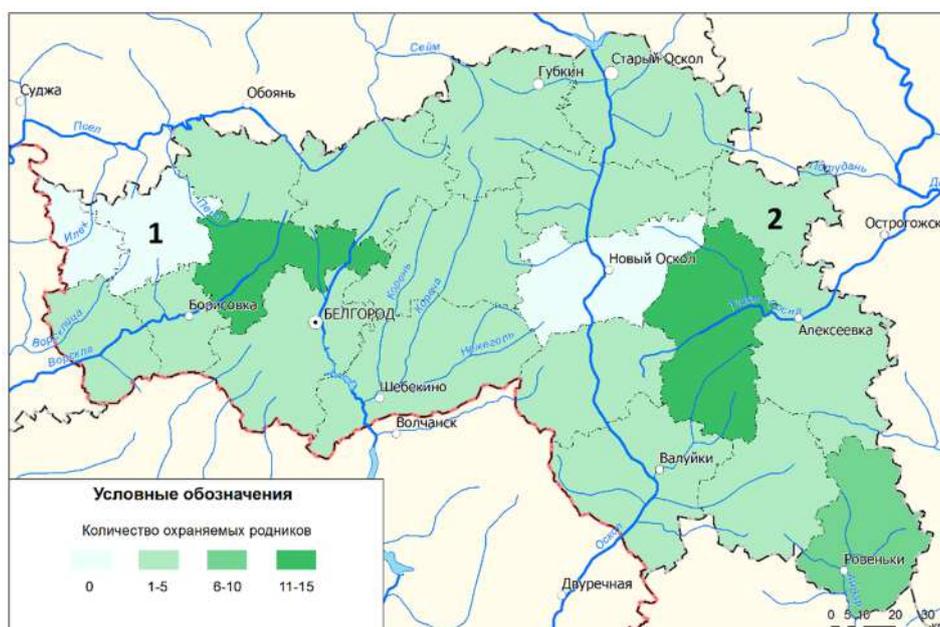


Рис. 1. Картограмма количества родников – памятников природы регионального значения в административных районах и городских округах Белгородской области (цифрами отмечены исследуемые районы: 1 – Ракитянский, 2 – Красненский)

Fig. 1. Cartogram of the number of springs-natural monuments of regional significance in administrative districts and urban districts of the Belgorod region (numbers mark the study areas: 1 – Rakityansky, 2 – Krasnensky)

Анализ картограммы показывает, что в тех районах, где не было охраняемых родников (Краснояржуский, Ракитянский, Новооскольский), ситуация не изменилась. Подавляющее большинство районов имеет на своей территории от 1 до 5 охраняемых родников регионального уровня. Лидером по числу памятников природы (родников) по-прежнему остается Красногвардейский район (15 объектов), но Яковлевский городской округ «отстает» только на одну позицию (14 объектов). В связи с этим вопросы научно обоснованного отнесения родников к памятникам природы регионального значения по-прежнему актуальны и требуют решения.

Опыт применения методики оценки соответствия родников критериям памятников природы показал, что ее использование затруднено в связи с недостаточной однозначностью рекомендуемых критериев. Так сложно установить четкую грань между ценным природным значением родника и его важным экологическим значением, трудно оценить

уникальность отдельных родников. В связи с этим было решено использовать формулировку понятия «памятник природы» в Федеральном законе «Об особо охраняемых природных территориях». Согласно ст. 25, «памятники природы – уникальные, невосполнимые, ценные в экологическом, научном, культурном и эстетическом отношении природные комплексы, а также объекты естественного и искусственного происхождения» [Об особо охраняемых..., 1995]. В приведенной формулировке прописаны 4 критерия, которые в полной мере можно отнести к родникам: экологическая, научная, культурная и эстетическая ценность. При этом культурная ценность понимается нами в широком диапазоне, т. е. включает традиционно высокое историческое, культурное или религиозное значение родника. Следует подчеркнуть, что эстетическая ценность, по нашим представлениям, необязательно требует обустройства родника. Есть природные родники, которые удивляют своей красотой, несмотря на отсутствие обустройства.

Исследуемые районы на картограмме пронумерованы. В 2023 году была проведена повторная оценка родников этих районов по обновленной методике и выявлены объекты, соответствующие критериям памятников природы. Для Ракитянского района в 2010 году перспективными были определены 9 объектов [Новых, Орехова, 2010], для Красненского в 2015 году – 5 [Новых и др., 2015]. Применение более четкой шкалы с учетом тенденций, происходящих на родниках процессов, и увеличение выборки для анализа родников позволяют утверждать, что в Ракитянском районе в 2023 году 5 родников отвечают критериям выделения, а в Красненском – 4. Перечень исследованных родников с указанием критериев отнесения к разряду памятников природы представлен в табл. 1.

