



# БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

Материалы

III Международной научно-практической  
конференции, приуроченной к 75-летию  
географического факультета ИГУ

Иркутск, 21–23 июня 2023 г.

ISBN 978-5-9624-2234-3

УДК 504.062  
ББК 28.081  
Б40

**Редакционная коллегия:**

*Е. Н. Сутырина*, канд. геогр. наук; *С. Ж. Вологжина*, канд. геогр. наук;  
*Е. В. Потапова*, д-р с.-х. наук, канд. биол. наук

**Безопасность** природопользования в условиях устойчивого развития : материалы III Международной научно-практической конференции, приуроченной к 75-летию географического факультета ИГУ. Иркутск, 21–23 июня 2023 г. / [редкол.: Сутырина Е. Н., Вологжина С. Ж., Потапова Е. В.]. – Иркутск : Издательство ИГУ, 2023. – 1 электронный оптический диск. – Заглавие с этикетки диска.

<https://doi.org/10.26516/978-5-9624-2234-3.2023.1-174>

**ISBN 978-5-9624-2234-3**

Материалы содержат результаты исследований по основным направлениям: проблемы загрязнения сред и оценки их качества, гидроэкология и охрана вод суши, особо охраняемые природные территории, устойчивое развитие поселений и безопасность жизни в городах, гидрометеорологическое обеспечение безопасности жизнедеятельности и природопользования, экологические проблемы использования лесных ресурсов.

Предназначены для специалистов в области экологии и природопользования, работников научных и образовательных учреждений, аспирантов и студентов.

Статьи публикуются в авторской редакции с минимальными редакторскими правками. Авторы статей несут полную ответственность за содержание статей, за соблюдение законов об интеллектуальной собственности и за сам факт их публикации. Мнение и выводы авторов статей могут не совпадать с мнением редакции и членов коллегии.

---

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Иркутский государственный университет»

664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1; тел. +7(3952) 51-19-00

Издательство ИГУ; 664082, Иркутск, ул. Лермонтова, 124

тел. +7(3952) 52-18-53; e-mail: izdat@law.isu.ru

Подписано к использованию 25.12.2023. Тираж 13 экз. Объем 41,5 Мб.

---

Тип компьютера, процессор, частота:	32-разрядный процессор, 1 ГГц или выше
Оперативная память (RAM):	256 МБ
Необходимо на винчестере:	320 МБ
Операционные системы:	ОС Microsoft® Windows® XP, 7, 8 или 8.1. ОС Mac OS X
Видеосистема:	Разрешение экрана 1024x768
Акустическая система:	Не требуется
Дополнительное оборудование:	Не требуется
Дополнительные программные средства:	Adobe Reader 6 или выше



# БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

Материалы III Междунароной научно-практической конференции, приуроченной к 75-летию Географического факультета ИГУ

Иркутск, 21–23 июня 2023 г.

ISBN 978-5-9624-2234-3



# БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

Материалы  
III Международной научно-практической  
конференции, приуроченной к 75-летию  
географического факультета ИГУ

Иркутск, 21–23 июня 2023 г.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Иркутский государственный университет»  
Географический факультет

ФГБУН Тихоокеанский институт географии ДВО РАН

ФГБУН Институт географии им. В. Б. Сочавы СО РАН



## **БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ**

Материалы

III Международной научно-практической конференции  
приуроченная к 75-летию географического факультета  
Иркутск, 21–23 июня 2023 г.



УДК 504.062  
ББК 28.081  
Б40

**Редакционная коллегия:**

Е. Н. Сутырина, канд. геогр. наук,  
С. Ж. Вологжина, канд. геогр. наук,  
Е. В. Потапова, д-р с.-х. наук, канд. биол. наук

Б40

**Безопасность** природопользования в условиях устойчивого развития : материалы III Международной научно-практической конференции, приуроченной к 75-летию географического факультета ИГУ. Иркутск, 21–23 июня 2023 г. / [редкол.: Сутырина Е. Н., Вологжина С. Ж., Потапова Е. В.]. – Иркутск : Издательство ИГУ, 2023. – 1 электронный оптический диск. – Заглавие с этикетки диска.

<https://doi.org/10.26516/978-5-9624-2234-3.2023.1-174>

**ISBN 978-5-9624-2234-3**

*Материалы содержат результаты исследований по основным направлениям: проблемы загрязнения сред и оценки их качества, гидроэкология и охрана вод суши, особо охраняемые природные территории, устойчивое развитие поселений и безопасность жизни в городах, гидрометеорологическое обеспечение безопасности жизнедеятельности и природопользования, экологические проблемы использования лесных ресурсов.*

*Предназначены для специалистов в области экологии и природопользования, работников научных и образовательных учреждений, аспирантов и студентов.*

*Статьи публикуются в авторской редакции с минимальными редакторскими правками. Авторы статей несут полную ответственность за содержание статей, за соблюдение законов об интеллектуальной собственности и за сам факт их публикации. Мнение и выводы авторов статей могут не совпадать с мнением редакции и членов редколлегии.*

УДК 504.062  
ББК 28.081

ISBN 978-5-9624-2234-3

© ФГБОУ ВО «ИГУ», 2023

# СОДЕРЖАНИЕ

## СЕКЦИЯ. ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

<b>Банщикова Л. С.</b> Формирование высших уровней воды различного генезиса и оценка их изменчивости на реке Шуя .....	6
<b>Кручина Е. Б., Потапова Е. В.</b> Концепции жизнестойкости городов .....	11
<b>Латышева И. В., Вологжина С. Ж., Лощенко К. А.</b> Климатические особенности календарной весны 2023 года на территории Иркутской области .....	14
<b>Норматов И. Ш., Фрумин Г. Т., Ходжибоева М. Х., Муминов А. О.</b> Метеорологические условия и эвапотранспирация прибрежных к долинным и горным водохранилищам территорий .....	20
<b>Потапова Е. В.</b> Акселератор активных действий для достижения ЦУР .....	30
<b>Селезнева А. В., Селезнев В. А., Селезнева К. В.</b> Массовое развитие цианобактерий на крупных равнинных водохранилищах в условиях глобального потепления климата (проблема и пути решения) .....	35
<b>Семенов Ю. М., Семенов М. Ю., Силаев А. В.</b> Совокупность потоков вещества как механизм формирования геохор .....	46

## СЕКЦИЯ «ПРОБЛЕМЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ СРЕД И ОЦЕНКИ ИХ КАЧЕСТВА»

<b>Баландович Б. А., Мартыненко А. И., Широкоступ С. В., Швед О. И., Индюшкин И. В., Нагорняк А. С.</b> Оценка безопасности питания населения региона как отражение проблемы загрязнения среды обитания .....	53
<b>Вахнюк И. А., Кириченко К. Ю., Холодов А. С., Тарасенко И. А., Голохваст К. С.</b> Сравнение улавливающих способностей современных СИЗОД при воздействии твердых частиц гальванического аэрозоля .....	58
<b>Зандакова Т. И.</b> Возможности применения программного комплекса AirQ+ для оценки риска неблагоприятных эффектов для здоровья населения вследствие загрязнения атмосферного воздуха .....	64
<b>Приведа В. В., Бархатова О. А.</b> Проблемы очистки канализационных сточных вод в некоторых промышленных городах Иркутской области .....	69
<b>Семенов М. Ю., Маринайте И. И.</b> Состав, концентрация и происхождение полициклических ароматических углеводородов в водах и донных отложениях озера Байкал и его притоков .....	73
<b>Семина О. Ю.</b> Влияние дизельного топлива на ферментативную активность почв севера Красноярского края в условиях модельного эксперимента .....	77
<b>Таюрская А. П., Кумукова А. М.</b> Подходы к оценке радиационного риска населения .....	83
<b>Янченко Н. И.</b> Температура по высоте снежного покрова и электропроводность снеговой воды при послойном отборе. Иркутск .....	90

**СЕКЦИЯ «ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛЕСНЫХ РЕСУРСОВ»**

<b>Банщиков А. А.</b> Анализ многолетних изменений типов лесных дорог на примере полигона Беленец .....	94
<b>Коновалова Т. И.</b> Тенденция преобразований таежных геосистем Сибири .....	101

**СЕКЦИЯ «ГИДРОЭКОЛОГИЯ И ОХРАНА ВОД СУШИ»**

<b>Сохорова З. В., Сангаджиева Л. Х., Даваева Ц. Д., Балтабаева Ш.</b> Эколого-гидрохимическая характеристика канала Чограйского водохранилища .....	111
<b>Шевелев М. А.</b> Геохимия подземных и поверхностных вод поселка Приморский Осинского района Иркутской области .....	115

**СЕКЦИЯ «УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ ПОСЕЛЕНИЙ И БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНИ В ГОРОДАХ»**

<b>Ахтиманкина А. В., Потапова Е. В.</b> ESG отчётность компаний Иркутской области .....	119
<b>Зубкова Е. О., Стом А. Д.</b> Использование снежного покрова в качестве универсального показателя загрязнения некоторых районов г. Иркутска .....	128
<b>Копылова А. А., Потапова Е. В.</b> Особенности озеленения территории корпусов ИГУ .....	135
<b>Кумукова А. М., Таюрская А. П.</b> Дистанционные методы мониторинга мест несанкционированного размещения отходов .....	139
<b>Левашева М. В., Тимофеева Л. Н.</b> Практические проблемы развития территорий современных городов на примере г. Иркутска .....	144
<b>Михалева А. И., Потапова Е. В.</b> Природно-экологический каркас города Иркутска .....	148
<b>Тea М., Потапова Е. В.</b> Спецификация объектов озеленения России и Кот-д'Ивуар .....	152

**СЕКЦИЯ «ОСОБО ОХРАНЯЕМЫЕ ПРИРОДНЫЕ ТЕРРИТОРИИ»**

<b>Лежнев Д. В., Меняева В. А.</b> Видовой состав и структура живого напочвенного покрова в сосновых фитоценозах национального парка «Лосиный остров» .....	156
---	-----

**СЕКЦИЯ «ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ»**

<b>Антонова Т. И., Сутырина Е. Н.</b> Гидравлическое моделирование зон затопления на территории г. Тулуна при подъёме уровня воды в р. Иe .....	162
<b>Вологжина С. Ж., Лощенко К. А., Латышева И. В.</b> Современные тенденции изменений климата Уральских гор .....	167
<b>Джапаридзе Д. А., Кочугова Е. А.</b> Сравнительная оценка изменений границ климатических сезонов года на европейской и азиатской территории России .....	171



<b>Ильичёва Е. А., Павлов М. В., Ушкалов А. А.</b> Структурно-гидрографический анализ речных систем для оценки возникновения опасных гидрологических явлений в бассейне оз. Хубсугул .....	175
<b>Кочугова Е. А., Синькова А. М.</b> Изменчивость повторяемости различных градаций скорости ветра в Иркутской области .....	179
<b>Лощенко К. А., Латышева И. В.</b> Анализ многолетней динамики индексов ЭНЮК во взаимосвязи с глобальными и региональными изменениями климата .....	185
<b>Сутырина Е. Н., Новиков М. В.</b> Применение средств ГИС при водохозяйственном обосновании параметров водохранилищ (на примере проектируемой на р. Голоустной ГЭС) .....	190
<b>Швецова Е. А.</b> Исследование метеорологических параметров образования гроз на аэродроме Иркутск .....	195
<b>Шипицина А. А., Сутырина Е. Н.</b> Водно-энергетические расчеты ГЭС на реке Бирюсе .....	201

УДК 556.535.2(470.22)

**Формирование высших уровней воды различного генезиса и оценка их изменчивости на реке Шуя**

Л. С. Банщикова (BanshchikovaLS@yandex.ru)

*Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург, Россия*

**Аннотация.** Расчёт величины высших уровней воды необходим для реализации различных задач, начиная с определения величины зоны затопления, для гидротехнического проектирования и строительства, а также решения вопросов, связанных с реализацией мероприятий по минимизации негативных последствий от опасных гидрологических явлений, вызванных значительным подъемом уровня воды. При этом не менее важно оценивать и генезис высших уровней воды. При условии формирования близких по значению высших уровней воды, вызванных, к примеру, загорно-заторными явлениями или половодьем, требуется многофакторный анализ условий формирования таких уровней воды за многолетний период. Выполнен анализ происхождения наивысших в году уровней воды на примере р. Шуи на участке от с. Виданы до пос. Бесовец, расположенных в Прионежском районе Республики Карелия.

**Ключевые слова:** высший уровень воды, загорно-заторные явления, весеннее половодье, затопление.

Своевременность прогноза и оценки опасности формирующихся высших уровней важна для принятия решения о выборе вариантов воздействия на процесс в критических, быстро развивающихся ситуациях.

Характеристикой риска наводнений является не только вероятность наступления события, причиняющего ущерб, но и изменчивость параметров генетически разных гидрологических явлений.

Так, при разработке мероприятий по минимизации ущербов при формировании загорно-заторных явлений важной характеристикой являются параметры самого ледового скопления – положение головы, структура ледового материала, а при весеннем половодье также и скорость прохождения волны, интенсивность таяния снегов.

В работе выполнен анализ генезиса наивысших в году уровней воды на р. Шуя на участке от с. Виданы до пос. Бесовец, расположенных в Прионежском районе Республики Карелия. Данные многолетних наблюдений за высшими уровнями воды и ледовой обстановкой [2–6] позволяют оценить продолжительность и величину превышения уровнем воды негативных и критических отметок.

Для р. Шуя формирование наивысших уровней воды происходит в период загорно-заторных явлений и в период весеннего половодья.

Осенне-зимние ледовые явления на порожистых участках р. Шуя происходят с образованием внутриводного, донного льда и шуги, которые, скапливаясь в русле, уменьшают живое сечение, тем самым формируя загорно-заторные явления. Наличие в русле озеровидных расширений также увеличивает долю льдин при формировании загорно-заторных скоплений. Продолжительность таких явлений – до нескольких месяцев. Ледостав формируется путем смыкания шуговых полей. Наивысшие уровни воды наблюдаются в декабре – январе. В период вскрытия на некоторых участках реки наблюдаются заторы льда. На рассматриваемом участке повторяемость заторов невелика, наивысшие уровни воды меньше загорно-заторных

уровней осенне-зимнего периода. Весеннее половодье наступает в третьей декаде апреля – первой декаде мая.

На рис. 1 приведён хронологический график наивысших уровней воды по гидрологическим годам для р. Шуя – с. Нижний Бесовец, также на графике приведён параметр, определенный по формуле:

$$h = H_{\max\text{ВП}} - H_{\max\text{ЗТЗЖ}} \quad (1)$$

где  $H_{\max\text{ВП}}$  – наивысший уровень воды весеннего половодья, см;  $H_{\max\text{ЗТЗЖ}}$  – наивысший уровень воды зажорно-заторного характера, см.

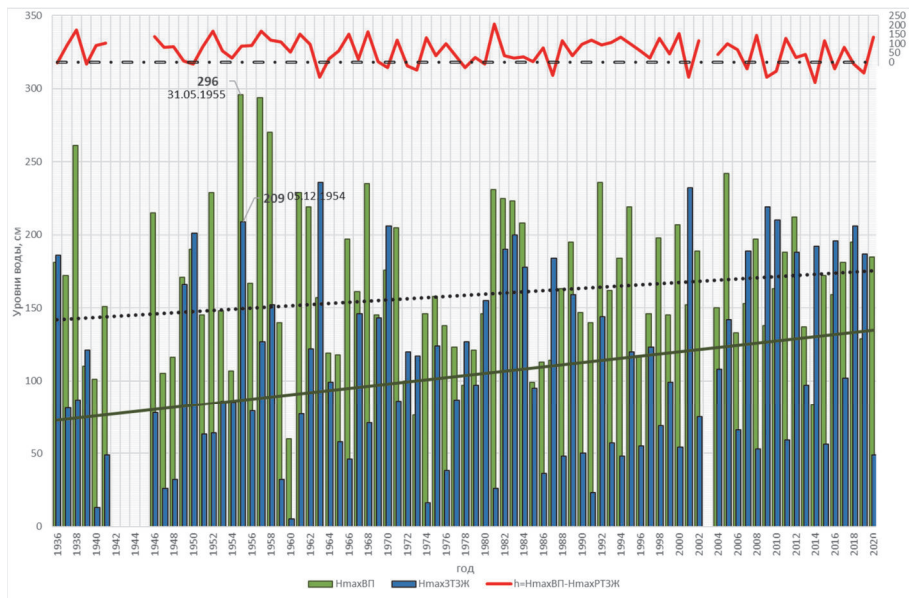


Рис. 1. Хронологический график наивысших уровней воды, р. Шуя – д. Нижний Бесовец

Преобладание положительных значений этого параметра позволяет сделать вывод, что за многолетний период на р. Шуя для пос. Нижний Бесовец, расположенного ниже по течению относительно рассматриваемого участка, величины наивысших уровней воды, наблюдаемых в период весеннего половодья, превышают наивысшие уровни воды зажорно-заторного характера.

Наивысшие уровни весеннего половодья и наводнения зажорно-заторного типа наблюдались в 1954/1955 гидрологическом году – году максимальной водности за весь период наблюдений на р. Шуя.

На рис. 2 представлен совмещенный гидрограф уровня и расхода воды по р. Шуя – пос. Нижний Бесовец за 1954–1955 гидрологический год.

Расчет обеспеченных значений уровней воды по р. Шуя – пос. Нижний Бесовец по генетически однородным рядам уровней воды для весеннего половодья и для зажорно-заторного периода [7] показал, что для весеннего половодья он незначительно превышает уровень воды 1 % обеспеченности зажорно-заторного характера, и составляет 36,61 м БС для весеннего половодья, 36,54 м БС для зажорно-заторных явлений.

Дополнительно условия формирования и динамика заторно-заторных скоплений и весеннего половодья непосредственно на исследуемом участке р. Шуя в районе с. Виданы оценены по картам изолиний уровня воды от пос. Сальменицы до пос. Нижний Бесовец. В качестве

исходных данных использована оперативная информация об уровнях воды на гидрологических постах за период 1935–1974 гг.

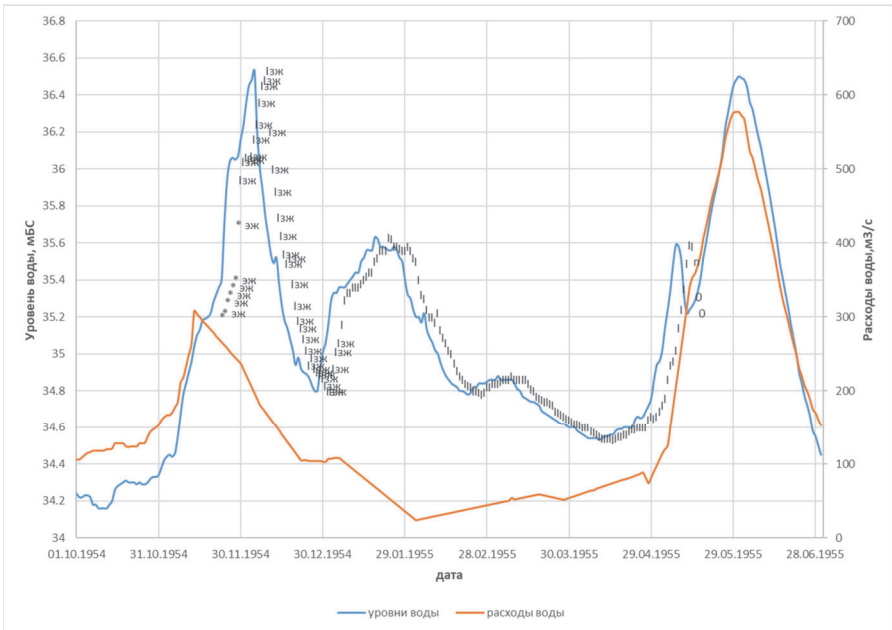


Рис. 2. Совмещенный гидрограф уровня и расхода воды по р. Шуя – пос. Нижний Бесовец за 1954–1955 гидрологический год

Подобные карты – графики позволяют представить сведения об уровнях воды с учетом третьей переменной – расстояния вдоль реки [1]. Уровень воды  $H$  представляется в абсолютных отметках и является интерполяционной координатой, время  $t$  – ордината, расстояние по длине реки  $L$  – абсцисса. Графики  $H = f(L, t)$  достаточно наглядны и информативны для изучения процесса заторо- и зажорообразования в руслах рек на участках реки не охваченных наблюдениями. При образовании затора (зажора) происходит стеснение льдом живого сечения реки. Ниже по течению приращение расхода воды отсутствует. Это позволяет рассматривать заторы на участке как слабофильтрующие плотины. Уровни воды выше затора носят подпорный характер и зависят от объемов воды, поступающих к затору при его формировании.

Данная методика успешно применялась для определения параметров заторов на реках бассейна Лены, Кубани, Невы, Северной Двины, реках Новгородской области, р. Волге.

В поле координат  $H = f(L, t)$  в месте формирования головы затора соседние изолинии уровня воды сходятся, а при прорыве затора, расходятся, правые по направлению течения, а левые против течения, волна половодья определяется по характерному рисунку однонаправленных изолиний.

Графики следования уровней воды в год максимальной водности (1954–1955) по длине рассматриваемого участка, представленные на рис. 3, позволяют оценить период формирования зажоров и заторов льда в декабре 1954 г., а также оценить условия формирования весеннего половодья 1955 г. (рис. 4).

На основе изолиний  $H = f(L, t)$  построены графики продольного профиля водной поверхности на различные даты. Изменения уклонов водной поверхности по длине реки позволяют установить местоположение головы затора на всем протяжении рассматриваемого участка.

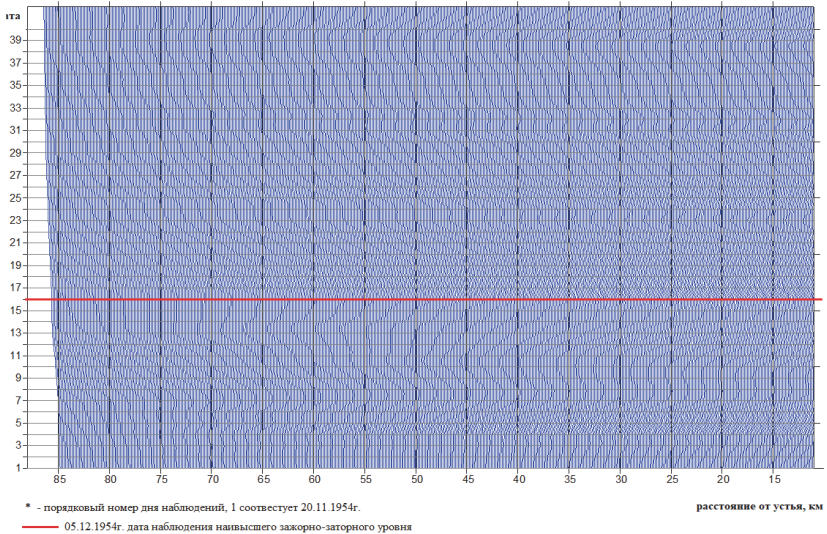


Рис. 3. Изолинии следования постоянных отметок поверхности воды по длине участка р. Шуя (10–88 км) с 20.11.1954 по 31.12.1954

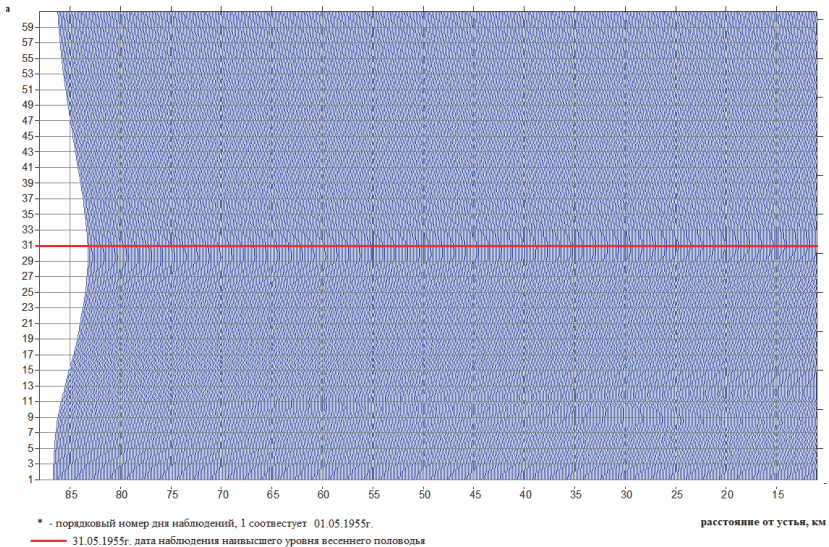


Рис. 4. Изолинии следования постоянных отметок поверхности воды по длине участка р. Шуя (10–88 км) с 01.05.1955 по 30.06.1955

По продольным профилям водной поверхности на дату наивысшего зажорного уровня и наивысшего уровня весеннего половодья было выявлено, что зажорно-заторный уровень на всем протяжении рассматриваемого участка находится ниже уровня весеннего половодья, в том числе и на участке от с. Виданы до с. Нижний Бесовец.

Недоучет особенностей формирования зажорно-заторных явлений, положения головы затора и отметок высшего уровня, периода формирования при планировании и проведении мероприятий по его ликвидации приводит к усугублению ситуации с подтоплением и затоплением территорий.

Сложное сочетание порожистых участков с открытым руслом (рис. 5), на которых уже наблюдается разрушение льда, и ледоход с участками сплошного ледостава приводят, с одной стороны, к формированию заторов льда на уровнях близких к отметкам затопления. Также, при условии дружной весны и обильных осадков, происходит их стремительное разрушение и формирование половодья происходит на более высоких отметках.



Вниз по течению



Вверх по течению

Рис. 5. Участок р. Шуя – д. Виданы, положение относительно створа

#### Список литературы

1. Банищикова Л. С. Мониторинг процесса заторообразования на реках по пространственно-временным графикам уровня воды // Метеорология и гидрология. 2008. № 9. С. 87–93.
2. Каталог заторов и зажоров.
3. ГВК, Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. 1936–1979. Т. 1, вып. 0–5.
4. ГВК, Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. 1980–2017. Т. 1, вып. 5.
5. Ресурсы поверхностных вод. Основные гидрологические характеристики. Л.: Гидрометеиздат, 1966. Т. 2. 380 с.
6. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Т. 1. Вып. 5. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 429 с.
7. СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. М.: Госстрой РФ, 2004.

УДК 504.75:574.474

## Концепции жизнестойкости городов

Е. Б. Кручина (kruchinael@mail.ru)<sup>1</sup>, Е. В. Потапова (e.v.potapova.isu@mail.ru)<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт глобального климата и экологии им. академика Ю. А. Израэля, Москва, Россия

<sup>2</sup> Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия

**Аннотация.** Представлена концепция современных тенденций развития населённых пунктов, городов в трендах: ООН-Хабитат, Профилирование жизнеспособности городов, ВОЗ Здоровые города, Цели устойчивого развития. Указана основополагающая роль насаждений, объектов озеленения и общественных пространств. Отмечено, что научно обоснованная, социально значимая и экологически правильная планировка поселения – это совместный процесс создания/поддержания инклюзивного коллективного пространства и комплексные нормативно-эксплуатационные работы для максимизации общих ценностей жителей. Сделан вывод, что жизнестойкий город (любой населённый пункт) отличается непоколебимым упорством, гибкостью, усиленной адаптацией, инклюзивностью, интегрированностью, рефлексией и способностью меняться на опережение, работая над смягчением и устранением нетерпимых условий жизни, поощряя нестандартные, перспективные и инновационные решения, которые со временем приведут к свободному от рисков жизнестойкому городу.

**Ключевые слова:** озелённые территории, населённые пункты, устойчивое развитие, насаждения, общественное пространство, планировка, благоустройство.

Понятие «устойчивое развитие» давно является определяющим для всех форм хозяйствования, в том числе обоснования планирования застройки населённых пунктов. Программа ООН-Хабитат предлагает множество исследований, примеров и вариантов реализации создания устойчивого смарт-города, обеспечивающего не просто удобство для всех групп населения, в частности маломобильного, но и построение в соответствии с 11 Целью – открытых, безопасных, и жизнестойких населённых пунктов до 2030 г. [1]

Жизнестойкость городов – это измеримая (материальными и нематериальными реалиями) во времени и пространстве, с точки зрения физических, организационных и функциональных характеристик, способность городской системы со всеми её жителями и при их участии обеспечивать бесперебойное функционирование (сохранение и продолжение предоставления услуг, процессов и структур, направленных на защиту жизни и благополучия обитателей) в случае катастрофического природно-антропогенного воздействия, адаптируясь и меняясь в лучшую сторону в целях устойчивого развития.

Особое значение экологической составляющей, при безусловных высоких показателях качества воздуха, воды, почв и других параметров среды, отводится общественным пространствам, включающим в себя все места, являющиеся публичным достоянием, места общедоступного пользования, открытые и свободные для всех на бесплатной основе и не предполагающие извлечение прибыли, в частности улицы и социальные объекты [2]. Законодательные нормы РФ для описания и определения устойчивого развития конкретных объектов и направлений не предусмотрены, это остаётся областью задач, например собственников или ответственных лиц, что часто приводит к формализации не только решений, но даже планов. Управление муниципальными образованияами, зачастую вместо менеджмента, занимается изобретением методов и основ планирования. Значительным достижением для оптимизации и повышению эффективности процессов стабильного развития населённых пунктов было бы создание учёными и специалистами в этой области «схем» для каждого типа озелённых территорий с последующей спецификацией, как под поселение, так и под объект озеленения. Каждая схема невозможна без экономической и социальной (каждый объект первоначально должен рассматриваться с точки зрения услуг, в том числе экосистемных и функций для населения) составляющих устойчивого развития.

Объект озеленения, как общественное пространство является критическим фактором для устойчивости окружающей среды населённого пункта, поддержания жизнестойкости и обеспечения потребности растущей урбанизации. При их нехватке увеличивается нагрузка

на существующие, и они быстро деградируют. Соответствующим образом устроенное или спланированное общественное пространство играет важную роль даже в стратегии адаптации и смягчения к изменениям климата. Озеленённые территории могут минимизировать выбросы углерода, осаждают пыль, выступать в качестве стабильной системы дренажа и изменять температурные режимы, хотя бы в своих границах, выполнять функции охлаждающих коридоров, убежища от ветра и стимулировать пешеходное и велодвижение, снизить зависимость от автомобильного транспорта. Особым образом организованные объекты озеленения с инновационными дизайнерскими решениями дают возможности к ревитализации пространства и работают в качестве катализатора регенерации города для создания социально и культурно инклюзивных общественных мест. Программа повышения жизнестойкости городов ООН-Хабитат охватывает три основных направления: накопление знаний, информационно-просветительскую работу и профессиональное сотрудничество. Истинная жизнестойкость на основе гуманитарного развития требует от города динамики в направлении устойчивого развития, в целях обеспечения долгосрочных положительных результатов, но точно также и устойчивое развитие подразумевает наличие жизнестойкости, служащей драйвером и щитом развития.

Компактный город является единственной экологически устойчивой формой жизнедеятельности города, наиболее удобной для групп с особыми потребностями, например, людей с ограниченными возможностями, маломобильные группы населения. Взаимодействие с природой, посредством зелёных общественных пространств, ассоциируется с общим и психическим здоровьем. Всемирная организация здравоохранения рекомендует минимум 9 м<sup>2</sup> зеленого пространства на человека, и считает оптимальным проживание на расстоянии не более 15 мин ходьбы от зеленых насаждений [4]. Совершенствование в наращивании жизнестойкости городов в мировом масштабе способствует эволюции целей Новой программы развития городов в вопросах инновационного городского планирования, оптимизации нормативно-правового регулирования, анализа рисков, присущих городской среде и развития практики в местной стратегии экономического и иного развития путём поощрения идеи более безопасных и жизнестойких городов [1].

Научно обоснованное, социально значимое и экологически правильное формирование общественных мест – это совместный процесс создания/поддержания коллективного пространства для усиления общих ценностей. Кроме обеспечения улучшенного городского дизайна, оно способствует их эффективному использованию, с особым вниманием к физическим, культурным и социальным характеристикам, которые присущи конкретному объекту озеленения. Спецификация для объекта озеленения важная задача поддержания безопасности развития и использования. Для некоторых групп насаждений (колючие, с несъедобными ягодами, сильным запахом, формирующие большое количество семян и др.), необходимо особая методика применения в озеленении, вплоть до полного ограничения на озеленённых территориях, например образовательных учреждений. Максимизация эстетических показателей не только для центральных объектов, но для тех, где необходимы положительные эмоциональные контексты – это основа гуманизации пространства населённых пунктов.

Устойчивое развитие, как обеспечение сегодняшних потребностей без ущерба для завтрашнего дня путём социально-интегрированного и безопасного развития, охраны жизни и благополучия граждан, поощрения общественных связей и вовлечения граждан в социальную жизнь, повышения доступности услуг, наращивания экономики и активизации инноваций состоит из трёх общеизвестных областей – экономической, экологической, социальной, дополняется институциональной и нередко культурно-эстетической. В контексте экологической составляющей необходимо чёткое понимание важности и неуклонного поддержания преимущественной занятости территории (например, для парков не менее 70 %) разными формами насаждений и особенно травянистого и специальной, обоснованной, включённой в общее поле инфраструктуры, даже если она состоит из одной лавочки. Экономическая составляющая, помимо расходов на все процедуры (создания, содержания, контроля, планирования), должна



предусматривать, в соответствии со спецификацией территории, возможности получения дохода, не в разрезе с бесплатным посещением, но также с возможностью предоставления рабочих мест, таким образом дополняя социальную составляющую. Роль открытых пространств отвечает задачам социально- и гендерно-инклюзивных решений, конечно, при сохранении отсутствия ограничений. Институциональная составляющая эффективно закрывается наличием общих и специальных норм для таких пространств каждого населённого пункта, созданием базы данных.

Городские стратегии развития должны сосредоточиться не только на местах и пространствах, но и на форме, функции и связности города в целом. Реорганизация неэффективной системы расселения – это дальновидный и упреждающий подход, позволяющий превращать проблемы в новые возможности для роста, за счёт дополнительных и/или работающих на перспективу преобразований. Комплексные нормативно-эксплуатационные работы включают в себя все формы взаимосвязи между наукой, управлением, жителями и процессами благоустройства. Лишь при взаимодействии органов власти и другими заинтересованными сторонами, проекты сочетают знания и опыт мирового уровня с местной спецификой, обеспечивая своевременные и целенаправленные решения проблем озеленения и в том числе для наиболее социально уязвимых групп городского населения. Местные органы власти в состоянии проектировать сеть общественных пространств как обязательную часть своих планов развития, основной целью которых в области жизнестойкости городов является превращение городских районов в более безопасные и удобные места для жизни, повышении их способности выдерживать потенциальные потрясения, риски и опасности (от землетрясений, наводнений, эпидемий, военных конфликтов, ускоренного притока мигрантов до кибератак и аварий на производстве), природного и техногенного происхождения, быстро восстанавливаться после них, что и приведёт к их сбалансированному развитию. Законы и правила могут быть пересмотрены так, чтобы способствовать возникновению системы для создания, ревитализации, управления и обслуживания общественного пространства, и, в том числе, предусматривать партисипативные процессы для определения использования и управления доступом к общественным местам. Городские проекты должны обеспечивать соответствующее общественное пространство для запланированных расширений, заплнений пустующих участков города и проектов, где жители (общественность) не действуют только как потребители, а выступают как производители, что укрепляет их интеграцию для преодоления их отстраненности от результатов благоустройства.

Жизнестойкий город (любой населённый пункт) отличается:

1. Непокколебимым упорством перед опасностями и бедствиями, созданием резервных мощностей в своих сетях и сооружениях в целях сохранения и восстановления базовых услуг, обеспечивая надёжность в ходе и сразу после возникающих перебоев.
2. Гибкостью, позволяющей смягчать удары, перестраиваться и меняться при изменении внешних обстоятельств, динамично превращая их в новые возможности для развития.
3. Усиленной адаптацией с учётом как рисков обозримого будущего, так и неопредёлённости нынешнего и будущего дня, резервированием своих мощностей, но предоставлением максимального разнообразия своих услуг, функций и процессов, созданием альтернативных вариантов, направлением свои кадровых, финансовых и физических ресурсов на другие актуальные цели.
4. Инклюзивностью всех людей и социальных категорий в жизнь города, понимая, что жизнестойкость предполагает защиту каждого человека, страдающего от опасностей, бедствий и негативных последствий, поэтому лишь базируясь на идее всеобщего равенства, справедливости и соблюдения прав человека можно укрепить социальное единство и полноценного и значимого участия граждан во всех управленческих процессах.
5. Интегрированностью ввиду того факта, что он состоит из и находится под влиянием неразделимых, взаимозависимых взаимодействующих систем, поэтому должен сочетать и ре-

гулировать многие аспекты, чтобы вклад этих систем был соразмерным, взаимодополняющим, обеспечивал достижение единой цели межотраслевого сотрудничества и стратегического согласования при поддержании коллективного функционирования с гарантией глубоких, позитивных и долгосрочных изменений.

5. Рефлексией при осознании, что его системы и окружающая обстановка постоянно меняются и развитие в прошлом сформировало нынешнюю среду города, но обладание потенциалом к переменам в ходе переживаемых им угроз и опасностей, позволяет обдумывать своё прошлое, новую информацию и извлекать уроки, учиться и на своём опыте создавать механизмы для постоянной оценки достигнутого прогресса, а также для систематического обновления своих планов и улучшения своих структур.

6. Способный меняться, придерживаясь принципа работы на опережение в наращивании своей жизнестойкости, нацеленной на положительные изменения, работая над смягчением и устранением нетерпимых условий жизни, поощряя нестандартные, перспективные и инновационные решения, которые со временем приведут к свободному от рисков жизнестойкому городу.

#### Список литературы

1. Исследовательские доклады. Хабитат III, 2015. 13 с.
2. ЦУР 11 / ООН. URL: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/cities/> (дата обращения: 11.05.2023)
3. Lee Yee Cheong. Evidence Based Education and the UN Sustainable Development Goals (SDGs) 2016–2030 / Children and Sustainable Development. Cham : Springer International Publishing, 2016. С. 85–92.
4. Disasters and Resilient City / E. Potapova [et al.] // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2022. 988 032007.

УДК 551.583(571.53)

## Климатические особенности календарной весны 2023 года на территории Иркутской области

И. В. Латышева (ababab1967@mail.ru), С. Ж. Вологжина (svologzhina@gmail.com),  
К. А. Лощенко (loshchenko@bk.ru)

*Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия*

**Аннотация.** Статья посвящена исследованию климатических особенностей календарной весны 2023 г. на территории Иркутской области по данным метеорологических станций. В задачи исследования входил сравнительный анализ температурного режима территории Иркутской области с другими регионами России и земного шара, синоптический анализ крупномасштабных типов атмосферных процессов, обуславливающих погодные аномалии в различные месяцы весны 2023 г. В качестве примера рассмотрен случай продолжительного усиления преимущественно северного и северо-западного ветра на аэродромах Прибайкалья и Забайкалья, которое было связано в нижней тропосфере с фронтогенезом за счет совместного вклада термических и барических градиентов при взаимодействии усиливающегося антициклона с центром над Западной Сибирью и углубляющегося монгольского циклона. В средней тропосфере усиление ветра было связано с прохождением оси высотной ложбины с условиями фронтогенеза преимущественно за счет влияния термического фактора при усиливающейся адвекции холода, на что указывает понижение уровня тропопаузы. Объединение облачных массивов холодного фронта с облачностью монгольского циклона рассматривается как фактор усиления интенсивности атмосферных осадков и ухудшения горизонтальной дальности видимости, а также усиления ветра за счет развития нисходящих потоков холодного воздуха, вовлекаемого осадками.

**Ключевые слова:** климат, календарная весна, сильный ветер, Азиатский антициклон, монгольские циклоны, центры действия атмосферы.

### Введение

Проблема современных изменений климата выдвинула задачу поиска фундаментальных причин этих изменений. Для понимания механизмов изменчивости климатической си-

стемы направлены исследования особенностей океанического термоклина и крупномасштабной циркуляции Мирового океана, теории деятельного слоя и методов расчета характеристик верхнего перемешанного слоя в океане. Кроме того, океан является регулятором облачности и радиационного баланса поверхности Земли, обеспечивая более половины общего меридионального переноса тепла в системе океан-атмосфера [6]. Таким образом, океан-атмосфера – взаимосвязанная система, в которой океан отвечает за формирование низкочастотной части спектра климатической изменчивости [4].

Климатической системе свойственны крупномасштабные автоколебательные процессы, такие как Южное колебание (перераспределение масс воздуха в низких широтах Южного полушария между Индийским и Тихим океанами) и колебания океана – Эль-Ниньо (теплая фаза) и Ла-Нинья (холодная фаза). Одним из модуляторов колебаний климата является вулканическая деятельность. Наряду с собственным радиационным излучением подстилающей поверхности суши и океана вынос тепла из тропосферы происходит за счёт конвекции, обеспечивающей более эффективный перенос тепла по сравнению с радиацией [5].

Важной составляющей региональной климатической изменчивости является атмосферная циркуляция, которая характеризуется взаимодействием крупно- и мезомасштабных форм атмосферной циркуляции на фоне неоднородного рельефа. По данным Третьего оценочного доклада в Северном полушарии общее число внетропических циклонов увеличилось, причем число сильных циклонов сократилось [3]. На северо-западе Сибири наибольшие аномалии температуры (и положительные и отрицательные) наблюдаются при западных и северо-западных направлениях ветра на высоте ведущего потока, а наибольшие аномалии осадков – при западных и юго-западных потоках. Наибольшие изменения температурно-влажностного режима наблюдаются в месяцы, когда связь между западным типом атмосферной циркуляции и метеорологическими параметрами наибольшая. Таким образом, анализируемые изменения в основном являются следствием изменения и перестройки циркуляции в условиях меняющегося климата [2].

Современные тенденции изменения климата на территории России имеют ряд важных особенностей. Средняя температура воздуха в России увеличивается почти вдвое быстрее, чем суша в целом:  $0,51\text{ }^{\circ}\text{C}$  за десятилетие, причем каждое десятилетие с 1981–1990 гг. теплее предыдущего, а из 10 самых теплых лет 9 наблюдались в XXI в. Рост содержания водяного пара в атмосфере при повышении температуры потенциально способствует увеличению количества атмосферных осадков, в особенности – экстремальных осадков [1].

### Результаты исследования

Целью данной работы явилось исследование климатических особенностей весны 2023 г. на территории Иркутской области. Показатели весны 2023 г. наглядно можно продемонстрировать по данным непрерывных наблюдений метеорологической станции Иркутск начиная с 1873 г. Март 2023 г. в Иркутске входит в десятку самых теплых за этот период (отклонение от нормы  $+2,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), занимая 7-е место из 151-го в ранжированном ряду с 1873 г., лишь немногим уступая температурным рекордам 1997 и 2020 гг. Апрель был самым холодным весенним месяцем 2023 г. в Иркутске (на  $3,3\text{ }^{\circ}\text{C}$  ниже нормы), занимает 107-е место, показав одинаковые температуры с серединой прошлого века. В мае 2023 г. отрицательные аномалии температур воздуха в Иркутске немного ниже по сравнению с апрелем (на  $1,3\text{ }^{\circ}\text{C}$  ниже нормы), в результате май 2023 г. занимает 68-е место также примерно с одинаковыми температурами второй половины прошлого века.

Особенность календарной весны 2023 г. в Иркутской области заключалась в том, что после теплого начала весны иркутяне не дождались весеннего тепла вплоть до ее окончания, а также в том, что холода сочетались с частыми атмосферными осадками и усилением северо-западного ветра. В марте 2023 г. в Иркутске 8 снежных дней дали осадков на четверть больше нормы, в ранжированном ряду начиная с 1883 г., т. е. март 2023 г. занял 33-е место за 141 год непрерывных наблюдений за осадками. Апрель за 12 дней с осадками выдал 3,5 месячной нормы и занял 1-е место, став самым влажным месяцем по количеству выпавших осадков в

середине весны в Иркутске. В мае, как и в апреле, было 12 дней с осадками, но, их количество превысило норму только на 28 %, в результате май 2023 г. оказался в рейтинге на 29-м месте.

В целом по температурным показателям весна 2023 г. в Иркутске занимает 33-ю позицию за 151 года непрерывных наблюдений, по атмосферным осадкам вышла на 3-е место, обогнав снежный и дождливый 2012 г. Практически месяц (33 дня) за весну было ветреных дней, когда порывы ветра превышали 10 м/с, а 10 апреля достигли ураганной силы (26 м/с). Причем часто сильный ветер держался на протяжении нескольких часов. 13 мая 2023 г. прогремела первая гроза, а 13 и 24 мая отмечались пыльные бури, которые были нечастыми в последние годы. Весной 2023 г. иркутяне пережили изменения температур от минус 25 °С до 23,8 °С, относительной влажности от 12 до 100 %, перепады атмосферного давления составили 48 гПа.

Как показал синоптический анализ, почти полмесяца в марте 2023 г. территория Иркутской области оказывалась под влиянием теплых воздушных масс, поступающих из Средней Азии и Казахстана. В апреле и в мае на территории Сибири обычно усиливается зональный перенос и происходит смена зимнего типа атмосферных процессов на летний. Однако в апреле и мае 2023 г. в азиатскую часть России вновь вернулись зимние типы атмосферных процессов, и территория Иркутской области оказалась под частыми затоками холода с районов Таймыра и Якутии, а гребень тепла стационарировал над территорией европейской части и Урала. В результате вновь усилился Азиатский антициклон, он препятствовал выносам тепла в теплых секторах атлантических циклонов, которые оказывали большее отепляющее влияние на северные районы Иркутской области. Поэтому там весна оказалась почти на 2 °С теплее нормы, атмосферных осадков выпало в 1,5–2 раза больше нормы. Тогда как на большей части территории области весна выдалась холодной, на 1–3 °С ниже нормы. Так как вторжения холода провоцировали образование монгольских циклонов, то в южных районах области и в высокогорных районах Восточного Саяна и Хамар-Дабана осадков выпало еще больше (до 2–3,5 месячных норм).

Сопоставив температурные изменения в различных регионах земного шара весной 2023 г., оказалось, что по данным 40 метеорологических станций, расположенных в разных регионах России, на 16 станциях весна была теплой и сухой, на 15 станциях теплой и влажной, на 3 станциях холодной и сухой, на 6 станциях холодной и влажной. Таким образом, на большей части России весна 2023 г. выдалась теплой. Особенно теплой она была в Среднем Поволжье (Самара, на 11,9 °С выше нормы за весну), в Южном Предуралье (Оренбург, на 10,5 °С выше нормы), на Урале (Екатеринбург, на 10,1 °С выше нормы), т. е. там, где стационарировал блокирующий теплый высотный гребень. Также тепло этой весной было на Сахалине (Южно-Сахалинск, на 7,4 °С выше нормы), Курилах (Южно-Курильск, на 7,3 °С выше нормы) и Дальнем Востоке. Прохладной весна досталась регионам Чукотки, Кузбасса, Тувинской котловине, побережью Охотского моря, Красноярскому краю, Иркутской области и Республике Бурятия. Если сравнить с другими регионами земного шара, то весна 2023 г. оказалась очень теплой в Гренландии, теплой и сухой для жителей столиц Испании, Исландии, США, Китая, Японии. Теплой и влажной весна 2023 г. была для жителей Алжира, Казахстана, Нигера, Турции и др. Однако были регионы, которые, как и территория Иркутской области, испытали на себе капризы прохладной и влажной весны – жители Лондона, Улан-Батора, Дели.

Более детальный анализ приземных и высотных карт погоды показал, что весной 2023 г. значительную мощь по вертикали имел очаг холода над Хатангой и Таймыром, который занимал всю толщу тропосферы. Он был одним из основных центров полярного циклонического вихря и углублен на 8 дкм. Длительное стационарирование этого холодного высотного циклона было связано с развитием крупномасштабных волн Россби. В частности, при усилении адвекции холода на севере Атлантики возникали благоприятные условия для зарождения атлантических циклонов, которые в своей передней части активно выносили теплый воздух, определяя развитие высотного гребня тепла над европейской частью территории России и Уралом. Усиление гребня тепла в свою очередь сопровождалось углублением сопряжен-

ной с ним ложбины над Восточной Сибирью, что определяло регулярные затоки холода и способствовало у поверхности Земли развитию Азиатского антициклона, под влиянием восточной, наиболее холодной его периферии, оказывалась территория Иркутской области. Вторжения арктического холода усиливали не только восточную периферию антициклона, но и поддерживали развитие циклонов над Дальним Востоком и Якутией, при взаимодействии которых возрастали градиенты температуры воздуха и атмосферного давления. В результате апрель 2023 г. в Иркутской области оказался не только ветреным, но, и влажным, особенно по югу (в Иркутске в апреле 2023 г. выпало рекордное количество осадков).

В целом в апреле и мае 2023 г. центры полярного холодного циклонического вихря гребнями тепла были смещены на север Сибири и север Канады. При этом канадский центр был более глубоким на высоте 5 км, а в верхней тропосфере более выражен сибирский центр. На средней месячной карте приземного давления отчетливо прослеживались все центры действия атмосферы Северного полушария: Азиатский, Канадский, Азорский, Северо-Тихоокеанский и полярный антициклоны, Исландская и Алеутская депрессии. В средней атмосфере возмущенность барического поля была более выражена, чем у поверхности Земли. В порядке убывания интенсивности аномалий в апреле 2023 г. можно выделить следующие центры: Исландский (-16 дкм), скандинавский (+12 дкм), северо-тихоокеанский (+10 дкм), сибирский, расположенный на севере Иркутской области (-8 дкм).

Одной из особенностей календарной весны 2023 г. в Иркутской области было частое усиление ветра. В качестве примера рассмотрим 30 и 31 марта 2023 г., когда в Иркутской области и Забайкалье отмечалось продолжительное усиление ветра, которое сопровождалось выпадением обложных и ливневых осадков, метелями с ухудшением горизонтальной дальности видимости. В работе выполнен совместный метеорологический и синоптический анализ погодных условий в районе аэродромов Иркутск, Братск, Киренск, Улан-Удэ и Чита. Для определения причин усиления ветра проводился сравнительный анализ динамики основных барических образований, которые определяли погодные условия в районе аэродромов; рассчитывались температурные и барические градиенты на разных уровнях тропосферы в области высотной фронтальной зоны; определялись изменения высоты уровня тропопаузы и температуры на ее нижней границе; проводилось дешифрирование космических снимков облачного покрова; расчет аномалий полей приземного давления и геопотенциала.

30 и 31 марта на аэродромах Иркутск, Братск, Киренск, Улан-Удэ и Чита отмечалось усиление преимущественно северного и северо-западного ветра до максимальных градаций 24 м/с в Иркутске, 21 м/с в Чите и 20 м/с в Улан-Удэ, т. е. по южным районам. Усиление ветра сопровождалось понижением температуры воздуха на фоне повышения атмосферного давления в основном без ухудшения горизонтальной дальности видимости ниже минимумов аэродрома (в Иркутске видимость ухудшалась до 600 м, в Киренске – до 2 км).

Усиление ветра на аэродромах Прибайкалья и Забайкалья 30 и 31 марта 2023 г. было связано с прохождением холодного атмосферного фронта, в зоне которого осуществлялся фронтогенез за счет увеличения как термических, так и барических градиентов. Максимальные порывы ветра на аэродроме Иркутск (24 м/с) тесно согласуются с увеличением барических градиентов до 14,9 гПа/500 км при прохождении холодного фронта через районы Иркутска. Более высокие порывы ветра в Улан-Удэ и Чите по сравнению с северными аэродромами Киренск и Братск также связаны с более высокими барическими градиентами (10–15 гПа/500 км) при смещении холодного фронта через районы аэродромов. Длительность процесса усиления ветра связана с продолжительным сохранением термических и барических градиентов при взаимодействии усиливающегося антициклона с центром над Западной Сибирью и углубляющегося монгольского циклона, который сформировался в ложбине ныряющего циклона 30 марта в 12 ВСВ (рис. 1).

Усиление ветра происходило при прохождении в нижней тропосфере на уровне изобарической поверхности АТ-850 гПа (1,5 км) оси высотной ложбины с условиями фронтогенеза 30 марта 2023 г. в 12 ВСВ и при сохранении динамически значимых термических градиентов

31 марта 2023 г. в 00 и 12 ВСВ; в средней тропосфере на уровне изобарической поверхности АТ-700 гПа (3 км) прохождения оси высотной ложбины с условиями фронтогенеза 30 марта 2023 г. в 12 ВСВ и 31 марта 2023 г. в 00 ВСВ за счет усиления влияния термических факторов, но, при ослаблении барических градиентов вдоль оси высотной фронтальной зоны; при прохождении в средней тропосфере на уровне изобарической поверхности АТ-500 гПа (5 км) оси высотной ложбины с условиями термического фактора фронтогенеза 30 марта 2023 г. в 12 ВСВ и термического и барического факторов фронтогенеза 31 марта 2023 г. в 00 ВСВ вдоль оси высотной фронтальной зоны; при переходе с антициклональной на циклональную сторону верхнетропосферного струйного течения, где максимальные скорости ветра вдоль оси отмечались 31 марта 2023 г. в 00 ВСВ. Тогда же максимальные скорости ветра были отмечены у поверхности Земли на аэродромах Иркутск и Улан-Удэ.

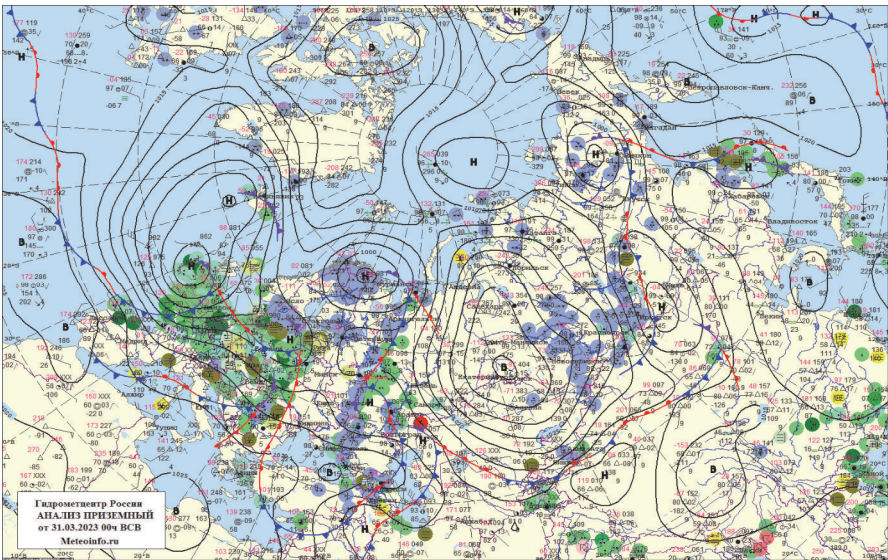


Рис. 1. Приземная карта за 00.00 ВСВ 31.03.2023 Гидрометцентра России

Анализ полей облачности по космическим снимкам Сибирского центра НИЦ «Планета» показал следующее. Усиление ветра в северных районах Иркутской области 30 марта 2023 г. происходило на фоне прохождения облачности холодного фронта, где имело место уплотнение облачности за счет фронтогенеза вдоль оси холодной ветви динамически значимой высотной фронтальной зоны умеренных широт (рис. 2). Усиление ветра в южных районах Иркутской области и в Забайкалье 31 марта 2023 г. осуществлялось при объединении облачных массивов холодного фронта с облачностью монгольского циклона, что подтверждают карты нефанализа. Это способствовало усилению интенсивности выпадения атмосферных осадков и, как следствие, понижению горизонтальной дальности видимости в районе аэродрома Иркутск до градаций 600 м, а также продолжительному усилению ветра на аэродромах Улан-Удэ и Чита под влиянием нисходящих потоков холодного воздуха, вовлекаемого осадками. На фронтогенез также указывают выбросы перистообразной облачности в циклоне.

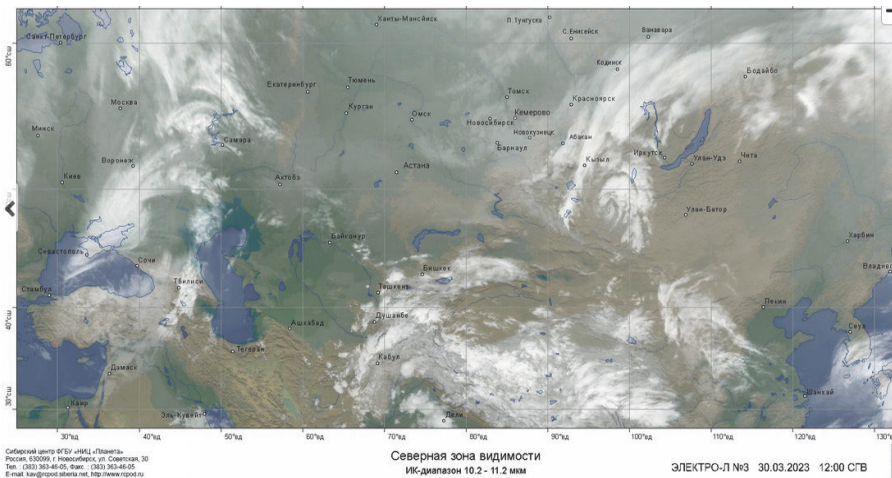


Рис. 2. Снимок облачности за 12.00 ВСВ 30.03.2023 года Сибирского центра НИЦ «Планета»

По данным аэрологического зондирования атмосферы усиление ветра в Иркутске сопровождалось понижением уровня тропопаузы с 11 км до 10 040 м с повышением температуры на нижней границе тропопаузы на 11,4 °С и наличием сдвигов ветра в слое от 580 гПа до 600 гПа; в Киренске понижением уровня тропопаузы с 10 947 м до 9638 м с повышением температуры на нижней границе тропопаузы на 5,2 °С и наличием сдвигов ветра в слое от 900 гПа до 800 гПа; в Братске понижением уровня тропопаузы с 11 643 м до 9700 м с повышением температуры на нижней границе тропопаузы на 11,4 °С и наличием сдвигов ветра в слое от 900 гПа до 800 гПа; в Чите понижением уровня тропопаузы с 10230 м до 9380 м с повышением температуры на нижней границе тропопаузы на 1,3 °С.

Публикация осуществляется в рамках проекта «Мониторинг и прогнозирование опасных природных явлений погоды», реализуемого победителем грантового конкурса для преподавателей магистратуры 2021/2022 Стипендиальной программы Владимира Потанина.

### Заключение

Причиной прохладной, ветреной и влажной календарной весны 2023 г. на территории Иркутской области стало длительное сохранение адвекции холодных арктических воздушных масс, характерное для зимнего типа циркуляции над Сибирью, которое способствовало усилению Азиатского антициклона и углублению циклонов над Забайкальем, поддерживающих термические и барические градиенты. Основной вклад в усиление ветра внесли адвективно-динамические факторы падения давления на высотах, усиление антициклогенеза над Западной Сибирью, циклогенеза над Забайкальем и Монголией при наличии блокирующего гребня над Дальним Востоком.

Для распознавания такого типа атмосферных процессов надежным признаком является увеличение прогиба облачности на космических снимках и появление выбросов перистообразных облаков; понижение уровня тропопаузы и оценка термической и барической составляющей фронтогенеза, которые могут различаться на разных уровнях тропосферы.

### Список литературы

1. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2022 год. М., 2023. 104 с.
2. Циркуляционные изменения в режимах температуры, осадков и снежного покрова в северо-западной части Сибири как отклик глобального потепления / А. С. Кошкина [и др.] // В сб.: Динамика и взаимодействие

геосфер Земли : материалы Всерос. конф. с междунар. участием, посвящ. 100-летию подготовки в Томском государственном университете специалистов в области наук о Земле : в 3 т. Томск, 2021. С. 149–151.

3. Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. СПб. : Наукоемкие технологии, 2022. 124 с.

4. *Arushanov M. L.* Climatic spectrum of planet Earth. Tashkent : NIGMI, 2010. 160 p.

5. Milankovich cycles and the evolution of the characteristics of the climatic regime and atmospheric composition according to ice core data from the Antarctic station "Vostok" / I. I. Mokhov [et al.] // Materials of glaciological research. 2003. Vol. 95. P. 3–8.

6. *Polonsky A. B.* The role of the ocean in climate change. Kyiv : Naukova Dumka, 2008. 184 p.

УДК 551.588.4:556.12(575.3)

## Метеорологические условия и эвапотранспирация прибрежных к долинным и горным водохранилищам территорий

И. Ш. Норматов (inomnor@gmail.com)<sup>1</sup>, Г. Т. Фрумин (gfrumin@mail.ru)<sup>2</sup>,  
М. Х. Ходжибоева (zar.rakhimov@mail.ru)<sup>3</sup>, А. О. Муминов (abulkosim86@mail.ru)<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Таджикский национальный университет, Душанбе, Таджикистан

<sup>2</sup>Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена, Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup>Худжандский государственный университет, Худжанд, Таджикистан

**Аннотация.** Статья посвящена изучению влияния долинных и горных водохранилищ на формирование микроклимата прибрежных территорий. Использован сравнительный и статистический метод с применением корреляции Пирсона для анализа динамики метеорологических характеристик и эвапотранспирации прибрежных к водохранилищам территорий. Установлено, что после возведения долинной Кайраккумского водохранилища на прибрежных районах наблюдается увеличение атмосферных осадков и температуры. В свою очередь, на близлежащих территориях Нурекского водохранилища с начала функционирования по 2022 г произошло понижение температуры при небольшом увеличении количества атмосферных осадков. Обнаружено, что количественное значение эвапотранспирации с прибрежных к водохранилищам территорий главным образом определяется соотношением атмосферных осадков и температуры местности. Полученные результаты представляют важное значение для разработки технико-экологического обоснования воздвигаемых средних и крупных водохранилищ.

**Ключевые слова:** водохранилище, Нурек, Кайраккум, эвапотранспирация, температура, осадки, корреляция, воздушная масса

### Введение

В бассейне Аральского моря, на территории которого расположены пять государств, водные ресурсы используются в основном для ирригации и гидроэнергетики. Эти водопользователи требуют разных режимов регулирования речного стока. В интересах гидроэнергетики – наибольшая выработка электроэнергии и, соответственно, использование большей части годового стока рек в зимний, наиболее холодный период года. Для ирригации наибольший объем воды требуется летом, в период вегетации. Регулирование речного стока при этом осуществляется крупными водохранилищами, входящими вместе с гидроэлектростанциями в состав гидроузлов комплексного назначения. При этом все наиболее крупные гидроэлектростанции построены в республиках зоны формирования стока в верхнем течении рек Амударья и Сырдарья – в Кыргызстане и Таджикистане, а основные площади орошаемых земель расположены в республиках нижнего течения рек – Казахстане, Туркменистане и Узбекистане.

Вопрос о регулировании речного стока и строительстве крупных водохранилищ в Центральной Азии возник в 1950-е годы именно в связи с развитием орошаемого земледелия. Только с этого времени началось строительство таких крупных гидросооружений с водохранилищами большого объема как Кайраккумский и Нурекский в Таджикистане, Токтогульский в Киргизии, Тьямюнский в Узбекистане.

Кардинальным решением совместного использования ирригационной и энергетических аспектов воды и предотвращения возможных конфликтных ситуаций между ирригацией



и гидроэнергетикой является не ограничение деятельности какой-то одной из них или подчинение одной другой, а наоборот, наибольшее совместное их развитие путем строительства новых крупных ГЭС с водохранилищами большого объема. Для гидроэнергетики это означает увеличение производства дешевой и экологически чистой энергии, для ирригации – повышение глубины многолетнего регулирования стока и водообеспеченности уже освоенных земель, а также возможность освоения новых

Наличие нескольких гидроузлов с водохранилищами позволит разрешить противоречия между гидроэнергетикой и ирригацией. Сегодня конфликт между ними возникает потому, что в бассейнах каждой из двух основных рек региона имеется всего по одному крупному гидроузлу с водохранилищем: на Сырдарье – Токтогульское в Киргизии, на Амударье – Нурекское в Таджикистане. Единственный на реке крупный гидроузел не может осуществлять регулирование стока одновременно в двух режимах – ирригационном и энергетическом.

Строительство еще одного крупного гидроузла на каждой из двух рек кардинально изменит ситуацию. В этом случае верхнее по течению водохранилище сможет работать в чисто энергетическом режиме, нижнее водохранилище такого же объема сможет перерегулировать сток вплоть до восстановления его естественного режима. Тем более оно может обеспечить регулирование стока в интересах ирригации. При наличии не двух, а большего количества гидроузлов с водохранилищами ситуация еще более улучшится [12].

Водохранилища играют важную роль в сельскохозяйственном производстве, а также в социальной экономике и экологии [8]. За последние несколько десятилетий значительно вырос количество водохранилищ в мире. Площадь поверхности водохранилищ также увеличилась с  $4,11 \cdot 10^5 \text{ км}^2$  в 1984 г. до  $4,48 \cdot 10^5 \text{ км}^2$  в 2015 г. [15] Увеличение площади водохранилища привело к увеличению потерь на испарение из резервуара [2]. Испарение является важнейшим аспектом гидрологического цикла в засушливых и полусушливых регионах. Это также является одним из основных факторов потери воды в водохранилищах [4]. Согласно статистике, годовые потери на испарение водохранилищ в засушливых и полусушливых районах составляют около 40 % объема водохранилища, что существенно усугубляет дефицит воды [5].

Идентифицированием пространственных градиентов атмосферных переменных, связанных с образованием осадков вокруг 92 крупных плотин Северной Америки с использованием 30-летних записи данных реанализа показано, что большие плотины больше всего влияют на местный климат в Средиземноморье, и полусушливом климате чем для влажного климата [13].

Большие плотины с водохранилищами – это типы инфраструктуры, которые вызывают чаще всего крупномасштабное изменение землепользования и растительного покрова открывающие возможности для орошения больших территорий пахотных земель, увеличения урбанизации низовий из-за снижения риска наводнения и увеличение доступности продуктов и электричество. Такие систематические изменения земного покрова могут привести к повышенной доступности местной влаги и нарастание воздействия на мезомасштабную локальную циркуляцию в пределах 10 – 100 км [11]. Одним из таких локальных последствий изменения землепользования и растительного покрова может быть изменение количества осадков [3]. Таким образом, если плотины рассматриваются как катализатор систематического изменения землепользования и растительного покрова, то правдоподобно ожидать постепенного изменения местного климата и характера осадков в речном бассейне.

За последние десятилетия глобальный и региональный климат характеризуется усилением ливневых осадков, аномальной жарой, засухой, наводнением и заморской на фоне глобального потепления с увеличением выбросов парниковых газов [9,10]. Антропогенные факторы такие как землепользование и возведение искусственных водохранилищ также могут напрямую влиять на местный или даже региональный климат через изменения в альbedo поверхности, обмена теплом и водяным паром между атмосферой и поверхностью, вырубка лесов, урбанизации, ирригационным работам [7].

С учетом важной роли водохранилищ в реагировании на стихийные бедствия (такие как наводнения и засухи) путем регулирования стока, изучение их влияния на сток рек в условиях изменения климата важно в плане предотвращения будущих наводнений и засух [14].

В Республике Таджикистан из 527 Млрд. кВт·ч общих потенциальных гидроэнергетических ресурсов в настоящее время используется чуть более 5 %. Следовательно, можно ожидать, что в ближайшей перспективе будет возведено не одни десятки средних и крупных гидроэлектростанций с водохранилищами. Это значит, при планировании перспективы развития сельскохозяйственных районов прибрежных к водохранилищам необходимо учитывать фактор влияния водных резервуаров в трансформации метеорологических условий местности и внесение корректировок к нормам ирригации соответствующих культур.

### Объект и методы исследований

Кайраккумское водохранилище ( $40^{\circ}16'00''$  с. ш.,  $69^{\circ}50'00''$  в. д.) расположена в центральной части водосборного бассейна трансграничной р. Сырдарья в 20 км от г. Худжанда центра Сугдской области Республики Таджикистан (рис. 1, а).

Водохранилище используется для сезонного регулирования стока реки с целью обеспечения воды для орошения, а также для производства электроэнергии. Наполнение водохранилища началось в 1956 г. и окончательно введено в эксплуатацию в 1959 г. Кайраккумское водохранилище характеризуется длиной 55 км, шириной 20 км, максимальной глубиной 25 м и общим объемом воды  $4,2 \text{ км}^3$  с площадью зеркала  $513 \text{ км}^2$ . Кайраккумское водохранилище замерзает зимой, а в летнее время температура воздуха у побережья составляет  $30\text{--}35^{\circ}\text{C}$ .

Нурекское водохранилище ( $38^{\circ}22' 35''$  с. ш.  $69^{\circ}20' 59''$  в. д.) – искусственное водохранилище, созданное на р. Вахш (притока трансграничной р. Амударья в Центральной Азии). Строительство Нурекской плотины было начато в 1961 г. и в 1979 г. уже был достигнут уровень воды 890 м, а отметка НПУ (нормальный подпорный уровень) равная 910 м был достигнут в сентябре 1983 г. Площадь водной глади Нурекского водохранилища достигает  $98 \text{ км}^2$ , объем воды  $10,5 \text{ км}^3$  (полезный объем –  $4,5 \text{ км}^3$ ), и средняя глубина водоема составляет 107 м. Уровень водохранилища колеблется в пределах 53 м (рис. 1, б).

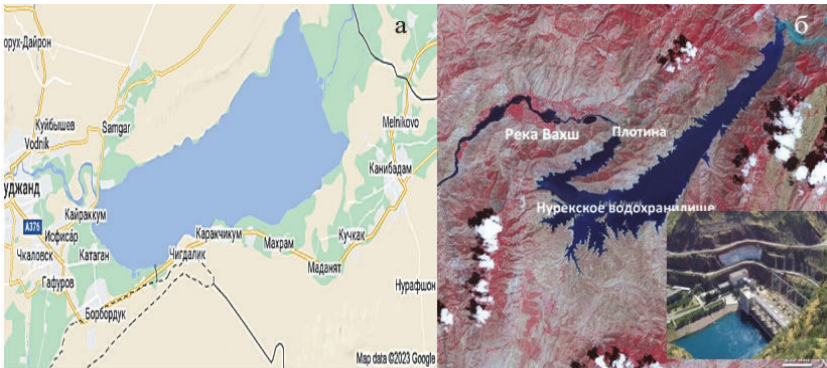


Рис. 1. Схема расположения Кайраккумского и Нурекского водохранилищ

Для оценки метеорологических условий прибрежных к Кайраккумскому и Нурекскому водохранилищам были использованы данные метеорологических станций «Кайраккумское водохранилище» и «Нурек» соответственно. Были широко использованы статистические методы обработки данных и корреляция Пирсона. Для вычисления эвапотранспирации использовалось уравнение, описанное в [6]. В определении уровня достоверности корреляционных зависимостей руководствовались методическими указаниями подробно описанной в [1].

## Результаты и обсуждение

Для оценки влияния Кайракумского водохранилища на климатические условия прибрежных районов был выбран самый близкий к водохранилищу г. Худжанд с наличием метеорологической станции и отдаленный на расстоянии до 20 км.

На рис. 2 представлены динамика температуры и атмосферных осадков в прибрежных территориях Кайракумского водохранилища за период начала заполнения водохранилища до 2022 гг (а) и г. Худжанда за период 1928 – 2022 гг (б).

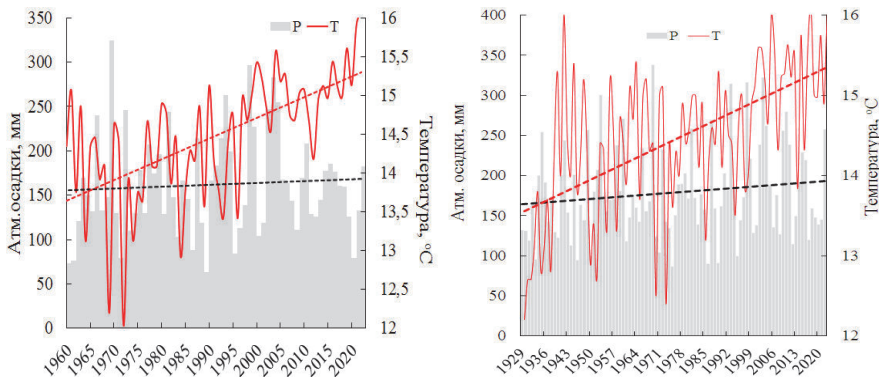


Рис. 2. Динамика температуры и атмосферных осадков в прибрежных территориях Кайракумского водохранилища за период начала заполнения водохранилища до 2022 гг (а) и г. Худжанда за период 1928–2022 гг (б).

Наблюдаемый на рис.2 идентичность характера изменения метеорологических характеристик территорий прибрежных к Кайракумскому водохранилищу и г. Худжанда обусловлено главным образом рельефом и орографическими особенностями Сугдской области Таджикистана, состоянием и поведением проникающих воздушных масс.

Северный Таджикистан эта природная область включает в себя западную часть Ферганской котловины и крайнюю юго-восточную часть голодной степи с обращенными к ним склонами окружающих гор. Кураминский хребет, образующий северный природный рубеж области, простирается с северо-востока на юго-запад, понижаясь в этом же направлении. Лишь отдельные его участники превышают 2000 м н. у. м. Наиболее возвышенную часть области составляют входящие в ее пределы части Кураминских и Туркестанских хребтов, а также горы Могол тау, наиболее пониженную часть – долина р. Сырдарья, представляющая собой аккумулятивную равнину с абсолютными отметками от 250 м на юго-западе до 400 м на северо-востоке.

Выпадение осадков в районе Худжанда и по всей территории Ферганской долины в основном связано с циклонической деятельностью и характером подстилающей поверхности. Главную роль в выпадении осадков играют южно-каспийский, мургабский и верхне-амударьинские циклоны, а также массы холодного воздуха, передвигающиеся с запада, северо-запада и севера. Достигая фронтальной поверхности гор, пришедшие воздушные массы поднимаются по этой поверхности, охлаждаются и получают дополнительный эффект для образования облаков и выпадения осадков. Все эти воздушные массы вторгаются в пределы Ферганской долины с запада и юго-запада, но на своем пути они сталкиваются с западными и юго-западными склонами горных хребтов Северного Таджикистана, и они получают больше осадков, чем подветренные склоны, межгорные долины и котловины. Так, на наветренных склонах Зеравшанского, Туркестанского и Кураминских хребтов количество осадков за год составляет более

400–800 мм. Это подтверждается тем, что в зимний период в этих горных районах образуется глубокий снежный покров, с чем связан сход лавин в весенний период. По мере движения вглубь горной страны эти воздушные массы достигают внутренних территорий, сильно обеденных влагой, вследствие чего межгорные долины и глубокие котловины получают очень мало осадков. В Худжанде годовое количество осадков выпадает: в холодный период года 87 мм, а наибольшее их количество – в марте и апреле (25–27 мм).

Другими словами, воздушные массы, проникающие в долину бассейна р. Сырдарья ограниченной с севера Кураминским хребтом и горным массивом Моголтау, а с юга Туркестанским хребтом остаются продолжительное время и трансформируется, создавая тем самым квазиравновесный температурный режим по всей территории долины. Следовательно, на фоне таких масштабных и циркуляционных процессов воздушной массы трудно выявить локальное влияние водохранилища на микроклимат местности.

Для оценки данного предположения проводились изучение корреляционных зависимостей температуры прибрежных к Кайраккумскому водохранилищу территорий и г. Худжанда с температурами г. Истаравшана (39°54'51.1" с. ш. и 69° 0' 11.9" в. д.) и г. Исфары (40°07'35" с. ш. и 70°37'30" в. д.) расположенные на 75 км юго-западного и около 100 км на севере-востоке от г. Худжанда соответственно (рис. 3).

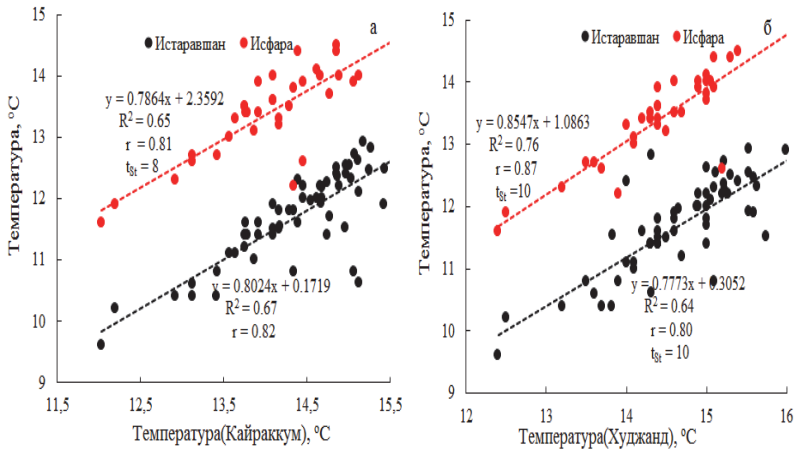


Рис. 3. Корреляция температуры на метеостанции Кайраккум (а) и г. Худжанда (б) с температурами метеостанции Истаравшан и Исфара

Как следует из рис. 3 коэффициенты корреляции температурной взаимосвязи территорий прибрежных к Кайраккумскому водохранилищу и г. Худжанда с температурами городов Истаравшана и Исфары характеризуются высокими значениями, свидетельствующие о нахождение всей долининной части Сугдской области Таджикистана под влиянием одной и той же воздушной массы. Подтверждением тому может быть представленная на рис.4 изменения характера температурного режима территорий прибрежных к Кайраккумскому водохранилищу и г. Худжанда. Как видно из рис.4, как и в г. Худжанде так и на территории прибрежных к водохранилищу с одного и того же 1997 г. среднегодовые значения температуры начинают превышать среднеголетние значения.

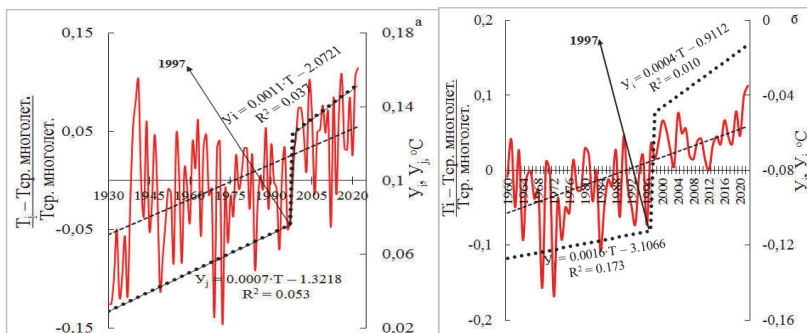


Рис. 4. Отклонение среднегодовых температур г. Худжанда (а) и территорий прибрежных к Кайракумскому водохранилищу (б) за периоды 1930–2022 гг. и 1960–2022 гг. соответственно от многолетних значений

Изучение взаимосвязи температурных условий территорий прибрежных к Кайракумскому водохранилищу и г. Худжанда с применением корреляций Пирсона, Спирмена и Стьюдента продемонстрировали их тесную корреляционную зависимость, как видно из рис. 5, характеризующие высокими значениями коэффициентов корреляции.

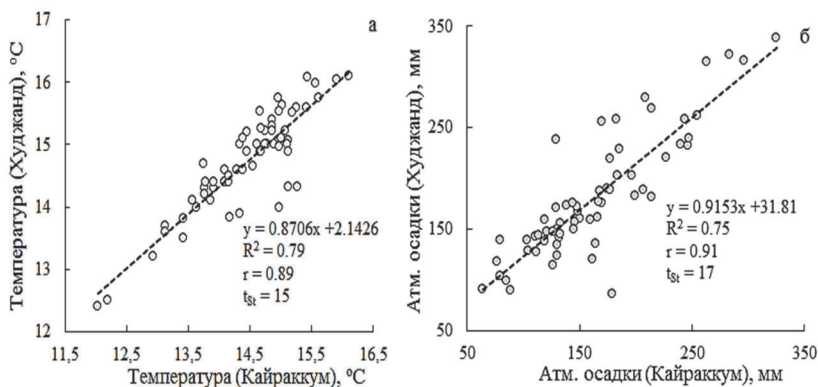


Рис. 5. Корреляционная зависимость температур и атмосферных осадков между данными метеостанций Худжанд и Кайракум

Учитывая, что эвапотранспирация является более чувствительным индикатором местности на малейшие колебания метеорологических параметров, проводились изучение эвапотранспирации территорий прибрежных к Кайракумскому водохранилищу (0 м.н.у.м), а также для сравнения территорий примыкающих к горному Нурекскому водохранилищу (800 м над у. м.). На рис. 6 представлена характерная кривая эвапотранспирации территорий прибрежных к Кайракумскому водохранилищу территорий за 1961 г.

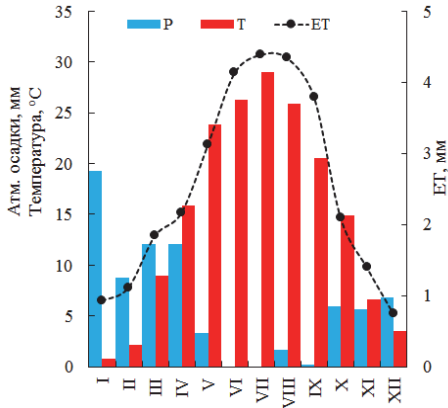


Рис. 6. Внутригодовое распределение атмосферных осадков, температуры и эвапотранспирации территорий прибрежных к Кайраккумскому водохранилищу в 1961 г.

Хотя естественно, как видно из рис.6, что с повышением температуры увеличивается эвапотранспирация, однако атмосферные осадки могут существенно менять характер ее температурной зависимости. На рис. 7а приведена эвапотранспирация с прибрежных территорий к Кайраккумскому водохранилищу за 1961, 1971 и 2015 гг., характеризующие соответственно убывание ее значений. Из рис.7(б) следует, что разница среднегодовых значений температур между трех перечисленных лет не велика и лежит в интервале 0,1–0,3 °С, а количество атмосферных осадков характеризуется увеличивающимся трендом и в 2015 г. увеличилось почти на 2,5 раза относительно 1961 г.

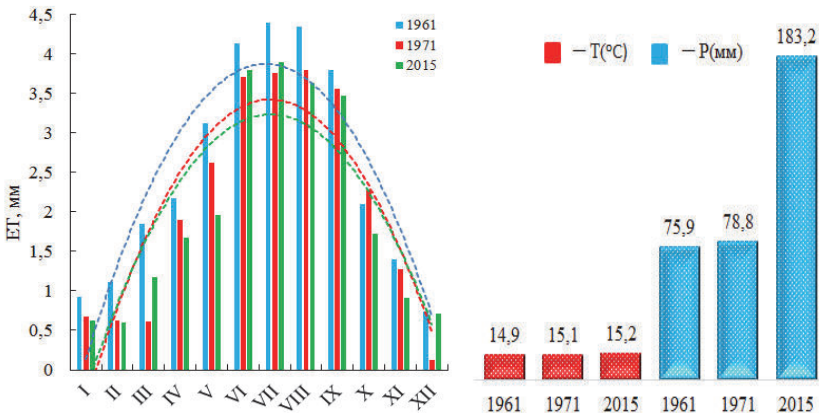


Рис. 7. Среднемесячное значение эвапотранспирации (а) и среднегодовое значение температур и атмосферных осадков (б) территорий прибрежных к Кайраккумскому водохранилищу за 1961, 1971 и 2015 гг.

Именно увеличение осадков способствует тому, что несмотря на относительное повышение температуры в 2015 г. эвапотранспирация имеет более низкое значение по отношению 1961 г.

Совершенно иная картина изменения среднегодовой температуры в прибрежных к горному Нурекскому водохранилищу было обнаружено при сравнении данных температуры в 1985 и 2010 гг. (рис. 8). Как видно из рис. 8 среднегодовая температура прибрежных к водохранилищу территорий в 2010 г. ниже на 0,5 °С, чем в 1985 г.

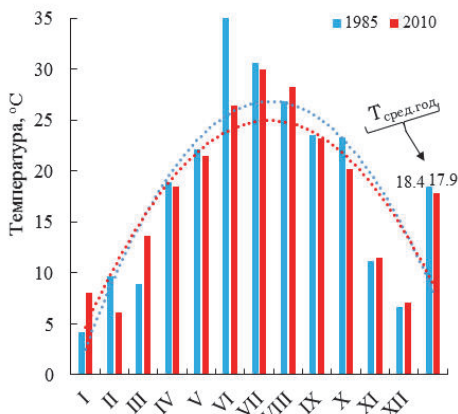


Рис. 8. Среднегодовая температура прибрежных к Нурекскому водохранилищу территорий за 1985 и 2010 гг.

Эвапотранспирация с прибрежных к Нурекскому водохранилищу в 2015 г. была выше чем в 1985 г. связанное с тем, что отношение количества годовых значений атмосферных осадков 2015 г. к 1961 г. составляло всего лишь чуть более 1,5 и существенном увеличении температуры в 2015 г. (рис. 9).

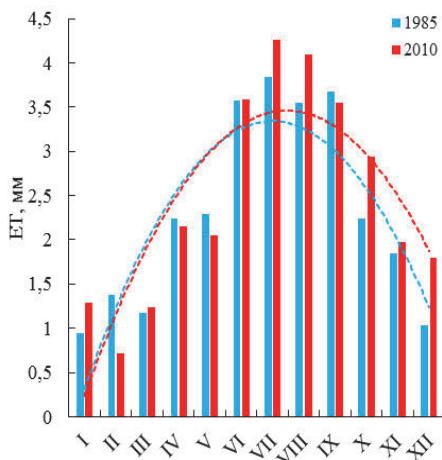


Рис. 9. Внутригодовое распределение эвапотранспирации прибрежных к Нурекскому водохранилищу территорий за 1985 и 2010 гг.

Из рис. 7 следует, что атмосферные осадки в прибрежных к Кайракумскому водохранилищу территорий в 2015 г. относительно 1961 г. увеличились около 2,5 раза. На территориях прибрежных к Нурекскому водохранилищу в 2010 г. атмосферные осадки по отношению к 1985 г. увеличились более 1,5 раза при разнице температуры 0,5 °С (рис. 10).

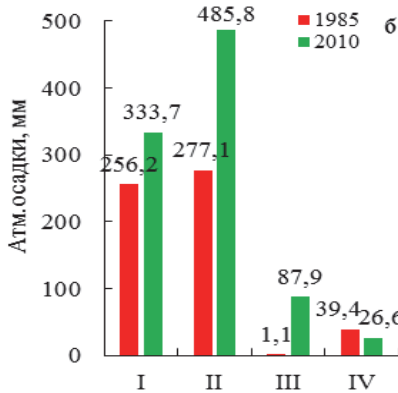


Рис. 10. Сезонное распределение атмосферных осадков в прибрежных к Нурекскому водохранилищу территорий

В табл. 1 обобщены для сравнительного анализа значений эвапотранспирации, температуры и атмосферных осадков для территорий прибрежных к Кайракумскому и Нурекскому водохранилищам за 1961, 2015 и 1985, 2010 гг. соответственно. Из табл. следует, что, если возведение водохранилищ на более высоком относительном уровне моря местностях приводит к понижению температуры, на территориях прибрежных к долинным водохранилищам происходит увеличение температуры. Эвапотранспирация с прибрежных территорий, как видно из табл. независимо от высоты расположения водохранилищ главным образом определяется соотношением атмосферных осадков и температурой.

Таблица  
Значений атмосферных осадков, температуры и эвапотранспирации прибрежных к Кайракумскому и Нурекскому водохранилищам

Метеорологические характеристики	Территории прибрежных к водохранилищу			
	Нурек		Кайракум	
	Годы			
ET, мм	1985	2010	1961	2015
P, мм	27,8	29,6	30,1	24,2
T, °C	573,8	943,0	75,9	183,2
	18,4	17,9	14,9	15,2

Представленная на рис. 11 корреляционная зависимость эвапотранспирации на территории г. Худжанда (отдаленного от водохранилища на расстоянии 20 км) и прибрежных к Кайракумскому водохранилищу территорий показывает о тесной их взаимосвязи и с другой стороны об ограниченности радиуса влияния водохранилища и подавления такого влияния температурным режимом устанавливаемого в результате циркуляции проникшего в долинную часть бассейна р. Сырдарьи воздушной массой.



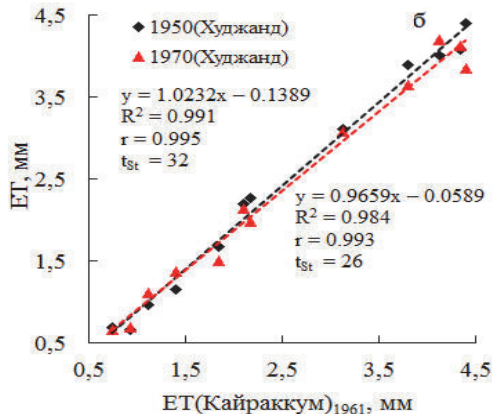


Рис. 11. Корреляционная зависимость эвапотранспирации на территории г. Худжанда (отдаленного от водохранилища на расстоянии 20 км) и прибрежных к Кайраккумскому водохранилищу территорий

## Заключение

Таким образом полученные результаты показывают, что:

- как на территории прибрежных к долининого Кайраккумского, так и горного Ну-рековского водохранилищ за периоды 1960–2015 гг. и 1985–2010 гг. соответственно тренд атмосферных осадков имеет возрастающий характер;
- установлено, что эвапотранспирация с прибрежных к водохранилищам территорий главным образом определяется количеством атмосферных осадков.
- радиус действий как долининых, так и горных водохранилищ является ограниченным и не превышает 10 км.

## Список литературы

1. Малинин В. Н. Статистические методы анализа гидрометеорологической информации. СПб. : РГГМУ, 2008. 408 с.
2. A remote sensing method for estimating regional reservoir area and evaporative loss / H. Zhang [et al.] // J. Hydrol. 2017. Vol. 555. P. 213–227.
3. Avissar R., Liu Y. Three-dimensional numerical study of shallow convective clouds and precipitation induced by land surface forcing // J. Geophys. Res. 1996. Vol. 101. P. 7499–7518. doi:10.1029/95JD03031
4. Comparison of methods for estimating loss from water storage by evaporation and impacts on reservoir management / A. Bozorgi [et al.] // J. Water Environ. 2021. Vol. 35. P. 218–228.
5. Distribution of small seasonal reservoirs in semi-arid regions and associated evaporative losses / B. Mady [et al.] // Environ. Res. Commun. 2020. Vol. 2. 061002
6. Droogers P., Allen R. G. Estimating reference evapotranspiration under inaccurate data conditions // Irrigation and Drainage Systems. 2002. Vol. 16. P. 33–45.
7. Global consequences of land use / J. A. Foley [et al.] // Science. 2005. Vol. 309. P. 570–574. https://doi:10.1126/science.1111772
8. Identifying Reservoirs and Estimating Evaporation Losses in a Large Arid Inland Basin in Northwestern China / Q. Q. Xia [et al.] // Remote Sens. 2022. Vol. 14. P. 1105–1116. https://doi.org/ 10.3390/rs14051105
9. IPCC. Climate Change 2013 / The Physical Science Basis ; T. F. Stocker (ed). Cambridge : Univ. Press, 2013. 1535 p.
10. Keeling C. D. Climate change and carbon dioxide: An introduction // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 1997. Vol. 94. P. 8273–9274. doi:10.1073/pnas.94.16.8273
11. Observational evidence that agricultural intensification and land use change may be reducing the Indian summer monsoon rainfall / D. Niyogi [et al.] // Water Resour. Res. 2010. Vol. 46. W03533. doi:10.1029/2008WR007082

12. Petrov G. N., Normatov I. S. Conflict of interests between water users in the Central Asian region and possible ways to its elimination // *Water Resour.* 2010. Vol. 37. P. 113–120. <https://doi.org/10.1134/S00978078100101121>
13. The influence of large dams on surrounding climate and precipitation patterns / A. M. Degu [et al.] // *Geophys. Res. Lett.* 2011. Vol. 38. L04405. doi:10.1029/2010GL046482
14. The Impact of Reservoirs on Runoff under Climate Change: A Case of Nierji Reservoir in China / B. Men [et al.] // *Water* 2019. Vol. 11. P. 1005–1021. doi:10.3390/w11051005 [www.mdpi.com/journal/water](http://www.mdpi.com/journal/water)
15. Zhao G., Gao H. Automatic Correction of Contaminated Images for Assessment of Reservoir Surface Area Dynamics // *Geophys. Res. Lett.* 2018. Vol. 45. P. 6092–6099.

УДК 008.2:504.03

## Акселератор активных действий для достижения ЦУР

Е. В. Потапова (e.v.potapova.isu@mail.ru)

*Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия*

**Аннотация.** Даны определения и перечислены основные опасные природные (геофизические, геологические, метеорологические, гидрологические явления), техногенные (ситуации, спровоцированные хозяйственной деятельностью человека), биолого-социальные (нарушения нормальных условий жизнедеятельности людей, существования сельскохозяйственных животных и произрастания растений), экологические (условия, обусловленные критическим состоянием атмосферного воздуха, воды и почв), конфликтные угрозы (возникновение социальных взрывов, криминогенных и террористических угроз, эскалация экстремистской деятельности, разжигание национальных и религиозных конфликтов), в сфере транспортной, информационной безопасности и управленческие риски в соответствии с подпрограммой «Построение и развитие аппаратно-программного комплекса «Безопасный город». Предложены некоторые возможные задачи, разделённые на экономические (7 пунктов), экологические (6), социальные (7), институциональные (4) и общечеловеческие (8) подобласти, реализация которых будет способствовать ориентированию на достижение ЦУР-2030.

**Ключевые слова:** безопасность, государственная программа, ООН, угрозы, жизненные принципы.

После 2015 г. мировое сообщество развивается в соответствии с 17 целями, которые были приняты всеми государствами – членами ООН в рамках «Повестки дня в области устойчивого развития на период до 2030 года». Они представляют собой всеобщий призыв к действию по искоренению нищеты, обеспечению защиты нашей планеты, повышению качества жизни и улучшению перспектив для всех людей во всём мире [4]. Существуют и разрабатываются программы глобального, регионального, внутри стран и для континентов, способствующие оптимизации и повышению эффективности решения таких сложных задач, как для всех людей, так и для каждого человека.

Безопасность людей страны, жителей населённого пункта, сотрудников и служащих, членов семьи – это цель государства, администрации муниципалитетов, управления предприятиями и организациями и каждого из нас. Потому государственная программа «Защита населения и территорий от чрезвычайных ситуаций (ЧС), обеспечение пожарной безопасности и безопасности людей на водных объектах» является ключевой для дальнейшего развития нашей страны. В рамках этой программы в 2014 г. была запущена к реализации подпрограмма «Построение и развитие аппаратно-программного комплекса «Безопасный город» (АПК «Безопасный город»). Она призвана вывести на новый уровень технологического развития создание единого системного подхода, к обеспечению общественной безопасности, правопорядка и безопасности среды обитания в условиях сохранения высокого уровня рисков техногенного и природного характера и продолжающейся тенденции к урбанизации, что является одним из важных элементов реализации устойчивого социально-экономического роста инвестиционной привлекательности городов РФ [1]. Этот комплекс систем управления рисками – стремление государства обеспечить жизнь и деятельность населения всесторонней защитой от всех видов угроз, которые далее приведены сокращённо с уклоном на природные и экологические:

Природными угрозами являются опасные геофизические, геологические, метеорологические, гидрологические природные явления, которые могут привести к возникновению ЧС и нарушению жизнедеятельности населения:

- возможность подтопления территории города и появление оползней;
- сейсмическая опасность, появление деформации земной поверхности;
- вероятность ураганов, штормового ветра, обильных снегопадов и затяжных дождей, обледенения дорог и токонесущих проводов;
- падение крупных небесных тел (метеоритов, болидов);
- задымление вследствие массовых торфяных и лесных пожаров.

Экологическими угрозами являются ситуации, обусловленные критическим состоянием атмосферного воздуха, воды и почв:

- просадки, оползни, обвалы земной поверхности из-за деятельности человека;
- наличие тяжелых металлов, радионуклидов и других вредных веществ в почве сверх

ПДК;

- интенсивная деградация почв, опустынивание на обширных территориях из-за эрозии, засоления, заболачивания почв и так далее;
- ситуации, связанные с истощением невозобновляемых природных ископаемых;
- ситуации, вызванные переполнением хранилищ отходами;
- резкие изменения погоды или климата в результате антропогенной деятельности;
- превышение ПДК вредных примесей в атмосфере;
- температурные инверсии над городами;
- «кислородный» голод в городах;
- значительное превышение ПДУ городского шума;
- образование обширной зоны кислотных осадков;
- разрушение озонового слоя атмосферы;
- значительные изменения прозрачности атмосферы;
- недостаток питьевой воды и истощение водных ресурсов вследствие истощения водных источников или их загрязнения;
- нарушение хозяйственной деятельности и экологического равновесия вследствие загрязнения зон внутренних морей и мирового океана.

Техногенными угрозами являются опасные ситуации, спровоцированные хозяйственной деятельностью человека, несущие угрозу вредного физического, химического и механического воздействия на население и среду обитания, как:

- аварии, крушения и катастрофы на всех видах транспорта, в т.ч. трубопроводного;
- пожары на промышленных объектах, транспорте и в жилых зданиях;
- обрушения элементов транспортных коммуникаций, зданий и сооружений;
- аварии на подземных сооружениях и с разливом нефтепродуктов;
- прорывы гидротехнических сооружений, с образованием волн прорыва и катастрофических затоплений;
- аварии с выбросом химически опасных, радиоактивных веществ и образованием зон заражения;
- аварии, перегруженность, дефицит и снижение надежности на электростанциях и сетях тепло- и водоснабжения, на других системах жизнеобеспечения и очистных сооружениях;
- старение жилого фонда, инженерной инфраструктуры;
- воздействие внешних факторов на качество и медленное внедрение новых технологий очистки питьевой воды;
- несвоевременная и некачественная уборка улиц;
- нарушение порядка утилизации производственных и бытовых отходов;
- несоответствие дорожного покрытия требованиям безопасности автомобильных перевозок.

Биолого-социальными угрозами являются ситуации, возникшие на определенной территории, когда нарушаются нормальные условия жизнедеятельности людей, существования сельскохозяйственных животных и произрастания растений, возникает угроза жизни и здоровью людей, широкого распространения инфекционных болезней, потерь сельскохозяйственных животных, как:

- инфекционные, паразитарные болезни и отравления людей;
- особо опасные болезни сельскохозяйственных животных и рыб;
- карантинные и особо опасные болезни.

Конфликтными угрозами являются ситуации, при которых возможно возникновение социальных взрывов, криминогенных и террористических угроз, эскалация экстремистской деятельности, разжигание национальных и религиозных конфликтов:

- нападения на объекты и их захват, взрывы;
- применение отравляющих биологически активных и радиоактивных веществ;
- преступления, совершаемые в общественных местах, похищения людей;
- действия организованной преступности, несанкционированные публичные мероприятия, массовые беспорядки.

Угрозами в сфере транспортной безопасности являются условия и факторы, как:

- террористические и диверсионные акции и иные случаи незаконного вмешательства в функционирование транспорта, угрожающие жизни и здоровью пассажиров, несущие прямой ущерб транспортной сфере и порождающие в обществе негативные социально-политические, экономические и психологические последствия;

– криминальные действия против пассажиров и грузов;

- чрезвычайные происшествия, обусловленные состоянием, нарушением правил эксплуатации транспортных технических систем, в том числе требований по экологической безопасности при перевозках, а также природными факторами, создающими аварийную обстановку и влекущими за собой материальные потери и человеческие жертвы.

Угрозами информационной безопасности является совокупность условий и факторов, создающих опасность нарушения информационной безопасности:

- нарушение информационного обеспечения деятельности и несанкционированный доступ органов государственной власти, муниципальных предприятий и служб;
- перехват трансляций телерадиовещания, систем оповещения и информирования населения;
- провоцирование социальной, межнациональной и религиозной и оказание целенаправленного негативного информационного воздействия на население через средства массовой информации и информационно-телекоммуникационную сеть «Интернет»;
- неполная реализация прав граждан в области получения и обмена достоверной информацией, в том числе манипулирование массовым сознанием с использованием информационно-психологического воздействия;
- распространение злоупотреблений в кредитно-финансовой сфере, связанных с проникновением в компьютерные системы и сети.

Управленческими (операционными) рисками являются ситуации, грозящие нарушением жизнедеятельности населения ввиду низкой эффективности контроля и взаимодействия оперативных служб, государственных органов исполнительной власти, как:

- риски возникновения потенциально опасных техногенных угроз при работе с объектами муниципальной инфраструктуры;
- нарушение нормальных условий жизнедеятельности населения в силу несвоевременного устранения последствий происшествий, аварий и чрезвычайных ситуаций;
- риски причинения ущерба среде обитания и здоровью людей, а также дополнительных материальных расходов на устранение последствий чрезвычайных ситуаций и происшествий в силу низкой эффективности систем прогнозирования и поддержки решений.

Общей характерной особенностью угроз на современном этапе является их взаимосвязанный характер, выражающийся в том, что одно возникающее бедствие (или реализация угрозы) может вызывать целую цепочку других катастрофических процессов, что определяет необходимость комплексного подхода к обеспечению безопасности среды обитания и общественной безопасности муниципального образования [3].

Концепция построения и развития АПК «Безопасный город» предполагает, в том числе создание единой информационной среды (центров управления, единых дежурных и диспетчерских и иных служб оперативного реагирования органов местного самоуправления), обеспечивающей эффективное и незамедлительное взаимодействие всех сил и служб, ответственных за обеспечение общественной безопасности, правопорядка и безопасности среды обитания. Большая часть поставленных задач сводится к сбору информации, контролю, в том числе видео и аудиоинформации, мониторингу объектов, учёту населения, сотрудников, находящихся в зонах опасности и моделированию ЧС, что мало отличается от уже работающих программ разных министерств и ведомств и тем более в контексте опережения мирового развития.