Таблица 1  
Table 1Родники – объекты исследования  
Springs – objects of study

| Район       | № на карте | Название родника и его местоположение                          | Критерий отнесения к памятникам природы                    |
|-------------|------------|--|--|
| Ракитянский | 1          | Холодный яр, х. Бариллов                                       | Историческое значение (культурная ценность)                |
|             | 2          | Железный источник, окрестности с. Бобрава                      | Научная ценность   |
|             | 3          | Криница, между селами Венгеровка и Псковское                   | Экологическая ценность                                     |
|             | 4          | Родник в центре пос. Ракитное                                  | Эстетическая ценность                                      |
|             | 5          | Родник на окраине пос. Ракитное, пер. Заводской                | Культурная и эстетическая ценность                         |
| Красненский | 1          | Кирпичный, с. Новоуколово                                      | Научная и эстетическая ценность                            |
|             | 2          | Родник в окрестностях с. Свистовка                             | Экологическая ценность                                     |
|             | 3          | Ромахины корыта, с. Расховец                                   | Религиозное значение (культурная ценность)                 |
|             | 4          | Рубленый, с. Вербное (памятник природы регионального значения) | Культурная, научная, экологическая и эстетическая ценность |

В этом перечне выделяется родник «Рубленый», который является памятником природы регионального значения и соответствует статусу по всем критериям. На рис. 2 представлена картосхема размещения исследуемых родников в Ракитянском районе и уровень их рекреационной привлекательности.

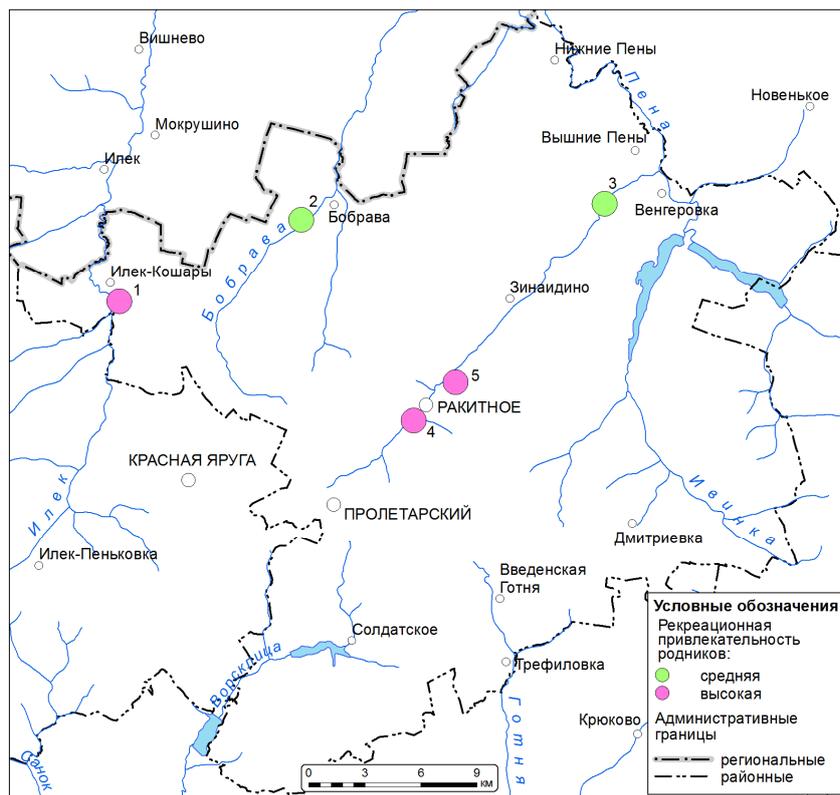


Рис. 2. Размещение исследуемых родников в Ракитянском районе и уровень их рекреационной привлекательности (нумерация родников соответствует нумерации в табл. 1)  
 Fig. 2. Location of the studied springs in the Rakityansky district and the level of their recreational attractiveness (the numbering of the springs corresponds to the numbering in Table 1)

Общая оценка рекреационной привлекательности изменяется от средней для родников «Железный источник» и «Криница» до высокой у остальных родников. Лидера по ряду показателей в группе нет: так по природной привлекательности и по санитарно-экологическому состоянию лидирует «Холодный яр», по культурно-познавательной ценности – родник на окраине пос. Ракитное, по инфраструктуре – оба родника в пос. Ракитное, по благоустройству – родник в центре пос. Ракитное.

В представленном перечне родников Ракитянского района при рекомендации объектов для включения в разряд памятников природы следует обратить внимание на родник № 4 (в центре пос. Ракитное), который выделяется лишь по одному искусственно созданному параметру – эстетической ценности. Как отмечают Л.Л. Новых с соавторами [Новых и др., 2023б] этот родник характеризуется малым дебитом (около 0,1 л/с) и нитратным загрязнением воды, что ограничивает его хозяйственно-питьевое использование.

Этот родник имеет неблагоприятное «географическое положение» для рекреационного и культового использования: он расположен в кольце автодорог, что затрудняет подход и способствует отсутствию тишины и покоя, которые хотелось бы ощущать при отдыхе у родника или проведении религиозных обрядов. По мнению автора, в свете высказанных характеристик родника его не следует рекомендовать для отнесения к памятникам природы регионального значения, несмотря на высокий уровень рекреационной привлекательности.

Таким образом, результаты проведенных исследований показывают, что в Ракитянском районе в полной мере соответствуют критериям памятников природы 4 родника, которые нужно рекомендовать для включения в разряд памятников природы регионального значения. Это родники «Холодный яр» на х. Бариллов, «Железный источник» вблизи с. Бобрава, «Криница» между селами Венгеровка и Псковское и на окраине пос. Ракитное (пер. Заводской).

На рис. 3 показано размещение исследуемых родников в Красненском районе и уровень их рекреационной привлекательности. В этом районе наблюдается значительно большая пестрота общих показателей: оценки изменяются от низкой до очень высокой, включая и промежуточные – среднюю и высокую. В то же время в Красненском районе по большинству параметров выделяется лидер – родник «Рубленый», который мы обсуждали ранее.

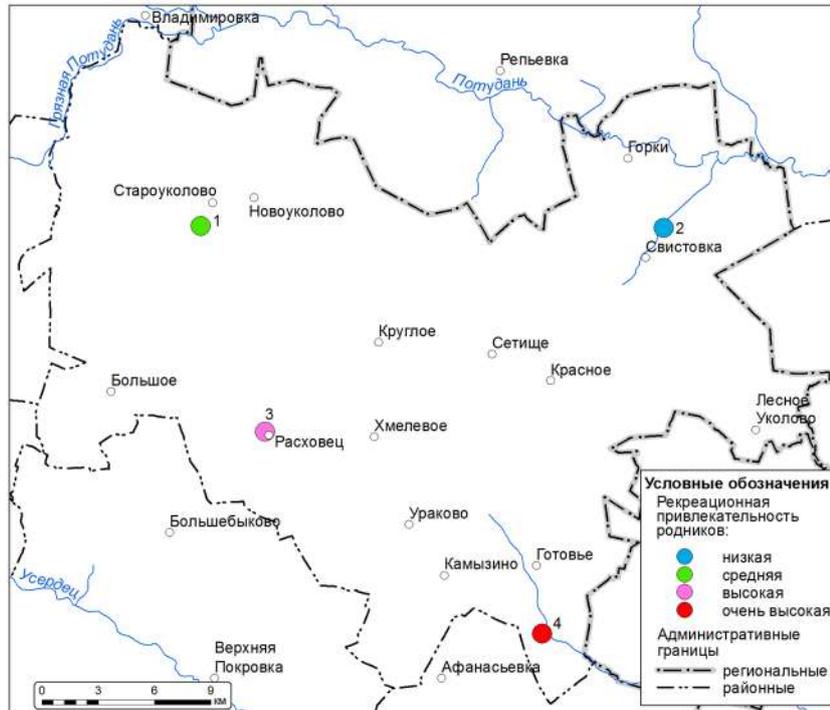


Рис. 3. Размещение исследуемых родников в Красненском районе и уровень их рекреационной привлекательности (нумерация родников соответствует нумерации в табл. 1)

Fig. 3. Location of the studied springs in the Krasnensky district and the level of their recreational attractiveness (the numbering of the springs corresponds to the numbering in Table 1)

При оценке перспективности включения исследованных родников района в разряд охраняемых следует обратить внимание на родник вблизи с. Свистовка. С одной стороны, он характеризуется сравнительно большим дебитом, что определяет его экологическое значение. С другой стороны, обследования 2019 и 2023 гг. показали, что происходит деградация и состояния родника в целом и его дебита. Родник стал труднодоступным, а его дебит упал практически в два раза. Поэтому необходимы дополнительные исследования динамики состояния данного источника, прежде чем решать проблему его включения в разряд памятников природы. Следовательно, на данный момент наиболее перспективными родниками для отнесения к памятникам природы являются родник «Кирпичный» вблизи с. Новоуколово и «Ромахины корыта» в с. Расховец.