В связи с этим предлагается акселератор активных действий для достижения ЦУР. Несмотря на то что перечень разделён на экономические, экологические, социальные, институциональные и даже общечеловеческие подобласти, многие рекомендации носят системный характер и требуют применения в комплексе. Так основополагающие жизненные принципы – не убей, не укради и т. д. – постулируются тысячелетия, ликвидация голода, нищеты и трущоб, в контексте обеспечения достойной работой и образованием прописная истина, решение которой тянется даже не столетия, гендерное и национальное равноправие – тенденции десятилетий, но что-то нужно закрепить и сегодня, чтобы завтра жизнь улучшалась. Дальнейшие предложения (фактически по всем имеются научные наработки, открытия и опубликованные исследования), ориентированы на усиление экологической составляющей и повышения качества среды проживания людей:

Экономические задачи:

- расставить приоритеты расходования средств;
- выполнить исследования по вопросу обеспечения и замены различных услуг экосистемными (например, озеленение вместо кондиционирования, разложение отходов);
- перевести основную массу транспорта на уровень, не оказывающий влияния на окружающую среду;
- начать уже использовать альтернативные источники энергии;
- прекратить использование большей части пластика;
- создать планы развития со значительным уклоном экологических показателей (например очистки воздуха и воды), как обеспечивающих жизнь и здоровье населения.

Социальные задачи:

- усилить связь науки и общества для увеличения доступности знаний и прекращения потока ложной информации;
- прекратить навязывание ложных ценностей, особенно в вопросах красоты и здоровья;
- провести обучение населения по вопросам здорового образа жизни, обращения с отходами, необходимости озеленения поселений и значимости насаждений;
- уменьшить визуальное загрязнение улиц, домов, пространств;
- увеличивать площади не дорог, а велодорожек и тротуаров;
- уменьшить маятниковые миграции, методом оптимизации инфраструктуры районов (всё необходимое в 20 мин ходьбы);
- обеспечить вовлечение населения в активные формы деятельности и управление на всех уровнях.

Экологические задачи:

- ликвидировать накопленный вред окружающей природной среде;
- прекратить производство товаров, вредящих окружающей среде (проводить реальную ОЖЦ);

- заложить многополосное озеленение улиц и перед домами с фасадами на улицы с автомобильным движением;
- довести обеспеченность населения насаждениями до 50 м<sup>2</sup>, на человека и 10-минутной доступности до крупных объектов озеленения;
- максимально оградить, в том числе полосами насаждений образовательные и учреждения здравоохранения;
- обеспечить покрытие санитарно-защитных зон насаждения в соответствии с нормами.

#### Институциональные задачи:

- привести законодательство в понимаемую форму и выполнять его;
- обеспечить соответствие законодательства требованиям времени, актуализировать устаревшие документы, особенно по содержанию опасных объектов;
- снизить скорость движения автомобиле в населённых пунктах, как минимум до 30 км/ч (обеспечивает выживание 5 из 10 пострадавших в ДТП);
- выделить значительное число улиц только для пешеходного движения.

#### Общечеловеческие задачи:

- каждый может / должен посадить деревья, кустарники (Plant-for-the-Planet);
- уменьшение трафика транспорта – это снижение десятка негативных факторов для воздушной среды, шумовых показателей, изменения климата и жизни людей (по мнению ВОЗ значительная часть смертей происходит из-за загрязнённого воздуха [2]);
- приоритет пешеходного и велодвижения;
- пребывание на открытом воздухе, хотя бы в оптимальные погодные показатели, не менее 3–4 ч в день и увеличить для выходных;
- на большей части улиц разрешить движение только общественному и специальному транспорту;
- на каждом перекрёстке организовать зелёные «островки безопасности»;
- разделять и правильно складировать мусор;
- проводить большую часть мероприятий на объектах озеленения.

Кроме очистки воздуха, каждые 10 % прироста растительности, находящейся в пределах 500 м от вашего дома, снижают вероятность вашей смерти от всех причин на 4 % [5]. Зеленые зоны являются щитом от многих метеорологических опасностей, детерминантом здоровья, улучшая жизнестойкость благополучие поселения посредством множества различных механизмов. Власти должны обеспечить всеобщий доступ к инклюзивным и доступным, зеленым и общественным местам, для всех жителей города, особенно это важно для маломобильных групп, женщин, детей, пожилых людей и инвалидов.

Так как большая часть населения Земли уже живёт в городах и процессы урбанизации пока нарастают, то все угрозы городов – угрозы для человечества. «Театр безопасности» включает слишком много актеров, чтобы с этим мог справиться один руководитель. Безопасность, жизнестойкость – дело каждого.

#### Список литературы

1. Аппаратно-программный комплекс «Безопасный город». URL: <https://mchs.gov.ru/dokumenty/gosudarstvennyye-i-federalnyye-celevye-vedomstvennyye-programmy/apparatno-programmnyy-kompleks-bezopasnyy-gorod/konkreciya-trebovaniya-metodicheskie-rekomendacii> (дата обращения: 05.05.2023).
2. ВОЗ: миллиарды людей дышат загрязненным воздухом. URL: <https://news.un.org/ru/story/2022/04/1421302> (дата обращения: 05.05.2023).
3. Гражданская оборона и защита от чрезвычайных ситуаций URL: [https://гражданская-оборона-и-защита-от-чс.рф/publ/zashhita\\_ot\\_chs\\_rschs/apparatno\\_programmnyj\\_kompleks\\_bezopasnyj\\_gorod\\_celi\\_zadachi\\_funkcii\\_rekomendacii\\_po\\_postroeniju\\_i\\_razvitiyu/3-1-0-518](https://гражданская-оборона-и-защита-от-чс.рф/publ/zashhita_ot_chs_rschs/apparatno_programmnyj_kompleks_bezopasnyj_gorod_celi_zadachi_funkcii_rekomendacii_po_postroeniju_i_razvitiyu/3-1-0-518) (дата обращения: 05.05.2023).
4. Цели устойчивого развития на сайте ООН URL: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/about/development-agenda/> (дата обращения 05.05.2023).
5. Green spaces and mortality: a systematic review and meta-analysis of cohort studies / D. Rojas-Rueda [et al.] // The Lancet. 2019. Vol. 3, Iss. 11. E469-E477. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(19\)30215-3](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(19)30215-3)

УДК 574.52

## Массовое развитие цианобактерий на крупных равнинных водохранилищах в условиях глобального потепления климата (проблема и пути решения)

А. В. Селезнева<sup>1</sup>, В. А. Селезнев<sup>1</sup>(seleznev53@mail.ru),  
К. В. Селезнева<sup>1,2</sup>(kyvespalova@yandex.ru),

<sup>1</sup> Институт экологии Волжского бассейна РАН – филиал Самарского федерального исследовательского центра РАН, Тольятти, Россия

<sup>2</sup> Тольяттинский государственный университет, Тольятти, Россия

**Аннотация.** Процесс массового развития цианобактерий оказывает негативное влияние на экологическое состояние и качество воды водохранилищ Волжско-Камского каскада, которые используются для питьевого водоснабжения, рыбного хозяйства и рекреации. Основная цель исследований – оценка влияния массового развития цианобактерий на формирование качества воды на примере Куйбышевского водохранилища в условиях глобального потепления. Комплексные наблюдения проводились в период 2001–2021 гг. на самом крупном в Европе Куйбышевском водохранилище с сезонным, недельным и суточным режимом регулирования водного стока. Результаты исследований показывают, что в период «цветения воды» увеличивается органическое загрязнение воды. Так перманганатная окисляемость летом превышает допустимое значение в 1,5–2,0 раза, что создает проблемы обеспечения населения качественной питьевой водой. Массовое развитие цианобактерий нарушает кислородный режим водохранилища. Сезонная изменчивость концентрации растворенного кислорода включает четыре периода, отличающиеся различной направленностью процессов формирования кислородного режима. Внутри года наблюдаются два минимума содержания растворенного кислорода: зимний и летний. В летний минимум концентрация растворенного кислорода снижается до критических значений, и составляет 4–5 мг/дм<sup>3</sup>. На формирование летнего минимума кислорода существенное влияние оказывает процесс массового развития цианобактерий. В результате фотосинтезирующей азотации образуется тонкий перенасыщенный кислородом поверхностный слой воды, который нарушает процесс абсорбции кислорода из атмосферы на значительной части акватории водохранилища. В условиях роста биогенной нагрузки и глобального потепления климата интенсивность и масштаб процесса массового развития цианобактерий на Куйбышевском водохранилище будет только увеличиваться, что приведет к дальнейшему росту дефицита кислорода, ухудшению качества воды и возникновению рисков водопользования.

**Ключевые слова:** водохранилище, биогенная нагрузка, массовое развитие цианобактерий, качество воды, органическое загрязнение, нарушение кислородного режима, риски водопользования.

### Введение

По результатам многолетних исследований Института экологии Волжского бассейна установлено, что одной из основных экологических и водохозяйственных проблем водохранилищ Средней и Нижней Волги является нарушение экологического равновесия и ухудшение качества вод в летний период при массовом развитии цианобактерий. Процесс массового развития цианобактерий или «цветения воды» наблюдался и ранее на р. Волге до создания каскада Волжско-Камских водохранилищ. Заведующий Волжской биостанцией В. П. Зыков писал, что «1901 г. оказался крайне маловодным и концу июля часть Волги против г. Саратова превратилась в замкнутый бассейн, где в огромном количестве развивались сине-зелёные водоросли. Огромным их количество было и в коренной Волге».

С созданием волжско-камских водохранилищ проблема «цветения воды» обострилась из-за замедления водного обмена и роста биогенной нагрузки [5]. В современных условиях глобального потепления климата актуальность проблемы возрастает из-за повышения температуры воды в водоемах и обострения негативных последствий «цветения воды», что приведет к возникновению дополнительных рисков водопользования [3; 4].

Процесс «цветения воды» – это видимая невооруженным глазом составная часть более глобального процесса – антропогенного эвтрофирования водоемов. Эвтрофирование – это накопление в водоемах биогенных элементов под воздействием антропогенных или природ-

ных факторов. «Хорошее питание» экосистемы биогенными элементами ведет сначала к повышению биологической продуктивности водоемов, а затем с возрастающей нехваткой кислорода – к заморам.

Процесс «цветения воды» особенно ярко проявляется в жаркие и маловодные годы [8]. В это время в структуре фитопланктона доминируют цианобактерии, численность и биомасса которых достигает значительных величин. Массовое развитие цианобактерий наблюдается как в русловой, так пойменной части водохранилищ. При этом, пик «цветения воды» приходится, как правило, на июль и август.

Основная цель исследований оценка воздействия массового развития цианобактерий на формирование качества воды.

### Объект и методы исследований

Самым крупным в Европе является Куйбышевское водохранилище (рис. 1), которое входит в состав сложной водохозяйственной системы водохранилищ Волжско-Камских каскада [2].



Рис. 1. Расположение Куйбышевского водохранилища в бассейне Волги 1 – Чебоксарский гидроузел, 2 – Нижнекамский гидроузел, 3 – Жигулевский гидроузел, ▲ – пункты наблюдений

Длина водохранилища с учетом волжской и камской веток составляет 750 км, а площадь – 6450, км<sup>2</sup>. Через замыкающий створ Куйбышевского водохранилища проходит 97 % водного стока всей р. Волги. Водохранилище используется комплексно, включая хозяйственно-питьевое водоснабжение, рыбное хозяйство и рекреацию. Особого внимания заслуживает тот факт, что водохранилище выделяется замедленным водным обменом и для него характерным является процесс массового развития цианобактерий.

Комплексные исследования экологического состояния и качества воды водохранилища и их боковых притоков проводятся с момента создания в 1957 г. Жигулевского гидроузла. Наблюдения осуществляются с научно-исследовательского судна «Биолог», которое оборудовано автоматизированной системой «Хитон» (рис. 2). С помощью неё в режиме *in situ* осуществляется диагностика пространственных неоднородностей водной массы по температуре, электропроводности, рН, Eh, растворенному кислороду и хлорофиллу для установления репрезентативной сетки станций наблюдений на акватории водохранилища. Для идентификации



водных масс в различные сезоны года на станциях отбираются пробы воды для последующего химического и биологического анализа в лабораториях института. По полученным результатам создается информационная база данных наблюдений с использованием ГИС-технологий для обработки и представления результатов исследования.



Рис. 2. Научное судно «Биолог» (слева) и система контроля качества воды «Хитон» для диагностики пространственных неоднородностей (справа)

### Результаты их обсуждение

Чтобы оценить масштаб процесса «цветения воды» достаточно взглянуть на космический снимок Куйбышевского водохранилища, выполненный в августе 2021 г. (рис. 3). На снимке видно, что практически вся акватория центральной и южной части Куйбышевского водохранилища охвачена процессом «цветения воды». Доминируют цианобактерии в планктоне в июле и августе. Продолжительность «цветения воды» зависит от гидрометеорологических условий и, прежде всего, от температуры воды. На Куйбышевском водохранилище температурный оптимум для цианобактерий составляет  $\geq 22$  °C и продолжается 25–75 дней.

Цианобактерии (сине-зеленые водоросли) – это значительная группа крупных бактерий, способных к фотосинтезу, сопровождающемуся выделением кислорода. Это древнейшие организмы, которые сыграли существенную роль в эволюции атмосферы и жизни на Земле. Они могут быть одноклеточными и нитчатыми, в том числе колониальными (см. рис. 3).

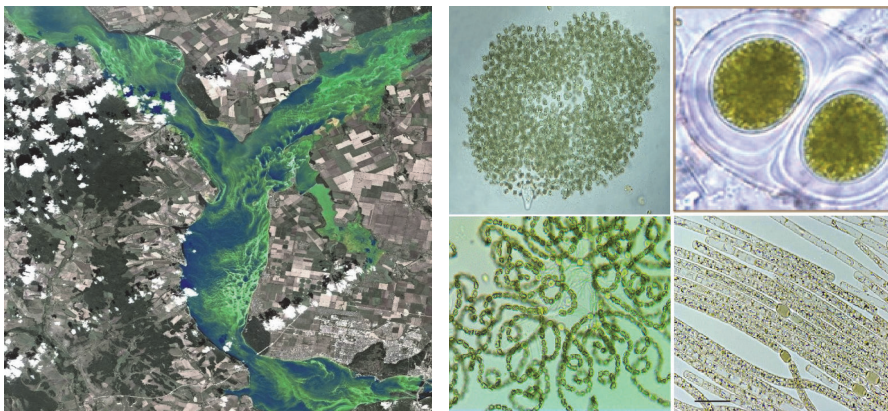


Рис. 3. Вид из космоса «цветение воды» (слева) и возбудители «цветения воды» (справа)

Размеры этих микроорганизмов варьируют от 0,1–100 мкм. При благоприятных условиях взросление одноклеточных цианобактерий длится 6–12 ч, происходит их лавинообразное размножение и резко повышается экспорт метаболитов в окружающую среду. Отдельные представители цианобактерий способны продуцировать токсины. Наиболее известный – микроцистин-LR. Всемирная организация здравоохранения установила ориентировочную допустимую концентрацию микроцистина-LR в питьевой воде не более 1 мкг/дм<sup>3</sup>.

В период массового развития цианобактерий качество воды на водохранилищах резко ухудшается. Вода приобретает неприятный запах и специфический вкус, появляется цветность, увеличивается рН и по ряду показателей вода не соответствует санитарно-гигиеническим требованиям, предъявляемым к водным объектам хозяйственно-питьевого, культурно-бытового и рыбохозяйственного назначения.

Особую озабоченность вызывают рост органического загрязнения, которое, к сожалению, оценивается только по интегральным показателям: химическое потребление кислорода (ХПК), перманганатная окисляемость (ПО) и биохимическое потребление кислорода (БПК). Например, перманганатная окисляемость в 1,5–2,0 раза превышает допустимые значения для водоемов хозяйственно-питьевого водоснабжения. Наибольшее загрязнение органическими веществами наблюдается в июле и августе, в период массового развития цианобактерий (рис. 4).

В жаркие маловодные годы резко увеличивается негативное влияние массового развития цианобактерий на формирование кислородного режима в водной массе (рис. 4). Принято считать, что сезонная изменчивость концентрации растворенного кислорода зависит только от противоположно направленных факторов, основными из которых являются: абсорбция кислорода в воду из атмосферы; поступление кислорода в воду в результате фотосинтеза водорослей; потребление кислорода на биохимическое окисление органических и минеральных веществ; потребление кислорода на дыхание гидробионтов.

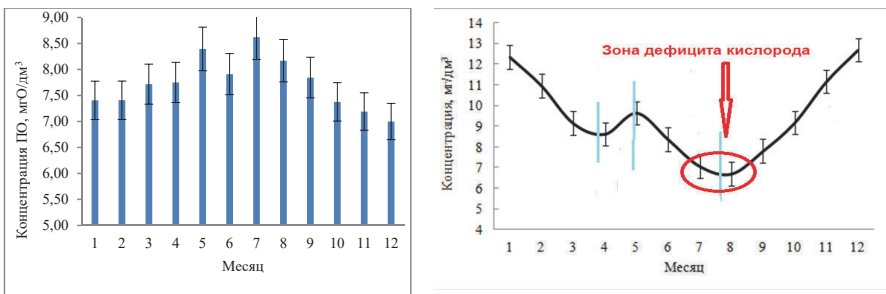


Рис. 4. Сезонные изменения органического загрязнения (слева) и растворенного кислорода

Однако есть основания предполагать, что существует дополнительный, ранее не учтенный фактор, оказывающий негативное влияние на формирование летнего дефицита кислорода в придонных горизонтах воды [9]. Этим фактором является процесс «цветения воды». В результате фотосинтезирующей аэрации образуется тонкий (2–3 см) перенасыщенный кислородом (150–200 %) поверхностный слой воды, сдерживающий абсорбцию кислорода из атмосферы. Кроме того, обширные поля цианобактерий, образующиеся в ясную и безветренную погоду, частично задерживают поступление солнечной радиации в нижележащие слои, что препятствует фотосинтезу и выделению кислорода. Роль и значение дополнительного фактора в формировании кислородного режима зависит от масштаба процесса массового развития цианобактерий.

Низкие концентрации растворенного кислорода оказывают негативное влияние на экологическое состояние водохранилищ и жизнеспособность гидробионтов. От содержания кис-

лорода в воде, а также скорости его поступления в организм при дыхании гидробионтов зависит интенсивность обменных процессов. При недостатке растворенного кислорода велика вероятность кислородного голодания (аноксия). Существенный дефицит кислорода отрицательно сказывается на росте и развитии гидробионтов и может привести к их массовой гибели. Особенно страдают от аноксии придонные обитатели водоемов.

В результате из-за нарушения среды обитания гидробионтов наносится ущерб водным биологическим ресурсам [10], снижается вылов промысловых видов рыб (лещ, судак, берш, окунь, чехонь, сом).

Экологическая ситуация ухудшается в жаркие и маловодные годы, когда температура воздуха и воды увеличивается [6]. Начиная с 70-х годов прошлого века, наблюдается глобальное повышение температуры воздуха [1; 11] (рис. 5). На границе Средней и Нижней Волги за последние 60 лет средняя температура воздуха увеличилась на 1,5–2,0 °С. Особый интерес вызывает современный период (2015–2022 гг.), когда летняя температура воздуха увеличилась на 2–4 °С по сравнению с нормой.

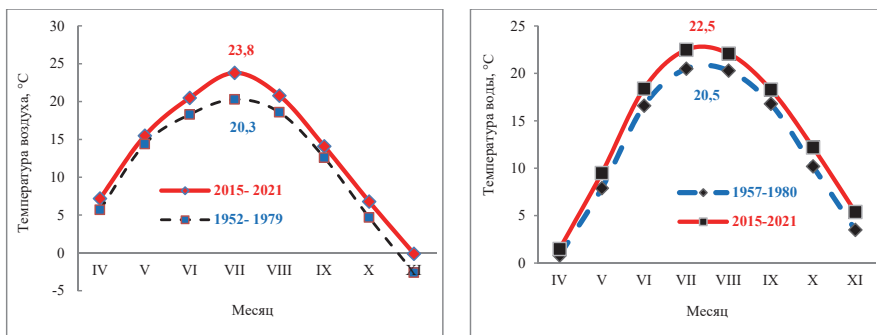


Рис. 5. Повышение температура воздуха и воды

Наблюдаемое увеличение температуры воздуха обусловило устойчивый тренд повышения температуры поверхностного слоя воды. Средняя температура воды Волги в районе г. Тольятти за теплый период 2016–2021 гг. увеличилась 1,7 °С по отношению к норме. Наибольшее повышение приходилось на июль и август и составило 2,0 и 2,1 °С, соответственно (рис. 5). Повышение температуры воды активизирует процесс массового развития цианобактерий и негативно сказывается на формировании качества воды.

### Возможные пути решения проблемы

Основная причина массового развития цианобактерий на водохранилищах Волжско-Камских водохранилищ – это чрезмерная биогенная нагрузка. Ежегодно в бассейн Волги поступает огромное количество биогенных веществ от точечных и диффузных источникам загрязнения. Только от точечных источников в водохранилища Волги и её притоков ежегодно поступает 13 и 130 тыс. тонн общего фосфора и нитратов, соответственно. Столь «хорошее питание» активизирует процесс массового развития цианобактерий.

В целях экологической реабилитации (оздоровления) водохранилищ целесообразно применять превентивные меры борьбы для снижения интенсивности и продолжительности процесса «цветения воды» за счет снижения биогенной нагрузки на водохранилища:

- от точечных источников загрязнения (промышленные, коммунальные, ливневые сточные воды);
- от диффузных источников загрязнения, расположенных на речных водосборах (*сельское хозяйство, земледелие*).

В качестве обоснования целесообразности применения превентивных методов борьбы следует обратить внимание на установленный факт, что в период массового развития цианобактерий (июль, август) наблюдается резкое уменьшение концентрации биогенных веществ в воде водохранилищ, прежде всего фосфатов и нитратов. При этом, чем интенсивнее процесс «цветения воды», тем меньше концентрация биогенных веществ в воде. Особое внимание следует обратить на содержание фосфатов, которые являются лимитирующим фактором для процесса «цветения воды». Когда содержание фосфатов становится минимальным, процесс «цветения воды» замедляется или полностью прекращается (рис. 6).

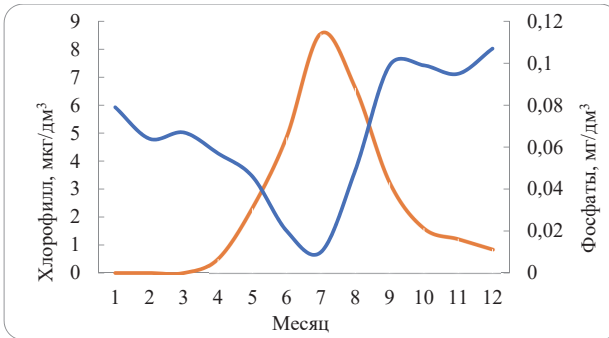


Рис. 6. Обратная связь между биомассой фитопланктона и фосфатами

В настоящее время в институте продолжается разработка методологического подхода к оценке и анализу антропогенной нагрузки от точечных источников загрязнения на водные объекты. Количественная оценка и анализ антропогенной нагрузки является необходимым условием оптимального регулирования поступления загрязняющих веществ в водотоки.

Для каждого конкретного года величина антропогенной нагрузки зависит не только от количества загрязняющих веществ, поступающих в реки, но и от водности года. В маловодные годы антропогенная нагрузка на водные объекты будет увеличиваться при прочих равных условиях, а в многоводные – снижаться. Внутри года нагрузка также меняется: в межень нагрузка увеличивается, а в половодье – уменьшается.

Методологические основы оценки антропогенной нагрузки на качество поверхностных вод заложены А. В. Караушевым. В настоящее время существуют различные подходы к оценке нагрузки на водные объекты. Чаще всего под «нагрузкой» понимается масса загрязняющих веществ, поступающих непосредственно в водный объект от источников загрязнения. При этом не учитываются ни режим водного стока реки, ни её расположение в различных природных зонах и климатических поясах. При таком подходе невозможно провести сравнительный анализ нагрузок на водотоки, отличающиеся по величине водного стока и условиям формирования естественного качества вод.

При определении антропогенной нагрузки предлагается учитывать массу загрязняющих веществ, поступающих в реки, межгодовую и сезонную изменчивость водного стока и фоновые концентрации веществ в воде. Техногенную нагрузку предлагается оценивать по нескольким составляющим, так как она рассматривается, с одной стороны, как нагрузка сточными водами, а с другой – как нагрузка загрязняющими веществами.

**Нагрузка сточными водами** – это величина, характеризующая отношение объема сточных вод, сбрасываемых в реку, к водному стоку реки. Нагрузка сточными водами достаточно легко определяется, и для ее расчета, как правило, всегда имеется необходимая информация. Однако она не учитывает качество сточных вод, поэтому её целесообразно использовать на первом этапе анализа техногенной нагрузки.

Имея сведения о массе веществ, содержащихся в сточных водах, представляется возможным рассчитать составляющие техногенной нагрузки по отдельным загрязняющим веществам. *Нагрузку загрязняющим веществом* – это величина, характеризующая отношение массы конкретного загрязняющего вещества, сбрасываемого в реку, к водному стоку реки. При таком подходе, техногенную нагрузку становится возможным разложить по отдельным составляющим (азотная, фосфорная, сульфатная, хлоридная и т. п.) и оценивать приоритетность той или иной составляющей нагрузки для конкретной реки.

Для оценки техногенной нагрузки по всему спектру загрязняющих веществ целесообразно использовать *суммарную нагрузку загрязняющими веществами*.

Для количественной оценки и сравнения между собой техногенной нагрузки на реки, расположенные в различных природных зонах и климатических поясах, предлагается использовать *нормированную нагрузку загрязняющими веществами*. При этом, фоновые концентрации химических веществ в воде реки определяются по данным систематических наблюдений вне зон загрязнения. Далее определяется *суммарная нормированная нагрузка загрязняющими веществами*.

Предлагаемый способ определения антропогенной нагрузки на реки от точечных источников загрязнения позволяет ранжировать реки России по величине антропогенной нагрузки, сравнивать между собой водотоки, расположенные в различных природных зонах, климатических поясах и имеющие широкий диапазон величин водного стока. При таком подходе представляется возможным оценивать приоритетность конкретного загрязняющего вещества для реки, обосновывать региональные программы поэтапного сокращения точечного загрязнения. Данный подход целесообразно использовать не только для количественной оценки нагрузки, но и для контроля эффективности осуществляемых охранных мероприятий в бассейнах крупных водохранилищ в рамках реализации федеральных проектов «Оздоровление Волги».

В настоящее время в институте разрабатываются методологические подходы к оценке антропогенной нагрузки от диффузных источников загрязнения на водные объекты [7]. В качестве объекта исследований выбран бассейн Саратовского водохранилища (рис. 7). Основная задача – оценить диффузную нагрузку на водохранилище от боковых притоков I порядка: Самара, Сок, Сыранка, Чапаевка, Чагра, Малый Иргиз. Сложность оценки диффузного загрязнения обусловлена недостаточностью гидрологической и гидрохимической изученности малых рек (притоков 2 и 3 порядков).

Диффузные источники загрязнения расположены непосредственно на водосборной территории водных объектов. При этом, земельные ресурсы частично заняты сельскохозяйственными угодьями: пашня – 75 %, пастбища – 20 %, сенокосы – 1,4 %, залежь – 2,9 %, многолетние насаждения – 0,7 %. Самыми мощными диффузными источниками загрязнения являются площадные стоки с сельскохозяйственных угодий, не канализованных территорий населенных пунктов и свалок. Территория, на которой они формируются, может достигать 45–85 % водосборной площади водного объекта, а фронт поступления загрязнений в него растянуться на десятки и тысячи километров.

В условиях недостаточной изученности процесса диффузного загрязнения и отсутствии необходимой детальной информации для его математического моделирования, именно этот подход позволит достоверно и быстро определить величину диффузного загрязнения крупного водохранилища.

Для основных притоков I-го порядка по данным многолетних наблюдений на гидрологических постах сети Росгидромета производился расчет:

- средних месячных значений модуля водного стока рек в наблюдаемых створах;
- средних месячных расходов воды в замыкающих створах рек с использованием нормативных документов по определению основных расчетных гидрологических характеристик.

По данным гидрохимических наблюдений в замыкающих створах рек производился расчет:

– фактической средней месячной концентрации фосфора в воде рек;  
 – техногенной составляющей концентрации фосфора, формирующейся за счет точечных источников загрязнения на основе данных государственной статистической отчетности 2ТП-водхоз.

Расчет диффузного загрязнения осуществляется с учетом того, что за природную составляющую концентрации вещества двойного генезиса принимается его средняя концентрация за период зимней межени за вычетом техногенной составляющей концентрации. После соответствующей апробации в различных природно-климатических условиях бассейна Волги, данный метод может быть использован для других крупных водохранилищ Волжско-Камского каскада.

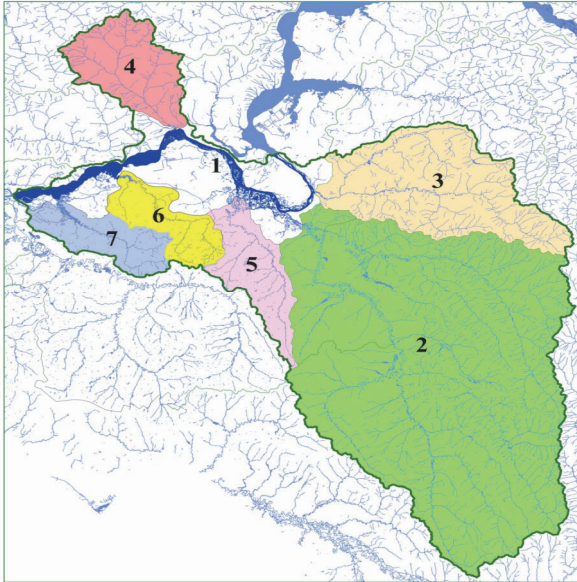


Рис. 7. Основные боковые притоки 1 порядка Саратовского водохранилища (1):  
 2 – Самара; 3 – Сок; 4 – Сызранка; 5 – Чапаевка; 6 – Чагра; 7 – Малый Пргиз

При разработке подходов к регулированию диффузного загрязнения Саратовского водохранилища в качестве объекта исследования был выбран бассейн р. Большой Кинель. Это приток р. Самары, который интенсивно используется для хозяйственно-питьевого водоснабжения городов Отрадный и Кинель. Предпринята попытка распределить нагрузку между боковыми притоками 1–13 (рис. 8). Больше всего биогенных веществ попадает в р. Большой Кинель из бассейна р. Малый Кинель (8), водосборная территория которой полностью используется для целей сельского хозяйства. В бассейне р. Большой Кинель наиболее сильно биогенными веществами загрязнены реки: Сарбай (7), Турхановка (3), Мочегай (2) и Ереуз (4).

В целях предотвращения поступления в водные объекты загрязненных поверхностных вод используются следующие мероприятия: создание водоохраных зон, высадка лесополос, устройство бессточных каналов, прудов накопителей, заболачивание территории, снегозадержание и др. Мероприятия в данном случае можно разделить на группы:

– мероприятия, позволяющие снизить объем образующихся загрязненных вод;

- мероприятия, позволяющие перехватить объем загрязнений в транзитной зоне от источника загрязнений до водного объекта;
- мероприятия, направленные на повышение самоочищающей способности водных объектах.

При этом основная проблема – это оперативное внедрение современных сельскохозяйственных технологий, направленных на сокращение диффузного загрязнения водных объектов.

Для практического управления антропогенной нагрузкой от точечных источников загрязнения в институте разрабатывается технология регулирования сброса загрязняющих веществ в реки от точечных источников загрязнения.

В настоящее время основным механизмом регулирования точечных источников является разработка для них нормативов допустимых сбросов (НДС) загрязняющих веществ в водные объекты. Главным недостатком действующей методики расчета НДС является использование в качестве критериев нормирования предельно допустимых концентраций (ПДК), значения которых определяются видом водопользования и не учитывают природных особенностей водных объектов.

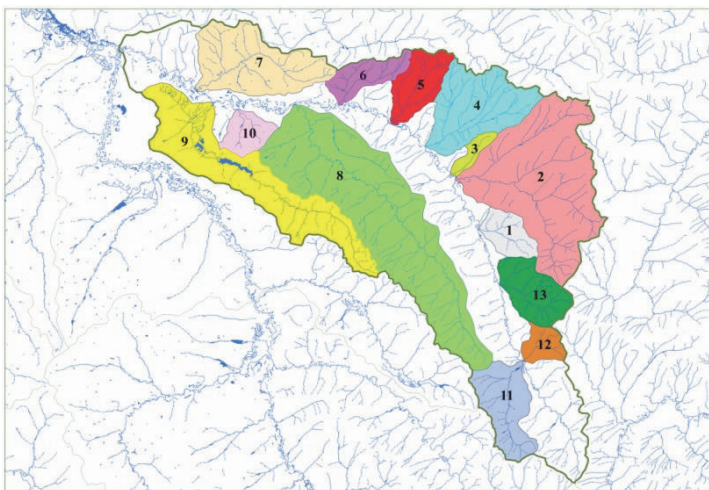


Рис. 8. Распределение водосборных территорий малых рек в бассейне р. Б. Кинель

Для повышения эффективности существующей системы регулирования необходимо опираться на всесторонний анализ состояния водного объекта и воздействующих на него источников загрязнения, а также учитывать региональные и бассейновые особенности формирования качества вод, выявленные в результате мониторинга рек. Предлагаемая технология регулирования антропогенного воздействия включает:

- определение фоновых концентраций химических веществ в речной воде по данным локального и фонового мониторинга качества речных вод;
- расчет техногенной составляющей формирования качества речных вод на основе данных государственной статистической отчетности водопользователей (форма 2тп-водхоз) и данных государственного водного кадастра;
- разработка критериев регулирования техногенной нагрузки с учетом природных особенностей речных бассейнов;
- разработка нормативов допустимого сброса загрязняющих веществ с учетом их генезиса.

На основании оценки разнообразия качества поверхностных речных вод представляется целесообразным использование единых для территории всей страны предельно допустимых концентраций (ПДК) в качестве критериев при регулировании антропогенного воздействия на реки. Для совершенствования регулирования антропогенного воздействия для каждого водного объекта (или участка водного объекта) следует разрабатывать бассейновые допустимые концентрации (БДК), учитывающие природные особенности формирования гидрохимического фона.

Нормирование антропогенного воздействия на водные объекты целесообразно производить раздельно в зависимости от генезиса (происхождения) загрязняющего вещества. Для веществ антропогенного происхождения нормирование сточных вод следует осуществлять по действующей методике с учетом вида водопользования на основе федеральных ПДК, полученных в результате лабораторных испытаний. Для веществ двойного генезиса (природного и антропогенного) – на основе БДК, полученных по данным мониторинга водных объектов по экспериментальной методике.

Предлагаемая технология регулирования антропогенного воздействия основывается на учете гидрохимических особенностей водных объектов. Основными базовыми принципами технологии являются:

- принцип бассейнового деления территории, как основа эффективного регулирования антропогенного воздействия с учетом природных особенностей водного объекта;
- принцип индивидуальности заключается в том, что в каждой реке формируется особенное природное качество воды, свойственное данной водосборной территории и зависящее от региональных (природно-климатических) и местных (бассейновых) условий;
- принцип сдерживания заключается в том, что антропогенное воздействие не должно приводить к существенному изменению гидрохимического фона реки, в противном случае последует нарушение экологического состояния водных объектов и ухудшение качества вод;
- принцип разделения заключается в том, что нормирование химического воздействия следует осуществлять раздельно: для веществ антропогенного происхождения (на основе федеральных ПДК), полученных в лабораторных условиях, а для веществ двойного генезиса на основе бассейновых допустимых концентраций (БДК), учитывающих природные гидрохимические особенности водных объектов.

## **Выводы**

Для создания условий для устойчивого водопользования в бассейне р. Волги в ближайшей перспективе предстоит решать следующие задачи:

1. Координация научных исследований по изучению процесса массового развития цианобактерий на водохранилищах и разработка водоохранных мероприятий по предотвращению «цветия воды» и минимизации его негативных последствий.
2. Разработка Программы сокращения сброса неочищенных сточных вод с не канализированных территорий. Минимизация сброса биогенных веществ в составе сточных вод за счет модернизации сооружений биологической очистки и внедрением технологии глубокого удаления биогенных веществ. Внедрение химических методов удаления фосфора фосфатов. Для снижения биогенной нагрузки необходимо рассмотреть возможность внесения изменений или дополнений в федеральные и региональные программы: «Развитие водохозяйственного комплекса» и «Развитие коммунальной инфраструктуры».
3. Создание информационной базы данных об источниках диффузного загрязнения с использованием ГИС-технологий и каталога современных технологий ведения сельского хозяйства для минимизации поступления диффузного загрязнения с водосборных территорий боковых притоков. В целях предотвращения диффузного загрязнения водных объектов предлагается использовать следующие мероприятия: внедрение современных технологий использования минеральных удобрений; создание водоохраных зон и прибрежных полос; посадка лесных полос; устройство бессточных прудов и каналов; заболачивание территорий и снегоза-



держание и др. Защитные мероприятия можно разделить на три группы: 1-я группа – это снижение объема загрязняющих вод; 2-я группа – перехват объема загрязнений в транзитной зоне; 3 – повышение самоочищающей способности водных объектов.

4. Оптимизация сезонного, недельного и суточного режима регулирования водного стока на гидроузлах. При регулировании процесса «цветения воды» в условиях неблагоприятных метеорологических условиях следует обратить внимание на недельное регулирование водного стока на гидроузлах. В выходные дни расходы воды в створах гидроузлов могут понижаться до уровня санитарных пусков. В результате проточность водохранилищ снижается, и создаются благоприятные условия для массового развития цианобактерий. Представляется целесообразным внести изменения в действующие «Правила эксплуатации водохранилищ» для оптимизации недельного режима регулирования водного стока при неблагоприятных метеорологических условиях.

5. Разработка соглашений о трансграничном переносе биогенных веществ по каскаду Волжско-Камских водохранилищ. В Волжский бассейн входят полностью или частично 39 субъектов РФ, которые вносят свою лепту в формирование биогенной нагрузки на р. Волгу. Предстоит оценить вклад каждого субъекта РФ в формирование биогенной нагрузки и ранжировать их по степени негативного воздействия. В этих регионах должны быть разработаны региональные Программы поэтапного снижения биогенной нагрузки.

#### Список литературы

1. Будыко М. И., Ефимова Н. А., Лугина К. М. Современное потепление // Метеорология и гидрология. 1993. № 7. С. 29–34.
2. Вуглинский В. С. Водные ресурсы и водный баланс крупных водохранилищ СССР. Л. : Гидрометеодат, 1991. 223 с.
3. Дмитриева В. А., Нефедова Е. Г. Гидрологическая реакция на меняющиеся климатические условия и антропогенную деятельность в бассейне Верхнего Дона // Вопросы географии. 2018. № 145. С. 285–297.
4. Копылов А. И. Сезонные и межгодовые колебания первичной продукции фитопланктона в Рыбинском водохранилище: влияние погодных и климатических изменений / А. И. Копылов [и др.] // Водные ресурсы. 2019. № 46 (3). С. 270–277.
5. Коронкевич Н. И., Зайцева И. С. Антропогенные воздействия на водные ресурсы России и сопредельных государствах в конце XX столетия. М. : Наука, 2003. 367 с.
6. Литвинов А. С., Законнова А. В. Термический режим Рыбинского водохранилища при глобальном потеплении // Метеорология и гидрология. 2012. № 9. С. 91–96.
7. Селезнева А. В. Оценка диффузного загрязнения Саратовского водохранилища // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2018. Т. 20, № 5-2(85). С. 196–203.
8. Массовое развитие водорослей на водохранилищах р. Волги в условиях маловодья / А. В. Селезнева [и др.] // Поволжский экологический журнал. 2014. № 1. С. 88–96.
9. Содержание растворенного кислорода в воде Куйбышевского водохранилища в условиях массового развития водорослей / К. В. Селезнева [и др.] // Вестник ВГУ. Серия: География. Геоэкология. 2022. № 3. С. 97–108.
10. Слынько Ю. В., Терещенко В. Г. Рыбы пресных вод Понто-Каспийского бассейна (Разнообразие, фауногенез, динамика популяций, механизмы адаптации). М. : Полиграф Плюс. 2014. 328 с.
11. IPCC: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / T. F. Stocke [et al.]. 2013. Cambridge University Press. Cambridge. United Kingdom and New York. NY. USA. 1535 p.

УДК 911.52:556.164

**Совокупность потоков вещества как механизм формирования геохор**Ю. М. Семенов (yumsemenov@mail.ru)<sup>1,2</sup>, М. Ю. Семенов (smu@mail.ru)<sup>3</sup>,  
А. В. Силаев (anton\_s@bk.ru)<sup>1</sup><sup>1</sup> *Институт географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, Иркутск, Россия*<sup>2</sup> *Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия*<sup>3</sup> *Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, Россия*

**Аннотация.** Формирование структуры геосистем рассмотрено как результат взаимосвязанных и взаимообусловленных процессов миграции вещества. Изучение поведения вещества в геосистемах проводилось одновременно для геомеров и геохор. Установлена определяющая роль радиальной дифференциации вещества в типизации геомеров, а латеральной – в интеграции сопряженных топогеосистем и формировании их внутригеохорной мозаики. Исследования степных топогеосистем привели к пониманию рисунка геохор как отражения дифференциации их вещества и позволили выйти на сопряженное картографирование геомеров и геохор. Разработана методология геоэкологического мониторинга, основанная на выявлении источников загрязнения и наблюдении связей между ними и объектами окружающей среды путем рассмотрения техногенного вещества объектов как смесей, а вещества источников как их компонентов. Для выявления источников загрязнения, определения зон их воздействия и структуры загрязнения рассчитаны показатели загрязнения поверхностных вод и ассимиляции поллютантов. Идентификация гидрологически-чувствительных ландшафтов позволила оценить роль аккумулятивных ландшафтов в депонировании загрязнителей и загрязнении поверхностных вод с целью снижения риска попадания аккумулятивного в них вещества в водные объекты.

**Ключевые слова:** геосистемы, геомеры, геохоры, классификация, районирование, потоки вещества, поверхностный сток, геоэкологический мониторинг, гидрологически-чувствительные ландшафты.

**Роль миграции вещества в дифференциации и интеграции топогеосистем**

Геосистемный подход к изучению дифференциации вещества предполагает взаимосвязь и взаимообусловленность миграции вещества в сопряженных топогеосистемах. Организация геосистем, то есть их внутренняя упорядоченность и взаимосвязанное функционирование морфологических частей и компонентов, так или иначе отражается в дифференциации их вещественной составляющей, приводя к определенной последовательности изменения вещества геосистем и новым пространственным сочетаниям его показателей. Однако исследования роли миграции вещества в организации геосистем, проведенные в Онон-Аргунской степи (Юго-Восточное Забайкалье), показали, что в условиях низкогорного и среднегогорного рельефа существует разобщенность частей геохор в ландшафтно-геохимическом плане, когда участки одной и той же геосистемы оказываются по разные стороны водоразделов, непроходимых для водных, большинства воздушных и механических мигрантов. Поэтому для обобщения результатов исследования дифференциации вещества были выделены так называемые элементарные стоковые ландшафтно-геохимические бассейны (ЭБ). В пределах каждого из них наиболее сложная система дифференциации вещества наблюдается в тех геосистемах, которые находятся на стыке разнонаправленных потоков вещества.

Примером могут служить трансэлювиально-аккумулятивные микрогеохоры долины р. Шарасун, где формирование геосистем идет при участии вещества, как движущегося по склонам, так и принесенного речными водами. Наоборот, в геохорах пологих склонов, где движение вещества осуществляется главным образом латеральными фронтальными потоками, неоднородность ландшафтной структуры практически не выражена. Общее направление дифференциации вещества в бассейне р. Шарасун, представляющем бассейн более высокого порядка по отношению к элементарным, – от верховий из элювиальных ЭБ через транзитные до аккумулятивных. Элювиально-аккумулятивные ЭБ, не имеющие выходящих потоков, остаются в стороне от общей системы движения вещества.

Изучение поведения вещества в геосистемах, направленное на познание механизмов их дифференциации и интеграции, проводилось поэтапно – для различных уровней ландшафтной

организации. Важной частью работы было познание роли радиальной дифференциации вещества в типизации геомеров, а латеральной – в интеграции геохор. Поэтому дифференциация вещества одновременно рассматривалась в объектах ландшафтно-геохимического анализа (геомерах) и ландшафтно-геохимического синтеза (геохорах). С этой целью были определены запасы вещества, выявлены их амплитуды для каждого иерархического ранга топогеомеров и различия внутри таксонов [6]. Установлено, что дифференциация геосистем определяется радиальной дифференциацией вещества, причем каждому иерархическому уровню геомеров топологического уровня соответствуют определенные амплитуды запасов вещества в почвах и фитомассе, возрастающие с рангом таксона. Это позволяет классифицировать геомеры с использованием результатов ландшафтно-геохимического анализа через учет абсолютных количеств вещества в их компонентах, тем более что внутри таксонов геомеры различаются по абсолютным количествам тех или иных элементов или их радиальной дифференциации. Интеграция геосистем обуславливается латеральными потоками вещества, причем для низших уровней геохор характерны однонаправленная миграция и единый баланс дифференциации вещества, а всем рангам геохор топологической размерности соответствуют конкретные ранги геомеров с определенными лимитами изменчивости абсолютных количеств вещества в компонентах подчиненных геомеров, ареалы распространения которых ограничиваются рамками данных геохор [6; 15].

В системе склоновой дифференциации вещества ключевым звеном являются микрогеохоры: именно на этом уровне закладывается склоновая дифференциация геосистем, которая оказывается значительно сложнее традиционной схематической картины сопряженных рядов фаций. Водораздельные микрогеохоры, образованные геомерами элювиальных и прилегающих к ним трансэлювиальных местоположений, имеют отрицательный баланс дифференциации вещества и резкое превалирование латеральных потоков над радиальными. В большинстве склоновых микрогеохор баланс дифференциации вещества – также отрицательный, с преобладанием латеральной миграции, но масштабы выноса вещества здесь сильно варьируют в зависимости от крутизны склонов, свойств почв и пород. Микрогеохоры вогнутых частей длинных склонов и нижних частей пологих склонов, а также супераквальные микрогеохоры долин рек и ручьев с полугидроморфными фациями, иногда имеют нулевой баланс дифференциации вещества со слабым преобладанием радиальных потоков. В то же время супераквальные микрогеохоры с гидроморфными фациями характеризуются положительным балансом дифференциации вещества и доминированием радиальных потоков. Супераквальным и субаквальным галоморфным микрогеохорам свойствен положительный баланс дифференциации вещества с выраженным преобладанием латеральных потоков. Поэтому поэтапную интеграцию геохор целесообразно осуществлять на основе ландшафтно-геохимического синтеза геосистем через учет абсолютных количеств вещества и выявление балансов миграционных потоков в подчиненных геохорах [6].

Совместные исследования структуры степных топогеосистем и дифференциации вещества привели к пониманию того факта, что рисунок геохор отражает результаты латеральной миграции вещества, а физико-географическое районирование – это классификация геохор, что позволило выйти на сопряженное картографирование геомеров и геохор [15].

### **Геоэкологический мониторинг бассейна оз. Байкал**

Геосистемы различаются по уровню пространственной организации и регулирования качества поверхностных вод в зависимости от характера сопряжения автономных и транзитных ландшафтов с аккумулятивными, обладают разной способностью к депонированию загрязнителей. Поэтому загрязнение вод можно также рассматривать как функцию (отражение) организации ландшафта в большей степени, нежели интенсивности антропогенного воздействия. Существование оптимальных взаимоотношений природы и общества возможно только при создании между ними соответствующих интеграционных процессов в рамках «сотворчества человека с природой» [7]. Поэтому разработка технологий мониторинга и прогнозирова-

ния состояния окружающей среды для предотвращения ее загрязнения и минимизации экологических рисков является одной из важнейших задач прикладной географии и геоэкологии. Цель мониторинга – предупреждение негативных последствий воздействия человека на природу. Для ее достижения необходимо определить источники негативного антропогенного воздействия и выявить тенденции изменения окружающей среды. Вместе с тем единые четкие алгоритмы выявления источников и прогнозирования комплексных изменений среды до сих пор не разработаны.

Выявление пространственно-временной структуры загрязнения бассейна оз. Байкал проводилось на базе анализа его ландшафтной организации и закономерностей распределения загрязнителей. Для достижения этой цели решались задачи выявления пространственных и временных закономерностей загрязнения объектов природной среды, оценки уровней организации ландшафтов, установления структуры загрязнения и картографирования результатов исследования [5].

Преобладающими агентами массопереноса в бассейне Байкала служат воды, поэтому при создании базы данных и разработке концепции формирования состава вещества компонентов геосистем нами использовались результаты изучения пространственного разнообразия состава поверхностных вод и роли разных источников растворенного вещества в их дифференциации. Сначала была оценена пространственная вариабельность содержания металлов в водах и донных отложениях притоков Байкала. Затем был рассчитан вклад притоков в формирование состава металлов байкальской воды, составлена схема районирования южного Прибайкалья по способности обеспечивать тот или иной состав вод и выделены ландшафтно-гидрохимические системы Южного Прибайкалья по минерализации, макро- и микроэлементному составу и дренируемым породам. Оценка вклада притоков в химический состав воды Байкала базировалась на принципах трассерной гидрологии, но между подходами к неорганическому и органическому веществу есть существенное отличие. В первом случае трассерами притоков выступали абсолютные величины концентраций металлов, а во втором – отношения концентраций органических веществ и высвобождающегося в результате их разложения минерального азота (или, в случае не содержащих азот соединений, в результате параллельного разложения азотсодержащего вещества). Другими словами, вклады притоков были оценены на основе степени разложения органического вещества воды Байкала и его притоков. Такой подход является примером междисциплинарного подхода к исследованию процессов и механизмов загрязнения и самоочищения, поскольку использует методы гидрологии, гидрохимии, биогеохимии и даже почвоведения.

С целью идентификации источников загрязнения, выявления зон их влияния и структуры загрязнения оценена загрязненность поверхностных вод и скорости ассимиляции загрязнителей (САЗ) в них. В качестве параметров загрязненности рассматривались массовые расходы загрязнителей (МРЗ) – минерального азота, органического углерода, ПАУ и микроэлементов (включая тяжелые металлы) в контрольных створах. САЗ рассчитывалась по разности между массовыми расходами загрязнителя в нижнем и верхнем створе. Показано, что вне зависимости от размера реки наименьшие величины САЗ наблюдаются на незагрязненных участках зимой и весной, а наибольшие – на загрязненных участках летом и осенью. По-видимому, это связано с наложением природных процессов высвобождения химических элементов на техногенные в теплый период. Величины САЗ в крупных реках в несколько раз выше, чем в средних и малых реках. Наибольшие величины САЗ получены для Байкала. Величины МРЗ и САЗ, пересчитанные на единицу площади дренируемого участка водосбора, показывают величину техногенной нагрузки на наземные экосистемы. Сопоставление картосхем величин техногенной нагрузки на наземные экосистемы, рассчитанной на основе МРЗ и САЗ, с картосхемой структуры хозяйственной деятельности позволило выявить основные антропогенные источники загрязнения. Ими оказались котельные, работающие на угле, и поверхностный сток с урбанизированных территорий.