Сравнение усредненных оценок рекреационной привлекательности для исследуемых районов показывает, что их уровень практически одинаков – 29,4 и 29,8 балла, что соответствует верхней границе средней оценки. В обоих районах максимальный вклад в оценку вносит санитарно-экологическое состояние родников: 7,4 балла (Ракитянский) и 7,9 балла (Красненский).

Расчеты плотности размещения родников показали, что в Красненском районе параметр равен 0,03 родника на км<sup>2</sup>, а в Ракитянском – 0,09 родника на км<sup>2</sup>. Сравнение рисунков 2 и 3 позволяет объяснить причину столь большой разницы: родники в Белгород-



ской области обычно «нанизаны» на реки, а число верховий небольших речек и ручьев на территории Ракитянского района значительно превышает наличие таковых в Красненском районе.

В табл. 2 приведена характеристика рекреационной привлекательности изученных родников, а также оценки пейзажной выразительности, рекреационного потенциала и собственно рекреационная оценка с целью сравнения этих оценок для выявления взаимосвязей.

Таблица 2  
 Table 2

Результаты рекреационных оценок исследуемых родников, баллы  
 Results of recreational assessments of the studied springs, points

| Родник                             | $V_N$ | $V_C$ | $V_I$ | $V_L$ | $V_S$ | R    | Рекреационная оценка | Пейзажная выразительность | Рекреационный потенциал |
|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|------|----------------------|---------------------------|-------------------------|
| <b>Ракитянский район</b>           |       |       |       |       |       |      |                      |                           |                         |
| 1. Холодный яр                     | 5,2   | 3,8   | 6,5   | 7,2   | 8,2   | 30,9 | 7,5                  | 17                        | Высокий                 |
| 2. Железный источник               | 4,3   | 3,8   | 4,3   | 2,4   | 6,8   | 21,6 | 3,5                  | 15                        | Низкий                  |
| 3. Криница                         | 3,3   | 3,8   | 5,2   | 3,6   | 8,0   | 23,9 | 3,5                  | 10                        | Средний                 |
| 4. Родник в центре пос. Ракитное   | 4,9   | 5,2   | 8,6   | 9,6   | 6,0   | 34,3 | 5,5                  | 17                        | Средний                 |
| 5. Родник на окраине пос. Ракитное | 4,6   | 6,5   | 8,6   | 8,8   | 7,8   | 36,3 | 8,5                  | 19                        | Высокий                 |
| <b>Красненский район</b>           |       |       |       |       |       |      |                      |                           |                         |
| 1. Кирпичный                       | 4,8   | 4,8   | 5,3   | 5,6   | 6,2   | 26,7 | 6,5                  | 15                        | Высокий                 |
| 2. Вблизи с. Свистовка             | 5,1   | 3,2   | 2,0   | 2,4   | 6,7   | 19,4 | 3                    | 14                        | Низкий                  |
| 3. Ромахины корыта                 | 4,8   | 5,5   | 7,4   | 5,6   | 8,6   | 31,9 | 7                    | 13                        | Высокий                 |
| 4. Рубленый                        | 7,3   | 10,0  | 6,7   | 7,3   | 9,9   | 41,2 | 9,5                  | 19                        | Высокий                 |

*Примечание:*  $V_N$  – природная привлекательность;  $V_C$  – культурно-познавательная привлекательность;  $V_I$  – инфраструктура;  $V_L$  – благоустройство;  $V_S$  – санитарно-экологическое состояние; R – общая оценка.

Анализ результатов показывает, что рекреационная оценка родников Ракитянского района изменялась от низкой до очень высокой, включая среднюю и высокую. Для Красненского района изменение также происходило от низкой до очень высокой, но в промежутке не было средней оценки, только высокая. Пейзажная выразительность в окрестностях родников Ракитянского района изменялась от низкой до средней и высокой, а для Красненского района – от средней до высокой.

Для определения взаимосвязей между применяемыми оценками были проведены расчеты коэффициентов корреляции, определена степень тесноты корреляционной связи и рассчитаны коэффициенты детерминации (табл. 3).

Изначально была высказана гипотеза, что природная привлекательность родника определяется пейзажной выразительностью его окрестностей. Однако для указанных параметров была установлена слабая теснота связи и лишь 48 % варьирования природной привлекательности определяется варьированием пейзажной выразительности. При сравнении пейзажной выразительности и рекреационной привлекательности в целом связь усиливается до тесной, т. е. существуют иные факторы, на которые влияет пейзажная привлекательность.

Таблица 3  
Table 3Результаты оценки тесноты корреляционной связи между отдельными показателями  
Results of assessing the closeness of the correlation between individual indicators

| № п/п | Сравниваемые параметры   | Коэффициент корреляции | Оценка тесноты связи | Детерминированность, % |
|-------|--|------------------------|----------------------|------------------------|
| 1     | Природная привлекательность родника / пейзажная выразительность окрестностей | 0,69                   | Слабая               | 48                     |
| 2     | Рекреационная привлекательность / рекреационная оценка                       | 0,91                   | Весьма тесная        | 83                     |
| 3     | Пейзажная выразительность / рекреационная оценка                             | 0,72                   | Тесная               | 52                     |
| 4     | Пейзажная выразительность / рекреационная привлекательность                  | 0,71                   | Тесная               | 50                     |

Сравнение рекреационной оценки и рекреационной привлекательности показало весьма тесную связь, что позволяет утверждать, что многие параметры рекреационной оценки подобраны в соответствии с силой их влияния. Так как рекреационная оценка может легко и быстро проводиться в полевых условиях при описании родников, а определение рекреационной привлекательности требует привлечения многих дополнительных параметров, установленная закономерность имеет важное прикладное значение: результаты рекреационной оценки дают достаточно достоверную информацию о рекреационной значимости родника. Пейзажная выразительность в окрестностях родника и рекреационная оценка связаны тесной корреляционной связью.

### Заключение

Рекреационная привлекательность исследуемых родников изменялась от средней до высокой для родников Ракитянского района и от низкой до очень высокой для родников Красненского района. Средние оценки рекреационной привлекательности родников для исследуемых районов практически одинаковы и соответствуют верхней границе средней оценки параметра. В обоих районах максимальный вклад в оценку рекреационной привлекательности родников вносит их санитарно-экологическое состояние.

Доказано, что природная привлекательность родника и пейзажная выразительность его окрестностей связаны слабо, что обусловлено разными подходами, применяемыми при оценке этих параметров. В перспективе необходима унификация подходов к оценке названных показателей.

Результаты предварительной рекреационной оценки показывают весьма тесную связь с уровнем рекреационной привлекательности родников. Таким образом, проведение такой оценки, которая легко и быстро осуществляется при полевом обследовании родников, дает достаточно достоверную информацию об их рекреационной привлекательности.

### Список источников

Лисецкий Ф.Н., Буряк Ж.А., Присный А.В., Белеванцев В.Г., Павлюк Я.В., Заздравных Е.А., Дунаев В.А., Белоусова Л.И., Квачев В.Н., Лебедева М.Г., Крымская О.В., Толстопятова О.С., Соловиченко В.Д., Лукин С.В., Полякова Т.А., Королева И.С., Марциневская Л.В., Выродова Ю.Н., Цапков А.Н., Соловьев А.Б., Терехин Э.А., Маслова Е.В., Скорбач В.В., Негин Е.В., Руссу К.Г., Колмыков С.Н., Гусев М.С., Корнилов А.Г., Петин А.Н., Чендев Ю.Г., Петина В.И., Лопина Е.М., Чугунова Н.В., Нарожная А.Г., Фурманова Т.Н., Петина М.А. 2018. Географический атлас Белгородской



- области: природа, общество, хозяйство. Белгород, Общество с ограниченной ответственностью «КОНСТАНТА», 200 с.
- Об утверждении Положений о памятниках природы и дендрологических парках регионального значения Белгородской области: Постановление Правительства Белгородской области № 269-пп от 10.07.2017. Электронный ресурс. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/3100201707170004?index=28&range> (дата обращения 29.05.2021).
- Об особо охраняемых природных территориях: Федеральный закон № 33-ФЗ от 14.03.1995 г. (с изменениями и дополнениями). Электронный ресурс. URL: <https://base.garant.ru/10107990/> (дата обращения 25.01.2024).