Полученная таким образом общая картина пространственного распределения источников загрязнения и ареалов ассимиляции загрязнителя была детализирована для полициклических ароматических углеводородов (ПАУ). В итоге были впервые разработаны показатели состава вод, единые для Байкала и его притоков, связывающие их загрязнение с условиями водосборного бассейна – это величина техногенной нагрузки на экосистему (ПАУ/Сорг) и показатель ее способности нейтрализовать загрязнение (N<sub>мин</sub>/Сорг). ПАУ/Сорг и N<sub>мин</sub>/Сорг использовались одновременно как трассеры для расчета вкладов притоков в органическое вещество озера. На их основе выделены участки водосборного бассейна и акватории озера (аквахоры и геохоры), характеризующиеся различными уровнями загрязнения, способности к самоочищению и концентрации органического углерода в поверхностных водах. Кроме того впервые был предложен подход к сопряженной оценке величин допустимых нагрузок загрязнителей на водные и наземные геосистемы, основанный на оценке скорости удаления (ассимиляции) или поступления загрязнителя по разности его массового расхода в нижнем и верхнем створах выбранного участка реки. Эта скорость рассматривалась как величина современной нагрузки загрязнителя, максимально допустимое поступление загрязнителя между створами, рассчитанное на основе ПДК – как предельно допустимая нагрузка, а разность между предельно допустимой и современной нагрузками – как допустимая нагрузка на геосистему [5].

Результатом этих исследований стала методология геоэкологического мониторинга на базе принципа смешения с рассмотрением объектов в качестве смесей, а источников вещества в качестве их компонентов. С ее использованием были установлены пространственные и временные закономерности загрязнения объектов природной среды, проведена оценка уровней организации ландшафтов, выявлена структура загрязнения бассейна Байкала, определяемая как совокупность связей между распределением загрязнителей в пространстве и времени, обоснованы методические подходы к разработке картографического обеспечения мониторинга и составлена серия карт [5].

### **Выявление гидрологически-чувствительных ландшафтов**

При исследовании происхождения загрязняющих веществ в водах в качестве их источников обычно рассматриваются газопылевые выбросы заводов, неочищенные стоки коммунальных предприятий, валяющийся на берегу мусор и т. д. Однако фактически непосредственными источниками загрязнения вод являются неприметные понижения рельефа, пологие части склонов или заболоченные участки поймы, куда в течение зимы или засушливого лета ветром или водой сносятся загрязнители. Накопленные в таких аккумулятивных ландшафтах загрязняющие вещества с поверхностным и грунтовым стоком попадают в близлежащие реки и ручьи. Предотвращение или прекращение поступления загрязнителей в водные объекты невозможно без выявления ландшафтов, из которых происходит загрязненный сток.

В России подобные работы не проводились, а главным отличием нашего подхода от подходов от зарубежных является оценка способности аккумулятивных ландшафтов депонировать загрязняющие вещества. Предполагается классифицировать геосистемы по уровню их пространственной организации и регулирования качества поверхностных вод, выявить первичные источники и пути миграции загрязняющих веществ (потоки). Первичными источниками загрязнения вод являются различные промышленные, коммунально-бытовые объекты и сельскохозяйственные угодья. До поступления в водный объект загрязнители неоднократно рассеиваются и концентрируются, а в периоды с большим количеством осадков трансэлювиально-аккумулятивные, аккумулятивные и трансаккумулятивные ландшафты становятся вторичными источниками воды, растворенного и взвешенного вещества. Поэтому, обнаружив места временной аккумуляции поллютантов на пути от источников к водным объектам и оценив закономерности их распределения, можно не только воспрепятствовать попаданию накопленных там примесей в водный объект, но и выявить их первичные источники.

В настоящее время исследований роли аккумулятивных ландшафтов в депонировании загрязнителей и загрязнении поверхностных вод проводится явно недостаточно, хотя теоретические основы и предпосылки для познания в российском естествознании имеются. С точки

зрения геохимии ландшафтов они служат геохимическими барьерами [4], а с точки зрения гидрологии суши – участками формирования стока [1; 2]. В зарубежной литературе [13] такие объекты называют гидрологически-чувствительными территориями (hydrologically sensitive areas – HSA). При наличии на HSA отходов промышленных, коммунальных или аграрных объектов они могут стать источниками загрязнения поверхностных вод [12] – критическими территориями-источниками (critical source areas – CSA). В отечественных источниках присутствует понятие «гидрологическая чувствительность ландшафта» [3; 8], «пришедшее» из ландшафтного планирования, где его используют при оценке современного состояния территории как меру способности ландшафта реагировать на изменение гидрологической ситуации.

Отработка и уточнение разрабатываемой методики исследования роли аккумулятивных ландшафтов в депонировании загрязнителей проводились в ходе исследований геосистем бассейна р. Селенги – главного притока оз. Байкал. План реализации проекта включал создание цифровой модели рельефа (ЦМР) территории, выявление с ее помощью гидрологически-чувствительных ландшафтов, а также установление территорий, являющихся источниками загрязнения поверхностных вод, путем проверки уровней содержания загрязнителей в почвах и водах HSA [11]. В ходе реализации проекта использовались методы геоинформационного моделирования и выявления источников загрязнения путем виртуального разделения смеси загрязнителей на компоненты [5; 11]. Для выявления участков накопления стока (FA) и расчета TWI за основу были взяты находящиеся в свободном доступе данные глобальной цифровой модели поверхности (DSM) ALOS World 3D – 30m (AW3D30). Цифровая модель рельефа была переведена в проекцию WGS84 UTM Zone 48N после предварительной обработки инструментами Simple Filter и Fill Sinks в программе SAGA GIS с целью фильтрации некорректных значений высот. Далее с использованием откорректированной модели рельефа были рассчитаны значения TWI [10].

Полученное растровое непрерывное индексированное изображение было преобразовано в векторный слой, пригодный для обработки и анализа. В целях повышения информативности карта была генерализована, а векторное изображение пространственного распределения величин TWI трансформировано в линейное и сглажено с использованием инструмента Smooth в программе QGIS. Карта TWI отражает влажность почв исследуемой территории и способность почвы к формированию поверхностного стока, т. е. в первом приближении ее можно считать картой гидрологически-чувствительных участков водосбора (HSA). Так как некоторые участки территории с высокими величинами TWI, могли оказаться бессточными понижениями, для проверки наличия стока воды с этих участков в реки и выделения участков наибольшего накопления стока на основе ЦМР с использованием модели Flow Accumulation (FA) была создана карта суммарного стока [14].

Наибольшие величины TWI соответствовали руслам рек и временных водотоков, наименьшие – верхним частям склонов и поверхностям водоразделов. Так как русла и водоразделы в формировании поверхностного стока не участвуют, требовалось определить диапазоны величин TWI, характерные для HSA как тех участков бассейна, где в результате выпадения атмосферных осадков при насыщении почвы водой до полной влагоемкости формируется сток, главным образом, поверхностный. Это возможно в двух случаях: 1) количество осадков превышает величину влагоемкости почвы, причина низкой влагоемкости – малая мощность профиля почв верхних частей склонов (TWI = 12–15); 2) почва уже насыщена влагой, и ее остаточная емкость по отношению к воде невелика – в долинах рек, где зеркало грунтовых вод близко к поверхности (TWI = 15–18) [11].

В результате проведенных полевых работ отобраны модельные полигоны для отработки методики картирования гидрологически-чувствительных участков и первичных источников загрязнения. Основные исследования проводились на модельной территории г. Улан-Удэ, являющегося одним из основных загрязнителей вод р. Селенги и оз. Байкал. Выявление HSA производилось путем взаимного наложения карт пространственного распределения величин TWI и участков максимального FA. В качестве истинных HSA были идентифицированы

те участки предварительно установленных HSA, контуры которых располагаются в пределах участков поверхности с максимальным FA, то есть находятся на пути наиболее интенсивных временных водных потоков. Правильность идентификации HSA, проведенная в ходе дальнейших полевых работ, была подтверждена во всех случаях.

Так как условием формирования критических территорий-источников (CSA) является совпадение зоны действия источника загрязнения с HSA, составленная для выделения CSA карта производственных объектов (РПО) была наложена на карту пространственного распределения HSA, и фрагменты HSA в границах РПО были идентифицированы как CSA.

Кстати, зона воздействия источника загрязнения не всегда прослеживается с использованием традиционных ландшафтно-геохимических методик, поэтому результаты идентификации CSA и выявления границ природно-техногенных геоохор необходимо проверять. Например, Е. А. Хайрулиной [9] обнаружено формирование подобных ландшафтов в результате поступления солей из солеотвалов и шламохранилищ Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей, где фильтрационные воды, активно мигрируя с подземными водами, разгружаются в долинах рек, трансформируя геохимические параметры лугово-аллювиальных ландшафтов во вторичные сульфидные солончаки, хотя вокруг самих техногенных источников развиваются незасоленные почвы.

В нашем случае корректность выделения CSA подтверждена результатами оценки уровня загрязнения почв г. Улан-Удэ. Установлено, что благодаря разным режимам работы и разной мощности предприятий уровни загрязнения почв разных CSA сильно различались. Тем не менее средний уровень загрязнения почв всех CSA был примерно в 2–3 раза выше среднего уровня загрязнения почв за пределами CSA и в 5–10 раз выше уровня загрязнения почв за пределами Улан-Удэ.

Таким образом, исследование роли миграции вещества в дифференциации и интеграции геосистем, идентификация пространственно-временной структуры их загрязнения и выявление гидрологически-чувствительных ландшафтов – это этапы познания организации геосистем и попытка разработать методический аппарат обеспечения одного из путей «сотворчества человека с природой».

*Исследование выполнено за счет средств государственных заданий АААА-А21-121012190059-5 и АААА-А21-121032300199-9).*

#### Список литературы

1. Антипов А. Н., Федоров В. Н. Ландшафтно-гидрологическая организация территории. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2000. 254 с.
2. Виноградов Ю. Б., Виноградова Т. А. Современные проблемы гидрологии. М. : Академия, 2008. 322 с.
3. Гагарина О. В., Ковальчук О. А. Гидрологические факторы в ландшафтном планировании бассейна озера Байкал // География и природные ресурсы. 2012. № 4. С. 58–64.
4. Перельман А. И. Геохимия ландшафта. М. : Высш. шк., 1975. 331 с.
5. Выявление пространственно-временной структуры загрязнения бассейна озера Байкал на базе анализа его ландшафтной организации и закономерностей распределения загрязнителей / Ю. М. Семенов [и др.] // Экологические проблемы бассейна озера Байкал : сб. материалов Всерос. науч. конф. с междунар. участием. Улан-Удэ, 28.08–01.09.2022. Улан-Удэ : Изд-во БНЦ СО РАН, 2022. С. 97–101.
6. Снытко В. А., Семенов Ю. М. Микрогеохоры как отражение дифференциации вещества в геосистемах // Доклады Академии наук СССР. 1979. Т. 244, № 2. С. 455–457.
7. Сочава В. Б. Введение в учение о геосистемах. Новосибирск : Наука, 1978. 319 с.
8. Федоров В. Н. Ландшафтная индикация речного стока. Иркутск ; М : Изд-во ИГ СО РАН, 2007. 175 с.
9. Хайрулина Е. А. Роль биогеохимических процессов в формировании сульфидных ландшафтов при техногенном галогенезе // Теоретические и прикладные проблемы ландшафтной географии. VII Мильковские чтения : материалы XIV Междунар. ландшафт. конф. Воронеж, 17–21.05.2023. Воронеж : Изд-во ВГУ, 2023. Т. 1. С. 323–325.
10. Beven K. J., Kirkby M. J. A physically based, variable contributing area model of basin hydrology // Hydrological Science Bulletin. 1979. Vol. 24, Iss. 1. P. 43–69.
11. Identifying and characterizing critical source areas of organic and inorganic pollutants in urban agglomeration in Lake Baikal watershed / M. Yu. Semenov [et al.] // Sustainability. 2022. Vol. 14. Art. 14827.

12. Identifying critical source areas using multiple methods for effective diffuse pollution mitigation / S. M. Reaney [et al.] // *Journal of Environmental Management*. 2019. Vol. 250. Art. 109366.
13. Identifying hydrologically sensitive areas: bridging science and application / L. J. Agnew [et al.] // *Journal of Environmental Management*. 2006. Vol. 78. P. 64–76.
14. New approach for dealing with depressions in digital elevation models when calculating flow accumulation values / N. A. Arnold [et al.] // *Progress in Physical Geography*. 2010. Vol. 34. P. 781–809.
15. *Semenov Yu. M.* Structure of Topogeochores and Modern Landscape-Geochemical Processes // *Landscape Patterns in a Range of Spatio-Temporal Scales*. Landscape Series. Springer, Cham. 2020. Vol. 26. P. 153–161.



## ПРОБЛЕМЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ СРЕД И ОЦЕНКИ ИХ КАЧЕСТВА

УДК 57.04/613.2

### Оценка безопасности питания населения региона как отражение проблемы загрязнения среды обитания

Б. А. Баландович (dr.balandovich@mail.ru), А. И. Мартыненко (amart60@rambler.ru),  
С. В. Широкоступ (shirokostup@yandex.ru), О. И. Швед (siboshv@gmail.com),  
И. В. Индюшкин (indigovic@mail.ru), А. С. Нагорняк (tezaurismosis@gmail.com)

*АГМУ Минзорава России, г. Барнаул, Россия*

**Аннотация.** Проблема загрязнения продуктов питания, находящихся в обороте на территории Алтайского края, как типичного агропромышленного региона Сибирского федерального округа недостаточно проработана и требует детального изучения с последующим применением мер профилактики загрязнения продуктов ксенобиотиками. Целью исследования – проведение комплексной оценки безопасности питания населения Алтайского края, как индикатора загрязнения среды обитания, позволяющего обосновать применение мер по дальнейшему совершенствованию профилактики алиментарно-зависимых заболеваний (АЗЗ) и рационализации питания населения. Объекты исследования – продукты питания, находящиеся в розничном обороте на территории Алтайского края. Содержание нитратов в плодовоовощной продукции определялось с помощью ионометрического метода, а также с применением капиллярного электрофореза. Оценка рисков воздействия нитратов на организм человека выполнена по общепринятой методике МР 2.1.10.0062-12 «Количественная оценка неканцерогенного риска при воздействии химических веществ на основе построения эволюционных моделей». По результатам исследования выявлено загрязнение продуктов питания, реализуемых и производимых на территории Алтайского края, химическими элементами, в том числе нитратами. Анализ заболеваемости АЗЗ показывает рост заболеваемости такими нозологическими формами, как новообразования, сахарный диабет, ожирение. Оценка коэффициентов опасности (НҚ) нитратов, содержащихся в плодовоовощной продукции, показывает, что величины НҚ не превышают единицу, что характеризует воздействие нитратного компонента на здоровье человека, как допустимое при поступлении в рассчитанном количестве в течение жизни. Уровень загрязнения растительных продуктов из приусадебных участков оказался достоверно выше, чем уровень загрязнения нитратами продуктов растительного происхождения промышленного производства.

**Ключевые слова:** безопасность питания, загрязнение среды обитания, алиментарно-зависимые заболевания, нитратная контаминация, оценка риска.

### Введение

Оценка безопасности питания населения любого региона является необходимым, хотя и не единственным, условием обеспечения безопасности и полноценности питания, а также основой для принятия Программ местного и регионального назначения, призванных оптимизировать и рационализировать питание населения региона. Питание всех групп населения на региональном уровне является важной проблемой, которая с одной стороны обозначена техническим регулированием пищевой продукции, а с другой стороны связана с многочисленными экологическими и социальными факторами риска, влияющими на безопасность потребляемых продуктов. В связи с недостаточными данными по степени загрязненности продуктов питания контаминантами, нет возможности в настоящее время объективно оценить степень воздействия на организм человека некачественной продукции, риски воздействия и вклад их

в возникновение у человека определенных отклонений в состоянии здоровья. Данное обстоятельство требует проведение отдельных мероприятий по совершенствованию лабораторной деятельности для повышения эффективности оценки экологической составляющей питания, как индикатора, отражающего загрязнение среды обитания региона.

Цель исследования – проведение комплексной оценки безопасности фактического питания населения Алтайского края, позволяющей обосновать применение мер по дальнейшему совершенствованию профилактики алиментарно-зависимых заболеваний.

Задачи исследования:

1) выполнить оценку безопасности питания населения региона и качества пищевой продукции по показателям, которые регламентируются действующей нормативной документацией с исследованием продуктов питания растительного происхождения на содержание в них нитратов с помощью двух методов лабораторного анализа – метода капиллярного электрофореза и ионометрического метода;

2) выполнить анализ заболеваемости алиментарно-зависимыми заболеваниями на территории Алтайского края и оценить риски возникновения АЗЗ при нитратной контаминации пищевых продуктов;

3) провести сравнительную оценку уровня загрязнения нитратами продуктов питания, купленных в торговой сети Алтайского края, и продуктов, выращенных на собственных приусадебных участках.

### **Материалы и методы исследования**

Лабораторная часть исследования выполнялась на базе испытательных лабораторий ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Алтайском крае» и ФГБОУ ВО «Алтайский государственный медицинский университет» Минздрава России.

С целью проведения исследования были определены группы пищевых продуктов для изучения содержания в них основных токсикантов, в том числе нитратов, что является необходимым условием оценки загрязнения пищевой продукции, находящейся в обороте на территории региона.

Исследования были проведены в период с 2013 по 2022 г., ретроспективные данные для анализа взяты за 2006–2016 гг.

Объектом исследования были продукты питания, находящиеся в розничном обороте на территории Алтайского края. Всего исследовано 683 пробы продуктов питания. Содержание нитратов в плодовоовощной продукции определялось с помощью ионометрического метода (505 проб) и метода капиллярного электрофореза (178 проб).

Полученные материалы были статистически обработаны. Методы статистической обработки были выбраны на основании характера распределения изучаемых признаков, дизайна исследования и типа данных (количественные или качественные) [1].

Материалами для ретроспективного анализа послужили данные официальной статистики Управления Роспотребнадзора по Алтайскому краю, собранные за 2011–2022 гг. [1; 2]. Выполнен анализ более 70 тысяч результатов лабораторных исследований по органолептическим, санитарно-химическим, микробиологическим и радиологическим показателям безопасности. Статистическая обработка данных по стандартизованным методикам выполнена в программе Microsoft Office Excel 2016.

Для определения содержания нитратов на базе испытательной лаборатории Алтайского государственного медицинского университета было проведено исследование различных видов овощей – огурец, томат, капуста, свекла, лук, картофель, кабачок, поступивших из различных территорий Алтайского края, характеризующих разнообразие климато-географические и почвенные зоны региона (г. Барнаул, Усть-Пристанский, Петропавловский и Завьяловский районы) методом капиллярного электрофореза (КЭ).

Метод основан на разделении компонентов сложной смеси в кварцевом капилляре под действием приложенного электрического поля, позволяет исследовать микрообъемы пробы

[7; 9]. Для исследования овощей методом прямой потенциометрии, или ионометрическим методом, были отобраны пробы овощей в пяти территориях края – г. Барнаул, г. Заринск, Усть-Пристанский, Петропавловский и Завьяловский районы.

Оценку уровня канцерогенного риска воздействия нитратов на организм человека выполняли в соответствии с «Руководством по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду» [6]. В качестве возможного сценария рассматривалось среднее потребление пищевых продуктов в регионе. Параметры потребления принимали в соответствии с официальными данными Федеральной службы государственной статистики по Алтайскому краю и республике Алтай. Рассчитано среднее потребление каждого продукта на человека в год. Средняя масса взрослого человека принята за 70 кг. Среднесуточные дозы нитратов рассчитывали исходя из среднего для выборки содержания нитратов в используемых продуктах.

Индивидуальный канцерогенный риск рассчитан с помощью модифицированной экспоненциальной модели [4].

### **Результаты исследования**

Оценка безопасности питания населения Алтайского края за период с 2009 по 2022 г. была выполнена на основе официальных данных Управления Роспотребнадзора по Алтайскому краю [1; 2].

Наибольший удельный вес проб, не соответствующих гигиеническим нормативам по физико-химическим показателям, отмечался в следующих группах пищевых продуктов: «бахчевые культуры» – 25 %; «продукты детского питания» – 7 %; «плоды и ягоды» – 5,3 %; «биологически активные добавки к пище» – 4,9 %; «масложировая продукция, животные и рыбные жиры» – 4,8 %; «птица, яйца и продукты их переработки» – 4,4 %. Показатели радиационной безопасности (удельная активность техногенных радионуклидов цезия-137 и стронция-90) в пищевых продуктах соответствовали гигиеническим нормативам.

В процессе проведения исследований продуктов различного происхождения были определены группы пищевых продуктов, которые подвержены загрязнению химической и биологической природы в наибольшей степени. К ним относятся кулинарные изделия, вырабатываемые по нетрадиционной технологии, безалкогольные напитки, грибы, жировые растительные продукты, сахар, которые не соответствуют гигиеническим нормативам по санитарно-химическим показателям. По микробиологическим показателям наиболее загрязненными продуктами оказались: биологически активные добавки к пище, грибы, рыба и рыбопродукты, дикорастущие пищевые продукты.

В процессе исследования был установлен удельный вес отдельных групп пищевых продуктов в рационе населения, в том числе овощей, что имеет значение при оценке риска возникновения алиментарно-зависимых заболеваний. Влияние на возникновение АЗЗ оказывают продукты, содержащие нитраты, как один из основных загрязнителей плодовоовощной продукции, в количествах, превышающих ПДК. В связи с этим были исследованы продукты питания растительного происхождения, наиболее подверженные загрязнению химической природы. Проведено исследование образцов плодовоовощной продукции, выращенных и реализуемых в городах и сельских районах Алтайского края (огурец, томат, капуста, свекла, лук, картофель, кабачок, перец, морковь), с целью определения содержания в них нитратов двумя методами – капиллярный электрофорез и ионометрический (потенциометрический) метод.

С помощью данного метода было исследовано 505 проб овощей. Количество проб с превышением предельно-допустимой концентрации (ПДК) нитратов составило 132, или 26,14 % от всех исследованных проб. Полученные лабораторные данные позволили установить продукты, которые в большей степени подвержены загрязнению нитратами. Уровень ПДК по содержанию нитратов превышен в таких продуктах питания, как лук, свекла, огурец, томат, картофель.

С помощью метода капиллярного электрофореза проведено исследование 178 проб овощей, в 30 из них (38,46 % от общего количества исследованных проб) ПДК нитратов превышена. Полученные лабораторные данные позволили установить продукты питания, которые в большей степени подвержены контаминации нитратами. Порог ПДК по содержанию нитратов был превышен в пробах таких овощей как лук, огурец, томат.

При анализе динамики заболеваемости новообразованиями, эндокринными заболеваниями, расстройствами питания и нарушениями обмена веществ отмечается умеренный рост показателей заболеваемости взрослого населения трудоспособного возраста. В то же время в этой же возрастной группе уровень заболеваемости болезнями крови остается стабильным на протяжении анализируемых 5-ти лет.

Для оценки уровня канцерогенного риска воздействия нитратов на организм человека, были произведены расчеты среднесуточных концентраций нитратов в мг/кг/сут. Для этого были рассчитаны средние уровни поступления нитратов в организм человека. В каждом виде продукта установлено среднее содержание нитратов на кг массы продукта, определяемое как среднее значение из всей выборки исследованных образцов. Из официальных данных Федеральной службы государственной статистики по Алтайскому краю и республике Алтай взяты средние уровни потребления групп продуктов питания в месяц на человека. Затем рассчитано среднее потребление каждого продукта на человека в год. Средняя масса взрослого человека принята за 70 кг.

Рассчитаны индивидуальный и популяционный канцерогенный риски с помощью уже известной методики и прирост неканцерогенного риска.

Расчет индивидуальных канцерогенных рисков показывает дополнительную вероятность развития у индивидуума на протяжении его жизни злокачественных новообразований. Уровень канцерогенного риска для всех исследуемых территорий можно оценить, как низкий ( $1 \times 10^{-6} - 1 \times 10^{-4}$ ), при этом максимальный уровень индивидуального канцерогенного риска был получен на исследуемой территории – Петропавловский район ( $1 * 3,2 - 5$ ). Хотя уровень ИКР можно оценить как низкий, тем не менее, он выше допустимого и, вероятно, вносит определенный вклад в вероятность возникновения у отдельного человека такого патологического состояния, как злокачественное новообразование.

Популяционный канцерогенный риск индицирует количество случаев заболеваний злокачественными новообразованиями, которые могут возникнуть в исследуемой популяции дополнительно к фоновому риску. Индивидуальный и популяционный канцерогенные риски характеризуют верхнюю границу стохастического канцерогенного риска на протяжении периода, соответствующего средней продолжительности жизни человека (70 лет) [4; 6].

Нитратная контаминация продуктов овощеводства вносит определенный вклад в уровень заболеваемости злокачественными новообразованиями за счет дополнительных случаев возникновения у жителей населенных пунктов и районов данной патологии.

На территории г. Барнаула – это дополнительные 14 случаев в год к фоновому уровню, на территории Усть-Пристанского, Петропавловского и Завьяловского районов ориентировочно 1 случай за 3 года за счет того, что численность и плотность населения в сельских территориях значительно меньше чем в городской местности.

Для расчета коэффициентов опасности (HQ) от воздействия нитратного компонента на организм человека, поступающего с продуктами питания, была использована концепция допустимой суточной дозы (ДСД) (Acceptable Daily Intake, ADI), представляющей собой количество изучаемого химического вещества, которое поступает ежедневно в течение всей жизни со всеми компонентами окружающей среды, не оказывая при этом неблагоприятного воздействия на здоровье человека и его потомство [6].

Величины коэффициентов опасности (HQ) нитратов, содержащихся в плодоовощной продукции, не превышают единицу, как показывает анализ этого показателя. Данный факт свидетельствует о том, что воздействие нитратного компонента на здоровье человека при по-

ступлении в рассчитанном количестве в течение жизни можно охарактеризовать, как допустимое. Но при превышении доз нитратов, поступающих с плодовоовощной продукцией в организм человека, возможно превышение величины HQ, являющейся допустимой, что приведет к усилению негативного влияния нитратов и повышению вероятности возникновения канцерогенных и неканцерогенных эффектов у населения Алтайского края. Так, в Петропавловском районе величина коэффициента опасности стремится к единице, что свидетельствует о повышенной вероятности возникновения негативных эффектов при поступлении в организм пищевых продуктов растительного происхождения, содержащих расчетные дозы нитратов.

Для сравнительного анализа содержания нитратов в плодовоовощных продуктах промышленного производства и частных производителей взяли такие продукты, как картофель, свекла, лук репчатый, морковь. Это те овощи, которые выращивают на приусадебных участках и хранят в зимнее время, когда и проводился анализ содержания в них нитратов. Установлено, что содержание нитратов в плодовоовощной продукции (картофеле, свекле, луке репчатом) с собственного огорода статистически значимо отличается от содержания нитратов в овощах промышленного производства.

### Выводы

1. По результатам исследования выявлено загрязнение продуктов питания, реализуемых и производимых на территории Алтайского края, химическими элементами, в том числе нитратами. Данный факт способствует появлению нежелательных для здоровья населения последствий, употребляющего эти продукты питания в пищу, а именно: увеличение доли и количества АЗЗ, включающих такие нозологические формы, как злокачественные новообразования, болезни обмена веществ, эндокринной системы, и др.

2. Анализ заболеваемости алиментарно-зависимыми заболеваниями за 2011–2017 гг., показывает рост заболеваемости такими нозологическими формами, как новообразования, сахарный диабет, ожирение, что обусловлено, в том числе, загрязнением пищевых продуктов токсикантами. Уровень канцерогенного риска для всех исследуемых территорий можно оценить, как низкий ( $1 \times 10^{-6} - 1 \times 10^{-4}$ ), при этом максимальный уровень индивидуального канцерогенного риска был получен на основной исследуемой территории – Петропавловский район (1\*3,2–5). Хотя уровень ИКР можно оценить как низкий, тем не менее, он выше допустимого и вносит определенный вклад в вероятность возникновения у отдельного человека такого патологического состояния, как злокачественное новообразование (стохастический эффект). Оценка коэффициентов опасности (HQ) нитратов, содержащихся в плодовоовощной продукции, показывает, что величины HQ не превышают единицу, что характеризует воздействие нитратного компонента на здоровье человека, как допустимое при поступлении в рассчитанном количестве в течение жизни. Тем не менее при превышении рассчитанных доз нитратов, поступающих с плодовоовощной продукцией в организм человека, возможно превышение допустимой величины HQ, что приведет к увеличению вредного влияния нитратов и возможному возникновению канцерогенных и неканцерогенных эффектов у населения региона. Так, в Петропавловском районе величина коэффициента опасности стремится к единице, что свидетельствует о повышенной вероятности возникновения вредных эффектов при поступлении в организм продуктов питания, содержащих расчетные дозы нитратов.

3. Уровень загрязнения растительных продуктов с личных приусадебных участков достоверно выше, чем уровень загрязнения нитратами продуктов растительного происхождения агропромышленного производства. Это относится к таким выращиваемым наиболее часто на собственном огороде растительным продуктам, как картофель, свекла и лук репчатый.

### Список литературы

1. Государственный доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия в Российской Федерации в 2013 году». Барнаул, 2013.
2. Государственный доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия в Российской Федерации в 2022 году». Барнаул, 2023.

3. МР 2.1.10.0062-12. Количественная оценка неканцерогенного риска при воздействии химических веществ на основе построения эволюционных моделей. С. 22.

4. МУ 2.3.7.2519-09. Определение экспозиции и оценка риска воздействия химических контаминантов пищевых продуктов на население. Методические указания. М. : Федер. центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2010. 27 с.

5. Анализ риска здоровью в стратегии государственного социально-экономического развития: монография / Г. Г. Онищенко [и др.]; под общ. ред. Г. Г. Онищенко, Н. В. Зайцевой. М.; Пермь : Изд-во ПНИПУ, 2014. 738 с.

6. Р 2.1.10.1920-04. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду.

7. Хомов Ю. А., Фомин А. Н. Капиллярный электрофорез как высокоэффективный аналитический метод (обзор литературы). Современные проблемы науки и образования. 2012. № 5. С. 349.

8. Determination of fenticonazole and its impurities by capillary electrophoresis and high performance liquid chromatography / M. Giovanna Quaglia [et al.] // J. of High Resolution Chromatography. 2001. Vol. 24, N 5. P. 392–396.

УДК 519.6:550.38

## Сравнение улавливающих способностей современных СИЗОД при воздействии твердых частиц гальванического аэрозоля

И. А. Вахнюк (vakhniuk@sfsca.ru)<sup>2</sup>, К. Ю. Кириченко (kirichenko@sfsca.ru)<sup>1,2</sup>,  
А. С. Холодов (alex.holodov@gmail.com)<sup>3</sup>, И. А. Тарасенко (tarasenko\_irina@mail.ru)<sup>3</sup>,  
К. С. Голохваст (golokhvast@sfsca.ru)<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия

<sup>2</sup> Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН, р. п. Краснообск, Россия

<sup>3</sup> Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток, Россия

**Аннотация.** Статья посвящена исследованию улавливающих характеристик фильтрационных элементов современных моделей респираторов при воздействии промышленными аэрозолями гальванического производства, которые содержат мельчайшие взвешенные частицы размерностью менее 10 мкм (PM<sub>10</sub>).

**Ключевые слова:** промышленные аэрозоли, атмосферная взвесь, гальваника, нано – и микрочастицы, респираторы

### Введение

Загрязнение атмосферного воздуха взвешенными твердыми частицами стало серьезной угрозой для здоровья населения во многих регионах [0]. Среди наиболее основных источников загрязнения следует выделить: выхлопные газы автотранспорта, сварочное и гальваническое производство.

Ультратонкие частицы обладают высокой проникающей характеристикой и способны проникать глубже в наши альвеолы, за пределы естественных дыхательных путей нашего тела и оседать в нижних дыхательных путях [2]. Эти частицы могут вызывать серьезные заболевания, такие как респираторные симптомы, рак легких и силикоз в зависимости от компонентов частиц [3]. Ультратонкие частицы промышленных аэрозолей обладают токсикологической опасностью в зависимости от характеристик их поверхности [4].

Следовательно, существует высокая потребность в средствах индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД) человека. Вариантами СИЗОД являются лицевая маска и респиратор [5; 6].

Фильтрация и отделение загрязняющих веществ субмикронного размера является сегодня основной проблемой. Разработка современных фильтрационных материалов респираторов, которые будут эффективно улавливать взвешенные частицы нано- и микродиапазона требует инновационного подхода. Применение нановолокон [7], 3D-принтеров [8] и аддитивных

технологий [9] для изготовления фильтрационных материалов способно значительно продвинуть вперед технологическое развитие СИЗОД.

Эффективность фильтра зависит от ряда факторов, которая улучшается по мере уменьшения размера волокон фильтрационного материала за счет высокой механической способности улавливать мельчайшие частицы, взвешенные в атмосферном воздухе. Но следует учесть, что форма волокон, а не их расчетный средний аэродинамический диаметр, является преобладающим фактором в механизмах осаждения через испытуемый респиратор [10].

Именно исследованию эффективности улавливающей способности респираторов при воздействии производными гальванического производства посвящена данная работа.

Именно по этой причине было принято решение о проведении натурального эксперимента в реальных производственных условиях гальванического цеха с целью оценки улавливающих характеристик фильтрационных материалов современных моделей респираторов.

### Материалы и методы

*Количественный состав взвешенных частиц.* Для измерения количественного состава взвешенных частиц использовали ручной лазерный счетчик частиц AeroTrak Handheld Particle Counter 9306 (производства США), соответствующий всем требованиям ISO 21501-4.

В продолжение проведенных ранее исследований [14; 12] по загрязнению атмосферного воздуха производными электрохимических процессов для наиболее гигиенически опасных процессов с точки зрения содержания мельчайших частиц фракции  $PM_{0,3}$  и  $PM_{10}$  был выбран электрохимический процесс по травлению цветных металлов для проведения дальнейшего исследования по измерению улавливающих характеристик фильтрационных элементов современных моделей респираторов (табл. 1, рис. 1).

Таблица 1

Список средств индивидуальной защиты органов дыхания для эксперимента

№	Наименование респиратора	Технические характеристики (производитель, материал и т. д.)
1	Stayer master с клапаном	Класс защиты: FFP1 11118 Материал: текстурированный полипропилен
2	Зубр Профессионал с клапаном	Класс защиты: FFP1 11160 Материал: текстурированный полипропилен
3	DEXX	Класс защиты: FFP1 11103 Материал: полипропилен
4	Зубр с клапаном	Класс защиты: FFP2 11163-2 Материал: текстурированный полипропилен
5	Rutex F1101 с клапаном 10/180	Класс защиты: FFP1 NR D Материал: электретенный фильтрующий материал
6	KN95	Класс защиты: FFP2 Материал: нетканое полотно и высокотехнологичная фильтрующая ткань Meltblown
7	ИСТОК с клапаном	Класс защиты: FFP2 Материал: вспененный полиэтилен
8	У-2К 1116	Класс защиты: FFP1 Материал: поролон
9	РПГ-67 тип А1 В1	Класс защиты: FFP1 Материал: трикотажный обтюратор, угольный фильтр
10	Маска медицинская	Материал: нетканый трёхслойный SMS/СМС (спанбонд, СМС, спанбонд)

Отбор проб атмосферного воздуха был произведен в непосредственной близости на удалении 1 м от источника загрязнения (рис. 1) и на высоте 1,5 м, который соответствует уровню дыхания человека.

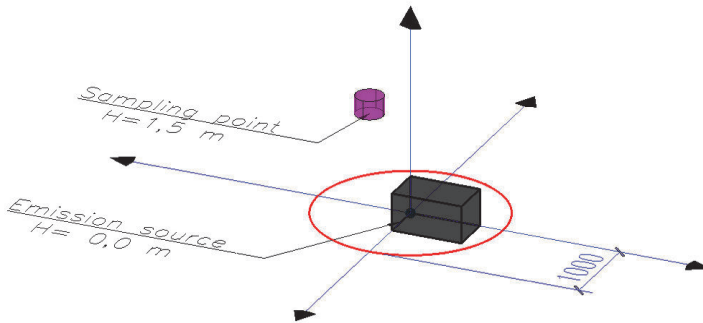


Рис. 1. Местоположение точек отбора проб для гальванического производства

Было произведено 2 серии отбора проб: с использованием фильтрационных материалов 10 моделей респираторов для сварочного и для гальванического производств.

*Массовая концентрация взвешенных частиц.* Для определения содержания мелкодисперсных частиц промышленного аэрозоля в атмосферном воздухе была произведена серия отбора проб для различных фильтрационных элементов 10 современных моделей респираторов, с использованием пробоотборника аспираторного типа «Аспиратор ПУ» (Россия).

Вместо использования стандартных аэрозольных фильтров были использованы образцы фильтрационного материала, изъятые из современных моделей респираторов (Таблицы 1) и вырезанные до характерных размеров.

Перед процедурой отбора проб образцы фильтрационного материала респираторов предварительно высушивались в термостате ТС-1/20 (Россия) в течение 24 ч при температуре 40 °С (рис. 2), затем каждый фильтр был взвешен пятикратно, с определением среднеарифметического значения, на электронных весах Sartorius (Германия).

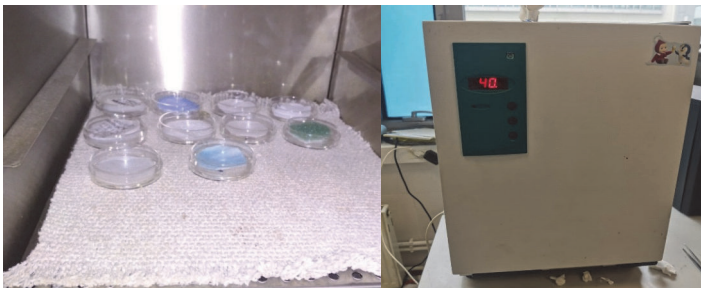


Рис. 2. Подготовка фильтрационных материалов с использованием термостата.

Всего были сняты показания в точках, указанных на рис. 1 на удалении 1 м от источника загрязнения (гальваническая ванна).

Высота установки насадки пробоотборника соответствовала уровню дыхания человека – 1,5 м (рис. 3). Время отбора проб в каждой точке составляло 1 мин. Температура воздуха в период отбора составляла 18 °С, скорость ветра – 0 м/с (пробы отбирались внутри промышленных цехов). Объем пропускаемого через пробоотборник воздуха соответствовал 2,8 м<sup>3</sup>/час. Через 24 ч замена фильтра, далее цикл повторяется.



Запыленность воздуха измеряли путем взвешивания фильтров на аналитических весах до и после отбора проб. Каждый фильтр взвешивали пятикратно, с определением среднearифметического значения, на электронных весах CAS CAUY-120 (Германия). Полученная разница веса фильтров до и после проведения процедуры отбора проб воздуха соответствовала осевшей массе частиц атмосферных взвесей, в том числе фракции РМ<sub>10</sub>.

*Электронная микроскопия взвешенных частиц.* Для визуализации взвешенных частиц, осевших на фильтрационный материал респираторов был использован метод электронной микроскопии и современный стереомикроскоп – Microscope: Zeiss Stemi DV4 (Германия), с 30-кратным увеличением изображения с углом обзора до 60° и регулировкой межзрачкового расстояния от 55 до 75 мм.

Из фильтрационного материала 10 моделей респираторов были вырезаны по 2 образца габаритами 50×50 мм: «до» и соответственно «после» проведения эксперимента по замеру концентрации взвешенных частиц с целью фиксации осажденных частиц промышленных аэрозолей. Для каждого образца с помощью метода электронной микроскопии были получены собственные фотографии волокон фильтрационного материала.

### Результаты и обсуждение

В табл. 2 приведены данные взвешивания образцов фильтрационного материала респираторов «до» и «после» проведения серии экспериментов. Значения М1 характеризует вес образца фильтра до проведения испытаний и М2 соответственно после прокачки 2,8 л воздуха через фильтрационный материал респираторов.

Таблица 2

Массовая концентрация взвешенных частиц

№ измер	№ респиратора									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0,4210	0,6441	0,3874	0,5097	0,3921	0,3318	0,3004	0,2769	0,2338	0,1273
2	0,4212	0,6442	0,3871	0,5101	0,3923	0,3319	0,3009	0,2772	0,2339	0,1273
3	0,4210	0,6444	0,3879	0,5097	0,3921	0,3316	0,3005	0,2776	0,2345	0,1272
М1 ср.	0,4210	0,6442	0,3874	0,5098	0,3921	0,3317	0,3006	0,2772	0,2340	0,1272
1	0,4229	0,6469	0,3904	0,5119	0,3947	0,3335	0,3035	0,2788	0,2386	0,1287
2	0,4231	0,6466	0,3901	0,5113	0,3943	0,3332	0,3032	0,2787	0,2382	0,1286
3	0,4232	0,6468	0,3900	0,5115	0,3943	0,3336	0,3029	0,2785	0,2387	0,1288
М2 ср.	0,4230	0,6467	0,3901	0,5115	0,3944	0,3334	0,3035	0,2786	0,2385	0,1287
М2-М1	0,0020	0,0025	0,0027	0,0017	0,0023	0,0017	0,0029	0,0014	0,0045	0,0015
мг/м <sup>3</sup>	0,7143	0,8929	<b>0,9643</b>	0,6071	0,8214	0,6071	1,0357	0,5000	<b>1,6071</b>	0,5357

Для получения показателя разницы массовой доли осевших твердых частиц промышленного аэрозоля гальванического производства был выполнен пересчет до уровня содержания взвешенных частиц при прокачке 1 м<sup>3</sup> через фильтрационный материал.

Наибольшая массовая доля осевших частиц выявлена у респиратора № 9 (РПГ-67 тип А1 В1). Данный респиратор способен улавливать до 1,6 мг при прокачке 1 м<sup>3</sup> через фильтрационный материал.

На втором месте по значениям массовой доли осевших на фильтрационный материал взвешенных частиц промышленного аэрозоля – респиратор № 3.

Респираторы № 2 и 5 демонстрируют промежуточные значения по осаждению твердых частиц промышленных аэрозолей. Значения для данных образцов колеблются на уровне 0,8–0,9 мг/м<sup>3</sup>.

Респираторы № 8, 10, 6, 4, 1 малоэффективны при улавливания взвешенных твердых частиц гальванического аэрозоля и практически не препятствуют свободному проникновению

частиц сквозь фильтрационный материал респираторов. Значения осевших частиц на фильтрационный материал для данных респираторов варьируется от 0,5 до 0,7 мг на 1 м<sup>3</sup>.

Таблица 3

Количественный состав взвешенных частиц (кол-во/м<sup>3</sup>)

№ респиратора	PM <sub>0,3</sub>	PM <sub>0,5</sub>	PM <sub>1</sub>	PM <sub>3</sub>	PM <sub>5</sub>	PM <sub>10</sub>
1	554 056 900	117 929 300	5 995 053	425795	249470	33569
2	417 681 300	8 4105 660	5 116 962	398587	233569	31449
3	236 285 900	46 261 130	3 958 304	320848	181272	25795
4	307 336 800	58 250 530	3 688 339	263251	157597	26148
5	262 443 800	52 557 240	3 762 898	278799	150530	19081
6	285 407 400	55 968 200	4 216 961	310601	159364	20495
7	365 357 200	71 898 590	6 154 064	422262	192226	25795
8	305 222 300	64 055 830	6 861 484	492226	246643	32509
9	318 083 700	68 520 140	7712014	539929	268198	29329
10	292 348 100	57 814 490	5518728	362544	181979	24735

Деградация фильтра не прогрессирует и не восстанавливается после прекращения воздействия промышленными аэрозолями и поэтому проникновение аэрозоля, измеренное в любое время после воздействия, должно равняться максимуму, полученному при использовании [13]. Следует отметить, что поскольку образцы фильтрационного материала были использованы в качестве фильтра в аспираторе, то продемонстрировали 100%-ную эффективность, так как отсутствовали потери при утечке воздуха через торцевое уплотнение в различных положениях головы при примыкании респиратора к лицу работника.

Согласно полученным данным (табл. 3), следует, что улавливающая способность фильтрационных элементов респираторов различна в зависимости от фракции взвешенных частиц. Учитывая, что частицы размерностью 30–100 нм обладают максимальной проникающей способностью следует отметить респиратор № 3, который лидирует за явным преимуществом. Респиратор № 3 наиболее эффективен при улавливании частиц мельчайших фракций: PM<sub>0,3</sub> и PM<sub>0,5</sub>. Улавливающая способность для данных размерностей у респиратора № 3 по сравнению с другими респиратора выше и варьируется от 20 до 234 % в зависимости от модели.

Респиратор № 4 демонстрирует лучшие значения при улавливании частиц фракции PM<sub>1</sub> и PM<sub>3</sub>. Лучшие показатели по осаждению взвешенных частиц фракций PM<sub>5</sub> и PM<sub>10</sub> при довольно близких значениях для ряда моделей (№ 3–7) у респиратора № 5.

Минимальная эффективность вне зависимости от размерности взвешенных частиц выявлена для респиратора № 1, значения для которого на порядок выше показателей других моделей.

*Электронная микроскопия взвешенных частиц.* Образцы фильтрационного материала респираторов под номером 3 и 9 по результатам электронной микроскопии демонстрируют наиболее сорбирующие свойства. Отчетливо запечатлены осевшие на фильтрационный материал твердые частицы промышленного аэрозоля, которые имеют темный цвет. Результаты электронной микроскопии коррелируют с числовыми значениями концентрации взвешенных частиц, подтверждая улавливающую механическую способность фильтрационных материалов респираторов (табл. 2).

Собственные фотографии образцов фильтрационных материалов респираторов № 8, 10, 6, 4, 1 «до» и «после» эксперимента практически не отличаются, так как не наблюдаются осевшие частицы промышленного аэрозоля. Данные фотографии подтверждают показания в таблице 2 и подтверждают низкую сорбционную и фильтрационную способность данных респираторов. Отсюда следует вывод о низкой эффективности данных моделей при улавливании

взвешенных в воздухе частиц, сформированных электролитом при использовании электрохимических процессов в гальваническом производстве.

### Выводы

Полученные результаты свидетельствуют о значительном разбросе показателей улавливающей способности фильтрационных элементов при использовании различных моделей респираторов.

На улавливающую способность респираторов могут влиять ряд факторов, такие как: различные механизмы фильтрации, параметры окружающей среды, свойства фильтрующего материала, количество используемых слоев респиратора, плотность упаковки, плотность заряда волокна, диаметр волокна, тип и размер частиц аэрозоля, скорость потока аэрозоля и значения концентрации, а также дополнительные от различных видов деятельности человека [13] и герметичность примыкания респиратора к лицу человека [15].

Согласно полученным данным следует, что улавливающая способность фильтрационных элементов респираторов различна в зависимости от фракции взвешенных частиц. Максимальную эффективность демонстрирует респиратор № 3 фильтрационным элементом из полипропилена, который улавливает частицы мельчайшей фракции значительно лучше других рассматриваемых моделей. Следует отметить, что в условиях эксперимента были рассмотрены максимальные улавливающие характеристики фильтрационного материала респираторов, при отсутствии утечек в местах примыкания торцов респираторов к лицу работника. Для моделей с низкой улавливающей способностью фильтрационного материала (респираторы 8, 10, 6, 4, 1) данный факт может быть компенсирующим недостатком фактором за счет лучшей эргономичности и плотного примыкания торцов респиратора к лицу человека в реальных условиях.

Стоит отметить, что при выборе наиболее эффективной модели респиратора, которая улавливает максимальное количество взвешенных частиц, тем самым предотвращая их проникновения в организм человека, которое при длительном воздействии может привести к возникновению профессиональных заболеваний решается проблема снижения уровня заболеваемости у гальванотехников и рабочих смежных специальностей. Но не стоит забывать, что полимерные материалы, используемые для производства респираторов и масок обычно, не поддаются биологическому разложению, что может вызвать серьезные экологические проблемы, поскольку в большинстве стран практика утилизации отходов неэффективна. Поэтому у моделей респираторов с неткаными и несинтетическими материалами при достижении высоких показателей улавливающей способности и низким сопротивлением воздушному потоку больше перспективы в будущем.

### Список литературы

1. Polymer/MOF-derived multilayer fibrous membranes for moisture-wicking and efficient capturing both fine and ultrafine airborne particles / Z. Wang [et al.] // *Separation and Purification Technology*. 2020. Vol. 235. 116183.
2. Nanomaterials and nanoparticles: Sources and toxicity / C. Buzea [et al.] // *Biointerphases*. 2007. Vol. 2. MR17-71.
3. Nanoparticles – Known and unknown health risks / P. H. Hoet [et al.] // *J. Nanobiotechnol.* 2004. Vol. 2. 12.
4. Acute exposure to silica nanoparticles aggravate airway inflammation: Different effects according to surface characteristics / H. J. Park [et al.] // *Exp. Mol. Med.* 2015. Vol. 47. e173.
5. *Akduman C., Akcakoca Kumbasar E. P.* Nanofibers in face masks and respirators to provide better protection. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 460. 012013.
6. *Kim J.-H.; Benson S. M., Roberge R. J.* Pulmonary and heart rate responses to wearing N95 filtering facepiece respirators. // *American Journal of Infection Control*. 2013. Vol. 41(1). P. 24–27.
7. Membrane-Supported Metal Organic Framework Based Nanopacked Bed for Protection against Toxic Vapors and Gases / Y. Song [et al.] // *Separation and Purification Technology*. 2020. 117406.
8. 3D Printed Masks for Powders and Viruses Safety Protection Using Food Grade Polymers: Empirical Tests / R. Foresti [et al.] // *Polymers*. 2021. Vol. 13 (4). 617.
9. Additively manufactured respirators: quantifying particle transmission and identifying system-level challenges for improving filtration efficiency / L. B. Bezak [et al.] // *Journal of Manufacturing Systems*. 2021. Vol. 60. P. 762–773.

10. Penetration of Fiber Versus Spherical Particles Through Filter Media and Face Seal Leakage of N95 Filtering Facepiece Respirators with Cyclic Flow / K. J. Cho [et al.] // Journal of Occupational and Environmental Hygiene. 2013. Vol. 10 (3). P. 109–115.
11. Occupational exposure to solid chemical agents in biomass-fired power plants and associated health effects/ M. Jumpponen [et al.] // Chemosphere 2014. Vol. 104. P. 25–31.
12. Complex study of air pollution in electroplating workshop / K. Y. Kirichenko [et al.] // Scientific Reports. 2020. Vol. 10 (1). 11282.
13. Ogbuoji E. A., Zaky A. M., Escobar I. C. Advanced research and development of face masks and respirators pre and post the coronavirus disease 2019 (Covid-19) pandemic: A critical review // Polymers. 2021. Vol. 13(12). 1998.
14. Characteristics of fume sedimentation in the working zone during arc welding with covered electrodes / K. Y. Kirichenko [et al.] // Toxicological & Environmental Chemistry (GTEC). <https://doi.org/10.1080/02772248.2020.1747465>.
15. Modeling the Process of the Distribution of Suspended Particles of Nano- and Microparticles of Industrial Aerosols in Electroplating Workshop / K. Y. Kirichenko [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Vol. 459. Ch. 3.

УДК 551.510.42

## **Возможности применения программного комплекса AirQ+ для оценки риска неблагоприятных эффектов для здоровья населения вследствие загрязнения атмосферного воздуха**

Т. И. Зандакова (zandakova.tatyana@yandex.ru)

*Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия*

**Аннотация.** Загрязнение атмосферного воздуха является глобальной экологической проблемой. С ростом промышленности, развитием автомобильной инфраструктуры и стремительной урбанизацией увеличивается количество выбросов вредных веществ и число людей, подвергающихся воздействию загрязнённого воздуха. Вещества-загрязнители, действуя комплексно и вступая в химические реакции с другими компонентами воздушной среды, вызывают негативные последствия для состояния здоровья населения. Оценка риска возникновения и развития заболеваний и смертности от влияния содержащихся в атмосфере загрязняющих веществ позволит более наглядно отразить масштаб проблемы загрязнения воздуха. Использование программных средств позволяет автоматизировать и упростить этот процесс. Цель исследования – изучить функциональные возможности программы AirQ+ и провести пробные расчеты по оценке риска развития негативных последствий для здоровья населения вследствие влияния концентраций взвешенных веществ PM<sub>2.5</sub> и диоксида азота, превышающих ПДК<sub>с.г.</sub>. Сделан вывод о применимости программы AirQ+ для оценки воздействия загрязнения воздуха и о том, какие входные данные позволят провести более точную оценку, выявлены преимущества и недостатки данного программного средства.

**Ключевые слова:** экологический риск, загрязнение атмосферы, риск неблагоприятных последствий для населения.

Высокий уровень загрязнения атмосферного воздуха является одним из основных факторов риска для здоровья, связанных с состоянием окружающей среды, что подтверждается многочисленными эпидемиологическими исследованиями. Оценка воздействия загрязнённого атмосферного воздуха на здоровье населения имеет большое значение и может быть фактором при разработке и принятии более эффективных и своевременных мер по повышению качества воздуха, а следовательно, улучшению состояния здоровья населения и показателя средней продолжительности жизни. Под оценкой риска для здоровья от загрязнения воздуха понимают процесс установления вероятности развития и степень выраженности потенциальных негативных последствий для здоровья человека или здоровья будущих поколений в результате воздействия на человека загрязнённого атмосферного воздуха как фактора опасности. Основной задачей оценки рисков для здоровья от загрязнения воздуха является анализ и информирование о воздействии изменений качества воздуха на здоровье населения в различных экологических, социально-экономических и политических условиях [2].

В ходе данной работы был выполнен обзор программных средств для оценки риска воздействия загрязнения атмосферного воздуха на здоровье человека. В настоящее время существует большое количество таких программ, которые позволяют автоматизировать процесс проведения оценки рисков для здоровья от загрязнения воздуха. В основе большинства из них лежит подход, основанный на использовании полученных путём эпидемиологических исследований функций «доза–эффект» и оценки экспозиции на популяционном уровне для вычисления доли конкретных последствий для здоровья, обусловленных состоянием качества воздуха.

Были изучены характеристики следующих программ: COBRA, SIM-Air, BenMAP-CE, Ecosense, HAPIT, GAINS, EVA, IOMLIFET, TM5-FASST, AirQ+, ЭРА-Риски.

В табл. 1 представлено сравнение рассмотренных программных средств, из которого можно сделать вывод о том, что оптимальным вариантом для проведения оценки воздействия загрязнённого атмосферного воздуха в рамках данной работы является программа AirQ+, поскольку она имеет более широкий функционал: позволяет проводить оценку воздействия на здоровье человека основных загрязнителей воздуха на территории населённых пунктов, имеет широкий географический охват и предоставляет возможность оценки рисков для здоровья от загрязнения не только наружного воздуха, но и воздуха в помещении. Кроме того, в отличие от остальных, в данной программе есть возможность установить русский язык в качестве рабочего и также она является бесплатной. Перечисленные преимущества определили выбор программного средства для дальнейшей работы.

Таблица 1

Сравнительная таблица характеристик программных средств для оценки рисков для здоровья от загрязнения воздуха [1; 3–14]

Характеристика	Название программного средства										
	AirQ+	COBRA	SIM-Air	BenMAP-CE	EcoSense	HAPIT	GAINS	EVA	IOMLIFE T	TM5-FASST	ЭРА-Риски
Показатели оценки последствий для здоровья населения											
Смертность	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
Заболеваемость	+	+	+	+	+	+		+			+
Загрязняющие вещества, учитываемые в оценке воздействия											
PM2.5	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
PM10	+		+	+	+		+	+		+	
Озон	+			+	+		+	+		+	
NO <sub>2</sub>	+	+		+	+		+	+			+
SO <sub>2</sub>	+	+		+	+		+	+			+
CO	+			+	+		+				+
Другие	Бенз(а)пирен и др.	ЛОС			Углеводороды, диоксиды, тяжёлые металлы		CO <sub>2</sub> , ЛОС, CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O				NO, бенз(а)пирен, сажа, H <sub>2</sub> S и др.
Пространственный охват											
Регион	+			+	+		+	+	+	+	
Страна	+	+		+		+	+	+	+		
Город	+			+			+	+	+		+
Помещение	+		+		+		+				

Программа AirQ+ является обновлённой и доработанной версией программного средства AirQ, которое использовалось более 15 лет с 1999 по 2015 г. В мае 2016 г. программа AirQ+ была представлена на английском языке, спустя год была выпущена версия на русском языке. В настоящий момент программа доступна на четырёх языках – английский, русский, немецкий и французский.

Целью AirQ+ является оценка последствий для здоровья человека от воздействия загрязнённого атмосферного воздуха, включая оценки сокращения продолжительности жизни.

Программа предусматривает анализ данных о содержании следующих загрязняющих веществ в атмосферном воздухе: взвешенные частицы PM<sub>2.5</sub> и PM<sub>10</sub>, азота диоксид (NO<sub>2</sub>), серы диоксид (SO<sub>2</sub>), озон (O<sub>3</sub>), оксид углерода (CO), бенз(а)пирен. AirQ+ предназначена для количественной оценки риска здоровью человека от воздействия загрязнённого атмосферного воздуха, то есть для оценки конкретного эффекта на здоровье от воздействия выбранного загрязняющего вещества и изменения в последствиях для здоровья населения, если уровни загрязнения воздуха изменятся в будущем, а также оценки влияния долгосрочного или краткосрочного загрязнения окружающей среды и долгосрочного загрязнения воздуха внутри помещений для указанных загрязняющих веществ [3].

Программный комплекс AirQ+ состоит из трёх модулей, позволяющих количественно оценить воздействие на здоровье:

- «Оценка воздействия» – влияние на здоровье населения конкретных уровней загрязнения воздуха;
- «Бремя болезней» – серьёзность последствия для состояния здоровья населения от влияния загрязнённого воздуха с использованием зависимости «доза–эффект»;
- «Оценка риска» – анализ риска от канцерогенных загрязнителей воздуха с использованием показателя единичного риска.

Для того чтобы ознакомиться с возможностями программы, в рамках данной работы было принято решение о проведении расчёта оценки воздействия взвешенных частиц PM<sub>2.5</sub> и диоксида азота по показателю смертности среди взрослого населения г. Иркутска за 2021 г., чтобы определить возможность применения программы для оценки риска состоянию здоровья населения вследствие влияния загрязнённого атмосферного воздуха.

В качестве исходных данных для проведения оценки воздействия загрязняющих веществ в атмосферном воздухе на здоровье человека (табл. 2) были взяты данные о среднегодовых концентрациях взвешенных частиц PM<sub>2.5</sub> и диоксида азота в атмосферном воздухе г. Иркутска в 2021 г., опубликованные Иркутским УГМС. Кроме того, использовались демографические данные, взятые с официального сайта Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Иркутской области (Иркутскстат): среднегодовая численность населения г. Иркутска за 2021 г., число умерших за 2021 г. в г. Иркутске (без учёта смертности детей в возрасте до 1 года). В расчётах были использованы данные об общем числе умерших (без учёта числа смертей детей в возрасте до 1 года); это обусловлено тем, что в открытом доступе отсутствует информация о количестве смертей только среди взрослого населения г. Иркутска за 2021 г. В связи с этим точность результатов расчёта снизится.

Таблица 2

Исходные данные для расчёта риска здоровью населения в программе AirQ+

Показатель	Значение
Среднегодовая численность населения, чел.	617 382
Среднегодовая численность взрослого населения (старше 30 лет), чел.	359 481
Число умерших (все, естественные причины), чел.	9 726
Смертность среди взрослого населения (на 100 000 человек)*	2 705,57
Среднегодовая концентрация PM <sub>2.5</sub> , мкг/м <sup>3</sup>	37
Среднегодовая концентрация диоксида азота, мкг/м <sup>3</sup>	44

\*Показатель смертности среди взрослого населения (на 100 тыс. чел.) рассчитывался самостоятельно как частное числа умерших и среднегодовой численности взрослого населения, умноженное на 100 000.

Результаты расчётов в программе, как правило, представляются в табличном виде с использованием диапазонов с доверительным интервалом вокруг среднего, представляющим собой диапазон значений, где с вероятностью 95 % находится истинное среднее. Значения в столбцах «Нижний» и «Верхний» соответствуют оценкам, рассчитанным в соответствии с нижним и верхним пределами этого доверительного интервала относительного риска. В столбце «Центральный» представлены значения среднего рассчитываемого показателя.

Результаты расчёта (табл. 3), в котором в качестве загрязняющего вещества были взяты взвешенные частицы PM<sub>2.5</sub>, показали, что превышение ПДК<sub>с.г.</sub> в 1,2 раза могло стать причиной в среднем 1 458 случаев преждевременной смерти взрослого населения г. Иркутска.

Таблица 3

*Результаты расчёта смертности среди взрослого населения вследствие долгосрочного воздействия PM<sub>2.5</sub>, среднегодовая концентрация которых превышает ПДК<sub>с.г.</sub>*

Показатель	Центральный	Нижний	Верхний
Расчётное атрибутивное соотношение,	14,99	10,05	19,37
Расчётное число атрибутивных случаев	1 458	977	1 884
Расчётное число атрибутивных случаев на 100 тыс. населения, подверженного риску	405,60	271,86	524,04

По результатам расчёта (табл. 4), оценивающего воздействие на здоровье взрослого населения вследствие долгосрочного воздействия диоксида азота, среднегодовая концентрация которого превышает ПДК<sub>с.г.</sub> в 1,1 раз, можно сделать вывод о том, что в среднем 155 случаев преждевременной смерти могло быть связано с воздействием загрязнённого диоксидом азота воздуха.

Таблица 4

*Результаты расчёта смертности среди взрослого населения вследствие долгосрочного воздействия NO<sub>2</sub>, среднегодовая концентрация которого превышает ПДК<sub>с.г.</sub>*

Показатель	Центральный	Нижний	Верхний
Расчётное атрибутивное соотношение, %	1,59	0,75	2,45
Расчётное число атрибутивных случаев	155	73	238
Расчётное число атрибутивных случаев на 100 000 населения, подверженного риску	43,14	20,29	66,31

После проведённых расчётов и изучения программы был сделан вывод о применимости программы AirQ+ для оценки воздействия загрязнённого воздуха на здоровье человека и о том, какие входные данные позволят провести более точную оценку.

Среди достоинств можно выделить понятный интерфейс и простота установки, возможность работать на русском языке, широкий географический охват, а также то, что алгоритмы работы программы основаны на анализе многочисленных эпидемиологических исследований. Кроме того, программа позволяет проводить оценку воздействия на здоровье человека основных загрязнителей воздуха на территории населённых пунктов (PM<sub>2.5</sub> и PM<sub>10</sub>, O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CO). К недостаткам программы AirQ+ относится то, что эти исследования были проведены в Западной Европе и Северной Америке, следовательно некоторые значения параметров, используемых в программе по умолчанию, имеют небольшую степень неопределённости. Несмотря на то что данный недостаток учитывается в расчётах и результаты представляются в виде диапазона с 95 % доверительным интервалом, невозможно получить абсолютно точные прогнозы в изменении состояния здоровья человека. Кроме того, недостатком не только AirQ+, но и других программных инструментов является то, что в настоящее время пока невозможно абсолютно точно предсказать негативные последствия для здоровья, поскольку загрязнители воздуха существуют в виде сложной смеси, а в программных инструментах отсутствует возможность проведения расчётов в случае совместного воздействия нескольких загрязняющих веществ.

Для проведения более точной оценки риска, результаты которой можно применять для принятия решений в области улучшения санитарно-эпидемиологической обстановки на исследуемой территории, следует в качестве входных использовать данные за более длительный период, нежели один год. Нельзя утверждать о значительном изменении показателей смертности и заболеваемости органов дыхательной и сердечно-сосудистой систем вследствие воздействия высоких концентраций загрязняющих веществ в течение одного года, только если это не связано с чрезвычайно высоким содержанием загрязнителей в воздухе, вызванным,

например, разовым выбросом сильно загрязнённой газовой смеси в результате аварии на промышленном предприятии. Проявление таких последствий, как смертность и заболеваемость, от влияния загрязнённого атмосферного воздуха происходит в результате накопительного эффекта в течение периода времени, сопоставимого со средней продолжительностью жизни. К тому же, с точки зрения математической статистики для проведения анализа следует использовать выборку, полученную в течение периода продолжительностью не менее 30 лет для получения более точных результатов оценки риска. Поэтому при осуществлении анализа и оценки воздействия целесообразнее будет использовать данные за период времени не менее 30 лет.

Кроме того, целесообразнее использовать данные о смертности или заболеваемости населения конкретными болезнями (рак лёгких, ишемическая болезнь сердца, острые инфекции дыхательных путей и др.), которые дают более точное представление о том, как именно влияет загрязнённый атмосферный воздух на состояние здоровья населения, вместо данных о смертности населения от всех причин. То есть, дальнейшее проведение оценки риска здоровья населения требует более точных и статистически значимых данных, которые позволяют говорить о негативных эффектах конкретно от воздействия загрязнённого воздуха.

Принятие данных поправок в исходные данные в дальнейших исследованиях позволяет выполнить более точный расчёт по оценке риска для здоровья населения вследствие загрязнения атмосферного воздуха с помощью программы AirQ+.

#### Список литературы

1. Расчёт рисков здоровью населения. URL: [https://lpp.ru/catalog/era\\_riski/30.1-raschet-riskov-zdorovyu-naseleniya/](https://lpp.ru/catalog/era_riski/30.1-raschet-riskov-zdorovyu-naseleniya/) (дата обращения: 12.11.2022).
2. Оценка риска для здоровья от загрязнения воздуха – общие принципы. Копенгаген: Европейское региональное бюро ВОЗ, 2016. С. 1–17.
3. AirQ+: software tool for health risk assessment of air pollution. URL: <https://www.who.int/europe/tools-and-toolkits/airq--software-tool-for-health-risk-assessment-of-air-pollution> (дата обращения: 10.11.2022).
4. Christensen H. J. DEHM: Technical description. URL: <https://envs.au.dk/en/research-areas/air-pollution-emissions-and-effects/the-monitoring-program/air-pollution-models/dehm/technical-description> (дата обращения: 12.11.2022).
5. EcoSense: An integrated atmospheric dispersion and exposure assessment model. URL: <https://www.ier.uni-stuttgart.de/en/research/models/ecosense/> (дата обращения: 11.11.2022).
6. Environmental Benefits Mapping and Analysis Program – User’s Manual. U.S. Environmental Protection Agency, 2022. 1112 p.
7. FASST – FAsT Scenario Screening Tool. URL: <https://tm5-fasst.jrc.ec.europa.eu> (дата обращения: 12.11.2022).
8. Frohn Rasmussen L. M. EVA: Technical description. URL: <https://envs.au.dk/en/research-areas/air-pollution-emissions-and-effects/the-monitoring-program/air-pollution-models/eva/technical-description> (дата обращения: 12.11.2022).
9. Ketzel M. UBM: Technical description. URL: <https://envs.au.dk/en/research-areas/air-pollution-emissions-and-effects/the-monitoring-program/air-pollution-models/ubm/technical-description> (дата обращения: 12.11.2022).
10. Klimont Z. Greenhouse Gas and Air Pollution Interactions and Synergies (GAINS). URL: <https://iiasa.ac.at/models-and-data/greenhouse-gas-and-air-pollution-interactions-and-synergies> (дата обращения: 11.11.2022).
11. Miller G. B. IOMLIFET version 2013 – Spreadsheets for life-table calculations. Institute of Occupational Medicine, 2013. С. 5–6.
12. Pillarisetti A., Mehta S., Smith K. R. HAPIT, the Household Air Pollution Intervention Tool, to Evaluate the Health Benefits and Cost-Effectiveness of Clean Cooking Interventions. Springer International Publishing, 2016. P. 147–149.
13. Simple Interactive Models for better air quality (SIM-air). URL: <https://urbanemissions.info/tools/sim-air/> (дата обращения: 11.11.2022).
14. User’s Manual for the Co-Benefits Risk Assessment Health Impacts Screening and Mapping Tool (COBRA). Washington DC : United States Environmental Protection Agency, 2021. P. 5–8.



УДК 628.3 (571.53)

## **Проблемы очистки канализационных сточных вод в некоторых промышленных городах Иркутской области**

В. В. Приведа (privedavaleria@yandex.ru), О. А. Бархатова (barhat@geogr.isu.ru)

*Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Россия*

**Аннотация.** Работа посвящена изучению экологических проблем, связанных с проблемами очистки канализационных сточных вод в некоторых промышленных городах Иркутской области. Цель – проанализировать проблемы очистки канализационных сточных вод в некоторых промышленных городах Иркутской области для снижения степени загрязнения вод р. Ангары. На основе собранных материалов о техническом состоянии канализационных очистных сооружений в некоторых промышленных центрах юга Иркутской области и данных об анализе очищенных сточных вод, сбрасываемых в р. Ангару, по результатам производственного контроля требовалось оценить степень очистки сточных вод. Дано обоснование для решения проблемы очистки канализационных сточных вод в рассматриваемых городах, при которой бы достигалось бы снижения степени загрязнения вод р. Ангары.

**Ключевые слова:** канализационные очистные сооружения (КОС), канализационная сточная вода, стадии очистки.

### **Введение**

Вода – важнейший ресурс для человека и для многих отраслей промышленности. Человек и все живое на Земле, существовать без воды не могут, поэтому очень важно рационально использовать запасы водных ресурсов. При рациональном использовании, сбрасываемые после очистки сточные воды должны соответствовать требованиям по общим свойствам и содержанию микробиологических загрязнений. Актуальность темы состоит в том, что на данный момент остро встал вопрос об экологическом состоянии р. Ангары, основным приемным водотоком сточных вод с канализационных очистных сооружений (КОС). Это связано с тем, что многие очистные сооружения в настоящее время не справляются с увеличением нагрузки по очистке сточных вод, тем более, что рост городского населения в некоторых промышленных городах Иркутской области сопровождается увеличением водопотребления, а, следовательно, и объем сточных вод и их осадков.

Цель работы – проанализировать проблемы очистки канализационных сточных вод в некоторых промышленных городах Иркутской области.

Для достижения цели поставлены следующие задачи:

- рассмотреть стадии очистки канализационных сточных вод;
- изучить в каком техническом состоянии находятся КОС в некоторых промышленных городах Иркутской области;
- рассмотреть степень очистки сточных вод КОС, сбрасываемых в р. Ангара;
- узнать какие в настоящее время существуют пути решения проблемы очистки канализационных сточных вод.

В качестве исходных данных использовались материалы: регламентирующая правовая документация, характеризующая техническое состояние КОС промышленных центров (постановление об утверждении схем водоснабжения и водоотведения г. Иркутска на 2015, 2020 и 2025 гг.; постановление об утверждении схем водоснабжения и водоотведения муниципального образования «город Свирск» на перспективу до 2024 г. с изменениями по состоянию на 2022 г.; постановление об утверждении актуализированной схемы водоснабжения и водоотведения муниципального образования «город Черемхово»; постановление об утверждении актуализированной схеме водоснабжения и водоотведения муниципального образования «город Усолье-Сибирское Иркутской области на 2021–2028 гг.)

### **Образование и очистка сточных канализационных вод**

Сточные воды – это те воды, которые в процессе хозяйственной или иной деятельности изменили свои физико-химические свойства. Под очисткой сточных вод подразумевается уменьшение уровня вредных веществ до концентраций, которые не превышают установленных предельно допустимых концентраций (ПДК).

Процесс очистки сточных вод происходит в сети Водоканала, это те предприятия, которые занимаются водоснабжением и канализацией. Все сточные воды канализационными насосными станциями попадают в общую приемную камеру, а затем на канализационные очистные сооружения. Канализационные насосные станции применяют для перекачки сточных вод от хозяйственной или иной деятельности в виде гидротехнических оборудований и сооружений расположенные на территории города. Канализационные очистные сооружения предназначены для очистки хозяйственно-бытовых и промышленных сточных вод, поступающих от населения и предприятий города.

Существует классификация методов очистки сточных вод [1], таких как:

1. Механические: отстаивание, процеживание, фильтрование, центрифугирование.
2. Физико-химические: коагуляцию, флотацию, ионный обмен, экстракция, сорбция, ректификация, дистилляция, дезодорация, обратный осмос и электрохимические.
3. Химические: нейтрализация, аэрация, озонирование и хлорирование.
4. Биологические: биологическое разложение и биохимическое окисление.

С учетом физико-химического состава воды и от степени загрязненности сточных вод выбирается метод очистки сточных вод.

На КОС промышленных городов Иркутской области применяются следующие стадии очистки: комплекс механической очистке в виде процеживание через решетки, пескоулавливания и отстаивания, комплекс биологической очистки в виде аэротенках и комплекс обеззараживание сточных вод.

Прерывать прием сточных вод невозможно, так как работа очистных сооружений не может прекратиться. Поэтому очень важно весь процесс водоотведения сохранять в соответствующем состоянии. Для этого требуется грамотная эксплуатация КОС, которая предполагает своевременное техническое обслуживание оборудования. Очистные сооружения являются конечным участком всего комплекса водоотведения, все изменения сказываются на состоянии очистных сооружений, изменяют режим, увеличивают нагрузку.

Порядок выпуска сточных вод законодательно регулируется. Сброс сточных вод с содержанием нормируемых веществ, превышающих ПДК, в поверхностные водоемы запрещен. Если предприятия осуществляют сброс сточных вод, которые превышают нормативы, то происходит заражение водоема ксенобиотиками. В результате загрязнения меняются органолептические характеристики воды (цвет, вкус, запах), замедляются или полностью прекращаются процессы самоочищения водоемов, нарушается природный баланс, растворенный в воде кислород поглощается быстрее, на дно оседают отложения, уменьшается количество планктона, рыба вымирает, поэтому использовать водоем как рекреационный ресурс становится невозможно.

### **Анализ работы КОС некоторых промышленных городов Иркутской области**

Основными проблемами при эксплуатации КОС предприятий ЖКХ, по-прежнему, являются:

- перегрузка очистных сооружений по гидравлике и концентрации загрязняющих веществ (г. Иркутск, Усолье-Сибирское);
- устаревшая технология очистки (г. Свирск);
- моральное и физическое старение канализационных очистных сооружений.

Для снижения степени загрязнения вод р. Ангары необходимо повышение эффективности работы КОС. Проанализированные проблемы состояния КОС, влияющих на степень

очистки канализационных сточных вод в некоторых промышленных городах юга Иркутской области, позволили сделать следующие выводы:

во-первых, в таких городах как Иркутск (левобережные), Свирск, Черемхово и Усолье-Сибирское очистные сооружения находятся в аварийном состоянии, в связи со значительным износом оборудования и его перегрузкой (по гидравлическим показателям и концентрации загрязняющих веществ).

во-вторых, очищенные стоки, сбрасываемые из очистных сооружений в р. Ангару, в вышеперечисленных промышленных центрах, имеют превышение предельно допустимых концентраций в соответствии с установленным нормативом качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения. Так, очищенные сточные воды от КОС, расположенные в г. Свирске, имеют превышения по таким веществам, как медь, свинец, цинк, нефтепродукты, взвешенные вещества, БПК<sub>полн</sub>, железо общее и нитриты. Очищенные сточные воды от КОС, расположенные в г. Черемхово, имеют превышения по таким веществам как, сульфат-ион, ХПК, нитрат-ион, БПК<sub>5</sub>, железо общее, ион-аммония, нитрит-ион.

Хочется особо отметить ситуацию, которая сложилась на правобережных КОС г.Иркутска. Долгое время при сбросе сточных вод фиксировалось превышение ПДК по таким показателям, как взвешенные вещества, БПК полное, аммоний солевой, нефтепродукты, медь, цинк, СПАВ. Технологическое оборудование КОС по состоянию за 2013 г. не позволяют проводить очистку сточных вод до показателей, установленных соответствующими природоохранными требованиями.

В 2012 г. было принято решение о включении г. Иркутска в Федеральную целевую программу экономического и социального развития Дальнего Востока и Байкальского региона. Для города Иркутска были приняты программы: инвестиционная программа «Развитие систем водоснабжения, водоотведения и очистки сточных вод города Иркутска на 2011–2015 годы»; инвестиционная программа МУП «Водоканал» г. Иркутска «Развитие систем водоснабжения и водоотведения на 2016–2020 годы»; «Об утверждении Схем водоснабжения и водоотведения г. Иркутска на 2015, 2020 и 2025 годы» [2].

Реконструкция КОС на правом берегу Ангары в Иркутске реализуется с 2016 г. и проект реконструкции канализационных очистных сооружений (КОС) на левом берегу р. Ангары в Иркутске подготовлен в 2023 г. На сегодняшний момент практически закончилась модернизация правобережных КОС г. Иркутска, что позволило снизить негативное влияние на поверхностные воды р. Ангара.

По данным из государственного доклада о состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области с 2013 г. качество вода характеризовалась как «слабо загрязненная», 2-й класс, а с 2017 по 2021 г. качество воды по оценке УКИЗВ (удельный комбинаторный индекс загрязненности воды), соответствовало 1-му классу, «условно чистая» вода [3–6].

### **Пути решения проблемы очистки сточных вод**

Отсутствие необходимых финансовых средств у многочисленных муниципальных предприятий ЖКХ не позволяет осуществлять в должной мере эксплуатацию физически устаревших водопроводных сетей, что приводит, к ухудшению качества подаваемой потребителям питьевой воды даже из благополучных водоисточников, авариям на водоводах и, как следствие, некачественной очистке сточных вод на очистных сооружениях и загрязнению водных объектов.

Во всех рассматриваемых промышленных городах юга Иркутской области существуют проблемы очистки канализационных сточных вод, так как проводимый анализ сточных вод, не соответствуют установленным нормативам допустимых сбросов. Все КОС построены в СССР и в настоящее время оборудование сильно изношено.

Для города Свирск с целью достижения нормативов водоёма рыбохозяйственного значения и снижения негативного воздействия на окружающую среду, на комплексе очистных сооружений канализации рекомендуется провести реконструкцию с увеличением мощности и

внедрением УФ-обеззараживания, или строительство новых КОС, а также замена эмшерского колодца и аэрируемого трубопровода.

Для города Черемхова повышения качество работы канализационных очистных сооружений рекомендуется провести:

1) замена реечной решетки для механической очистки, которая облегчит эксплуатацию механического оборудования, улучшить работу песколовков, а также улучшит работу отстойников.

2) реконструкцию главного канализационного коллектора обеспечит исключение попадания вод р. Черемшанки в канализационный коллектор и снизит объем сточных вод, поступающих на канализационные очистные сооружения.

3) провести мероприятия по реконструкции участков канализации позволит снизить уровень аварийности канализационной сети, обеспечит получение потребителями качественной услуги по водоотведению и снижение вредного воздействия на окружающую среду.

4) перевод канализационных очистных сооружений на ультрафиолетовое обеззараживание сточных вод.

Ультрафиолетовое обеззараживание не требует введения в воду химических реагентов и действует не только на бактериальную флору, но и бактериальные споры. Бактерицидное облучение действует мгновенно и, следовательно, вода, прошедшая через установку, может сразу же поступать непосредственно в водоем. Дезинфекция с помощью ультрафиолетовых лучей не оказывает токсического влияния на водные организмы и не приводит к образованию вредных для здоровья химических соединений. Эффект обеззараживания основан на воздействии ультрафиолетовых лучей с длиной волны 200–300 нм на белковые коллоиды и ферменты протоплазмы микробных клеток. Бактерицидный эффект зависит от прямого воздействия ультрафиолетовых лучей на каждую бактерию. Обработанная ультрафиолетовым излучением вода должна иметь достаточную прозрачность, поскольку в загрязненных водах интенсивность проникновения ультрафиолетовых лучей быстро затухает, что ограничивает использование ультрафиолетовых установок для обеззараживания сточных вод. Обеззараживание воды происходит вследствие фотохимического воздействия на бактерии ультрафиолетовой бактерицидной энергией, излучаемой специальными лампами [6].

Для города Усолье-Сибирское первоочередными мероприятиями по снижению сбросов загрязняющих веществ в поверхностные водные объекты, подземные водные объекты и водозаборные площадки являются:

- 1) реконструкция сетей водоотведения в г. Усолье-Сибирском;
- 2) строительство нового комплекса очистных сооружений бытовых сточных вод.

#### Список литературы

1. Воронов Ю. В., Яковлев С. В. Водоотведение и очистка сточных вод : учеб. для вузов. М. : АСВ, 2008. 704 с.
2. Макоприна Л. В. Состояние систем водоотведения в Иркутской области и перспективы их развития в соответствии с государственными программами // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2017. Т. 7. № 1. С. 69–76. (дата обращения: 26.05.2023).
3. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2013 году». Иркутск : Иркутскгеофизика, 2014. 389 с.
4. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2019 году». Иркутск : Мегапринт, 2020. 314 с.
5. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2020 году». Иркутск : Мегапринт, 2021. 330 с.
6. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2021 году». Ижевск : Принт, 2022. 252 с.

УДК 504.054:547.68

## Состав, концентрация и происхождение полициклических ароматических углеводородов в водах и донных отложениях озера Байкал и его притоков

М. Ю. Семенов (smu@mail.ru), И. И. Маринайте (marin@lin.irk.ru)

Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск, Россия

**Аннотация.** Делается попытка обобщения и систематизации данных, полученных авторами в период с 2011 по 2023 г. В качестве метода анализа полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) использовалась газовая хроматография с масс-спектрометрическим детектированием, в качестве метода выявления источника – метод факторного анализа и метод главных компонент. Установлено, что суммарная концентрация шестнадцати ПАУ в водах находится в пределах от 5 до 200 нг/л, а в осадках – от 50 нг/г до 6 мкг/г. В водах абсолютно преобладают легкие ПАУ, а в донных осадках – тяжелые. Данный факт является результатом фракционирования ПАУ в системе вода – почва. Он находит свое отражение в результатах выявления источников ПАУ в воде: в отличие от осадков, там присутствует фракция ПАУ, не имеющая единого источника. Основным источником загрязнения является горение биомассы и ископаемого топлива. Загрязнение ПАУ проявляется в отрицательной корреляции между величинами коэффициентов распределения октанол/вода и вода/донные отложения. Результаты исследования будут использованы для создания системы мониторинга ПАУ.

**Ключевые слова:** полициклические ароматические углеводороды, воды, донные отложения, Байкал, притоки.

### Введение

Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) – класс сложных органических соединений, состоящих из углерода и водорода, для которых характерно наличие в химической структуре двух и более конденсированных бензольных колец [12]. В 1970-х гг. Агентство по охране окружающей среды США (USEPA) включило 16 ПАУ (табл. 1) в список приоритетных загрязнителей [8]. Причиной послужил доказанный мутагенный и канцерогенный эффект этих ПАУ в отношении человека.

Таблица 1

Свойства ПАУ

РАН	Число колец	Аббревиатура	Молекулярная масса	Растворимость в воде, мг/л	Коефф. распределения октанол/вода (logK <sub>ow</sub> )
Нафталин	2	NAP	128	31	3,37
Аценафтилен	3	ACY	152	16,1	4
Аценафтен	3	ACE	154	3,8	3,92
Флуорен	3	FLU	166	1,9	4,18
Фениантрен	3	PHE	178	1,1	4,57
Антрацен	3	ANT	178	0,045	4,54
Флуорантен	4	FLT	202	0,26	5,22
Пирен	4	PYR	202	0,132	5,18
Бенз(а)антрацен	4	BaA	228	0,011	5,91
Хризен	4	CHR	228	0,0019	5,86
Бензо(б)флуорантен	5	BbF	252	0,0015	5,8
Бензо(к)флуорантен	5	BkF	252	0,0008	6
Бензо(а)пирен	5	BaP	252	0,0038	6,04
Бензо(г,х,и)перилен	6	BghiP	276	0,00026	6,5
Индено(1,2,3-с,д)пирен	6	IcdP	276	0,00019	6,7
Дибензо(а,х)антрацен	5	DahA	278	0,0006	6,75

Наименее токсичны низкомолекулярные (НМ) ПАУ, состоящие максимум из трех колец, наиболее токсичны высокомолекулярные (ВМ) ПАУ, состоящие из четырех и более колец.

За последние 50 лет изучению ПАУ в водах и донных осадках пресноводных экосистем посвящены тысячи исследований [9]. На этом фоне изученность водных экосистем бассейна оз. Байкал оставляет желать лучшего: количество публикаций на эту тему составляет не-

сколько десятков. Первые журнальные статьи появились только в 1993–1994 гг. Они были посвящены оценке выноса взвешенных техногенных органических веществ, включая ПАУ, в оз. Байкал с водами его притоков [6]. После этого в течение почти десяти лет в печати появлялись, главным образом, работы, посвященные ПАУ в атмосферном аэрозоле [3; 5]. В 2000-х гг. стали появляться работы, посвященные ПАУ воде Байкала и его притоков [4; 6], а также в донных осадках Байкала и Селенги [1; 2; 11]. В последние годы большое внимание уделялось поиску источников ПАУ [10; 13; 14]. К сожалению, приведенные в литературе сведения о составе, концентрациях и происхождении ПАУ в водах и донных отложениях оз. Байкал и его притоков довольно противоречивы. Целью исследования было обобщение и систематизация данных о составе ПАУ компонентов водных экосистем бассейна Байкала для разработки системы мониторинга ПАУ в регионе.

### Материалы и методы

Исследование проводилось в бассейне оз. Байкал в 2011–2023 гг. Пробы отбирались в оз. Байкал и его притоках. Среди них малые реки северо-западного (Кичера, Тья, Сарма, Рель), северо-восточного (Томпуда, Турка, Сухая), юго-восточного (Утулик, Переемная, Хара-Мурин, Снежная, Мишиха) и юго-западного (Бугульдейка, Голоустная, Анга, Сарма) побережий. Также были обследованы главные притоки Байкала – реки Селенга, Баргузин и Верхняя Ангара. Пробы воды отбирались с поверхности, пробы донных осадков отбирались драгой. В качестве метода анализа ПАУ использовалась газовая хроматография с масс-спектрометрическим детектированием. В разные годы определялось разное количество ПАУ, но все они входили в число шестнадцати приоритетных.

### Результаты и обсуждение

*ПАУ в воде.* Имеющиеся на сегодняшний день сведения о концентрациях отдельных ПАУ в притоках оз. Байкал весьма противоречивы и свидетельствуют об их значительной пространственной и временной вариабельности. Так, по данным настоящего исследования, полученным в 2015–2018 гг., средняя концентрация суммы двенадцати измеренных ПАУ (табл. 2) в малых реках составляет 3,6 нг/л, в то время как в больших реках она составляла 6,0 нг/л. При этом, согласно работе [4; 14], концентрации одних только PHE и FLT в водах малых рек варьируют в пределах от 20 до 90 нг/л и от 7 до 30 нг/л, соответственно, а в водах главных притоков – от 1,5 до 40 нг/л и от 0,5 до 22 нг/л, соответственно. Вполне возможно, что причиной таких разночтений является разное содержание взвеси в отобранных пробах. Дело в том, что ввиду низких содержаний ПАУ, воды, отобранные в бассейне оз. Байкал, традиционно не фильтруют.

Таблица 2

Состав ПАУ воды притоков Байкала, нг/л

	PHE	ANT	FLT	PYR	BaA	CHR	BbF	BkF	BeP	BaP	IcdP	BghiP	Сумма
Главные притоки													
В. Ангара	1,69	0,14	0,44	0,43	0,17	0,23	0,24	0,43	0,26	0,19	0,10	0,34	4,65
Баргузин	2,87	0,14	0,97	0,76	0,26	0,28	0,24	0,17	0,23	0,28	0,29	0,34	6,83
Селенга	2,35	0,84	0,62	0,43	0,24	0,69	0,24	0,30	0,24	0,23	0,20	0,25	6,63
Среднее	2,30	0,37	0,68	0,54	0,22	0,40	0,24	0,30	0,24	0,23	0,20	0,31	6,04
Малые притоки													
Томпуда	0,93	0,12	0,26	0,20	0,16	0,13	0,64	0,25	-	-	-	-	2,69
Рель	1,47	0,21	0,42	0,42	0,16	0,11	0,23	0,12	0,19	0,39	-	-	3,73
Анга	1,16	0,13	0,34	0,24	0,19	0,14	0,41	0,19	-	-	-	-	2,80
Сухая	2,16	0,31	0,74	0,57	0,16	0,16	0,47	0,36	-	-	0,08	0,13	5,13
Турка	1,41	0,13	0,48	0,44	0,21	0,20	0,65	0,17	-	-	-	-	3,70
Голоустная	1,00	0,08	0,37	0,28	0,11	0,15	1,22	0,33	-	-	-	-	3,52
Среднее	1,36	0,16	0,43	0,36	0,17	0,15	0,60	0,24	0,03	0,06	0,01	0,02	3,60

Сведения о концентрациях ПАУ в водах самого Байкала не менее противоречивы. Так, согласно данным, полученным в рамках настоящего исследования в 2015–2017 гг., концентрации ПАУ в водах озера несколько ниже, чем в водах его притоков. Например, концентрации PHE и FLT в воде Байкала редко превышала 2 и 1 нг/л соответственно, а суммарная концентрация 12 ПАУ не превышала 3нг/л (табл. 3).

При этом, в заведомо загрязненных местах, суммарная концентрация двенадцати ПАУ достигала 116 нг/л. Более низкая, по сравнению с главными притоками, концентрация ПАУ в Байкале, по-видимому, обусловлена большим временем водообмена в озере.

Состав ПАУ воды Байкала, нг/л

Таблица 3

	PHE	ANT	FLT	PYR	BaA	CHR	BbF	BkF	BeP	BaP	IcdP	BghiP	Сумма
Середина	1,19	0,16	0,47	0,28	0,12	0,11	0,16	0,09	0,12	0,05	0,14	0,16	3,03
Близ Давши	1,20	0,26	0,63	0,37	0,35	2,55	12,2	3,25	7,92	1,44	7,23	10,7	48,1
Баргузинский зал.	1,39	0,16	0,64	0,27	0,14	0,48	4,28	0,86	2,94	0,28	1,62	1,46	14,5
Близ Байкальска	70,9	18,1	11,1	5,79	6,11	2,64	0,24	0,17	0,23	0,28	0,29	0,34	116

ПАУ в донных отложениях. Сведения о концентрациях ПАУ в донных осадках водоемов и водотоков бассейна оз. Байкал не менее противоречивы, чем сведения о содержании ПАУ в водах. Согласно данным настоящего исследования, полученным в 2018–2019 гг., суммарное содержание одиннадцати приоритетных ПАУ в донных осадках основных русел притоков Байкала варьирует в пределах от 20 до 151нг/г (табл. 4).

Состав ПАУ донных отложений притоков Байкала, нг/г

Таблица 4

	PHE	ANT	FLT	PYR	BaA	CHR	BbF	BkF	BaP	IcdP	BghiP	Сумма
Притоки												
Утулик	3,43	0,22	1,58	0,76	0,10	0,32	3,64	0,80	0,34	1,27	1,11	21,0
Хара-Мурин	4,24	0,25	2,49	1,20	0,16	0,63	20,6	3,99	0,69	7,11	7,33	57,8
Переменная	3,89	0,30	1,93	1,00	0,11	0,36	21,9	4,28	-	-	-	41,3
Мишиха	4,31	0,66	2,16	1,07	0,22	0,55	15,1	3,19	1,08	8,89	9,92	56,2
Селенга	7,30	1,67	3,85	2,30	0,90	1,01	23,5	9,23	8,79	8,60	6,48	78,4
Крестовка	6,19	1,98	3,44	1,95	0,92	1,12	30,3	9,70	9,52	8,70	9,94	90,0
Бугульдейка	3,80	0,24	1,76	0,96	0,10	0,16	5,09	1,62	-	-	-	20,4
Среднее	4,74	0,76	2,46	1,32	0,36	0,59	17,1	4,69	2,92	4,94	4,97	52,2
Река Голоустаня												
Русло	5,82	3,22	3,19	1,71	0,67	0,75	13,7	4,83	3,91	3,35	3,37	51,1
Протока, ил	15,7	1,93	20,6	13,1	8,10	6,12	25,3	9,21	11,0	12,8	7,57	151
Протока, песок	5,72	0,27	2,52	1,26	0,24	0,35	26,2	7,30	1,57	-	-	56,8
Среднее	9,07	1,81	8,76	5,36	3,00	2,41	21,7	7,11	5,51	5,38	3,65	86,2

В отличие от воды, в них преобладают тяжелые ПАУ. Содержание ПАУ в осадках рек в пределах населенных пунктов значительно выше, чем в осадках рек фоновых территорий. Кроме того, содержание ПАУ в донных отложениях сильно зависит от их гранулометрического состава: в илистых отложениях оно значительно выше, чем в песчаных. Как бы не были высоки концентрации ПАУ, полученные в данном исследовании, в литературе имеются данные и о более высоких. Согласно работе [1], концентрации суммы шестнадцати приоритетных ПАУ в осадках Селенги находятся в пределах от 0,3 до 2 мкг/г, а осадках рек Турка, Хаим и Баргузин – от 0,5 до 1 мкг/г. Преобладающими аренами, по данным авторов, явились легкие ПАУ – PHE, ANT и PYR.

Согласно данным, полученным нами в 2017–2018 гг., суммарная концентрация одиннадцати приоритетных ПАУ в донных отложениях оз. Байкал варьирует в пределах от 4 до 114 нг/г. Наиболее низкие концентрации (20–70 нг/г) характерны для литоральной зоны (табл. 5), наиболее высокие (50–400) – для пелагиальной (табл. 6).

Таблица 5

Состав ПАУ донных отложений литоральной зоны Байкала, нг/г

	PHE	ANT	FLT	PYR	BaA	CHR	BbF	BkF	BaP	IcdP	BghiP	Сумма
Сахюрта	1,80	0,11	0,78	0,42	0,05	0,09	0,44	0,18	0,08	0,17	0,10	4,24
Базарная	3,11	0,28	1,28	0,64	0,04	0,13	13,3	4,34	-	-	-	23,1
Голоустное	2,89	0,43	1,11	0,55	0,04	0,11	1,27	0,26	-	-	-	6,68
Бугульдейка	6,72	1,42	7,26	4,53	1,96	2,05	17,9	5,28	4,86	7,74	5,92	65,6
Листвянка	1,83	0,16	0,89	0,51	0,10	0,17	0,61	0,16	0,13	0,14	0,09	4,79
Култук	2,84	1,10	1,39	0,90	0,34	0,48	55,8	19,5	9,07	14,5	8,28	114
Байкальск	3,49	1,13	1,25	0,71	0,26	0,41	10,9	2,41	2,60	1,52	1,18	25,9
Выдрино	3,18	1,21	1,57	0,98	0,25	0,41	1,19	0,24	0,21	0,27	0,22	9,72
Половинный	6,91	1,47	3,50	1,74	0,39	0,75	29,3	7,50	5,02	7,49	3,89	68,0
Среднее	3,64	0,81	2,11	1,22	0,38	0,51	14,52	4,43	2,44	3,53	2,19	35,8

Таблица 6

Состав ПАУ донных отложений пелагиальной зоны Байкала, нг/г

	PHE	ANT	FLT	PYR	BaA	CHR	BbF	BeP	BaP	IcdP	BghiP	Сумма
Селенга (204 м)	50,3	0,58	4,23	3,50	1,25	4,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	64,2
Селенга (10 м)	55,4	1,71	19,6	14,4	4,20	12,6	62,7	14,6	3,27	0,97	2,77	192,3
Горевой утес (1083 м)	31,0	0,41	2,20	2,58	0,58	1,77	166	41,7	19,2	15,2	56,5	336,9
Святой нос (1450 м)	75,0	0,98	3,39	3,08	0,99	2,90	183	46,0	20,1	12,3	46,4	394,4
Чевьюкуйский залив	33,6	0,60	5,99	4,45	0,66	1,56	10,5	2,04	0,56	1,06	1,59	62,6
Энхалук	76,7	1,35	11,0	9,28	1,29	2,70	16,3	3,67	0,99	2,47	3,68	129,4
Хакусы	80,0	0,00	4,50	3,26	0,45	0,88	10,6	2,38	0,64	1,60	2,39	106,7
Котельниковский мыс	63,2	0,00	4,19	2,58	0,41	1,01	7,42	1,67	0,45	1,12	1,67	83,7
Академический хребет	38,5	0,30	2,88	2,19	0,36	1,16	1,82	0,79	0,00	0,24	0,46	48,7
Кадильный мыс	47,4	0,00	4,03	2,88	0,43	1,05	5,36	0,94	0,53	0,58	0,90	64,1
Среднее	55,1	0,6	6,2	4,8	1,1	3,0	46,4	11,4	4,6	3,6	11,6	148

Эти данные вполне согласуются с литературными с данными, полученными другими авторами [1].

### Заключение

В результате исследования установлено, что различия между результатами исследований, посвященных изучению количественного и качественного состава ПАУ в водах и донных отложениях Байкала и его притоков, являются результатом отсутствия единого подхода к определению ПАУ. Для установления пространственных и временных закономерностей изменения состава ПАУ компонентов водных экосистем необходимо выработать единую методику отбора, хранения и анализа проб вод и донных осадков. Что касается вод, то для объяснения состава содержащихся в них ПАУ необходимо их определение в нефилтрованной воде, фильтрованной воде и взвеси.

*Исследование выполнено за счет средств гранта Российского научного фонда (проект № 23-27-00101).*

### Список литературы

1. Загрязнение бассейна озера Байкал: полиароматические углеводороды / В. Б. Батоев, Л. Вайсфлог, К. Д. Венцель [и др.] // Химия в интересах устойчивого развития. 2003. № 6. С. 837–842.
2. Загрязнение донных отложений оз. Байкал полициклическими ароматическими углеводородами / А. М. Никаноров, С. А. Резников, А. А. Матвеев [и др.] // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2013. № 1. С. 105–117.
3. Источники загрязнения атмосферы полициклическими ароматическими углеводородами в промышленном Прибайкалье / Л. И. Белых, Ю. М. Малых, Э. Э. Пензина [и др.] // Оптика атмосферы и океана. 2002. Т. 15. № 10. С. 944–948.
4. *Marinaïte И. И.* Полициклические ароматические углеводороды в воде притоков Южного Байкала. Оптика атмосферы и океана. 2006. Т. 19. № 6. С. 499–503.



5. Полициклические ароматические углеводороды в снежном покрове Южного побережья оз. Байкал / А. Г. Горшков, И. И. Мариняйге, В. А. Оболкин [и др.] // Оптика атмосферы и океана. 1998. Т. 11, № 8. С. 913–918.
6. Снытко В. А., Афонина Т. Е. О балансе углеводородных соединений в озере Байкал // Известия Русского Географического общества. 1994. Т. 126, № 3. С. 65–69.
7. Современный уровень нефтепродуктов в воде озера Байкал и его притоков / А. Г. Горшков, И. И. Мариняйге, Т. И. Земская [и др.] // Химия в интересах устойчивого развития. 2010. № 18. С. 711–718.
8. Andersson J. T., Achten C. Time to say goodbye to the 16 EPA PAHs? Toward an up-to-date use of PACs for environmental purposes // Polycyclic Aromatic Compounds. 2015. Vol. 35. P. 330–354.
9. A review on polycyclic aromatic hydrocarbons distribution in freshwater ecosystems and their toxicity to benthic fauna / F. Jesus, J. L. Pereira, I. Campos [et al.] // Science of the Total Environment. 2022. Vol. 820. P. 153–282.
10. Identifying and Characterizing Critical Source Areas of Organic and Inorganic Pollutants in Urban Agglomeration in Lake Baikal Watershed / M. Y. Semenov, A. V. Silaev, Y. M. Semenov [et al.] // Sustainability 2022. Vol. 14. P. 14827.
11. Levels and origin of PAHs in some big lakes / U. Kirso, N. Irha, L. Paalme [et al.] // Polycyclic Aromatic Compounds. 2002. Vol. 22, N 3–4. P. 715–728.
12. Ravindra K., Sokhi R., Vangrieken R. Atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons: source attribution, emission factors and regulation // Atmospheric Environment. 2008. Vol. 42, N 3. P. 2895–2921.
13. Source apportionment of polycyclic aromatic hydrocarbons in Lake Baikal water and adjacent air layer / M. Y. Semenov, I. I. Marinaita, L. P. Golobokova [et al.] // Chemistry and Ecology. 2017. Vol. 33. P. 977–990.
14. Wildfires as a Source of PAHs in Surface Waters of Background Areas (Lake Baikal, Russia) / A. G. Gorshkov, O. N. Izosimova, O. V. Kustova [et al.] // Water. 2021. Vol. 13. 2636 p.

УДК 631.427

## Влияние дизельного топлива на ферментативную активность почв севера Красноярского края в условиях модельного эксперимента

О. Ю. Семина (sem\_olga02@mail.ru)

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва, Россия

**Аннотация.** Загрязнения почв нефтью и нефтепродуктами оказывает отрицательное воздействие на ферментативную активность почв, особенно на территориях распространения многолетнемерзлых пород. По показателям ферментативной активности можно предположить, в каком состоянии находится почва и почвенная микрофауна. В работе исследованы изменения активности ферментов: каталазы (класс оксидоредуктаз) и инвертазы (класс гидролаз) при загрязнении почв (подбуря оподзоленного; аллювиальной дерновой глеевой почвы) дизельным топливом в условиях модельного эксперимента. По окончании эксперимента показано, что активность каталазы в почвах значительно снизилась после загрязнения дизельным топливом. Противоположные результаты получены для инвертазы; наблюдалось увеличение активности этого фермента, что может быть связано с высоким содержанием водорастворимых органических соединений углерода.