### Список литературы

- Бородулина Г.С. 2022. Родники Карелии – природные объекты научного и социального значения. Российский журнал прикладной экологии, 4(32): 53–65. <https://doi.org/10.24852/2411-7374.2022.4.53.65>.
- Гришуткин О.Г., Щуряков Д.С. 2023. Методика оценки туристско-рекреационного потенциала родников региона. Географический вестник, 2(65): 136–153. <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2023-2-136-153>.
- Джанджугазова Е.А. 2014. Пространство русского пейзажа. Современные проблемы сервиса и туризма, 1: 83–88.
- Ильина В.Н., Казанцев И.В., Матвеева Т.Б. 2020. К инвентаризации и характеристике родников Камышлинского района Самарской области. Международный научно-исследовательский журнал, 3–1(93): 116–119. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.93.3.018>.
- Каткова Е.Г., Оборин М.С., Климова О.В. 2013. Рекреационный потенциал родников на территории Горного Алтая. Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия: Естественные науки, 1: 5–9.
- Кочуров Б.И., Бучацкая Н.В. 2007. Оценка эстетического потенциала ландшафтов. Юг России: Экология, развитие, 2(4): 25–33.
- Лисецкий Ф.Н., Дегтярь А.В., Нарожня А.Г., Чепелев О.А., Кузьменко Я.В., Маринина О.А., Землякова А.В., Кириленко Ж.А., Самофалова О.М., Терехин Э.А., Украинский П.А. 2013. Бассейновый подход к организации природопользования в Белгородской области. Белгород, Константа, 88 с.
- Новых Л.Л., Васильченко А.П., Демченко С.В. 2015. Совершенствование перечня охраняемых родников на территории Красненского района Белгородской области. В кн.: Современные научные исследования: исторический опыт и инновации. Материалы Международной научно-практической конференции (Якаевские чтения), Краснодар, 26–27 февраля 2015. Краснодар, ИМСИТ: 135–139.
- Новых Л.Л., Гайденко Е.М., Орехова Г.А. 2023а. Рекреационный потенциал родников Красненского района Белгородской области. Успехи современного естествознания, 11: 95–99. <https://doi.org/10.17513/use.38149>.
- Новых Л.Л., Гайденко Е.М., Новых И.Е., Гайдаренко А.П. 2023б. Рекреационная ценность родников Ракитянского района (Белгородская область). В кн.: Проблемы природопользования и экологическая ситуация в Европейской России и сопредельных странах. Материалы X Международной научной конференции, Белгород, 24–27 октября 2023. Белгород, ИД «БелГУ»: 62–68.
- Новых Л.Л., Орехова Г.А. 2010. К вопросу о соответствии родников Краснояружского, Ракитянского и Новооскольского районов критериям памятников природы регионального значения. Научные ведомости Белгородского Государственного Университета. Серия: Естественные науки, 3(74): 123–131.
- Новых Л.Л., Раевская М.В., Орехова Г.А. 2022. Некоторые особенности использования родников (на примере Белгородской области). Региональные геосистемы, 46(4): 624–634. <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2022-46-4-624-634>.
- Орехова Г.А., Новых Л.Л., Волошенко И.В. 2020. Предложения по совершенствованию сети ООПТ Белгородского района (Белгородская область). В кн.: Развитие Чувашской государственности в условиях российского федерализма: прошлое, настоящее будущее. Международная научная конференция, Чебоксары, 05 июня 2020. Чебоксары, Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова: 378–385.
- Плевако Л.С., Леонова А.Е., Зверева А.Ю., Анищенко Л.Н. 2014. Экологическое состояние родников (на примере Брянской области). Вестник Брянского государственного университета, 4: 155–160.