**Ключевые слова:** ферментативная активность, нефтезагрязнение, нефтепродукты, почвы криолитозоны.

Россия – страна северная; значительная часть территории лежит за полярным кругом, в зоне распространения многолетней мерзлоты. Интерес к северным территориям резко возрос, прежде всего, в связи с расширением добычи полезных ископаемых, в основном, металлов и углеводородов.

Место арктических и субарктических территорий значительно в экологическом равновесии Северного полушария. Эта территория регулирует поступление кислорода и метана, а также относится к территориям с глобальными атмосферными процессами [12]. Север Красноярского края является одним из богатейших регионов Сибири по запасам полезных ископаемых, их добыча и обработка сопряжена с нанесением ущерба объектам окружающей среды. Различные авторы отмечают, что любые антропогенные воздействия на природные комплексы этого региона (развитие и расширение зоны добычи углеводородов, вырубки лесов, пожары, «протаивание» слоя многолетнемерзлых пород, увеличение заболачивания) практически исключают возобновление экосистемы, главным образом, почвенного и растительного покрова

[9]. Примером антропогенного воздействия (катастрофы, связанной с разливом дизельного топлива), является разлив 29 мая 2020 г. в районе Кайеркан г. Норильска, где произошла разгерметизация бака резервного дизельного топлива на теплоэлектроцентрали с последующим возгоранием. В результате разлива пострадали не только водные объекты, но и почвенный покров площадью около 180 тыс. м<sup>2</sup> [8].

Цель работы – изучение активности ферментов каталазы и инвертазы в почвах с разным содержанием лабильного органического вещества при загрязнении их дизельным топливом.

Загрязнение почв нефтью и нефтепродуктами приводит к коренным изменениям многих почвенных свойств. Так, например, при попадании нефти и нефтепродуктов в почву происходит обволакивание нефтью почвенных частиц, в результате чего происходит увеличение гидрофобности почвы, и она утрачивает способность впитывать и удерживать влагу. В итоге это приводит к нарушению водного и воздушного режима почвы, которое оказывает негативное воздействие на функционирование растений и ферментативную активность.

Углеводороды нефти оказывают прямое и косвенное токсическое воздействие на микроорганизмы. Косвенное проявляется в снижении доступности элементов минерального питания, ухудшении водного и воздушного режимов почв, изменении структуры и реакции среды почв. Из-за нефтяных загрязнений снижается общая численность, биомасса микроорганизмов и изменяется структура микробного сообщества. С одной стороны, при высоких концентрациях нефти происходит незначительное увеличение биоразнообразия почвенных бактерий, а с другой – начинается доминирование меньшего количества таксонов [6].

Одним из важнейших параметров, характеризующих почву, является ее биологическая активность, которая состоит из взаимодействия живых организмов почвы друг с другом и продуктами их жизнедеятельности. Высокая биологическая активность – это один из главных признаков «хорошего» биогеоценоза [5]. Наибольший вклад в показатели биологической активности вносят микроорганизмы, которые являются редуцентами органических остатков, а также ферменты – продукты метаболизма почвенной биоты.

Катализаторами, отвечающими за деградацию нефти и нефтепродуктов, являются ферменты, которые вырабатываются почвенными микроорганизмами. Каталаза – это фермент, относящийся к классу оксидоредуктаз. Она является катализатором реакции разложения перекиси водорода на воду и молекулярный кислород [4]. При нефтяном загрязнении происходит ингибирование активности каталазы. Наибольшее ингибирующее воздействие оказывают ароматические углеводороды, наименьшее – парафины. Однако некоторые углеводороды способны повышать активность каталазы, например, *n*-гексадекан и циклогексан [14].

Негативное воздействие нефти и нефтепродуктов на каталазную активность связано с изменением условий протекания ферментативных реакций, обусловлено формированием анаэробных условий и наличием фенольных соединений [3]. Снижение активности каталазы дизельным топливом может быть обусловлено наличием серы и меркаптанов в составе дизельного топлива, которые выступают ингибиторами этого фермента [11].

Одним из представителей класса гидролаз является инвертаза или  $\beta$ -фруктофуранозидаза, осуществляющая гидролиз сахарозы на глюкозу и фруктозу. Было показано, что загрязнение почв нефтью и нефтепродуктами снижает активность инвертазы [13]. Низкие концентрации нефти вызывают незначительное уменьшение активности инвертазы, а действие высоких доз нефтяного загрязнения снижает работу фермента на 11,4 % [10].

Все вышесказанное свидетельствует о том, что ферментативная активность интенсивно реагирует на загрязнения почв нефтью и нефтепродуктами. Компоненты нефти оказывают различное влияние на активность ферментов, снижая ее, или, в некоторых случаях, повышая их активность в почвах.

### **Объекты и методы**

Объектами исследования выбраны почвы ненарушенного строения (монолиты), отобранные в окрестностях города Норильска летом 2021 г. Почвы – подбур оподзоленный и аллювиальная дерновая глеевая типичная почва, формирующиеся в природной зоне с крайне

агрессивными климатическими условиями при близком залегании льдистой многолетней мерзлоты. Пробы были отобраны в колонки высотой 60 см и диаметром 12 см.

Масса монолита составила примерно 4500 г. В течение всего модельного эксперимента почвы поддерживались при естественной влажности гравиметрически, при необходимости с поверхности опрыскивались водой.

На поверхность монолитов было внесено по 100 г дизельного топлива (ДТ), после чего монолиты были помещены в климатическую камеру сроком на 1 месяц при температуре +15°C (средняя температура самого теплого месяца в г. Норильске). По окончании модельного эксперимента монолиты почв были разобраны на горизонты и высушены.

В пробах почв были определены следующие показатели:

- Содержание нефтепродуктов (НП) в почвах было проведено по «Методике выполнения измерений массовой концентрации НП в пробах почв гравиметрическим методом» [7];
- Активность каталазы в почве была определена газометрически по Звягинцеву [1];
- Инвертаза ( $\beta$ -фруктофуранозидаза) была определена учётом восстанавливающих сахаров по Бертрану [1].

### Результаты и обсуждения

По окончании эксперимента распределение НП по профилям исследованных почв представлено в табл. 1.

Таблица 1  
Распределение нефтепродуктов (мг/кг) в профилях почв

Горизонт, глубина, см	Содержание НП, мг/кг
Подбур оподзоленный (контроль)	
О (0–5)	380
АО1 (5–8)	338
АО2 (8–12)	589
ВНFe (12–32)	507
ВНF (32–41)	153
ВС (41–...)	100
Подбур оподзоленный (ДТ)	
О (0–5)	106624
АО1 (5–8)	128448
АО2 (8–12)	100584
ВНFe (12–32)	1841
ВНF (32–41)	523
ВС (41–...)	360
Аллювиальная дерновая глеевая (контроль)	
О (0–5)	1914
АО1 (5–10)	985
АО2 (10–20)	536
Ауg (20–27)	114
G (27–34)	330
CG (34–...)	286
Аллювиальная дерновая глеевая (ДТ)	
О (0–5)	215088
АО1 (5–10)	87185
АО2 (10–20)	3945
Ауg (20–27)	3722
G (27–34)	1866
CG (34–...)	1147

Максимальное содержание НП в подбуре оподзоленном (в контрольном варианте) приурочено к средним горизонтам (АО2, ВНFe), а при загрязнении ДТ максимумы содержания наблюдаются в трех верхних горизонтах (О, АО1, АО2). В случае аллювиальной дерновой глеевой почвы мы наблюдали высокое содержание НП в верхнем горизонте и снижение содержания НП с глубиной. Основная часть мигрирующих НП локализуется преимущественно в верхних 10–15 см почвенной толщи; миграция НП незначительная, как по количеству, так и по длине пути.

В табл. 2 представлена биологическая активность каталазы и инвертазы в почвах. В подбуре оподзоленном происходит снижение активности каталазы при загрязнении почвы ДТ. Контрольный вариант характеризуется «бедной» и «очень бедной» активностью этого фермента. В варианте с загрязнением ДТ мы наблюдаем аналогичные результаты. В случае аллювиальной дерновой глеевой почвы мы также наблюдаем снижение активности каталазы, однако в горизонте АО1 отмечена высокая активность каталазы. При загрязнении ДТ активность каталазы в горизонте АО1 становится средней, снижаясь на градацию.

Таблица 2

Ферментативная активность верхних горизонтов

Горизонт, глубина, см	Каталаза (см <sup>3</sup> /г·мин <sup>-1</sup> )	Инвертаза (мг глюкозы/г·сут <sup>-1</sup> )
	Подбур оподзоленный (контроль)	
О (0–5)	2,00	12,75
АО1 (5–8)	0,68	14,06
АО2 (8–12)	0,64	11,75
Подбур оподзоленный (ДТ)		
О (0–5)	1,40	17,89
АО1 (5–8)	0,67	11,89
АО2 (8–12)	0,26	5,14
Аллювиальная дерновая глеевая (контроль)		
О (0–5)	1,42	44,33
АО1 (5–10)	10,75	51,67
АО2 (10–20)	2,64	52,46
Аллювиальная дерновая глеевая (ДТ)		
О (0–5)	4,03	44,11
АО1 (5–10)	6,80	53,56
АО2 (10–20)	1,64	29,09

Полученные данные говорят, что в исследуемых почвах произошло снижение активности каталазы после загрязнения ее ДТ (рис. 1, 2). Было показано, что потребление углеводов может сопровождаться снижением активности каталазы и увеличением численности штаммов-деструкторов [2].

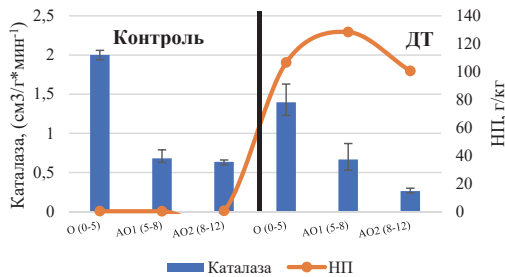


Рис. 1. Изменение активности каталазы при загрязнении подбур оподзоленного ДТ (планками отмечены минимальные и максимальные значения)

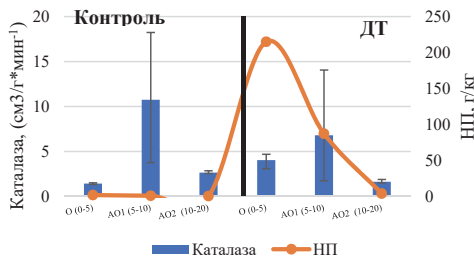


Рис. 2. Изменение активности каталазы при загрязнении аллювиальной дерновой глеевой почвы ДТ (планками отмечены минимальные и максимальные значения)

Данные, полученные по активности инвертазы, не однозначны. В верхнем горизонте подбуря оподзоленного при загрязнении ДТ наблюдается более высокая активность инвертазы, чем в контрольном варианте. Аналогичное наблюдается и в загрязненном варианте аллювиальной дерновой глеевой почвы, но уже во втором горизонте АО1.

В подбуре оподзоленном при загрязнении его ДТ происходит снижение активности инвертазы по мере увеличения содержания ДТ (рис. 3). Изменяется распределение инвертазы по профилю подбуря, резко снижаясь с глубиной. В случае аллювиальной дерновой глеевой почвы сначала происходит снижение активности фермента (при максимальном количестве НП), а после, на глубине 5–10 см, активность инвертазы возрастает со снижением содержания НП (рис. 4).

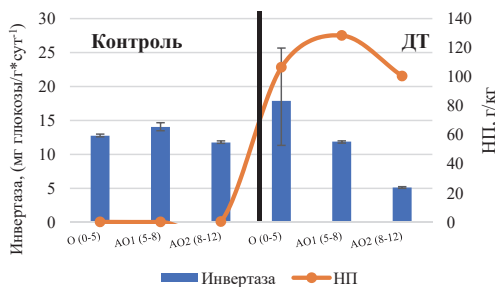


Рис. 3. Изменение активности инвертазы при загрязнении подбуря оподзоленного ДТ (планками отмечены минимальные и максимальные значения)

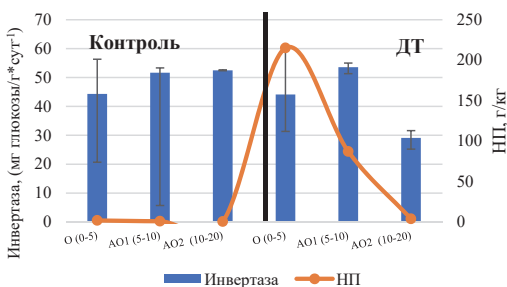


Рис. 4. Изменение активности инвертазы при загрязнении аллювиальной дерновой глеевой почвы ДТ (планками отмечены минимальные и максимальные значения)

На этой же глубине возрастает содержание водноэкстрагируемого углерода (Свод), фракции, где в состав водорастворимых органических соединений входят сахара. Инвертаза осуществляет гидролитическое разложение сахарозы, обеспечивая поступление в почву растворимых низкомолекулярных сахаров, глюкозы и фруктозы, которые служат источником питания и энергии для микробиоты.

### Выводы

1. Даже спустя год после разлива ДТ мы наблюдаем повышенное содержание НП в контрольном варианте аллювиальной дерновой глеевой почвы.

2. Для подбур оподзоленного характера низкая ферментативная активность по каталазе, которая колеблется от 0,5 до 2 см<sup>3</sup>/г мин<sup>-1</sup>, снижаясь в горизонтах с более высоким содержанием НП. Для аллювиальной дерновой глеевой почвы отмечена высокая обогатенность каталазой в горизонте АО1, которая после загрязнения ДТ снижается на градицию.

подбуре при загрязнении ДТ снижается активность инвертазы по мере увеличения содержания ДТ. В аллювиальной дерновой глеевой почве активность инвертазы падает в верхнем горизонте с максимальным содержанием НП. Возрастные активности инвертазы в горизонте АО1 (5–10 см) связано со снижением содержания НП и высоким содержанием водорастворимой фракции органического вещества.

### Список литературы

1. Белов А. А., Чепцов В. С., Лысак Л. В. Методы идентификации почвенных микроорганизмов. М. : МАКС Пресс, 2020. 196 с.
2. Гоголева О. А., Немцева Н. В., Бухарин О. В. Каталазная активность углеводородокисляющих бактерий // Прикладная биохимия и микробиология. Т. 48. № 6, 2012. С. 612–617.
3. Использование показателей ферментативной активности для оценки почв, загрязнённых нефтяными углеводородами / А. С. Григориади [и др.] ; под ред. С. П. Кулижского // Сборник материалов IV Всерос. науч. конф. с междунар. участием (1–5 сентября 2010 г.). Томск : ТМЛ-Пресс. Т. 3. С. 52–55.
4. Костерина В. В. Каталазы как представители биологических катализаторов и ее активность в разных сортах картофеля // Вестник Совета молодых учёных и специалистов Челябинской области. 2016. № 4 (15), т. 1. С. 31–34.
5. Лукьянов О. А. К проблеме оценки качества и состояния нарушенных экосистем // Животные в условиях антропогенного ландшафта. Свердловск, 1990. С. 61–69.
6. Влияние нефтяного загрязнения на бактерии дерново-подзолистой почвы / А. В. Назаров [и др.] // Почвоведение. 2010. № 12. С. 1489–1493.
7. ПНД Ф 16.1:2.22-98. Методика выполнения измерений массовой доли НП в почвах и донных отложениях методом ИК-спектроскопии. М., 1998 (изд. 2005 г.). 18 с.
8. Сазонов А. Д., Комаров Р. С., Передера О. С. Разлив нефтепродуктов в Норильске 29 мая 2020 года: предполагаемые причины и возможные экологические последствия // Экологические исследования и экологический мониторинг. 2020. С. 173–177.
9. Севастьянов Д. В., Исаченко Т. Е., Гуж Е. Н. Норильский регион: от природной специфики к практике освоения // Вестник СПбГУ. 2014. Сер. 7. Вып. 3. С. 82–94.
10. Сергаченко С. Н., Федорова И. Л., Игнатова Т. Д. Влияние нефтяного загрязнения на активность почвенных ферментов классов оксидоредуктаз и гидролаз // Вестник ульяновской сельскохозяйственной академии, 2022. С. 83–88.
11. Середина В. П. Оценка техногенного воздействия нефти на свойства почв Западной Сибири // Известия Тюменского государственного университета. 2003. Т. 306, № 2. С. 34–37.
12. Техногенное воздействие на окружающую среду в Российской Арктике на примере Норильского промышленного района / Н. В. Юркевич [и др.] // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2021. Т. 332, № 12. С. 230–249.
13. Gamzaeva R. S., Rodicheva T. V. Influence of oil pollution on the activity of hydrolytic enzymes of sod-podzolic soil against the background of the use of biological products // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2022. Vol. 979. P. 1–6.
14. Mitchell W. W., Loynachan T. E., Mc Kendrick D. Effects of Tillage and Fertilization on Persistence of Crude Oil Contamination in an Alaskan Soil // Journal of Environmental Quality. 1979. Vol. 8, Iss. 4. P. 525–532.

УДК 546.296.004.124

## Подходы к оценке радиационного риска населения

А. П. Таяурская (ann.tayurskay21@gmail.com), А. М. Кумукова (alinakumukova00@gmail.com)

*Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Россия*

**Аннотация.** Отмечено, что радон является радиоактивным газом, составляющим 50 % естественного облучения населения от всех природных источников. По данным Научного комитета Организации Объединенных Наций по действию атомной радиации основным источником дозы облучения (для легкого) от радона является вдыхание короткоживущих дочерних продуктов распада радона. Для обеспечения радиационной безопасности и исключения необоснованного радиационного риска человека разрабатываются количественные рекомендации по пределам облучения, которые, в свою очередь, создаются на основе количественных оценок степени риска. Исследования воздействия радона в жилых помещениях дают четкую демонстрацию риска развития рака легкого в результате воздействия радона в жилых помещениях и прямую основу для оценки риска в жилых помещениях от такого облучения. В статье рассмотрены подходы к оценке радиационного риска, методики для проведения оценки радиационного риска.

**Ключевые слова:** радон, радиационная безопасность, оценка риска, радиационный риск.

Основным источником дозы облучения (для легких) от радона фактически является вдыхание короткоживущих дочерних продуктов радона (ДПР), также называемого продуктами распада радона. Ключевые радионуклиды, значимые с точки зрения оценки дозы облучения от радона-222 – это полоний, висмут и свинец. Согласно оценке Научного комитета Организации Объединенных Наций (НКДАР ООН), радон вместе со своими ДПР ответствен примерно за 75 % годовой индивидуальной эффективной эквивалентной дозы облучения, получаемой населением от земных источников радиации.

Среди многочисленных определений понятия «риск» в последнее время все большее распространение получает подход к определению риска как неблагоприятного события, учитывающего не только вероятность события, но и его возможные последствия. Термин используют тогда, когда существует возможность негативных последствий. Риск выступает как вероятная мера опасности причинения вреда человеку и природной среде в виде возможных потерь за определенное время. С точки зрения безопасности это означает, что, чем чаще возникает опасная ситуация и чем выше тяжесть последствий, тем будет выше риск, связанный с этой опасностью, т. е. риск выступает как мера опасности того или иного события [3].

Радиационные риски являются частью экологических рисков и связаны с присутствием в окружающей среде радионуклидов природного и техногенного происхождения.

В соответствии с СП 2.6.1.2612-10 «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности» (ОСПОРБ-99/2010), радиационный риск – это вероятность возникновения у человека или его потомства какого-либо вредного эффекта в результате облучения [6].

Для реализации принципа оптимизации в защите человека от радиационного фактора используются методы оценки радиационного риска. Оценка риска используется для анализа воздействия различных факторов на здоровье населения, и является механизмом, который можно использовать при прогнозировании вредных эффектов на здоровье людей от облучения.

### Проблема радонового загрязнения на территории Качугского района

По данным государственных докладов «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Иркутской области» с 2015 по 2021 г. включительно, отмечено, что ни в одном из докладов Качугский район не упоминается, как район с превышением ЭРОА радона в жилых помещениях (т. е. уровень ЭОРА превышает 200 Бк/м<sup>3</sup>, согласно нормам радиационной безопасности НРБ-99/2009). Однако указано, что высокое содержание радона наблюдается в жилых и общественных зданиях в населенных пунктах Южного Прибайкалья – Иркутском, Слюдянском районах, Усть-Ордынском Бурятском округе, в ряде населенных мест на севере области – Усть-Илимском, Киренском, Усть-Кутском и других районах [1].

В 2021 г. был выполнен запрос в Министерство природных ресурсов и экологии Иркутской области о предоставлении информации об уровне радиации на территории Качугского района. Согласно ответу, основываясь на радиационно-гигиеническом паспорте Иркутской области, по состоянию на 2021 г. на территории исследования радиационных аномалий и загрязнений не зафиксировано.

Еще одним источником информации о радиационном состоянии территории являются технические отчеты по результатам инженерно-экологических изысканий.

### Результаты инженерно-экологических исследований, выполненных на территории Качугского района

Материалы инженерно-экологических изысканий (ИЭИ) включают анализ и оценку природных условий территории, и оценку существующего экологического состояния городской среды [7].

В состав ИЭИ входит исследование и оценка радиационной обстановки района обследования.

Радоноопасность территории определяется плотностью потока радона с поверхности грунта и содержанием радона в воздухе построенных зданий и сооружений.

Результаты инженерно-экологических изысканий были предоставлены администрацией Качугского района. Изыскания проведены с целью получения материалов, в объеме необходимом и достаточном для разработки проектной и рабочей документации и прохождения экспертиз в соответствии с требованиями законодательства РФ. На рис. 1 представлено расположение объектов ИЭИ.

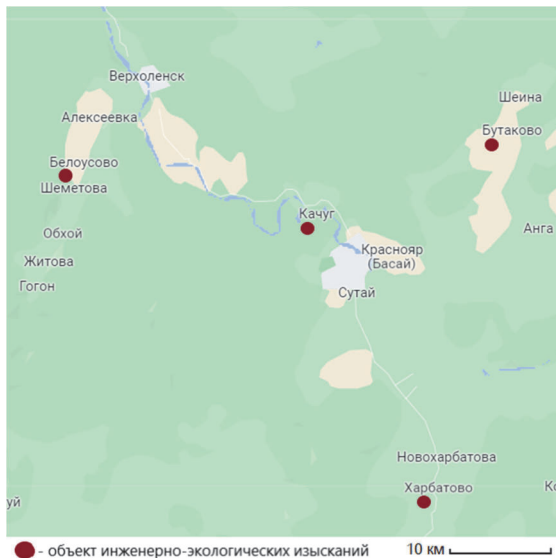


Рис. 1. Карта-схема расположения объектов ИЭИ

На территории объектов проведены инженерно-экологические изыскания, включающие радиационные исследования по нижеперечисленным параметрам.

Эффективная удельная активность естественных радионуклидов (ЕРН) ( $A_{эфф}$ ) – суммарная удельная активность ЕРН в материале, определяемая с учетом их биологического воздействия на организм человека. Определяется по формуле:



$$A_{\text{эфф}} = A_{\text{Ra}} + 1,31A_{\text{Th}} + 0,085A_{\text{K}} \quad (1)$$

где  $A_{\text{R}}$ ,  $A_{\text{Th}}$ ,  $A_{\text{K}}$  – удельные активности радия, тория, калия соответственно, Бк/кг.

Гамма-съемка проводится для измерений мощности дозы гамма-излучения на земельных участках с помощью дозиметров. Если по результатам гамма-съемки на участке не выявлено зон, в которых показания радиометра в 2 раза или более превышают среднее значение, характерное для остальной части земельного участка, или мощность дозы гамма-излучения не превышает 0,3 мкЗв/ч на земельных участках под строительство жилых и общественных зданий, или 0,6 мкЗв/ч – на участках под строительство производственных зданий и сооружений, то считается, что локальные радиационные аномалии на обследованной территории отсутствуют [5].

Величина, характеризующая активность радона на конкретном участке или в помещении – плотность потока радона. Она характеризует активность источника радиации в привязке к площади территории и активности радиоактивных распадов. При строительстве на участках, где среднее значение плотности потока радона превышает 80 мБк/(м<sup>2</sup>с), должна предусматриваться специальная противорадионная защита зданий, проектируемая по рекомендациям специализированных организаций.

*«Спортивный зал МКОУ Бутаковская СОШ, расположенный по адресу: Иркутская область, Качугский район, с. Бутаково, ул. Школьная, д. 17», расположенный в границах участка с кадастровым номером: 38:08:030101:303.*

Изыскания проведены ООО «АйкьюЭкологджи». Право на производство инженерных изысканий представлено Выпиской из реестра членов Ассоциации саморегулируемой организации «БРОИЗ» от 31.08.2022 № 514.

Грунт на исследуемом участке отнесен к I классу радиационной безопасности, то есть характеризуется как радиационнобезопасный [8].

Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения на территории земельного участка не превышает 0,3 мкЗв/ч, поверхностных радиационных аномалий не обнаружено [8].

Количество точек измерений, в которых плотность потока радона с учетом погрешности измерений превышает уровень 80 мБк/(м<sup>2</sup>с) составила 12 (60 %), что не соответствует установленным нормативам [8].

*«Спортивный зал МКОУ Белоусовская ООШ, расположенный по адресу: Иркутская область, Качугский район, с. Белоусово, ул. Победы, д. 30, кв. 2», расположенный в границах участка с кадастровым номером: 38:08:110501:123.*

Изыскания проведены ООО «АйкьюЭкологджи». Право на производство инженерных изысканий представлено Выпиской из реестра членов Ассоциации саморегулируемой организации «БРОИЗ» от 31.08.2022 № 514.

Грунт на исследуемом участке отнесен к I классу радиационной безопасности, то есть характеризуется как радиационнобезопасный [9].

Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения на территории земельного участка не превышает 0,3 мкЗв/ч, поверхностных радиационных аномалий не обнаружено [9].

Количество точек измерений, в которых плотность потока радона с учетом погрешности измерений превышает уровень 80 мБк/(м<sup>2</sup>с) – 9 (90 %), что не соответствует установленным нормативам [9].

*«Строительство общеобразовательной школы на 250 учащихся в с. Харбатово Качугского района».*

Объект расположен по адресу: Иркутская область, Качугский район, с. Харбатово, ул. Тракторная, 19А, в границах земельного участка с кадастровым номером 38:08:060102:365.

Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения на территории земельного участка не превышает 0,3 мкЗв/ч, локальных источников ионизирующего излучения не обнаружено. Поверхностных радиационных аномалий не обнаружено [10].

Среднее значение ППР на поверхности почвы не превышает нормативное значение (80 мБк/м<sup>2</sup>с) для общественных зданий и сооружений [10].

*«Дом культуры, расположенный по адресу: Иркутская область, Качугский район, пос. Качуг, ул. Пуляевского, 77а, для осуществления деятельности структурного подразделения МКУК МЦДК им. С. Рычковой».*

ИЭИ проведены ООО «ЦПИСРР «ВестЛайн». Объект расположен на земельном участке с кадастровым номером: 38:08:140206:291, площадью 14 311 м<sup>2</sup>.

Право на производство инженерных изысканий основано на действующем членстве (регистрационный номер 145 от 28.12.2017) в Ассоциации Саморегулируемой организации «Байкальское региональное объединение изыскателей» (СРО-И-024-14012010), что подтверждается выпиской из реестра членов саморегулируемой организации от 22.10.2020 № 645.

Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения на территории земельного участка не превышает 0,3 мкЗв/ч, локальных источников ионизирующего излучения не обнаружено. Поверхностных радиационных аномалий не обнаружено [11].

Результаты плотности потока радона не превышают нормативное значение.

Согласно представленным результатам ИЭИ для 4 объектов, расположенных на территории Качугского района, на 2 объектах выявлены превышения ППП. То есть проблема радиационной опасности является актуальной для ряда территорий Качугского района.

Так как данные объекты являются проектируемыми, то радиационный контроль в области радиационной безопасности представлен только измерениями ППП с поверхности грунта в пределах площади застройки. В соответствии с п. 6.7 МУ 2.6.1.2398-08, если значения ППП превышают 80 мБк/(м<sup>2</sup>с) более чем в 20 % контрольных точек на обследованной площади участка под строительство жилых домов и общественных зданий, то окончательную оценку соответствия участка требованиям и гигиенических нормативов по данному показателю для строительства указанных объектов следует принимать с учетом результатов определения ППП на отметке заложения фундамента.

В дальнейшем в воздухе помещений эксплуатируемых или вводимых в эксплуатацию после завершения строительства, реконструкции или капитального ремонта зданий проводится оценка результатов измерений среднегодовых значений ЭРОА радона согласно МУ 2.6.1.037-2015.

Для оптимизации защиты населения от радиационного фактора возможно использование методов оценки радиационного риска. Оценка риска используется для анализа воздействия различных факторов на здоровье населения, и является механизмом, который можно использовать при прогнозировании вредных эффектов на здоровье людей от облучения.

### **Оценка радиационного риска**

В 2020 г. официально утверждены методические рекомендации МР 2.6.1.0172-20.2.6.1. «Оценка радиационного риска для здоровья населения за счет внутреннего облучения радонотом и его дочерними продуктами распада». В рекомендациях представлена методика количественной оценки радиационного риска для здоровья населения, обусловленного только внутренним облучением радонотом и его дочерними продуктами распада, поступающими в организм ингаляционным путем [4].

В рекомендациях используются следующие основные понятия [4]:

1. Избыточный риск – разница между частотой появления конкретного стохастического эффекта, наблюдаемого в группе, подвергающейся облучению, и частотой появления этого эффекта у необлученной контрольной группы.

2. Относительный риск – отношение частоты появления конкретного стохастического эффекта, наблюдаемого в группе, подвергающейся облучению, к частоте появления этого эффекта у необлученной контрольной группы.

3. Избыточный относительный риск (ИОР) – отношение избыточного риска конкретного стохастического эффекта к вероятности появления того же самого эффекта у необлученной группы, т. е. относительный риск минус единица.

Оценка рисков при облучении радоном и его ДПР проводится с применением двух моделей радиационного риска, базирующихся на прямых эпидемиологических данных. В процедуре оценки риска, в зависимости от рассчитываемого количественного показателя, используются следующие измерительные и медико-демографические данные [4]:

- численность населения;
- ожидаемая продолжительность жизни;
- общее абсолютное число смертельных случаев рака легкого (РЛ);
- распространенность табакокурения;
- эквивалентная равновесная объемная активность (ЭРОА) или объемная активность (ОА) радона в воздухе помещений.

Выбор модели зависит от массива измерительной информации об ЭРОА или ОА радона. Если есть возможность проработать детальный сценарий облучения, то используется многофакторная модель расчета ИОР. В случае, когда имеющиеся данные о содержании радона в воздухе помещений отражают исключительно средние значения по субъекту Российской Федерации (или иному уровню административно-территориального деления), рекомендуется использовать однофакторную модель расчета ИОР.

Исходные данные для количественной оценки риска представлены медико-демографическими и измерительными данными.

Источниками данных об общем абсолютном числе смертельных случаев рака легкого могут служить Государственный раковый регистр территориального или федерального уровня, формы федерального статистического наблюдения, статистические справочники. В данных источниках информация представлена исключительно для Российской Федерации и субъектов, что представляет невозможным использовать их для расчета оценки риска для меньших административно-территориальных единиц.

МР 2.6.1.0172-20.2.6.1 представляет собой методику оценки риска, подходящую для различных сценариев облучения, различных наборов исходных данных и различных целей, которые определяют необходимые для расчета показатели риска. Однако для повышения корректности расчета показателей риска, учитывается синергическое взаимодействие факторов табакокурения и облучения радоном и его ДПР, поэтому для оценки требуются дополнительные медико-демографические данные, сбор которых в настоящее время затруднен для отдельных административно-территориальных единиц. На данный момент на территории РФ отсутствует детальная информация о распространенности табакокурения по половозрастному и административно-территориальному распределению. На данный момент существуют большие массивы статистической информации по данным заболеваемости РЛ, однако в методике учитываются данные об абсолютном количестве смертельных случаев РЛ. Для небольших территорий есть возможность запросить информацию о смертности в статистическом отделе районной больницы, однако при этом выборка данных ограничена и может быть статистически недостоверной.

### **Зарубежные модели оценки риска**

МКРЗ в Публикации 115 рекомендует проводить оценку рисков при облучении радоном и его ДПР не с использованием коэффициентов номинального риска на единицу эффективной дозы, а с применением различных моделей радиационного риска, базирующихся на прямых эпидемиологических данных. В данной публикации МКРЗ отдает предпочтение моделям оценки риска возникновения радон индуцированного рака легкого, разработанным по результатам объединенных анализов (а не отдельных исследований). К таким моделям относятся следующие [2]:

– модель, предложенная Национальной академией наук США (United States National Academy of Sciences, NAS) в докладе «BEIR VI» (1999 г.) – является основой для ряда более совершенных моделей;

– модель «ЕРА-2003», разработанная в 2003 г. Агентством по охране окружающей среды США на основе модели «BEIR VI»;

– модель «Wismut-2006», разработанная в 2006 г. в Германии также на основе модели «BEIR VI»;

– франко-чешская объединенная модель FCZ, разработанная в 2003 г. международным коллективом по контракту с Евркомиссией.

В соответствии с мультипликативным характером зависимости, смертность от радон-индуцированного рака легкого связана с фоновой возраст-специфической смертностью от рака данной локализации с помощью коэффициента избыточного относительного риска (ERR – excess relative) экспозиции радоном и его ДПР, то есть является мультипликативной и беспороговой. В этой модели ERR зависит от уровня ЭРОА радона в воздухе, при котором формировалась полученная экспозиция; времени, прошедшего с момента облучения; достигнутого возраста, для которого производится оценка риска.

Модель BEIR VI была разработана Комитетом по рискам для здоровья, связанным с воздействием радона, Национальной академии наук США в 1999 г. на основе объединенного анализа результатов эпидемиологических исследований 11 когорт шахтеров урановых и не-урановых рудников в Китае (провинция Юньнань), Чехословакии (Западная Богемия), США (плато Колорадо, Нью Мексико), Канаде (Онтарио, Ньюфаундленд, Биверлодж, Порт Радиум), Швеции (Мальмбергет), Австралии (Радиум Хилл) и Франции; общая численность составила 60 705 человек, в сумме 881 547 человеко-лет. В модели «BEIR VI» ИОР зависит от уровня ОА ДПР радона в воздухе, при котором формировалась полученная экспозиция; времени, прошедшего с момента экспозиции; достигнутого возраста, для которого производится оценка риска. Кроме того, модель позволяет при необходимости учесть субмультипликативное взаимодействие факторов курения и облучения радоном и его ДПР.

Общий вид модели представлен выражением [2]:

$$ERR(t) = \beta \cdot (\omega_5-14 \cdot \omega_5-14 + \theta_{15-24} \cdot \omega_{15-24} + \theta_{25+} \cdot \omega_{25+}) \cdot \varphi_{age} \cdot \gamma_z, \quad (2)$$

где  $\beta$  – основной параметр зависимости «экспозиция – ответ», WLM-1;

$\omega_5-14$ ,  $\omega_{15-24}$ ,  $\omega_{25+}$  – кумулятивная экспозиция радоном и его ДПР, полученная в интервалах времени от 5 до 14 лет, от 15 до 24 лет и от 25 лет и более до возраста  $t$ , для которого производится оценка риска, WLM;

$\theta_{5-14}$ ,  $\theta_{15-24}$ ,  $\theta_{25+}$  – коэффициенты, представляющие относительный вклад в риск возникновения рака легкого экспозиций, полученных в указанные интервалы времени до возраста  $t$ , отн.ед.;

$\varphi_{age}$  – коэффициент пропорциональности, учитывающий уменьшение канцерогенной восприимчивости ткани легких с увеличением достигнутого возраста, отн. ед.;

$\gamma_z$  – параметр, зависящий либо от длительности облучения (в годах), либо от уровня ЭРОА радона, выраженного в единицах WL, при котором формировалась полученная экспозиция, отн.ед.

В модели также заложено наличие пятилетнего латентного периода в развитии рака легкого, поэтому экспозиция, полученная за последние 5 лет до возраста  $t$ , в выражении (2) не учитывается.

С вычислительной точки зрения учет синергического влияния фактора табакокурения является частью процедуры расчета показателей риска (в том числе абсолютного числа смертельных случаев радон-индуцированного рака легкого) на основе значения ИОР и не зависит от используемой модели.

В отчете «BEIR VI» было предложено два варианта модели, описываемой выражением (2), отличающихся параметром  $\gamma_z$ . Модель ЕАС (Exposure-Age-Concentration) предполагает, что риск на единицу экспозиции увеличивается с уменьшением мощности экспозиции до определенного уровня. Модель ЕАД (Exposure-Age-Duration) предполагает, что риск на единицу экспозиции увеличивается с увеличением времени экспозиции до определенного уровня. Очевидно, что эти два варианта тесно связаны между собой, поскольку для фиксированной кумулятивной экспозиции увеличение времени экспозиции означает уменьшение ее мощности. Поэтому в отчете «BEIR VI» предпочтение не было отдано ни одному из этих двух вариантов.

В 2003 г. Агентство по охране окружающей среды США выпустило практическое руководство по оценке рисков за счет облучения населения радоном и его ДПП в жилых помещениях. На основе двухвариантной модели «BEIR VI» Агентством была разработана модель «ЕРА-2003». Важным нововведением в модели «ЕРА-2003» является переход от фиксированной доли курящего населения (58 % мужчин и 42 % женщин), принятой в «BEIR VI», к более детальному возрастному распределению. При этом модель «ЕРА-2003» унаследовала коэффициенты, отвечающие за субмультипликативное взаимодействие факторов курения и облучения радоном и его ДПП:

$$\text{ERR}_{\text{NS}} = 2 \cdot \text{ERR} \text{ (для некурящего населения),}$$
$$\text{ERR}_{\text{ES}} = 0,9 \cdot \text{E} \text{ (для курящего населения).}$$

Несмотря на то что избыточный относительный риск для некурящей части населения более чем в 2 раза выше, чем для курящей, абсолютный риск все же гораздо выше для курильщиков, поскольку уровни спонтанной заболеваемости РЛ среди них, по оценкам Агентства, примерно в 14 (для мужчин) и 12 (для женщин) раз выше, чем среди некурящих [2].

Модель «Wismut-2006» была разработана на основе результатов исследования когорты немецких шахтеров, работавших на урановом руднике компании «Wismut» с 1946 по 1998 г. Важным достоинством проведенного исследования является численность когорты (59 001 человек, средняя продолжительность диспансерного наблюдения – 30,5 лет, в сумме 1 801 630 человеко-лет), которая сопоставима с численностью когорт в ряде объединенных исследований (например, общая численность 11 когорт в отчете «BEIR VI» составила 60 705 человек, в сумме 892 547 человеко-лет).

Модель «FCZ», структура которой описана в публикациях МКРЗ, была разработана на основе исследования когорты шахтеров французских и чешских урановых рудников (общая численность составила 10 100 человек, в сумме 248 782 человеко-лет) с низкими уровнями суммарной экспозиции. В модели также учитывается пятилетний латентный период в развитии рака легкого, поэтому экспозиция, полученная за последние 5 лет до возраста  $t$ , в выражении (2) не учитывается. Стоит отметить, что модель «FCZ» в вычислительном плане является наиболее сложной.

В Российской Федерации для количественной оценки радиационного риска для здоровья населения, обусловленного только внутренним облучением радоном и его ДПП утверждены МР 2.6.1.0172-20.2.6.1 «Оценка радиационного риска для здоровья населения за счет внутреннего облучения радоном и его дочерними продуктами распада». По данной методике расчет ИОР производится на основе зарубежных моделей, приведенных в Публикациях МКРЗ.

#### Список литературы

1. Государственный доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Иркутской области в 2021 году». Иркутск, 2022.
2. Кононенко Д. В. Разработка методики оценки радиационного риска для здоровья населения при облучении радоном и его короткоживущими дочерними продуктами распада: диссертация на соискание ученой степени канд. биол. наук по специальности 3.2.1 – Гигиена. 218 с.
3. Медведева С. А. Экологический риск. Общие понятия, методы оценки // XXI век. Техносферная безопасность. 2016. № 1.
4. МР 2.6.1.0172-20.2.6.1. «Оценка радиационного риска для здоровья населения за счет внутреннего облучения радоном и его дочерними продуктами распада».
5. МУ 2.6.1.2398-08. Методические указания 2.6.1. Ионизирующее излучение, радиационная безопасность «Радиационный контроль и санитарно-эпидемиологическая оценка земельных участков под строительство жилых домов, зданий и сооружений общественного и производственного назначения в части обеспечения радиационной безопасности».
6. О радиационной безопасности населения : федер. закон от 05.12.1995 № 3-ФЗ.
7. Свод правил «Инженерно-экологические изыскания для строительства» (СП 11-102-97).
8. Технический отчет по результатам инженерно-экологических изысканий для подготовки проектной документации «Спортивный зал МКОУ Бутаковская СОШ, расположенный по адресу: Иркутская область, Качугский район, с. Бутаково, ул. Школьная, д. 17», АЭ-Э22-15-ИЭИ. Иркутск, 2022. 226 с.
9. Технический отчет по результатам инженерно-экологических изысканий для подготовки проектной документации «Реконструкция МКОУ Белоусовская ООШ по адресу: Иркутская область, Качугский район, с.

Белоусово, ул. Победы, дом 30 кв.2. I-очередь. «Строительство спортивного зала МКОУ Белоусовской ООШ», АЭ-Э22-14-ИЭИ, Иркутск, 2022. 202 с.

10. Технический отчет по результатам инженерно-экологических изысканий для подготовки проектной документации «Строительство общеобразовательной школы на 250 учащихся в с. Харбатово Качугского района», АЭ-Э20-86-ИЭИ, Иркутск, 2020. 286 с.

11. Технический отчет по результатам инженерно-экологических изысканий для подготовки проектной документации «Дом культуры, расположенный по адресу: Иркутская область, Качугский район, р. п. Качуг, ул. Пуляевского, 77а, для осуществления деятельности структурного подразделения МКУК МЦДК им. С. Рычковой», 468-21-ИЭИ, Иркутск, 2020. 272 с.

УДК 551.578.465(571.53)

## Температура по высоте снежного покрова и электропроводность снеговой воды при послыном отборе. Иркутск

Н. И. Янченко (fduecn@bk.ru)

*Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия*

**Аннотация.** В Иркутске в январе – марте 2021 г. впервые с помощью автоматического автономного атмосферно-снежного измерительного комплекса проведено измерение температуры в толще снежного покрова на различных высотах; проведено сопоставление профиля температуры в слоях снежного покрова с профилем высоты снежного покрова; проведено сопоставление профиля электропроводности в слоях снежного покрова с профилем высоты снежного покрова; проведено одновременное сопоставление профиля электропроводности, температуры и высоты слоев снежного покрова.

**Ключевые слова:** электропроводность, снеговая вода, температура, снежный покров, слон.

Проведенный первичный поиск публикаций показывает, что публикации в которых указана одновременно электропроводность снеговой воды, температура, высоты снежного покрова немногочисленны.

Авторы Xiangying Li, Zhongqin Li и др. [3] измеряли электропроводность (ЕС) в образцах поверхностного снега и снежно-фирновой пачки, собранных последовательно еженедельно с сентября 2002 г. по сентябрь 2004 г. на восточной ветви ледника № 1 (восточный Тянь-Шань, Китай). Образцы снега отбирались с верхних 3–5 см слоев снега в разное время года, а снег-фирнообразный был последовательно извлечен с интервалом 10 см. Установлен интервал значений ЕС в зимний период разный 2,85–20,30 мкСм/см, при этом среднее значение – 6,87, но среднегодовое (осень, зима, весна, лето) значение ЕС составляет 12,74 мкСм/см. Указаны доминирующие ионы, которые вносят вклад в ЕС –  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Cl^{-}$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $Na^{+}$ ,  $K^{+}$ . В статье [2] указана электропроводность снежного покрова в шведских городах Лулео, Улео. Пробы отобраны перед началом снеготаяния. Электропроводность (мСм/см, сохранено обозначение как в исходной статье) составляет 21 мСм/см и 180 мСм/см, соответственно.

Коллектив авторов [4] представили результаты исследования снеговых ям в ледниках горы Цилян (Qilian Mountains, China). На диаграмме указаны измерения на высоте от 0 см (атмосферная поверхность снежного покрова) до 125 см в снеговой яме, указано, что температура равномерно изменялась от -2 до -5 °С; электропроводность изменялась неравномерно в интервале от 5,5 до 20 мСм/см (сохранено обозначение, как в исходной статье) при этом максимальное повышение отмечалось на отрезке 25–50 см.

В данной статье представлены первичные результаты, полученные на наблюдательной снежной площадке рядом со стадионом Иркутского национального исследовательского технического университета (ИРНТУ), в г. Иркутске. Площадка не находится под влиянием автотранспорта/

Полевые наблюдения за температурой в слоях снега были сделаны с помощью автономного автоматического атмосферно-снежного измерительного комплекса, который позволял

определять высоту снежного покрова (СП) по резкому изменению температуры на границе воздух-поверхность снега [1]. Измерительная температурная рейка имеет длину 40 см. Часть этой рейки находится в снежном покрове и регистрирует температуру снежного покрова, а другая часть рейки регистрирует температуру приземного слоя воздуха. Датчики регистрации температуры расположены через 2,5 см по высоте рейки. Измерительный комплекс настроен для регистрации температуры через час и результаты передаются на удаленный компьютер.

В ходе эксперимента отбирали послойно пробы снежного покрова, примерно через 2 см. Например, в интервале высот СП 30–15 см / 30–10 см / 25–12 см отбирали 8–9 слоев СП, на высоте 0–10 см (12 или 15 см) от основания СП пробы не отбирали. 0 см – это основание СП. В снеговой воде слоев снега (после оттаивания проб) проводили измерение электропроводности. Определение электропроводности выполнено кондуктометром HANNA серии DIST.

### Изменение электропроводности снеговой воды в слоях снежного покрова

На рис. 1 показан изменение ЕС в снеговой воде слоев снежного покрова 7, 8, 10, 12 февраля 2021 г. в пробах отобранных в 14 ч, в г. Иркутске около стадиона ИРНТУ. На рисунке 2 показано изменение ЕС в снеговой воде слоев снежного покрова 4, 5, 6, 8 марта 2021.

Максимальные значения электропроводности (ЕС) обычно отмечаются в верхнем поверхностном слое снега, на глубине до 7 см от границы атмосфера-СП в глубь, что может связано с процессами газообмена между атмосферой и снежным покровом, влиянием солнечной радиации или свежеснежившим снегом, ветром, температурой, влажностью и т. д. Например, на рисунке 1 наибольшие значения электропроводности находятся на высотах  $34 \div 27$  см ( $ЕС = 30 \div 40$  мкСм/см). На рисунке 2 на высотах  $34 \div 35$  см изменение ЕС составляет  $30 \div 90$  мкСм/см, в интервале высот  $34 \div 22$  см изменение электропроводности находится в области  $15 \div 30$  мкСм/см.

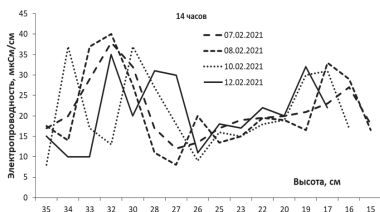


Рис. 1. Изменение ЕС в снеговой воде слоев снежного покрова 7, 8, 10, 12 февраля 2021

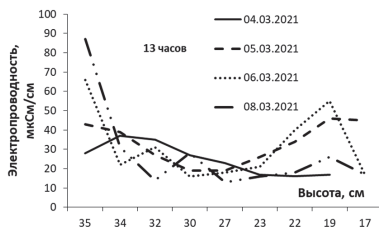


Рис. 2. Изменение ЕС в снеговой воде слоев снежного покрова 4, 5, 6, 8 марта 2021

### Изменение температуры по высоте снежного покрова

Представленные вертикальные профили температуры СП – это записи температуры снежного покрова полученные вдоль вертикальной линии, перпендикулярной основанию т. е. поверхности грунта. Так как общая высота температурной рейки 40 см и очевидно, что по мере увеличения или уменьшения высоты СП, только часть рейки находится в СП. Основание рейки принимается за 0 см. Профили температуры СП представляют собой как бы моментальный снимок распределения температуры в СП.

На рисунке 3 (а) показано, изменение Т по высоте СП (третья декада января 2021 г.), в этот день  $H_{\max} \text{ сп} = 25$  см. Значения Т на высоте более 25 см – это температура воздуха. Так в эти сутки колебания Т в снежном покрове на высоте  $H_{\text{СП}} = 0$  см составили  $-\Delta 1,8$  °С, на высоте  $H_{\text{СП}} = 15$  см составили  $-\Delta 3,7$  °С, на высоте  $H_{\text{СП}} = 17,5$  см составили  $-\Delta 4$  °С, на высоте  $H_{\text{СП}} = 20$  см  $-\Delta 6,2$  °С, на высоте  $H_{\text{СП}} = 25$  см составили  $-\Delta 11,5$  °С.

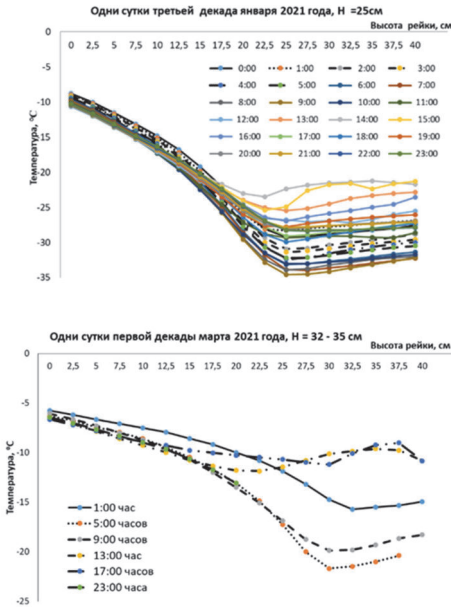


Рис. 3. Изменение температуры в СП и атмосфере на высоте 40 см,  $H_{max\ СП} = 25\ см$  (а),  $H_{max\ СП} = 32-35\ см$  (б)

Наибольшие колебания  $T$  отмечаются в слоях, которые ближе к атмосферной поверхности СП. На рис. 3, б показано изменение  $T$  по высоте в один из дней первой декады марта 2021 г., в этот день высота  $H_{СП} = 32-35\ см$ , значения  $T$  выше  $32-35\ см$  – это  $T$  воздуха можно отметить, что также в интервале высот от 0 до 15 см колебания  $T$  незначительные по сравнению с колебаниями  $T$  в верхних приатмосферных слоях снежного покрова в часы, указанные для примера, в 1, 5, 9, 13 и 17 ч.

Колебания  $T$  на высоте  $H_{СП} = 0\ см$  составили  $-\Delta 0,9\ ^\circ\text{C}$ ,  $H_{СП} = 15\ см - \Delta 2\ ^\circ\text{C}$ ,  $H_{СП} = 17,5\ см - \Delta 2,3\ ^\circ\text{C}$ ,  $H_{СП} = 20\ см - \Delta 3,5\ ^\circ\text{C}$ ,  $H_{СП} = 25\ см - \Delta 6,3\ ^\circ\text{C}$ ,  $H_{СП} = 30\ см - \Delta 10,4\ ^\circ\text{C}$  в интервале от 01.00 до 17.00 часов.

### Изменение электропроводности снеговой воды и температуры по высоте снежного покрова

Минерализация снеговой воды в свою очередь зависит от многих факторов, например, от растворения атмосферных газов и аэрозолей в атмосферной влаге и жидкости межпорового пространства снежного покрова и определяются температурой, давлением, растворимостью исходных веществ.

Процессам растворения предшествуют процессы абсорбции и адсорбции. Электропроводность воды как интегральный показатель характеризует минерализацию растворов только в количественном отношении, но не по качественному составу присутствия катионов и анионов.

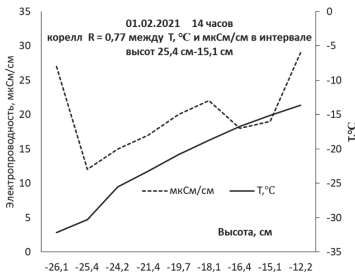


Рис. 4. Изменение ЕС и  $T$  во высоте СП, 01.02.2021

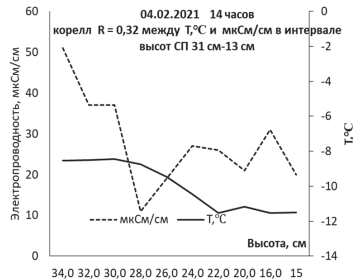


Рис. 5. Изменение ЕС и  $T$  во высоте СП, 04.02.2021





Рис. 6. Изменение ЕС и Т в по высоте СП, 07.02.2021

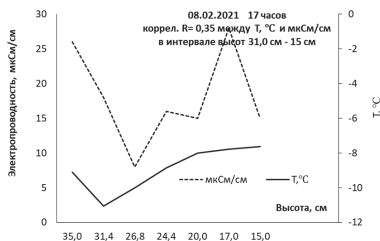


Рис. 7. Изменение ЕС и Т в по высоте СП, 08.02.2021

Для сравнения, минерализация поверхностных и грунтовых вод определяет контактом с веществом подстилающей поверхности и выше, чем минерализация атмосферных осадков. Одним из факторов, определяющих минерализацию (электропроводность) является зависимость растворимости от температуры. В связи с этим сделана попытка сравнить изменение температуры по высоте снежного покрова и электропроводности снеговой воды в пробах слоев снежного покрова, отобранных по высоте СП. Можно отметить, что в дни наблюдений 1, 4, 7, 8 февраля 2021 г. (рис. 4–7) электропроводность не постоянна в верхних слоях СП, затем уменьшается, но в среднем слое СП почти постоянна, а уже ближе к поверхности грунта снова увеличивается. В качестве предположения можно сказать, что повышенные значения электропроводности ближе в поверхности грунта могут быть связаны с газообменом на границе поверхность грунта-снежный покров. При этом отмечаем, что пробы СП отбирали на высотах более 15 см от поверхности грунта (рис. 4–8).

### Выводы

В Иркутске в январе – марте 2021 г. впервые, с помощью автоматического автономного атмосферно-снежного измерительного комплекса, проведено измерение температуры в толще снежного покрова на различных высотах; проведено сопоставление профиля температуры в слоях снежного покрова с профилем высоты снежного покрова; проведено сопоставление профиля электропроводности в слоях снежного покрова с профилем высоты снежного покрова; проведено одновременное сопоставление профиля электропроводности, температуры и высоты слоев снежного покрова.

### Список литературы

1. Патент № 2542598 Российская Федерация, МПК G01W 1/14. Датчик высоты снежного покрова / С. А. Кураков ; заявитель и патентообладатель ИМКЭС СО РАН. № 2013136310/28; заявл. 01.08.2013; опубл. 20.02.2015. Бюл. № 5.
2. Laboratory Melting of Late-Winter Urban Snow Samples: The Magnitude and Dynamics of Releases of Heavy Metals and PAHs / A. Vijayan [et al.] // Water Air Soil Pollut. 2019. Vol. 230. 182. <https://doi.org/10.1007/s11270-019-4201-2>.
3. Seasonal variations of pH and electrical conductivity in a snow-firm pack on Glacier No. 1, eastern Tianshan, China / Xiangying Li [et al.] // Cold Regions Science and Technology. 2007. Vol. 48, N 1. P. 55–63. <https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2006.09.006>
4. Physicochemical characteristics and sources of atmospheric dust deposition in snow packs on the glaciers of western Qilian Mountains, China, Tellus B / Zhiwen Dong [et al.] // Chemical and Physical Meteorology. 2014. Vol. 66:1. 20956. <https://doi.org/10.3402/tellusb.v66.20956>

## ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛЕСНЫХ РЕСУРСОВ

УДК 625.711.84(470.331)

### Анализ многолетних изменений типов лесных дорог на примере полигона Беленец

А. А. Банщиков (aban@npogpr.ru)

ООО НПО «Гидротехпроект», Валдай, Россия

**Аннотация.** Тверская область входит в двадцатку наиболее залесённых регионов России, основные лесные богатства расположены в северо-западной части региона. В последнее время на территории Бологовского района наблюдается уверенный рост площадей, вовлечённых в лесохозяйственный оборот, как в целях лесной промышленности, так и в рекреационных целях. Возникает необходимость в реконструкции существующих и строительства новых лесных дорог. Действуя на перспективу для изучения влияния местных аazonальных гидрологических и геологических факторов, в 2013 г. был организован экспериментальный полигон «Беленец». Наблюдение за существующей дорожной инфраструктурой показало существенные изменения плотности дорожной сети на рассматриваемой площади, вызванные изменением модели использования земель лесного фонда. В статье приводятся характеристики дорожной сети полигона.

**Ключевые слова:** экспериментальный полигон, лесные дороги, вырубки.

Значительная часть территории Тверской области занята лесами, которые являются важнейшим природным фактором, обладающим экономическим потенциалом и стабилизирующим компонентом окружающей среды региона.

В лесном фонде Тверской области площадь покрытых лесной растительностью земель составляет земель – 4646 тыс. га, из покрытых лесной растительностью – 4529 тыс. га. Лесистость – 53,8 %; общий запас древесины на корню – 751 млн м<sup>3</sup>. Лесистость области в её отдельных частях не одинакова. Так, наиболее залесённые – северо-западные и северные районы области (Осташковский, Фировский, Вышневолоцкий, Максатихинский, Лесной, Сандовский), в которых леса занимают до 50 % площади [3].

Бологовский район входит в зону ответственности ГКУ «Фировское лесничество Тверской области».

В последнее десятилетие на территории района наблюдается постоянный рост площадей, вовлечённых в лесохозяйственный оборот, что приводит к более интенсивному использованию лесной дорожной инфраструктуры. Также, с развитием частного транспорта, растёт антропогенная нагрузка на леса. Открываются новые для района направления использования лесов – экологический туризм, проведение разного рода сборов и фестивалей. Для гармоничного развития и использования лесов, требуется строительство новых и поддержание уже существующих лесных дорог в пригодном для эксплуатации состоянии. Для получения представления о влиянии местных, аazonальных факторов на состояние дорожной сети, определения стоковых характеристик малых водотоков района в 2013 г. было принято решение об организации на территории Кемецкого сельского поселения экспериментального полигона Беленец, расположенного в одноимённой деревне.

Согласно [5], выделяются следующие типы дорог: лесные дороги по назначению подразделяются на лесовозные лесные дороги и лесохозяйственные лесные дороги. Лесовозные лесные дороги предназначены для вывозки заготовленной древесины с мест заготовки, перевозки лесозаготовительной техники, технических грузов и доставки персонала к местам работы и обратно, а также для лесохозяйственных целей (охраны, защиты и воспроизводства лесов). Лесовозные лесные дороги строят в эксплуатируемых лесах. При этом для всех перечисленных типов дорог земляное полотно является основным элементом автомобильной дороги, определяющим наряду с дорожной одеждой прочность дорожной конструкции и ровность покрытия. Все деформации и разрушения земляного полотна в основном определяются видом грунта, степенью его уплотнения, влажностью и их соответствием действующим нагрузкам и погоднo-климатическим воздействиям [4, п. 7.1.1].

### Материалы и методы

В работе выполнен сравнительный анализ за многолетний период соотношения площадей лесов, вырубов и различных типов лесных дорог на основе картографического материала прошлых лет, спутниковых снимков и снимков с БПЛА, полученных непосредственно автором. Также использованы архивные данные, полученные по опросам местных жителей, работающих или работавших в Фировском лесничестве. Оценена эффективность использования лесных территорий в части, касающейся лесных дорог. В качестве объекта исследования выбрана территория в границах экспериментального полигона Беленец [1], расположенного в одноименной деревне в Кемецком поселении Бологовского района Тверской области, комплексные специализированные работы на котором начаты в 2013 г. Общая схема полигона приведена на рис. 1 [2].



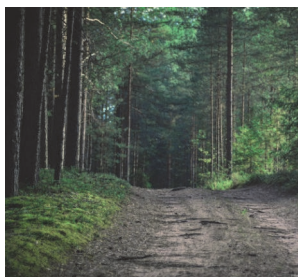
Рис. 1. Общая схема полигона

### Обсуждения

По территории Тверской области проходит множество лесных дорог всех перечисленных типов, которые не обозначены на картах. При этом многие из них играют весомую роль не только для лесодобывающих предприятий, но и служат подъездом к местам отдыха, рекреации, памятникам природы регионального значения (Филимоновский фонтан) или малонаселённым деревням (Устье) (рис. 2).



Дорога на оз. Долгое



Дорога на Филимоновский фонтан



Дорога в д. Устье

Рис. 2. Характерные виды лесных дорог полигона

Геологическое строение района характеризуется породами верхнего девона, нижнего карбона и четвертичными отложениями, представленными валунными суглинками с прослойками песка). Почвенный район – суглинистые и супесчаные дерново-подзолистые почвы восточной части Валдайской возвышенности. На рис. 3 приведена выкопировка из геологической карты четвертичных отложений, а на рис. 4 – почвенная карта полигона «Беленец».



Рис. 3. Геологическая схема полигона «Беленец»

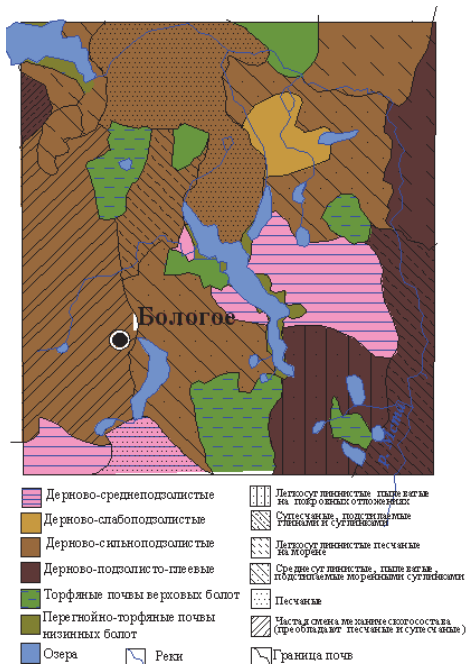


Рис. 4. Почвенная карта. Полигон «Беленец».

Почвенно-грунтовые условия влияют на продуктивность и видовой состав леса.

Растительный покров представлен сочетанием лесных массивов, видовой состав которых – ель, сосна, ольха, береза, заболоченных участков (мхи, лишайники), зарастающих полей с травяной и кустарниковой растительностью.

Для оценки изменчивости типов лесных дорог за многолетний период, в качестве первичного слоя использована карта масштаба 1:100 000 (состояние местности на 1984 г.), по ней были определены площади лесов, выделены дороги двух типов (лесная дорога лесохозяйственная и лесная дорога лесовозная).

Согласно архивным данным, в этот период на участке полигона производились как рубки главного пользования, предназначенные для обеспечения выборочного и постепенного пользования в спелых и перестойных насаждениях, так и рубки ухода – связанные с возрастными этапами роста и развития древостоев, санитарные рубки – для улучшения санитарного состояния лесов для ликвидации ветровальников, горельников, а также рубки, применяемые для обеспечения главного пользования при разрубке трасс различного назначения, к примеру просек для опор ЛЭП.

Степень развитости сети лесных дорог по состоянию на 1984 г. можно оценить как 1,154 км/км<sup>2</sup>.

Общая площадь, занятая лесом, составит 16,2 км<sup>2</sup>, общая протяженность лесных дорог – 25,9 км. Дорожный транспорт – колёсные и гусеничные трактора тягового класса 0,9–1,4, гужевые повозки (телеги, сани), мотоциклы, велотранспорт. Дороги прокладывались по наиболее короткому маршруту от исходной до конечной точки с учётом рельефа и обводнённости (заболоченности) местности, как правило, к местам заготовки сена, дров для обеспечения транспортной связности с соседними деревнями и лесхозами.



Рис. 5. Сеть лесных дорог по состоянию на 1984 г.

По опросам местных жителей, в 1990 г. были начаты работы на вырубках в северной части будущего полигона. Для обеспечения всесезонного вывоза леса на месте существующей лесохозяйственной дороги была построена лесовозная грунтовая дорога – изъят верхний почвенный слой, проведено планирование продольного и поперечного строения дороги, призма дороги создавалась сочетанием применения технологии возведения «из канав» и отсыпка песком из карьеров. Эксплуатация этой дороги продолжается и в настоящее время. Стoritельство дороги, очевидно, было проведено качественно и с соблюдением технологии, так как и в наше время наблюдается минимум дефектных (просадочных) участков при интенсивной в отдельные годы эксплуатации и полном отсутствии обслуживания. Дорога не грейдируется, расчистка обочин и дренажных канав от уже выросшего подроста не проводится.

На карте 2014 г. (рис. 6) зеленым выделены дороги лесовозного назначения, коричневым – лесовозная магистраль, о которой упоминается выше, голубым – дороги общего пользования без покрытия. Общая площадь, занятая лесом и лесными насаждениями, составляет 14,1 км<sup>2</sup>, общая протяженность лесных дорог 20,3 км, из них с усовершенствованным покрытием 5,47 км. Дорожный транспорт – трактора тягового класса 0,4–3, грузовые автомобили с нагрузкой на ось до 9 т, квадроциклы, мотоциклы, велотранспорт. Дороги в основном прокладывались по старым лесным тропам, без учета грунтов, при этом наблюдается существенное ухудшение качества дорожного полотна за счет проседания грунта, особенно в местах понижения рельефа и переувлажнения, приуроченных к овражно-балочной системе.

На основе опыта использования БПЛА [2], автором в работе был выполнен мониторинг лесных дорог, возводимых непосредственно при лесорубных работах в феврале 2022 г. (рис. 7).

Это позволило актуализировать карту 2014 г., тем самым определить актуальную площадь вырубок, леса и дорог. На рис. 8 ярко-зеленым цветом выделены вновь устроенные временные дороги для вывоза леса.

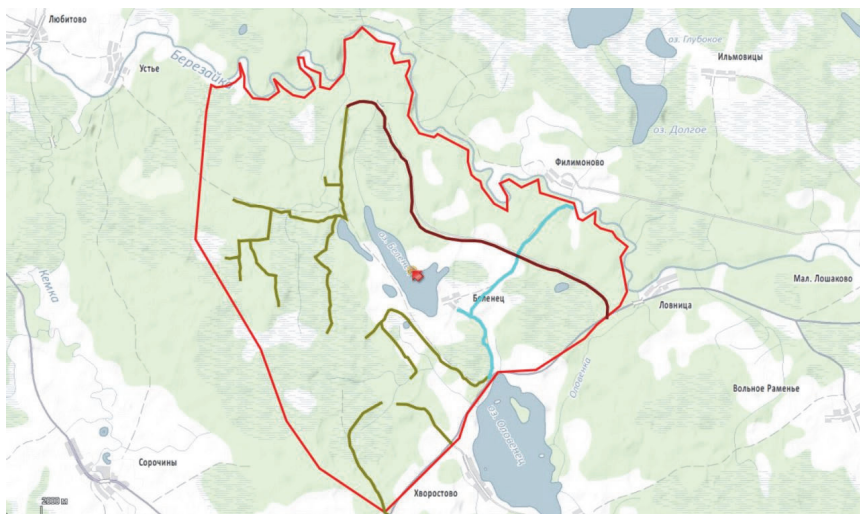


Рис. 6. Сеть лесных дорог по состоянию на 2014 г.

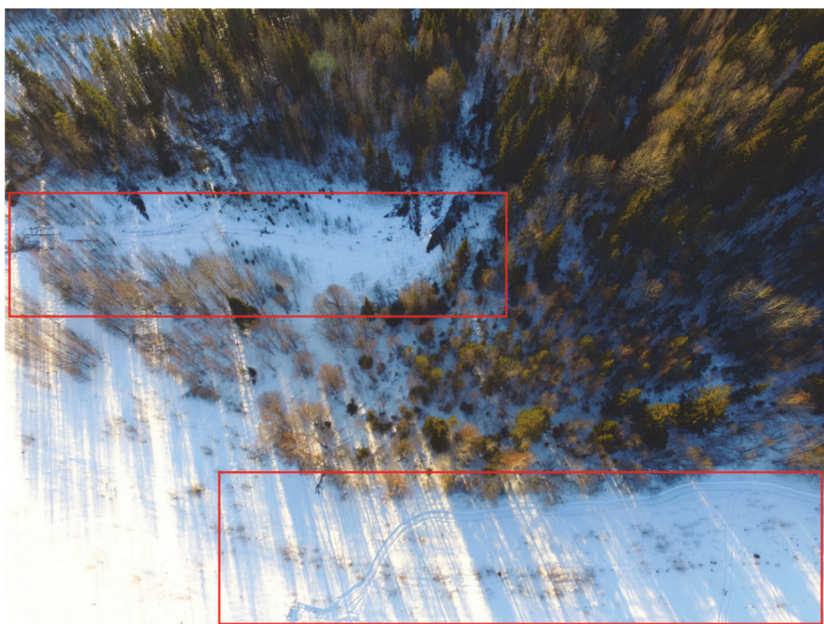


Рис. 7. Определение границ лесных дорог и вырубок с помощью БПЛА (зима 2022 года, фото автора)



Рис. 8. Схема дорожной сети по состоянию на 2022 г.

Подобного рода работы в рамках комплекса специализированных работ производятся на постоянной основе и позволяют не только выявлять новые участки лесных дорог, но и отслеживать динамику ухудшения существующих, а также фиксировать незаконные вырубы.

По результатам рекогносцировочного обследования дорожной сети полигона было сделано заключение, что на большинстве участков грунты в основании дорог представлены суглинками и глинами, исключением являются отрезки дорог, проложенные через сосновые леса, где основанием дорог являются хорошо дренированные супеси.

Также при периодических маршрутных обследованиях были локализованы участки дорог, где систематически наблюдаются проблемы с устойчивостью грунта – наблюдаются разрушения грунтового массива с образованием колеиности, просадок. Связано это с формированием в массиве некоторых областей, в которых соотношение между действующими напряжениями становится такой, что прочность грунта оказывается исчерпанной. Основными причинами потери устойчивости грунтов оснований лесных дорог признаются

- устройство крутого откоса или подрезка склона, находящегося в состоянии, близком к предельному, приводящему к осыпи грунта на дорогу;
- изменение внутренних сил (изменение удельного веса грунта при изменении его влажности);
- неправильное назначение расчетных характеристик прочности грунта или снижение его сопротивления сдвигу за счёт повышения влажности и др. причин;
- проявление гидродинамического давления, различного рода динамических воздействий (движение транспорта).

Оценка устойчивости массива грунтов основывается на анализе напряжений, возникающих в них от собственного веса и расчётного веса применяемых транспортных средств, и сопоставлений с предельными их значениями.



Вывоз древесины на рассматриваемой территории осуществляется круглогодично. В рассматриваемом районе применяется многоступенчатая вывозка леса – при которой, в отличие от одноступенчатой, предусматриваются дополнительные перегрузки древесины, т. е. происходит дополнительная нагрузка на лесную дорожную сеть.

Применяемые способы предотвращения аварийных состояний лесных дорог (устройство лежнёвок, гатей из лесопильных отходов) в местных условиях приводит к существенному ухудшению экологической обстановки из-за попадания формальдегида в водные объекты.

В рамках дальнейшего развития полигона предполагается провести отбор проб, полевое и лабораторное исследование грунтов, слагающих основания существующих лесных дорог, для выработки рекомендаций по трассировке и рациональному, экологически обоснованному планированию лесных дорог с учётом территориальных особенностей и местных материалов, исключающих применение лежнёвок.

#### Список литературы

1. Банищикова Л. С., Банищikov А. А. Первичные экспериментальные наблюдения на полигоне «Беленец» Тверской области // Вторые Виноградовские чтения «Будущее гидрологии»: материалы конф., 18–22 ноября 2015 г. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2015. С. 11–12.
  2. Банищикова Л. С., Банищikov А. А. Оперативный мониторинг водоохранных зон с применением БПЛА // Гидрометеорология и экология: научные достижения и перспективы развития. 2018. С. 79–82.
  3. Правительство Тверской области: официальный сайт. URL: <https://tverskaya-oblast/kharakteristika-territorii/lesnye-resursy-tverskoy-oblasti/?print = y> (дата обращения: 01.04.2023).
  4. СП 318.1325800.2017. Дороги лесные. Правила эксплуатации. URL: <https://docs.cntd.ru/document/556610333> (дата обращения: 01.04.2023).
  5. СП 288.1325800.2016. Дороги лесные. Правила проектирования и строительства. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456069592> (дата обращения: 01.04.2023).
- 

УДК 910:528.9:004 (571.51/.52)

## Тенденция преобразований таежных геосистем Сибири

Т. И. Коновалова (tkonov@mail.ru)<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия

<sup>2</sup>Институт географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, Иркутск, Россия

**Аннотация.** Изучаются особенности современной трансформации таежных геосистем, характерных для южной части Средней Сибири. Исследования базируются на учете взаимосвязи экологических и геосистемных принципов изучения тайги и выявления проблем, возникающих при использовании лесных ресурсов. Приводятся сведения о направлении естественных преобразований тайги за период позднего кайнозоя. Показана устойчивость таежных геосистем и особенности их преобразования на территории, затронутой интенсивной хозяйственной деятельностью человека и пирогенным воздействием. Представлены районы, в которых изменения, вызванные антропогенной деятельностью, усиливают естественные процессы модификации тайги. Изложены различные взгляды на время формирования тайги. Рассмотрены причины этих противоречий, которые вызваны особенностями исследования либо возраста, либо долговечности таежных геосистем. Приведены карты устойчивости и трансформации геосистем исследуемой территории.

**Ключевые слова.** тенденции развития; поздний кайнозой, устойчивость, антропогенные преобразования, прогноз.

### Введение

Необходимость решения проблемы охраны окружающей среды, а также исследование аспектов природной среды, ориентированных на человека, определило сближение географических и экологических подходов к изучению окружающей среды. Системные идеи, развиваемые в экологии, были использованы при разработке теории геосистем. Термин геосистема, введенный академиком В. Б. Сочавой вместо привычного употребления понятия «географический комплекс», указывал на идейное влияние экологов, которые ставили в центр внимания структурно-функциональные характеристики экосистем, т. е. динамические проявления

внутри их структуры, которые определялись деятельностью живых организмов. Это определило специфику изучения геосистем, в структуре которых биотический компонент и контролирующие его эколого-географические связи имели большое значение. Современные геосистемные исследования во многом созвучны с экологическими и направлены на получение информации, содержащей сведения о ретроспективном, текущем и прогнозируемом состоянии окружающей среды, ее загрязнении, происходящих в ней процессах и явлениях, а также о воздействии на нее осуществляемой и планируемой антропогенной деятельности, проводимых и планируемых мероприятиях в области охраны окружающей среды [13]. Они дают возможность выявлять закономерности, которые лежат в основе интеграции природных факторов.

Основная задача проведенных исследований – выявление тренда преобразований таежных геосистем Прибайкалья. Решение этой задачи сопряжено с учетом прямых и побочных изменений в природе, которые могут произойти при антропогенной деятельности. Значение также имело исследование геосистем в их динамике, а также учет тренда эволюционных преобразований, с которыми связано глубокое постижение сущности происходящих изменений.

Объект исследования – таежные геосистемы юга Средней Сибири. Граница района исследований проходит по р. Енисей, широтному отрезку р. Ангары, Предбайкальскому и Предсаянскому прогибам. Это один из гипотетических центров возникновения тайги, который не испытал оледенения. Таежные геосистемы со времени начала своего формирования находились здесь постоянно, развивались в единой динамической системе со степями и тундрами, что отразилось на современных особенностях лесов. Район исследования является центром интенсивного и разнообразного антропогенного воздействия в азиатской части России, оказывающего порой разрушительное воздействие на слабо устойчивые категории таежных геосистем (рис. 1).



Рис. 1. Район исследований

Исследования базируются на опыте многолетних исследований и картографирования геосистем Сибири. Достоверность и обоснованность научных результатов работы обеспечивалась использованием данных маршрутно-полевых исследований, материалов дистанционного зондирования Земли из космоса, картографических материалов. Закономерности формирования, развития и преобразования геосистем и их взаимосвязей в зависимости от морфотектонических, климатических и геологических условий прошлого и настоящего представлены в форме информационного синтеза данных и знаний о территории, основанного на теории геосистем академика В. Б. Сочавы. В таком широком объеме проблема исследования преобразования таежных геосистем крупного региона практически не раскрывается.

### **Представление о формировании тайги**

Тайга – это огромный естественный «резерват» хвойных деревьев, распространенный в умеренном поясе Северного полушария. Она считается сравнительно молодым образованием, но господствующие в ней жизненные формы голосемянных деревьев напротив, уже пережили период своего расцвета. Во многих частях Земли они уступают более эволюционно совершенной филогенетической группе покрытосемянных, например, лиственным деревьям. Вместе с тем вопрос о времени формирования тайги, по-прежнему, остается дискуссионным. Очевидно, что разногласия во многом связаны с различным пониманием возраста и долговечности геосистем.

Возраст геосистемы – это продолжительность ее существования в эволюционном ряду в качестве определенного структурно-динамического типа. Как правило, чем выше иерархический ранг геосистемы, тем больше его возраст. Для геосистем ранга фаций, урочищ оно выражается в показателях летоисчисления исторической географии, например, с палеолита. Для геосистем планетарной размерности (таежный тип природной среды) и большей части региональной (физико-географическая страна и ее провинции) применимы параметры геохронологии. Установление возраста геосистем требует анализа связей между компонентами геосистемы во временном разрезе, т. е. необходимо сопоставить представление об эволюции системных связей в том или ином интервале геологического летоисчисления. Они, если следовать концепции Н. А. Солнцева [9], имеют одностороннюю обусловленность, направленную от литогенной основы через воды и атмосферу к биоте. Влияние «старшего» компонента на «младший» всегда более мощное и определяющее. Тем самым, периоды тектонических и климатических трансформаций, которые вызывают смену прежде существовавших геосистем на новые, становятся маркером возраста последних. Так В. Б. Сочава [11] отмечал, что возраст евразийской тайги исчисляется в большинстве своем с неогена, когда тургайские смешанные леса под воздействием общего похолодания, уменьшения влажности и усиления континентальности климата трансформировались в таежные леса.

К примеру, в районе исследований вплоть до эпохи плиоцена неогенового периода, которая началась около 5 млн лет назад, на холмисто-увалистом рельефе в условиях теплого влажного климата произрастали широколиственные леса тургайского типа, которые сменили таежные леса по мере похолодания климата и тектонических преобразований. Считается, что их трансформация в таежные леса началась на равнинах, в то время как склоны гор еще удерживают в ряде местоположений остаточные тургайские структуры. В связи с этим, гипотеза происхождения тайги в горах не имеет универсального значения [10].

Понятие долговечности связано с представлением о периоде времени, в течение которого тот или иной биогеоценоз удерживает за собой определенную территорию. При исследовании долговечности применялся динамический критерий, поскольку возможность использования системных идей считалась наиболее очевидной при исследовании мобильной части ландшафта, т. е. биоты. Исходя из этого, В. Б. Сочава [12] отмечал, что долговечность таежного типа ландшафта, оценивается с антропогенного периода, который начался около 2,6 млн. лет назад после плейстоценового похолодания климата и распространения этих геосистем в умеренно-холодных и холодных регионах. Наряду с этим отмечалась значительная

древность отдельных компонентов таежных геосистем. Так П. Н. Крылов [6] считал пихтово-ельовый лес остатком флоры третичного периода.

Согласно такой версии, таежный тип геосистем сформировался на основной части ареала современного ареала непосредственно из-за влияния геофизических воздействий, связанных со сменой палеомагнитных эпох Гаусс-Матуяма и Брюнес-Матуяма, когда происходило изменение направления магнитного поля, а северный и южный магнитные полюса Земли менялись местами. Считалось, что во время этих инверсий магнитное поле планеты существенно ослабевало и космическое излучение достигало ее поверхности, оказывая существенное воздействие на преобразование природной среды, в том числе на формирование ледниковых покровов и многолетней мерзлоты [4]. В связи со сменой ледниковых и межледниковых периодов тайга и перигляциальные степи региона, а также тайга и тундра сочетались в единой динамической системе благодаря сближенным границам, что сказалось на многих особенностях современных таежных геосистем. Поэтому утверждалось, что тайга является порождением ледникового периода, когда между компонентами природной среды начали складываться отношения, по своему типу подобные тем, что характеризуют современную тайгу, а время происхождения тайги следует отнести к антропогену [10].

### Эволюция тайги

Реконструкция эволюционных преобразований таежных геосистем юга Средней Сибири была проведена на основе изучения публикаций, содержащих сведения о палинологических находках, неотектонике, палеоклимате, а также сравнения ландшафтов-аналогов, которые разобщены в пространстве, но схожи по таксономическому рангу, структуре и внешнему облику [14]. Исследования показали, что истоки формирования таежных геосистем региона относятся к олигоцену, когда возникли условия, способствующие развитию тайги. Как отмечалось ранее, предшественником тайги был тургайский ландшафт. Ее развитие происходило в несколько этапов.

Начало формирования тайги приходится на конец миоцена – первой эпохи неогенового периода, которая закончилась около 5 млн лет назад. Оно было вызвано похолоданием и аридизацией климата, когда температуры зимы составили порядка 0°C, июля около +30 °C, а годовая сумма осадков около 1200–1000 мм [8]. Это способствовали обеднению тургайской флоры, появлению в составе древостоев пихты и ели. Плиоцен – эпоха неогенового периода, которая началась после миоцена и закончилась около 2,6 млн лет назад, охарактеризовался дальнейшим интенсивным похолоданием и усилением континентальности климата. Подъем хребтов и нагорий на востоке Сибири в конце раннего и начале среднего плиоцена привел к возникновению орографических преград, которые оказали влияние на циркуляцию атмосферы. Значительную роль стал играть Сибирский антициклон. В эту эпоху хвойно-широколиственные леса были преобразованы в хвойные леса таежного типа, а климат тайги характеризовался резко выраженной сезонностью, продолжительной и холодной зимой с температурами до -10°C и умеренно теплым летом с температурой воздуха около +15...+20 °C. Количество осадков понизилось до 600–800 мм. Дальнейшее усиление дифференциации климата обусловило распад тайги на множество региональных типов. В западной и предгорной части района исследований, где сказывалось влияние западного переноса, получили развитие темнохвойно-таежные геосистемы, на большей части региона – светлехвойно-таежные, впоследствии с доминированием лиственницы сибирской, наиболее приспособленной к условиям континентального климата.

Сильнейшая аридизация климата в начале среднего плиоцена способствовала распространению в регионе степной и полупустынной растительности. Периоды расширения степей чередовались с повторными миграциями хвойно-лиственных лесов. В это время оформился Байкало-Алтайский лесостепной комплекс. Считается, что формирование темнохвойной тайги и особых лесостепных геосистем с сосной и лиственницей происходило одновременно. На рубеже четвертичного периода, который начался 2,58 млн лет назад и продолжается поныне произошло существенное похолодание климата, обострение его континентальности, уменьшение

относительной влажности воздуха, сокращение общего количества атмосферных осадков. Характерно появление и длительное сохранение снежного покрова, способствовавшего выхолаживанию и иссушению воздуха. Зимние температуры опускались до  $-25^{\circ}\text{C}$ , летние не превышали  $+15^{\circ}\text{C}$ ; годовое количество осадков понизилось до рекордных значений – 400–600 мм. В этот период завершилось окончательное преобразование неморальных темнохвойных типов геосистем в таежно-темнохвойные современного облика, оформились светлохвойные геосистемы.

Сартанская ледниковая эпоха ознаменовалась максимальным похолоданием в регионе и повсеместным развитием многолетней мерзлоты до  $48\text{--}49^{\circ}$  с. ш. [2]. На многолетней мерзлоте сформировались ерники. Изменение темнохвойной тайги проходило по линии флористического обеднения. В перигляциальной области, которая простиралась севернее Байкала сформировались леса, в которых сочетались в единой динамической системе древостои из кедр сибирского, ерники и кедровый стланик. Также происходило остепнение хвойных лесов, унаследованное от их контакта с перигляциальными степями.

Голоцен – время становления современных геосистем. Этот период ознаменовался активизацией тектонических процессов и неоднократным изменением климатических условий. Суммы положительных температур в бореальное время составляли  $800\text{--}1200^{\circ}\text{C}$ , в атлантическое время они возросли до  $1200\text{--}1400^{\circ}\text{C}$ . Область распространения многолетней мерзлоты, по сравнению с Северной Евразией, на территории региона претерпела наиболее значительные изменения. В раннем голоцене началось формирование светлохвойных геосистем, которые в среднем голоцене заняли всю территорию к востоку от Енисея (южнее  $60^{\circ}$  с. ш.). На Енисейском кряже обогащение растительности темнохвойными древостоями началось в фазу климатического оптимума голоцена. Господство светлохвойных лесов на восточном склоне кряжа связано с похолоданием климата (малая ледниковая эпоха в горах южной Сибири). На севере региона среднетаежные лиственничные зеленомошные геосистемы заменили лиственнично-слово-кедровые в фазу похолодания климата. На правобережье Ангары происходит замена геосистем с доминированием темнохвойных пород светлохвойными южно-таежными. Распространение последних в современных условиях связано с показателями теплообеспеченности  $1600\text{--}1800^{\circ}\text{C}$ . Подгорные районы южной части территории были представлены сосново-березовыми травяными геосистемами с фрагментами степей. Сейчас распространение тех и других определяется интервалом положительных температур  $1800\text{--}2000^{\circ}$ , с разницей лишь в условиях увлажнения.

Таким образом, основная историческая тенденция развития таежных геосистем региона сопряжена с усилением процессов аридизации, континентальности климата и тектоническими преобразованиями, которые зачастую вызывали трансформацию климата [4]. Разница температур самого жаркого и самого холодного месяцев, характеризующая степень континентальности климата, изменялась в районе оз. Байкал от  $16^{\circ}\text{C}$  в позднем миоцене, до  $25^{\circ}\text{C}$  в плиоцене, достигнув в голоцене  $40^{\circ}\text{C}$  [8].

В пределах Ангаро-Ленского междуречья, ель, кедр и в меньшей степени пихта занимали господствующее положение как в депрессиях, так и на водоразделах. Вместе с тем совершалось постепенное вытеснение темнохвойной тайги светлохвойной в результате лесных пожаров. В материалах землеустроительные экспедиций для всего пространства между Енисеем, Нижней Тунгуской, Байкальским хребтом и лесостепной полосой отмечалось развитие на водоразделах кедрово-пихтовой тайгой с той или иной примесью ели и лиственницы. В настоящее время большая часть этих пространств занята гарями. Наряду с негативными условиями, сформировавшимися в регионе для функционирования таежных геосистем, практически для всей территории характерны проблемы, связанные с размещением крупных промышленных производств и низким потенциалом самоочищения атмосферы, открытыми разработками полезных ископаемых, широкомасштабными рубками леса, сельскохозяйственным воздействием, влиянием крупных урбанизированных территорий. На открытых участках происходит интенсивное прогревание поверхности, ускоренное протаивание сезоннопромерзающих

грунтов и как следствие – развитие процессов аридизации, что приводит к возникновению критических ситуаций для существования таежных геосистем. Во многом это объясняется с физиолого-экологической точки. Это, прежде всего, более примитивное по сравнению с покрытосемянными строение сосудистой системы хвойных. Их проводящие ткани имеют очень малый поперечник и поэтому оказывают сравнительно большое сопротивление движению влаги из корней к фотосинтезирующим частям, поэтому они нуждаются в легкодоступной почвенной влаге в течение вегетационного периода и в условиях, ограничивающих транспирацию. В целом «влаголюбивость» хвойных сочетается с ксероморфностью морфологического строения [15].

Маршрутные и дистанционные исследования, проведенные автором в районе исследований, показали, что для большинства местоположений, примыкающих к рекам Ангаре, Илим, Лене, характерны антропогенно-нарушенные типы геосистем, которые не восстанавливаются до исходного состояния даже после устранения внешнего воздействия. Это акцентирует внимание на том, что даже незначительное влияние на геосистемы может вызвать значительную трансформацию их структур и последующее изменение окружающей среды.

Так А. Н. Криштофович [5] отмечал, «такой катаклизм в жизни тайги как гарь, нарушающая ответно царившие там биологические условия, уничтожающая моховый покров, изменяющая состав гумусового горизонта, подвергаящая обнажившуюся почву более энергичному воздействию эрозионных деятельности, понижающая уровень вечной мерзлоты и привлекающая в недра тайги сорные растения, влечет за собой крупные изменения в дальнейшей жизни леса. Темная тайга с ее толстым моховым покровом держит мерзлоту на малой глубине, этим способствуя заболачиванию плато и вообще большей сырости. Опускание мерзлоты способствует развитию оподзоливающих процессов и осушению местности, и в результате завладения страной бором мы находим тут уже совершенно иные физические условия. Сосна идет шаг за шагом, но прочно завладевает страной, сильно изменяя своим присутствием ее естественные условия. Конечно, не гари последних лет были причиной облесения сосной части края: оно шло издревле, и сосна тут теснит, вероятно, тайгу уже давно, вторгнувшись в страну по солнечным склонам».

При частой повторяемости пожаров (не реже одного раза в 100–150 лет) происходит развитие производных типов геосистем. По этому поводу И. В. Николаев [7] писал: «Неоднократная повторяемость лесных пожаров за длительный период времени привела к изменению общих условий страны в направлении сухости, вследствие увеличения испарения на открытых пространствах. Кроме этого, в зависимости от особенностей рельефа и почвообразующих пород, вместо сплошного господства тайги в различных местах установились разнообразные ассоциации деревянистой растительной формации». Под влиянием факторов антропогенной аридизации климата в восточной и юго-восточной части территории отмечено расширение площадей светлохвойно-таежных геосистем. «Одно уже изменение фито-климата и идущее параллельно с ним изменение почвенного климата могут быть весьма заметными и привести к таким изменениям ..., которые могут оказаться совершенно неблагоприятными для восстановления бывшей ранее растительности» [1] (рис. 2).

В процессе исследований была выполнена оценка устойчивости геосистем, которая проявляется в системной совокупности свойств, отражающих целостность геосистемы и ее отношение с внешней средой. В соответствии с факторами организации геосистем [3] выделяются следующие критерии для оценки их устойчивости: своеобразие – принадлежность геосистем к тем или иным региональным подразделениям, отражающая типичность/нетипичность их распространения; разнообразие – вариантность и сложность составляющих геосистему подсистем и их взаимосвязей; характер внутренних взаимосвязей; видоизменения – отклонения от коренной (фоновой) нормы, отражающие направленность процессов преобразования геосистем; положение в определенных частях ареала; возраст геосистем. Согласно этим критериям, таежные геосистемы региона были объединены в 5 крупных категорий по степени устойчивости.

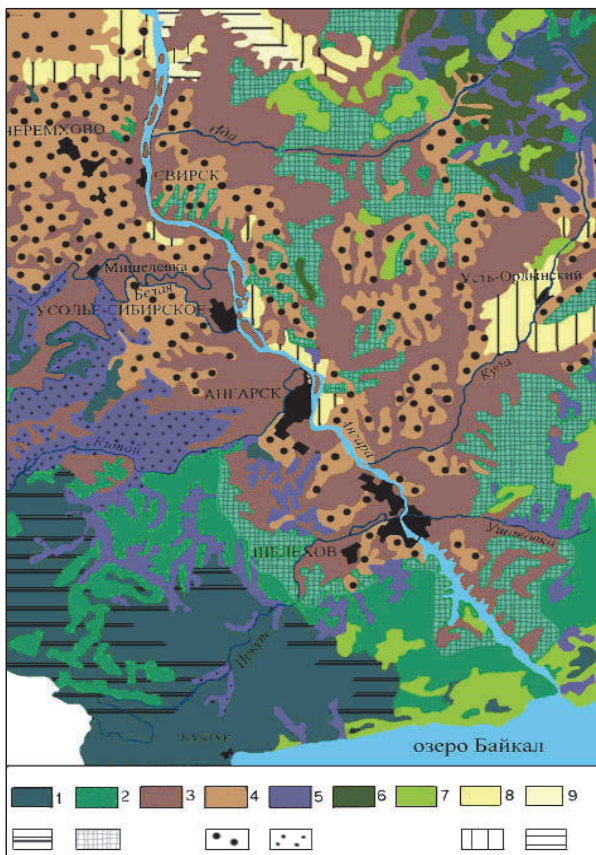


Рис. 1. Трансформация геосистем в пределах района интенсивного антропогенного воздействия (Иркутско-Черемховская равнина):

1. Кедровая моховая тайга; 2. Таяжные светлохвойные леса; 3. Подгорные подтаяжные сосновые возвышенноравнинные; 4. Подгорные подтаяжные сосновые низкоравнинные остепненные; 5. Подгорно-долинные лугово-болотные гидроаккумулятивные; 6. Лиственнично-таяжные редкостойные; 7. Лиственнично-таяжные; 8. Подгорные низко-равнинные лугово-степные; 9. Плоских равнин и плато сухостепные и лугово-степные. Направление трансформации геосистем: 10 – замещение на светлохвойно-таяжные; 11 – замещение на травяные светлохвойные; 12 – замещение на мелколиственные и степные; 13 – усиление гидроморфности; 14 – расширение площади за счет (4); 15 – опустынивание

1. Очень низкая. Это среднетаежные геосистемы с разреженными кустарничково-моховыми лиственничниками на мерзлотных почвах бассейна Нижней Тунгуски.

2. Низкая. Среднетаежные мерзлотные лиственничные кустарничково-зеленомошные, с фрагментами бруснично-зеленомошных сосняков на песчаниках, развитых вне основного ареала, средне- и подгорные темнохвойно-таяжные геосистемы Лено-Ангарского плато, а также светлохвойно-еловые редкостойные ерниковые геосистемы речных долин приленских и северных районов региона.

3. Средняя. Подгорно-долинные гидроаккумулятивные геосистемы Предсяянского и Предбайкальского прогибов.

4. Высокая. Все предгорно-подгорные подтаежные светлохвойные травяные геосистемы, примыкающие к районам Саяно-Байкальской горной области.

5. Наиболее высокая. Южнотаежные светлохвойные травяно-брусничные геосистемы равнин и низких плато юга Иркутской области (рис. 3).

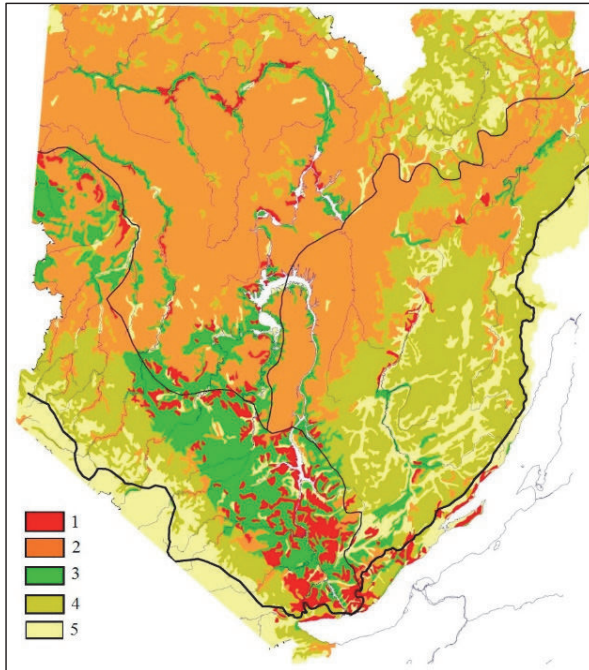


Рис. 3. Устойчивость геосистем юга Средней Сибири:

Категории устойчивости: 1 – очень высокая; 2 – высокая; 3 – средняя; 4 – низкая; 5 – очень низкая.

Черная линия – граница района исследований

Отличительной особенностью юга Средней Сибири является сочетание как гумидных, так и семиаридных и отчасти аридных типов геосистем благодаря формированию различных условий их функционирования, как под воздействием широтных закономерностей, так и влияния Байкальской рифтовой зоны с трансформирующимися тепловыми потоками, а также горных сооружений. В результате таежные геосистемы региона сложно дифференцированы и представлены как темнохвойно-таежными, так и лиственнично-таежными вариантами.

На долю светлохвойных – сосновых и лиственничных типов геосистем в пределах юга Средней Сибири в настоящее время приходится около 60 % лесопокрытой территории, которая распределяется между ними практически в равной степени. Основные массивы сосняков расположены в центральной части региона – в Приангарье. В северо-восточной части территории лиственница занимает положение главной лесообразующей породы. При очень высокой экологической амплитуде у лиственницы сибирской отчетливо прослеживается смещение ее ареала в сторону засушливого экстраконтинентального климата и развития многолетней мерзлоты. Смешанные насаждения с кедром она образует обычно на контакте светло- и темнохвойного поясов, с елью – в долинах, логах, на вогнутых склонах с подтоком почвенных вод и на



северных шлейфах склонов, с сосной – на теплых южных склонах или достаточно прогреваемых почвах облегченного механического состава. Расширение площади лиственничников за счет темнохвойных лесов определяется в значительной мере пожарами, а также сплошными рубками. В центральной части района исследований в условиях теплого и умеренно влажного климата доминируют сосновые таежные геосистемы, распространение которых ограничивается неблагоприятным тепловым режимом почв. В случае их развития на почвах с жестким режимом увлажнения, который не выдерживает даже лиственница, например, на песчаных увалах северной части Братского водохранилища, формируются лишайниковые сосняки.

Темнохвойно-таежные геосистемы, расположенные в экотонной полосе со светлохвойными, функционируют в настоящее время в условиях сухого континентального климата, сформировавшегося еще в плиоцене. Это системы с жесткими связями составляющих их элементов, которые обладают слабым компенсационным механизмом внешним воздействиям, поскольку утрата даже одного из них отражается на всей системе и может стать причиной ее разрушения. Возможность их нормального существования обеспечивается за счет сохранения многолетней мерзлоты, «поставляющей» влагу корневой системе деревьев, и смягчающей роли фитоклимата, который создают сами леса. Нарушение этого баланса приводит зачастую к полному уничтожению темнохвойно-таежных геосистем. Об этом свидетельствуют многочисленные примеры их динамических замещений, например, длительно-производными лиственничниками в отрогах Лено-Ангарского плато.

### Заключение

Особенности развития геосистем региона и их территориальной дифференциации определились под воздействием длительного развития процесса усиления континентальности климата и его аридизации. Возможность необратимых преобразований геосистем возрастает в восточном и юго-восточном направлении. Темнохвойно-таежные геосистемы, расположенные в переходной зоне со светлохвойными, как и светлохвойные на границе с луговыми, обладают слабым компенсационным механизмом воздействиям, что определяет возможность их быстрой структурной перестройки при любом нарушении сложившихся взаимосвязей. Фиксация этапов эволюционного развития геосистемы дает возможность многовариантного прогноза ее будущего состояния в зависимости от ожидаемых изменений экологических условий.

### Список литературы

1. Васильев Я. Я. Леса и лесовозобновление в районах Братска, Илимска и Усть-Кута. Л. : Изд-во и тип. изд-ва Акад. наук СССР, 1933. 111 с. Серия Труды Совета по изучению производительных сил. Серия Сибирская / Акад. наук СССР. Вып. 2. (Ангарская лесная экспедиция 1931 г.; Ч. 1).
2. Дучков А. Д., Балобаев В. Т. Эволюция теплового и фазового состояния криолитозоны Сибири // Глобальные изменения природной среды. Новосибирск : Изд-во СО РАН. 2001. С. 79–104.
3. Коновалова Т. И. Организация геосистем и ее картографирование // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2012. Т. 5, № 2. С. 150–162.
4. Коновалова Т. И. Трансформация геосистем Байкальской природной территории // Известия Иркутского госуд. ун-та. Серия Науки о Земле. 2023. Т. 43. С. 46–617. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2023.43.46>
5. Криштофович А. Н. Очерк растительности Око-Ангарского края (Иркутской губернии) / под ред. Б. А. Федченко // Труды почвенно-ботанических экспедиций по исследованию колониальных районов Азиатской России. Ботанические исследования 1910 года. СПб. : Тип. А. Э. Коллинс, 1913. Вып. 3. Ч. 2. 184 с.
6. Крылов П. Н. Тайга с естественноисторической точки зрения. Научные очерки Томского края. Томск, 1898. 15 с.
7. Николаев И. В. Почвы Иркутской области. Иркутск : ОГИЗ. 1949. 403 с.
8. Синицын В. М. Древние климаты Евразии. Ч. 1. Л. : Изд-во ЛГУ 1965. 168 с.
9. Солдатов Н. А. О морфологии природного географического ландшафта // Вопросы географии. М., 1949. Сб. 16. С. 61–86.
10. Сочава В. Б. Тайга как тип природной среды // Южная тайга Приангарья. Л. : Наука, 1969. С. 4–32.
11. Сочава В. Б. Геотопология как раздел учения о геосистемах // Топологические аспекты учения о геосистемах. Новосибирск : Наука, 1974. С. 3–86.
12. Сочава В. Б. Проблемы физической географии и геоботаники. Новосибирск : Наука, 1980. 344 с.

13. Об охране окружающей среды : федер. закон от 10.01.2002 N 7-ФЗ (ред. от 14.07.2022) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.03.2023). Ст. 1.

14. Экологический энциклопедический словарь / под ред. И. И. Дедю. Кишинев : Гл. ред. Молд. сов. энцикл. 1989. 406 с.

15. *Golte W.* Öko-Physiologische und phylogenetische Grundlagen der Verbreitung der Conifaren auf der Erde. Dargestellt am Beispiel der Alerce (*Fitzroya cupressoides*) in den südlichen Anden // *Erdkunde*. 1974. Vol. 28, Iss. 2. P. 81–101.

УДК 556.531(470.47)

**Эколого-гидрохимическая характеристика канала  
Чограйского водохранилища**

З. В. Сохорова (SokhorovaZV@mail.ru), Л. Х. Сангаджиева (SangadzchievaLCh@mail.ru),  
Ц. Д. Даваева (DavaevaZhD@mail.ru), Ш. Балтабаева (BaltabaevaSh@mail.ru)

*Калмыцкий государственный университет им. Б. Б. Городовикова, Элиста, Россия*

**Аннотация.** Широкое использование Черноземельской оросительной системы в качестве источника водоснабжения для питьевых и сельскохозяйственных целей требует постоянного контроля качества ее вод. Исследована аккумуляция тяжелых металлов (Fe, Mn, Ni, Cu, Zn, Pb, Cd) и биогенных элементов (P, N, S, K, Ca, Na) в воде и в растениях разной экологической составляющей, произрастающих в канале оросительной системы. Вода в канале является жесткой. Общая минерализация воды изменяется в пределах от 1100 до 3500 мг/л, что превышает норматив. Минерализация воды при орошении имеет сезонное превышение норматива в 3 раза. Вода, поступающая в Черноземельский канал, сильно загрязнена: содержание солей достигает 1,4 ПДК, сульфатов – 4,54 ПДК. Рассмотрены экогеологическая и биогеохимическая роль гидрофитов в системе «вода – водные растения – донные отложения» и их вклад в обеспечение устойчивости функционирования водных экосистем в условиях орошения. Обсуждается перспективность использования обследованных макрофитов в целях биондикации и фитореamedации загрязненных водных экосистем.

**Ключевые слова:** водные экосистемы, биогеохимическая индикация, тяжелые металлы.

Водная проблема в республике с каждым годом становится все серьезнее и приобретает возрастающее экономическое, социальное и экологическое значение. Неизбежным результатом хозяйственной деятельности человека является загрязнение поверхностных вод. Однако высокая динамичность состава воды и дискретность поступления загрязнителей от антропогенных источников не всегда позволяют выявить тенденцию их накопления в бассейне водоема [3; 5; 7].

Целью работы является изучение особенностей солевого состава и содержания тяжелых металлов в воде оросительного канала Черноземельской оросительной системы у пос. Светлый. Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи: определить ионный и солевой состав, определить приоритетные гидрохимические факторы,– определить уровни биохимических компонентов в воде,– дать оценку уровня загрязненности канала тяжелыми металлами; определить индекс загрязнения воды канала [10; 11].

**Объект исследования:** Чограйское водохранилище относится к большому водохранилищам на территории РК (Республики Калмыкия). Введено в эксплуатацию в декабре 1969 г., заполнение до проектного уровня закончено в 1973 г. Длина канала – 140,2 км, проектная пропускная способность – до 40 м<sup>3</sup>/с. От магистрального канала ответвляются распределительные каналы Яшкульский (56,9 км и 15 м<sup>3</sup>/с), Гащунский (46,4 км и 15 м<sup>3</sup>/с), Сарпинский (44,8 км и 15 м<sup>3</sup>/с) и сбросные каналы [1; 4; 11].

Поселок Светлый находится на территории Ики-Бурульского района совхозе Зултурганский. Площадь поселка примерно 2,5–3,0 га, с населением около 1500 человек: в возрасте до 17 лет до 30 % населения, старше 60 лет – 35 % населения. Хозяйственная территория, окружающая пос. Светлый, используется для орошения, выращиваются кормовые культуры

люцерна и суданская трава, бахча с арбузами, дынями и тыквами, овощи. В хозяйстве имеется большое количество домашнего скота: овцы, коровы, птица, поэтому вдоль канала расположено несколько пастбищных участков с водопоями прямо из канала. Питьевая вода в поселке из канала, воду развозят бочками (рис.). Источниками загрязнения канала являются предположительно орошаемый участок, нефтепромысел и пастбище [10].



Рис. Черноземельский оросительный канал

Орошаемый участок: за 50–60 лет эксплуатации орошаемых участков грунтовые воды поднялись на 5–6 м, что вызвало засоление орошаемых участков. Отмечается неравномерность подъема грунтовых вод под разными полями орошения, что объясняется очень слабым их оттоком, связанным с бессточностью территорий. Питание грунтовых вод в приканальной полосе происходит в основном за счет боковой фильтрации воды из канала. Таким образом, даже при поливе дождеванием всегда есть условия питания грунтовых вод и их подъема. Отбор проб и подготовка проб к анализу осуществлялись согласно общепринятым методикам и стандартам. Всего выполнено 15 анализов воды, в том числе 10 проб на содержание тяжелых металлов. Приборы измерения фотоколориметр КФК-3, атомно-абсорбционный спектрометр Квант, иономер И-131, ионселективные электроды [6].

*Методы определения.* Количественное определение содержания ТМ в подготовленной пробе проводили атомно-абсорбционным методом на ААС спектрометре «Квант». Контроль воды должен проводиться регулярно, с помощью химических и инструментальных методов, таких как потенциометрический, фотоколориметрический, колориметрический, пламенно-фотометрический, титриметрический, гравиметрический [8].

*Результаты.* Гидрохимическая характеристика природных вод представлена по 10 показателям. Общая жесткость воды в канале меняется в пределах от 9,3 до 27,74 ммоль/л; вода по классификации О. А. Алекина (1978) является жесткой, превышает норматив, осенью жесткость увеличивается в 1,15 раз за счет уменьшения уровня воды в канале за летний период. Жесткость воды в канале вблизи орошаемого участка изменяется в пределах от 23,0 до 28 ммоль/л и является жесткой. Ионный состав воды (ИСВ) представлен катионами и анионами. Составляющая ИСВ представлена: (Cl<sup>-</sup>) хлориды изменяются от 6,4 до 21,8 мэкв/л [6].

Таблица 1

Гидрохимическая характеристика воды канала

Показатели	Ед. измерения	Нормативы (ПДК) ≥	1. Канал	2. Орошаемый участок	3. Пастбище	4. Нефтепромысел
Ж – общая жесткость	ммоль/л	7,0 (10)	10,33	27,74	9,60	9,35
Щ – щелочность	мэкв/л	7,0	3,00	3,70	2,30	3,30
М – минерализация	мг/л	1000 (1500)	1205,00	3500,00	1120,00	1100,00
Ca <sup>2+</sup>	мг/л	нет	95,19	215,43	75,15	85,17
	мэкв/л		4,76	10,77	3,75	4,28
Mg <sup>2+</sup>	мг/л	нет	66,88	191,52	70,0	60,8
	мэкв/л		5,57	16,97	5,85	5,07
K <sup>+</sup>	мг/л	200	7,41	25,35	7,80	7,02
	мэкв/л		0,19	0,65	0,20	0,18
Na <sup>+</sup>	мг/л	200	197,00	617,3	156,40	172,50
	мэкв/л		8,60	2,70	5,80	7,50
Cl <sup>-</sup>	мг/л	350	263,00	852,00	284,0	213,0
	мэкв/л		7,40	21,80	8,00	6,00
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	мг/л	500	392,60	1243,2	379,20	362,00
	мэкв/л		8,18	26,0	7,90	7,70
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	мг/л	нет	183,00	225,70	140,30	201,30
	мэкв/л		3,00	3,70	2,30	3,30

По анионному составу получают концентрационные ряды

1. SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> > Cl<sup>-</sup> > HCO<sub>3</sub><sup>-1</sup>
2. HCO<sub>3</sub><sup>-1</sup> > SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> > Cl<sup>-1</sup>
3. SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> > Cl<sup>-1</sup> > HCO<sub>3</sub><sup>-1</sup>
4. SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> > Cl<sup>-1</sup> > HCO<sub>3</sub><sup>-1</sup>

По катионному составу образуются концентрационные ряды:

1. Ca > Mg > Na.
2. Na > Mg > Ca
3. Na > Mg > Ca
4. Na > Mg > Ca

Ионный состав воды канала до поселка сильно меняется: изменяется от сульфатно-хлоридно-кальциевого до сульфатно-хлоридно-натриевого, на орошаемом участке преобладает натрий и магний и гидрокарбонатно-сульфатно-хлоридный состав.

Содержание тяжелых металлов (ТМ) в поверхностных водах (табл. 2) обусловлено природными условиями и действием техногенных факторов [2; 3; 9].

Таблица 2

Тяжелые металлы в воде канала

№ участка, использование	Zn, мг/л	Cu, мг/л	Cd, мг/л	Pb, мг/л	Co, мг/л	Mn, мг/л
1. Канал	0,0097±0,0065	0,0809±0,0162	0,0215±0,0065	0,0157±0,0047	0,1000±0,0200	0,0090±0,0038
2. Орошаемый участок	0,1694±0,0339	0,0796±0,0159	0,0143±0,0043	0,1146±0,0229	0,0711±0,0142	0,2317±0,0463
3. Пастбище	0,0130±0,0039	0,0872±0,0174	0,0174±0,0052	0,0806±0,0161	0,0408±0,0082	0,0149±0,0045
4. Нефтепромысел	0,0133±0,0040	0,0894±0,0179	0,0176±0,0053	0,0190±0,0057	0,0957±0,0191	0,0085±0,0036
Норматив (ПДК)	5,00	1,50	0,005	0,30	0,05	0,100

Среднее содержание тяжелых металлов в канале составляет: Zn 0,01 мг/л, Cu 0,08 мг/л, Cd 0,021 мг/л, Pb 0,017 мг/л, Co 0,10 мг/л, Mn 0,01 мг/л. По ПДК превышение идет только по Cd, Pb.

Вблизи орошаемого участка содержание ТМ составляет: Zn 0,17; Cu 0,09; Cd 0,014; Pb 0,12; Co 0,072; Mn 0,23 мг/л идет превышение ПДК по Cd, Pb.

Таким образом, по уровням концентраций токсичных элементов в канале произошли незначительные изменения в зоне орошения. В воде увеличилось содержание марганца, цинка, свинца, остались без изменения или уменьшились кадмий и медь.

Экологическая оценка канала предельно грязная по содержанию цинка, кадмия; содержание марганца менялось за этот период от вполне чистой (проба 1) к предельно грязной (пробы 2, 3).

Для определения индекса загрязнения (ИЗВ) тяжелыми металлами сумма коэффициентов концентрирования делится на число, изучаемых показателей  $ИЗВ = \text{сумма } K_c/n$ . Для представления качества вод в виде единой оценки показателя выбираются независимо от лимитирующего признака вредности, предпочтение отдается веществам, имеющим токсикологический признак вредности, в данном случае – тяжелые металлы.

Полученные результаты ранжируют по классу качества воды как – очень чистые – Левкумская вода, умеренно грязные составляют большинство проб канала, загрязненные и грязные – оросительные воды. Такая оценка качества вод совпадает с оценкой вод по превышению нормативов по отдельным показателям

### Выводы

1. По классификации О. А. Алекина (1978) вода в канале является жесткой, превышает норматив, вода в оросительных водах по классификации Алекина является умеренно жесткой. Общая минерализация воды изменяется в пределах от 1100 до 3500 мг/л, что превышает норматив. Минерализация воды при орошении варьирует в пределах от 1700 (весной) и до 4500 мг/л (осенью), сезонное превышение норматива в 3 раза. Вода, поступающая в Черноземельский канал, сильно загрязнена: содержание солей достигает 1,4 ПДК, сульфатов – 4,54 ПДК,

2. Изменения в содержании характерны для хозяйственного использования: максимум поступает с орошаемого участка и нефтепромысла. Таким образом, концентрационные ряды у 1, 3 и 4 участков канала близки, но по концентрации отличия от 2 до 4 раз. Концентрация натрия в канале при орошении в сотни раз выше, чем в водохранилище, изменяется в пределах от 18029 до 19027 мг/л. Магний-ион изменяется от 5,07 до 16,97 мэкв/л. Вблизи орошаемого участка магния больше в 3 раза, чем на других участках. Солевой состав воды канала до поселка сильно изменяется от сульфатно-хлоридного кальциевого до гидрокарбонатно-сульфатно-хлоридный состав.

3. Данные биохимических показателей вод Черноземельского оросительного канала вблизи поселка (с разнообразным хозяйственным использованием) показывают, что вода по нитратам, азоту аммония не превышает норматива, по перманганатной окисляемости достаточно чистая, но имеются неразрешенные стоки в канал животноводческого комплекса и орошаемого участка.

4. Содержание тяжелых металлов в канале составляет: Zn 0,01 мг/л, Cu 0,08 мг/л, Cd 0,021 мг/л, Pb 0,017 мг/л, Co 0,10 мг/л, Mn 0,01 мг/л. По ПДК превышение идет только по Cd, Pb. В воде канала вблизи орошаемого участка содержание тяжелых металлов составляет: Zn 0,17; Cu 0,09; Cd 0,014; Pb 0,12; Co 0,072; Mn 0,23 мг/л идет превышение ПДК по Cd, Pb. Таким образом, по уровням концентраций токсичных элементов в канале произошли незначительные изменения в зоне орошения. В воде увеличилось содержание марганца, цинка, свинца, остались без изменения или уменьшились кадмий и медь.

5. Индекс загрязнения воды канала рассчитывался по 6 показателям. По индексу загрязнения воды канала характеризуется сильно загрязненная, вода после орошения характеризуется как слабо загрязненная. Экологическая оценка канала предельно грязная по содержанию цинка, кадмия; содержание марганца менялось за этот период от вполне чистой к предельно грязной.

### Список литературы

1. Архивные документальные материалы Чограйского участка ФГУ «Управление эксплуатации Кумских гидроузлов и Чограйского водохранилища»: отчеты, таблицы, карто-схемы, фотоматериал. 1978. 110 с.
2. *Беспамятнов Г. П., Кротов Ю. А.* Предельно допустимые концентрации химических веществ в окружающей среде. Л. : Химия, 1987. 55 с.
3. *Куриленко В. В., Осмоловская Н. Г., Новикова А. Н.* Биогеохимическая индикация загрязнений // Водные объекты Санкт-Петербурга / под ред. Кондратьева С. А., Фрумина Г. Т. СПб. : Символ, 2002. С. 141–147.
4. Доклад о состоянии окружающей среды РК Элиста, АПП «Джангар», 2009. 45 с.
5. *Иванов Г. М.* Микроэлементы-биофилы в ландшафтах Забайкалья. Улан-Удэ : Изд-во БНЦ СО РАН, 2007. 239 с.
6. *Лукашевич О. Д.* Классификация природных вод для целей питьевого водоснабжения (по способности к очистке) // Вода и экология. Проблемы их решения. 2005. № 4. С. 3–16.
7. *Мотузова Г. В., Карпова Е. А.* Химическое загрязнение биосферы и его экологические последствия. М. : Изд-во Моск. Ун-та, 2013. 304 с.
8. *Никанорова А. М., Жулидов А. В.* Биомониторинг металлов в пресноводных экосистемах. Л. : Гидрометеоздат, 1991. 308 с.
9. *Osmolovskaia N. G., Kurilenko V. V.* Biogeochemical aspects of heavy metals phytoindication in urban aquatic ecosystems // Biogeochemical processes and cycling of elements in the environment / eds. J. Weber [et al.]. Wroclaw, 2001. P. 217–218.
10. *Сангаджиева Л. Х.* Микроэлементы в почвах Калмыкии и биогеохимическое районирование ее территории: Монография. Элиста: АПП Джангр, 2004. 115 с.
11. *Сангаджиева Л. Х.* Миграция микроэлементов в питьевых минеральных водах Калмыкии // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2006. № 4. С. 89–97.

УДК 556.531 (571.53)

## Геохимия подземных и поверхностных вод поселка Приморский Осинского района Иркутской области

М. А. Шевелев (mikhail.shevelev.01@bk.ru)

*Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия*

**Аннотация.** Статья посвящена изучению гидрогеохимической обстановки Осинского района и оценке соответствия качества используемых для водоснабжения питьевых вод действующим нормативам. Исследование подземных вод производилось в 2022 г., поверхностных – в 2023 г. В ходе выполнения исследовательской работы были отобраны 4 пробы подземных вод, 3 пробы воды из Обусинского залива Братского водохранилища и 3 пробы снега, после чего, было произведено сравнение полученных результатов химических анализов с действующими нормативными документами на предмет сравнения концентрации растворённых в воде макрокомпонентов с действующими ПДК. Для более наглядной интерпретации результатов гидрохимических анализов составлена диаграмма Пайпера, которая позволяет в графическом виде выявить генетические особенности формирования гидрохимического состава подземных вод.

**Ключевые слова:** Осинский район, гидрогеохимическая обстановка, отбор проб, ПДК, диаграмма Пайпера.

Целью работы является изучение гидрогеохимической обстановки Осинского района и оценка соответствия качества используемых для водоснабжения питьевых вод действующим нормативам.

Исследование подземных вод производилось в 2022 г., поверхностных – в 2023 г.

В ходе выполнения исследовательской работы были отобраны 4 пробы подземных вод и 6 проб поверхностных вод (3 пробы воды из Обусинского залива Братского водохранилища и 3 пробы снега) (рис. 1).

После было произведено сравнение полученных результатов химических анализов с действующими нормативными документами на предмет сравнения концентрации растворённых в воде макрокомпонентов с действующими ПДК. Сравнение результатов показано на диаграммах (рис. 2).

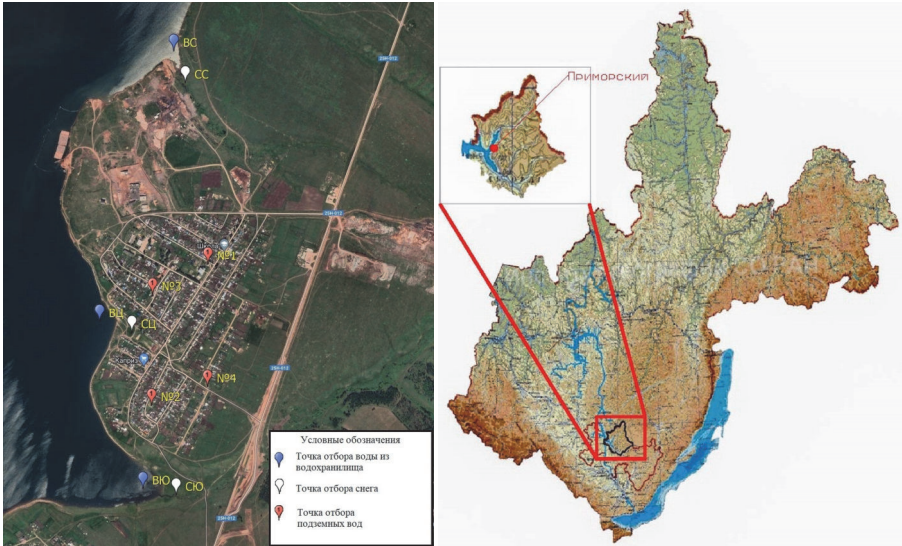
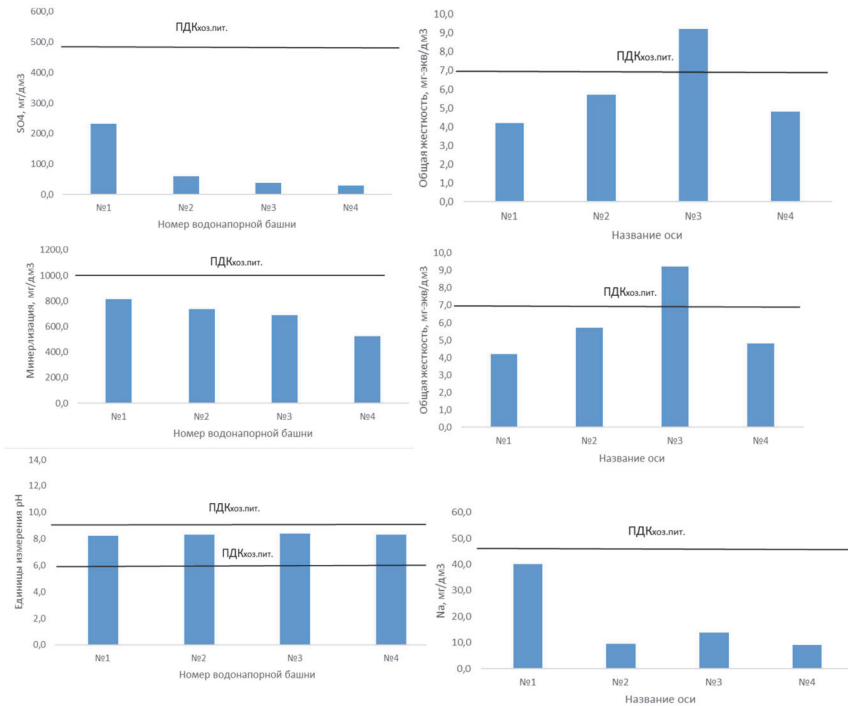


Рис. 1. Точки отбора проб





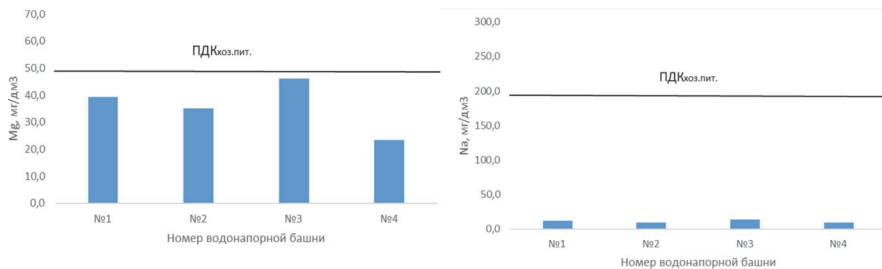


Рис. 2. Сравнение концентрации растворённых в воде макрокомпонентов с действующими ПДК

Для более наглядной интерпретации результатов гидрохимических анализов была составлена диаграмма Пайпера (рис. 3), которая позволяет в графическом виде выявить генетические особенности формирования гидрохимического состава подземных вод. Диаграмма Пайпера представляет собой два треугольника Ферре, на которых отображаются относительные концентрации главных катионов и анионов, с дальнейшим проецированием одной точкой на результирующем ромбе для классификации пробы.

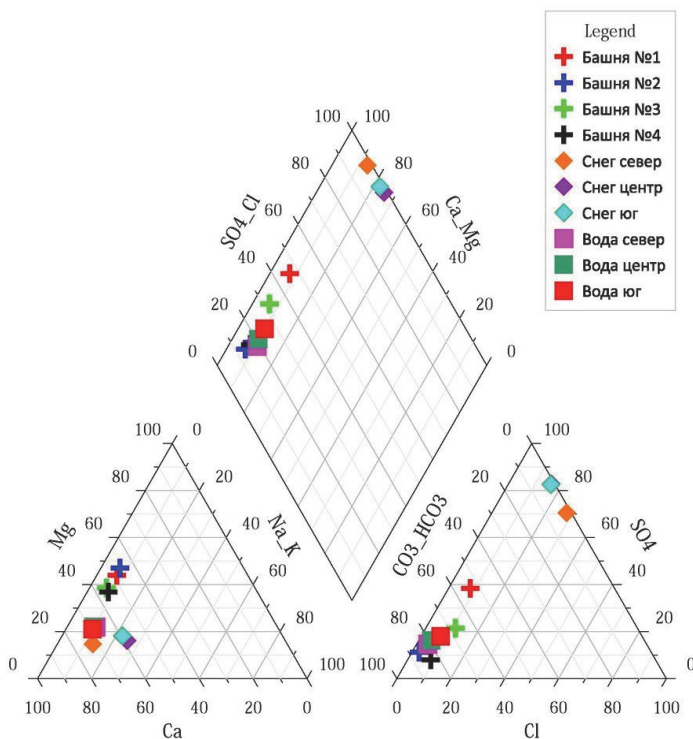


Рис. 3. Диаграмма Пайпера

Построенная по результатам всех анализов диаграмма графически интерпретирует все результаты гидрохимических анализов, произведённых в 2022 и 2023 гг. для различных вод исследуемого ключевого участка. Согласно приведённой диаграмме, представляется возможным установить, что для всех исследуемых основным растворённым катионом является кальций, поступление которого обуславливается геологическими особенностями исследуемого локального участка Осинского района (окрестности посёлка Приморский). Среди анионной группы, для поверхностных вод водохранилища и подземных гидрогеологических горизонтов основным растворённым ионом являются ионы карбонатной группы, при этом, их относительные концентрации в результирующей части диаграммы имеют близкое расположение относительно друг друга, что в свою очередь говорит о том, что между поверхностными и подземными водами присутствует гидравлическая связь, в результате которой происходит миграция веществ.

В катионном составе снеговых вод также преобладают ионы кальция, однако существенно отличается анионный состав, в котором первенство среди ионов занимают хлориды и в большей степени сульфаты, что отчётливо видно в результирующей части диаграммы. Предположительно, анионный состав снеговых вод формируется в условиях использования печного отопления как основного в посёлке Приморский, а также размещения промышленной площадки по производству древесного угля.

Согласно приведённой диаграмме, основными растворёнными в поверхностных водах ионами являются кальций, магний и карбонатная группа. В связи с тем, что состав и минерализация в трёх опробованных точках поверхностных и подземных вод имеют сравнительно идентичные результаты, можно сделать выводы о том, поверхностные воды являются источником поступления вещества в подземные воды в локально взятом ключевом участке.

УДК 504.03 (65.011.14)

### ESG отчётность компаний Иркутской области

А. В. Ахтиманкина (anastasiya.ahitimankina@mail.ru), Е. В. Потапова (e.v.potapova.isu@mail.ru)  
*Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия*

**Аннотация.** Рассмотрен вопрос связи между глобальными целями устойчивого развития ООН и ESG, роль нефинансовой отчетности в ESG-инвестировании, формы нефинансовой отчетности, их структура, а также ESG рейтинги и рейтинговые агентства. Проанализирована база данных Национального регистра корпоративных и нефинансовых отчетов, который ведет Российский союз промышленников и предпринимателей, подготовлен графический материал по количеству компаний различных отраслей, представленных в базе. Приведены примеры компаний-лидеров ESG-трансформации в масштабах страны. Для крупнейших компаний (по объему выручки) Иркутской области был проведен содержательный анализ отчетов по устойчивому развитию и их рейтинги ESG. К таким компаниям относятся: ПАО «РУСАЛ Братск», ООО «Транснефть-Восток», ООО «Евросиб-энерго-гидрогенерация». Выделены достоинства и недостатки раскрытия информации в области устойчивого развития представленными компаниями.

**Ключевые слова:** устойчивое развитие, ESG, нефинансовая отчетность, компании Иркутской области.

В 1987 г. Генеральная Ассамблея ООН зафиксировала определение термина «устойчивое развитие», под которым принято понимать «развитие, которое удовлетворяет потребности настоящего поколения, не ставя под угрозу способность будущих поколений удовлетворять свои потребности». Практическая реализация концепции Устойчивого развития на глобальном уровне берет свое начало на Конференции ООН по окружающей среде и развитию, которая проходила в Рио-де-Жанейро (Бразилия) в 1992 г. В ходе Конференции были определены базовые принципы международного взаимодействия («Декларация Рио по окружающей среде и развитию») и намечена масштабная программа на долгосрочную перспективу («Повестка дня XXI века»). Обзор и совершенствование деятельности в этой сфере осуществлялись в рамках 19-й Специальной сессии Генеральной Ассамблеи ООН «Рио+5», Всемирного саммита по устойчивому развитию «Рио+10», Конференции ООН по устойчивому развитию «Рио+20». На Саммите ООН по Повестке дня в области устойчивого развития на период до 2030 г. выработан набор из 17 целей и 169 задач, определяющих стратегические ориентиры и конкретные параметры межгосударственного сотрудничества в экономической, социальной и природоохранной сферах (рис. 1) [1].

В Российской Федерации концепция устойчивого развития нашла отражение в Концепции перехода к устойчивому развитию и Экологической доктрине Российской Федерации.

17 целей устойчивого развития включают в себя решение проблем в трех ключевых направлениях: социальном, экономическом и экологическом.

Важную роль в их достижении играют национальные программы и международные усилия и средства. Национальные способы достижения поставленных целей могут быть реализованы различными способами: принятием федеральных и местных законов, изменяющих или гарантирующих новые формы социального обеспечения, требующих снижения выбросов

парниковых газов и т. п. Такие национальные меры воздействия являются определяющими для деятельности экономических акторов как национальных, так и иностранных, и требуют изменения условий и целей деятельности участников экономической деятельности, что находит свое отражение в появлении корпоративных стратегий ESG [7].



Рис. 1. Цели устойчивого развития ООН [2]

### Концепция ESG

ESG – это аббревиатура от Environmental, Social, Governance, что в переводе на русский язык означает «экология, социальная ответственность, корпоративное управление». Концепция ESG стала значимой в XXI в. и институционализирована в 2004 г. экс-генеральным секретарем ООН Кофи Аннаном, как стратегия нового развития мировых компаний. Приверженность принципам ESG при принятии инвестиционных решений с целью сближения повестки компании с ожиданиями общества, поддерживают тысячи компаний, но все еще разрабатывается и переосмысливается.

В настоящее время ESG используется в основном в контексте двух направлений:

1. Инвестирование: ESG-факторы используются для определения степени соответствия компании критериям устойчивого развития и принимаются во внимание при принятии решения об инвестировании.

2. Нефинансовая отчетность: компании самостоятельно определяют свои ESG-показатели и ведут отчетность о своей социальной, экологической и управленческой деятельности.

Экологические, социальные и управленческие характеристики компании становятся факторами при принятии инвестиционных решений (наряду с финансовыми параметрами). Инвестирование с учетом ESG-факторов называют ответственным, или устойчивым, инвестированием, а инвесторов, которые учитывают ESG-факторы, – ESG-инвесторами. Таким образом, с помощью ESG-факторов инвесторы оценивают компании по характеристикам в области охраны окружающей среды, социальной сферы и корпоративного управления, чтобы принять решение о предоставлении такой компании финансирования.

ESG-инвестирование непосредственно связано с нефинансовой отчетностью, поскольку принятие инвестиционных решений основывается на данных, основным источником которых является публичная нефинансовая отчетность. Альтернативой может стать предоставление внутренней информации инвесторам напрямую, но прозрачность информации, которая достигается при публичном раскрытии, повышает ее ценность и достоверность. Кроме

того, публичная ESG-отчетность доступна более широкому кругу заинтересованных сторон – клиентам, регуляторам и другим участникам финансового рынка.

Нефинансовые отчеты – одна из форм представления (или раскрытия) информации об устойчивом развитии компании наряду с информацией на корпоративном сайте, в пресс-релизах и публикациях в СМИ, социальных сетях, презентациях. Все эти форматы, из которых отчет – наиболее полный, глубокий и регулярный, имеют своей целью информирование заинтересованных сторон о значимых для них аспектах деятельности в области устойчивого развития и ESG-трансформации.

Нефинансовые отчеты могут иметь следующие формы:

- нефинансовый отчет как часть годового отчета;
- нефинансовый отчет в составе интегрированного отчета;
- нефинансовый отчет в виде самостоятельной публикации;
- отдельные аспекты нефинансовой информации в отдельных тематических отчетах/брошюрах.

Объем отчета может составлять от 10 до 150 страниц в зависимости от формата, в среднем отчет об устойчивом развитии занимает от 60–80 страниц и публикуется на корпоративном сайте.

Структура нефинансового отчета уникальна для каждой организации, однако, как правило, содержит следующие тематические разделы: охрана окружающей среды; борьба с изменением климата; управление персоналом; охрана труда и промышленная безопасность; взаимодействие с клиентами; взаимодействие с местными сообществами и благотворительность; корпоративное управление; деловая этика и противодействие коррупции; информационная безопасность; цепочка поставок.

Сегодня в глобальной ESG-повестке отсутствуют единые регламентирующие стандарты нефинансовой отчетности, что создает определенные сложности при необходимости сравнения различных компаний между собой, так как объем раскрываемой информации и набор метрик бизнес определяет самостоятельно.

Тем не менее интерес инвесторов к информации об уровне развития системы управления устойчивым развитием в компаниях только возрастает, а потому увеличивается и потребность в единых, унифицированных и сравнимых между собой метриках для компаний в рамках одной отрасли. На текущий момент данную проблему отчасти решают ESG-рейтинговые агентства.

Существующие ESG-рейтинги различаются не только методологиями, но и по другим критериям, таким как региональный охват, правила участия и способность компании влиять на свою оценку, а также интересы и доверие инвесторов.

В настоящее время на рынке представлены различные провайдеры рейтингов ESG, такие как S&P Global, Sustainalytics, MSCI, FTSE Russell, CDP. Они отличаются источниками данных, на основе которых формируется рейтинг, а также критериями включения в рейтинг.

В настоящее время Российский союз промышленников и предпринимателей ведет Национальный регистр корпоративных и нефинансовых отчетов, который представляет собой банк данных добровольных нефинансовых отчетов организаций, действующих на территории РФ. Национальный регистр включает реестр компаний, выпускающих нефинансовые отчеты в области устойчивого развития, социальные отчеты, экологические отчеты, отраслевые отчеты, а также библиотеку нефинансовых отчетов, которая содержит электронные версии официально опубликованных нефинансовых отчетов компаний, работающих в России, а также некоторых крупных транснациональных компаний.

По состоянию на 2023 г. в регистр включена информация о 240 компаниях, 1398 отчетах, 534 отчетах по устойчивому развитию, 388 социальных отчетов, 110 экологических отчетов, 366 интегрированных отчетов. При этом наибольшее число компаний, зарегистрированных в регистре, относятся к энергетической отрасли (56 компаний), отрасли финансов и страхования (27 компаний), металлургической и горнодобывающей (25 компаний), нефтегазовой

(23 компании) (рис. 2). По видам отчетов лидируют экологические отчеты (101 отчет), на социальные отчеты приходится 374 отчета, на отчеты в области устойчивого развития – 415, интегрированные отчеты – 273 [6].

### Компании-лидеры ESG-трансформации в РФ и Иркутской области

В каждой из отраслей, несомненно, можно выделить лидеров по ESG-трансформации, имеющих высокие рейтинговые значения российских и иностранных агентств.

В энергетической отрасли заслуживает внимание нефтяная компания «ЛУКОЙЛ», которая публикует отчеты об устойчивом развитии с 2001 г. В 2021 г. в Программу развития компания включила климатическую стратегию. Политика в области устойчивого развития группы «ЛУКОЙЛ» включает 8 целей: от эффективной системы корпоративного управления декарбонизации до адаптации к изменению климата. Стратегические цели Политики в области устойчивого развития группы «ЛУКОЙЛ» направлены на решение ЦУР № 4, 5, 6, 7, 8, 12, 13, 14, 15, 17 (рис. 1).



Рис. 2. Количество компаний различных отраслей в Национальном регистре корпоративных и нефинансовых отчетов

В металлургической отрасли выделяется международная сталелитейная компания «НЛМК». Стратегия устойчивого развития группы «НЛМК» отражена в общей Стратегии-2022 компании. Компания работает в направлении решения ЦУР № 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 12, 13, 15, 16, 17 (рис. 1). Также Программа по снижению углеродного следа до 2023 г. устанавливает количественные показатели по снижению выбросов парниковых газов.

ПАО «Сегежа Групп» – лесопромышленный холдинг, который согласно «Политике в области устойчивого развития» видит свою миссию в «выстраивании конкурентноспособного и устойчивого бизнеса, отвечающего принципам социальной и экологической ответственности и обеспечивающего создание ценности для акционеров и широкого круга заинтересованных сторон в долгосрочной перспективе». В качестве приоритетных ЦУР компания выделяет цель № 3, 5, 9, 11, 15 (рис. 1).

Также наиболее полно раскрывают информацию в сфере устойчивого развития компании: группа компаний «КАМАЗ» в автомобилестроении, холдинг «РЖД», ПАО «Сбербанк» в банковском секторе.

Иркутская область, являясь одним из крупнейших регионов РФ, играет важную роль в экономике на национальном уровне. Промышленная деятельность в области ориентирована на производство металлургической, машиностроительной, нефтеперерабатывающей, деревообрабатывающей продукции, добычи и переработке угля.

По данным интерфакс по состоянию на 2023 г. на территории Иркутской области зарегистрировано более 110 тысяч компаний. По объему выручки в десятку крупнейших входят: ПАО «РУСАЛ Братск»; ООО «Транснефть-Восток»; ООО «Евросибэнерго-гидрогенерация»; АО «ИНК-Запад»; ООО «Иркутскэнергосбыт»; ООО «Байкальская энергетическая компания»; ООО «Маяк»; ООО «Тот»; АО ПК «Дитэко»; ООО «Вектор» (рис. 3).

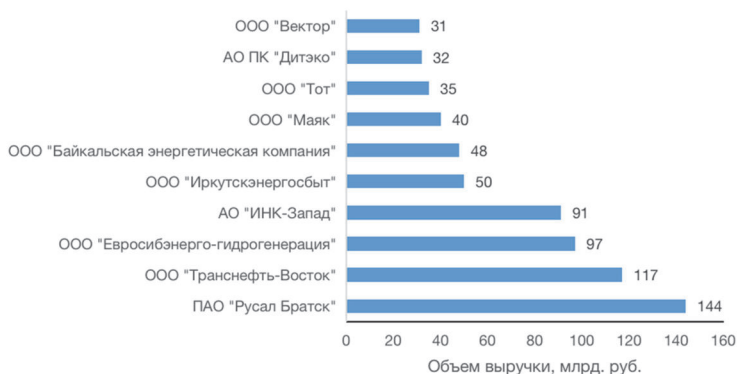


Рис. 3. Объем выручки 10 крупнейших компаний Иркутской области

Компания «РУСАЛ Братск» входит в группу компаний «РУСАЛ», являющуюся ведущей компанией мировой алюминиевой отрасли, крупнейшим производителем алюминия. В библиотеке Национального регистра корпоративных и нефинансовых отчетов в настоящее время последний отчет об устойчивом развитии компании дотирован 2021 г., основные разделы которого включают в себя: стратегию устойчивого развития, экологические аспекты, социальные аспекты, корпоративное управление и устойчивое развитие. Дополнительно в отчет включены: в начале – краткие сведения, обращения Председателя Совета директоров и генерального директора, в конце – количественные данные, а также таблицы показателей GRI и SASB.

В качестве приоритетных целей устойчивого развития, по которым компания выполняет существенные шаги к достижению, выделяют следующие: ЦУР № 3, ЦУР № 8, ЦУР № 11, ЦУР № 12, ЦУР № 13, ЦУР № 15, ЦУР № 17 (рис. 1).

Существенные темы в области охраны окружающей среды включают:

- 1) Управление водными ресурсами;
- 2) Рациональное обращение с отходами и безопасная эксплуатация шламохранилищ;
- 3) Качество воздуха;
- 4) Использование земельных ресурсов и воздействие на биоразнообразие.

При этом для каждого ключевого направления природоохранной деятельности установлены стратегические цели в области защиты окружающей среды.

Особое внимание уделяется вопросам изменения климата. В качестве основы для оценки рисков, связанных с климатом в краткосрочной, среднесрочной и долгосрочной перспективе, используется методология TCFD. А оценка в рейтинге CDP составляла на 2021 г. «А-». Кроме того, компания ставит своей целью сокращение выбросов парниковых газов на 35 % к 2030 г., а также достижение нулевого баланса выбросов к 2050 г. [3].

В качестве приоритетных тем социального направления компания выделяет следующие:

- 1) Взаимодействие с персоналом;
- 2) Деловая этика и права человека;
- 3) Социокультурное многообразие и равные возможности;
- 4) Здоровье и безопасность;
- 5) Взаимодействие с местными сообществами;
- 6) Социокультурное многообразие и равные возможности.

В корпоративном управлении компания делает упор на:

- 1) вклад в экономическую устойчивость и развитие;
- 2) соблюдение законодательства и противодействие коррупции;
- 3) деловая этика и права человека;
- 4) устойчивая цепочка поставок и расширение доступа местных поставщиков.

При этом отчет отражает основные аспекты, реализуемые в целом в компании, которая насчитывает 44 предприятия. Однако по ряду пунктов выделены реализуемые мероприятия на предприятии «РУСАЛ Братск», в числе которых:

- 1) сертификация по стандартам ASI;
- 2) реализация программы повышения экологической эффективности, целью которой является снижение влияния на окружающую среду в том числе за счет внедрения наилучших доступных технологий – технология обожженного анода;

- 3) мероприятия компании учтены в комплексных городских планах по снижению выбросов загрязняющих веществ в г. Братск, которые направлены на кардинальное снижение выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух и обеспечение благоприятных условий проживания жителей;

- 4) модернизация технологий и газоочистных установок;

- 5) реализация программ повышения экологической эффективности, мероприятий федерального проекта «Чистый воздух»;

- 6) запуск специализированных центров с целью подготовки учащихся к поступлению в ключевые партнерские вузы в рамках целевого набора компании;

Программа переселения в новое жилье и рекультивация земель на территории сноса старых поселений [3].

ООО «Транснефть-Восток» входит в группу Транснефть и осуществляет эксплуатацию линейной части нефтепроводов «Восточная Сибирь – Тихий океан» (ВСТО -1), общей протяженностью более 4,8 тыс. км [4].

В системе государственной нефинансовой отчетности последним документом, освещающих усилия компании в области устойчивого развития является Отчет об устойчивом развитии, датированный 2020 годом. Отчет отражает триединство «Управление экономическим воздействием», «Управление социальным воздействием», «Управление социальным воздействием». Важным разделом является «Достижения отчетного периода» и «Стратегия и приоритеты в области устойчивого развития». В приложении также содержатся показатели GRI, локальная нормативная база в области устойчивого развития и учет рекомендаций Совета Российского союза промышленников и предпринимателей, что является немаловажным.

Группа Транснефть обозначает свой вклад в устойчивое развитие по следующим ЦУР ООН: ЦУР № 1, ЦУР № 3, ЦУР № 4, ЦУР № 6, ЦУР № 14, ЦУР № 7, ЦУР № 8, ЦУР № 9, ЦУР № 11, ЦУР № 12, ЦУР № 15, ЦУР № 17 (рис. 1). В рамках ЦУР выделяются конкретные реализуемые задачи.



В своем отчете компания приводит рейтинги в различных агентствах, так рейтинг согласно Sustainalytics составил 53, Bloomberg – 37,6, SAM – 26, ISS – «С-», наблюдается общее улучшение рейтинговых позиций компании.

Положительным аспектом отчета является описание ключевых событий в области устойчивого развития по месяцам.

К отраслевой специфике устойчивого развития компания относит безопасное функционирование системы магистрального трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов, управление качеством нефти и нефтепродуктов, предупреждение и ликвидация стихийных бедствий и чрезвычайных ситуаций при транспортировке нефти и нефтепродуктов.

В разделе «Управление экономическим воздействием» компания представляет информацию по кредитоспособности, которая оценивается как «стабильная» по рейтингам Moody's, S&P Global, Expert, НКР. Отмечено влияние на развитие регионов присутствия, взаимодействие с которыми осуществляется в том числе через заключение соглашений о сотрудничестве в следующих направлениях:

- строительство объектов инфраструктуры;
- реализация социальных проектов и программ компании;
- использование производственных мощностей промышленных предприятий региона.

Раздел «Управление социальным воздействием» содержит задачи компании в области управления персоналом, среди которых:

- обеспечение укомплектованности организаций системы «Транснефть» квалифицированными кадрами;
- повышение эластичности систем материального и нематериального стимулирования с учетом региональных факторов;
- совершенствование и повышение качества подготовки, переподготовки и повышения квалификации кадров [4].

ООО «Евросибэнерго-гидрогенерация» входят в состав En+ Group – мирового производителя электроэнергии и объединяет 3 ГЭС на территории Иркутской области: Иркутская ГЭС, Братская ГЭС, Усть-Илимская ГЭС.

Отчет об устойчивом развитии 2021 г. содержит информацию о 2 сегментах группы: металлургическом и энергетическом. В статье основное внимание уделено анализу отчета в части энергетического сегмента. В отчете подтверждается, что основные активы Группы расположены в Сибири (Иркутская ГЭС, Ново-Иркутская ТЭЦ, ТЭЦ-10, ТЭЦ-9, ТЭЦ-11, Ново-Зиминская ТЭЦ, ТЭЦ-6, Братская ГЭС, Усть-Илимская ТЭЦ, Усть-Илимская ГЭС, Иркутский алюминиевый завод, Братский алюминиевый завод) [5].

Основные разделы отчета включают: прогресс за отчетный год, экологический, социальный и управленческий аспекты, приложения, содержащие показатели GRI и SASB.

ЦУР-ориентированными целями, согласно отчету, являются:

№ 13, в рамках которой планируется сократить выбросы парниковых газов на 35 % к 2030 г. и достичь нулевого баланса выбросов парниковых газов к 2050 г.;

№ 6, подразумевающая к 2030 г. исключить сброс неочищенных сточных вод, производимых энергетическим сегментом, а также минимизировать непроизводственные потери воды за счет оптимизации технологических систем;

№ 7: нарастить использование энергии из альтернативных источников к 2030 г.; снизить среднюю углеродоемкость вырабатываемой и потребляемой электроэнергии; повысить эффективность гидроэлектростанций, увеличить выработку чистой электроэнергии на 2,5 млрд. кВт/ч с использованием того же объема воды и предотвращение выбросов более 2,5 млн.т CO<sub>2</sub>/год с 2025 г.

К другим поддерживаемым ЦУР относятся: № 3, 7, 9, 12, 15, 17, 11, 14, 1, 13.

В рамках экологических аспектов приведены достижения за отчетный период:

1) на 12 % выросла выработка электроэнергии на гидроэлектростанциях энергетического сегмента группы;

2) 2,44 млн т выбросов CO<sub>2</sub> удалось избежать за счет частичной замены объемов выработки на ТЭС;

3) публикация климатического отчета «План по достижению нулевого баланса выбросов парниковых газов», содержащий подробный план достижения целей.

В установлении краткосрочных, среднесрочных, долгосрочных целей, связанных с климатом, руководствуются рекомендациям TCFD.

В отчете приводятся количественные и качественные показатели по различным аспектам негативного воздействия на окружающую среду: загрязнению атмосферного воздуха, использованию водных ресурсов, управлению отходами.

Среди экологических проектов энергетического сегмента наиболее значимыми являются:

1) регулирование уровня воды в оз. Байкал: в 2021 г. совместно с Институтом водных проблем РАН был проведен расчет естественного (восстановленного) уровня воды в оз. Байкал за период с 1903–1904 гг. по 2019–2020 гг. Одним из важных результатов исследования стала разработка «экологического» варианта диспетчерского графика Иркутского водохранилища и оз. Байкал, подразумевающего антропогенное регулирование повторяющее естественный ход уровня воды;

2) экологический мониторинг: с 2019 г. En+Group поддерживает проведение независимой научной экспедиции по экологическому мониторингу оз. Байкал;

3) поддержание ежегодного долгосрочного мониторинга существующей популяции байкальской нерпы;

4) анализ текущего состояния биоразнообразия в зоне влияния Иркутской ГЭС;

5) искусственное воспроизводство водных биологических ресурсов, эндемичных для рек Восточной Сибири;

6) с 2021 г. En+ Group реализует проект по оценке, мониторингу и минимизации негативного воздействия режимов работы Иркутской ГЭС на гнездовья околородных птиц.

Существенными темами социального аспекта являются: охрана труда и промышленная безопасность, местные сообщества, социокультурное многообразие и равные возможности, управление персоналом и вовлечение сотрудников, права человека, социокультурное многообразие и равные возможности.

Среди целей выделяют:

1) добиться нулевого уровня несчастных случаев со смертельным исходом;

2) усовершенствовать систему управления охраной труда и промышленной безопасностью с учетом передовых международных практик;

3) привлечение и удержание лучших специалистов;

4) обеспечение благоприятных условий труда и рабочей среды;

5) сотрудничество с университетами и колледжами во всех регионах присутствия (сотрудники получают высшее образование в ИрННТУ);

6) установка цифровых тренажеров для оперативного персонала ГЭС;

7) поддержка местных сообществ;

8) благотворительные, социальные, инфраструктурные проекты в регионах присутствия.

Приводятся количественные данные по производственному травматизму, профессиональным заболеваниям, общей численности сотрудников, гендерному разнообразию, соотношению базовой заработной платы мужчин и женщин, возрастным группам персонала.

Среди социальных программ выделяют:

– помощь неработающим пенсионерам;

– льготное ипотечное кредитование;

– жилищная программа;

– корпоративный университет энергетического сегмента.

При этом на территории Иркутской области реализованы: строительство детской площадки в Иркутске; строительство детских игровых площадок в Ангарске, Усть-Илимске, Тулуне, Свирске; ледовый городок в Иркутске; реконструкция Братского театра; волонтерский проект «360»; грантовый конкурс экологических проектов; строительство нового участка Большой байкальской тропы; сеть велопарков в Иркутске.

Существенными темами управленческого аспекта являются: деловая этика, соблюдение законодательства и противодействие коррупции, корпоративное управление, выявление рисков.

В компании разработаны Положение о Совете директоров, Кодекс корпоративной этики, Политика многообразия состава Совета директоров.

### **Выводы**

В настоящее время все больше и больше компаний во всем мире признают необходимость проведения ESG-трансформации, чтобы стать более устойчивыми в долгосрочной перспективе. Основываясь на представленной информации, можно сделать вывод о том, что эта трансформация также важна и должна быть реализована в российских компаниях. В настоящее время нефинансовая отчетность в основном свойственна крупным предприятиям. Однако небольшие компании также могут извлечь пользу из публикации информации о своих социальных программах и параметрах воздействия на окружающую среду. Это поможет им демонстрировать свою прозрачность и ответственность перед различными заинтересованными сторонами.

Претворение в жизнь принципов ESG-трансформации в российских компаниях имеет не только экономическое значение, но и социальное и экологическое. Благодаря активной интеграции социальных, этических и экологических аспектов в свою деятельность, компании могут улучшить свою репутацию, повысить свою привлекательность для инвесторов и клиентов, а также снизить свои риски.

### **Список литературы**

15. *Борисов А. Н., Кондрахина Е. В.* ООН и партнерство в интересах устойчивого развития. ESG-трансформация как вектор устойчивого развития. М.: Аспект Пресс. Т. 3. С. 13–164.
16. ООН. Цели в области устойчивого развития. URL: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/> (дата обращения: 05.05.2023).
17. Отчет об устойчивом развитии РУСАЛ. 2021. URL: <https://rspp.ru/download/83eefc06116d7a9054473cfaed389316/> (дата обращения: 10.05.2023).
18. Отчет об устойчивом развитии Транснефть. 2020. URL: <https://rspp.ru/download/e52930b17af91b2c46418abb92b5e31c/> (дата обращения: 10.05.2023).
19. Отчет об устойчивом развитии En+Group. 2021. URL: <https://rspp.ru/download/ab79c66bc0311f812baff8fd760ab9c8/> (дата обращения: 10.05.2023).
20. Российский союз промышленников и предпринимателей. Национальный регистр корпоративных и нефинансовых отчетов. URL: [https://rspp.ru/sustainable\\_development/register/](https://rspp.ru/sustainable_development/register/) (дата обращения: 07.05.2023).
21. *Трубина К. Е., Ромов П. Б.* Корпоративные стратегии устойчивого развития. ESG-трансформация как вектор устойчивого развития. М.: Аспект Пресс. Т. 3. С. 247–471.

УДК 504.5(571.53)

## Использование снежного покрова в качестве универсального показателя загрязнения некоторых районов г. Иркутска

Е. О. Зубкова (queekgirl@mail.ru), А. Д. Стом (apatania@yandex.ru)

*Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия*

**Аннотация.** Цель исследования – изучение загрязнения снега нескольких участков г. Иркутска с помощью методов биотестирования и гидрохимического анализа. Выбраны два