- Сивохиц Ж.Т. 2005. Родниковое районирование и использование его результатов при оценке рекреационного потенциала территории (на примере Оренбургской области). Поволжский экологический журнал, 2: 158–166.
- Соболева О.А., Анищенко Л.Н. 2022. Комплексная оценка родниковых вод Брянской области в системе государственного мониторинга. Вестник РУДН. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности, 30(2): 127–142
- Соловьев А.Н. 2020. Заповедание территорий в аспекте природопользования. М., Товарищество научных изданий КМК, 250 с.
- Швец В.М., Лисенков А.Б., Попов Е.В. 2002. Родники Москвы. М., Научный мир, 160 с.
- Akhmedenov K.M., Idrisova G.Z. 2021. The Importance of Springs, Self-Flowing Artesian Wells, Underground Cave Lakes of Western Kazakhstan in Tourism. *GeoJournal of Tourism and Geosites*, 37(3): 747–756.
- Cantonati M., Fensham R.J., Stevens L.E., Gerecke R., Glazier D.S., Goldscheider N., Knight R.L., Richardson J.S., Springer A.E., Tockner K. 2020. Urgent Plea for Global Protection of Springs. *Conservation Biology*, 35(1): 378–382. <https://doi.org/10.1111/cobi.13576>.
- Currell M.J., Katz B.G. 2022. Threats to Springs in a Changing World: Science and Policies for Protection. American Geophysical Union, 240 p.
- DellaSala D.A., Goldstein M.I. 2022. Imperiled: The Encyclopedia of Conservation. Elsevier Science: 436–458.
- Ghosh A., Mukhopadhyay S. 2022. Evaluation of Springs and Waterfalls as Geomorphosites and Proposition of Strategies to Develop Geotourism at Ajodhya Hill, Puruliya District, Eastern India. *GeoJournal*, 87(1): 87–99. <https://doi.org/10.1007/s10708-020-10298-x>.
- Jokiel P., Michalczyk Z. 2021. Studies on, the Use and Protection of Springs in Poland. Management of Water Resources in Poland, 113–139. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-61965-7\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-030-61965-7_7).

## References

- Borodulina G.S. 2022. Springs of Karelia – Natural Objects of Scientific and Social Significance. *Russian Journal of Applied Ecology*, 4(32): 53–65 (in Russian). <https://doi.org/10.24852/2411-7374.2022.4.53.65>.
- Grishutkin O.G., Shchuryakov D.S. 2023. Methodology for Assessing the Tourist and Recreational Potential of the Region's Springs. *Geographical Bulletin*, 2(65): 136–153 (in Russian). <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2023-2-136-153>.
- Dzhandzhugazova E.A. 2014. Area of Russian Landscape. Service and Tourism: Current Challenges, 1: 83–88 (in Russian).
- Ilyina V.N., Kazantsev I.V., Matveeva T.B. 2020. About Inventory Procedures and Features of Springs in Kamyshlinsky District of Samara Region. *International Research Journal*, 3–1(93): 116–119 (in Russian). <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.93.3.018>.
- Katkova E.G., Oborin M.S., Klimova O.V. 2013. Recreational Potential of the Springs in the Mountain Area of the Altai Republic. *Vestnik of Northern (Arctic) Federal University. Series: Arctic Environmental Research*, 1: 5–9 (in Russian).
- Kochurov B.I., Buchatskaya N.V. 2007. Estimation of Aesthetic Potential of Landscapes. South of Russia: ecology, development, 2(4): 25–33 (in Russian).
- Lisetskii F.N., Degtyar A.V., Narozhnyaya A.G., Chepelev O.A., Kuzmenko Ya.V., Marinina O.A., Zemlyakova A.V., Kirilenko Zh.A., Samofalova O.M., Terekhin E.A., Ukrainskiy P.A. 2013. Basseynovyy podkhod k organizatsii prirodopol'zovaniya v Belgorodskoy oblasti [Basin Approach to the Organization of Environmental Management in the Belgorod Region]. Belgorod, Publ. KONSTANTA, 88 p.
- Novykh L.L., Vasilchenko A.P., Demchenko S.V. 2015. Sovershenstvovanie perechnja ohranjaemykh rodnikov na territorii Krasnenskogo rajona Belgorodskoy oblasti [Improving the List of Protected Springs in the Krasnensky District of the Belgorod Region]. In: *Sovremennye nauchnye issledovaniya: istoricheskij opyt i innovacii* [Modern Scientific Research: Historical Experience and Innovation]. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference (Yakaev Readings), Krasnodar, 26–27 February 2015. Krasnodar, Publ. IMSIT: 135–139.
- Novykh L.L., Gaydenko E.M., Orekhova G.A. 2023a. Recreational Potential of Springs of Krasnensky District of Belgorod Region. *Advances in Current Natural Sciences*, 11: 95–99. <https://doi.org/10.17513/use.38149>.
- Novykh L.L., Gaydenko E.M., Novykh I.E., Gaydarenko A.P. 2023b. Rekreatsionnaya tsennost' rodnikov Rakityanskogo rayona (Belgorodskaya oblast') [Recreational Value of Springs in the Rakityansky District (Belgorod Region)]. In: *Problemy prirodopol'zovaniya i ekologicheskaya situatsiya v Evropeyskoy Rossii i sopedel'nykh stranakh* [Problems of Environmental Management and the Environmental Situation in



- European Russia and Neighboring Countries]. Materials of the X International Scientific Conference, Belgorod, 24–27 October 2023. Belgorod, Publ. ID «BelGU»: 62–68.
- Novykh L.L., Orekhova G.A. 2010. Conformity of Springs of the Krasnoyarskiy, Rakityanskiy and Novooskolskiy Districts with the Criteria of Nature Sanctuaries of the Regional Value. Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural Sciences Series, 3(74): 123–131 (in Russian).
- Novykh L.L., Raevskaya M.V., Orekhova G.A. 2022. Some Types of Spring Use (Belgorod Region). Regional Geosystems, 46(4): 624–634 (in Russian). <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2022-46-4-624-634>.
- Orekhova G.A., Novykh L.L., Voloshenko I.V. 2020. Predlozheniya po sovershenstvovaniyu seti OOPT Belgorodskogo rajona (Belgorodskaya oblast') [Proposals for Improving the Network of Protected Areas in the Belgorod Region (Belgorod Region)]. In: Razvitie chuvashskoy gosudarstvennost v usloviyakh rossiyskogo federalizma: proshloe, nastoyashchee budushchee [Development of Chuvash Statehood in the Conditions of Russian Federalism: Past, Present Future]. International scientific conference, Cheboksary, 05 June 2020. Cheboksary, Publ. Chuvashskiy gosudarstvennyy universitet imeni I.N. Ulianova: 378–385.
- Plevako L.S., Leonova A.E., Zvereva A.Yu., Anishchenko L.N. 2014. The Ecological Condition of the Springs (Bryansk Region). The Bryansk State University Herald, 4: 155–160 (in Russian).
- Sivokhip Zh.T. 2005. Spring Division Into Districts and Its Usage at Estimating the Recreational Potential of a Territory (with the Orenburg Region as an Example). Povolzhskiy Journal of Ecology, 2: 158–166 (in Russian).
- Soboleva O.A., Anishchenko L.N. 2022. Integrated Assessment of the Spring Waters of the Bryansk Region in the System of State Monitoring. RUDN Journal of Ecology and Life Safety, 30(2): 127–142 (in Russian).
- Solovev A.N. 2020. Zapovedanie territoriy v aspekte prirodopol'zovaniya [Conservation of Territories in Terms of Environmental Management]. Moscow, Publ. Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK, 250 p.
- Shvets V.M., Lisenkov A.B., Popov E.V. 2002. Rodniki Moskvy [Springs of Moscow]. Moscow, Publ. Nauchnyy mir, 160 p.
- Akhmedenov K.M., Idrisova G.Z. 2021. The Importance of Springs, Self-Flowing Artesian Wells, Underground Cave Lakes of Western Kazakhstan in Tourism. GeoJournal of Tourism and Geosites, 37(3): 747–756.
- Cantonati M., Fensham R.J., Stevens L.E., Gerecke R., Glazier D.S., Goldscheider N., Knight R.L., Richardson J.S., Springer A.E., Tockner K. 2020. Urgent Plea for Global Protection of Springs. Conservation Biology, 35(1): 378–382. <https://doi.org/10.1111/cobi.13576>.
- Currell M.J., Katz B.G. 2022. Threats to Springs in a Changing World: Science and Policies for Protection. American Geophysical Union, 240 p.
- DellaSala D.A., Goldstein M.I. 2022. Imperiled: The Encyclopedia of Conservation. Elsevier Science: 436–458.
- Ghosh A., Mukhopadhyay S. 2022. Evaluation of Springs and Waterfalls as Geomorphosites and Proposition of Strategies to Develop Geotourism at Ajodhya Hill, Puruliya District, Eastern India. GeoJournal, 87(1): 87–99. <https://doi.org/10.1007/s10708-020-10298-x>.
- Jokiel P., Michalczyk Z. 2021. Studies on, the Use and Protection of Springs in Poland. Management of Water Resources in Poland, 113–139. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-61965-7\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-030-61965-7_7).

*Поступила в редакцию 30.01.2024;  
поступила после рецензирования 27.02.2024;  
принята к публикации 04.03.2024*

*Received January 30, 2024;  
Revised February 27, 2024;  
Accepted March 04, 2024*

**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

**Орехова Галина Александровна**, соискатель кафедры географии, геоэкологии и безопасности жизнедеятельности института наук о Земле, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

**Galina A. Orekhova**, Applicant of the Department of Geography, Geoecology and Life Safety of Institute of Earth Sciences, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia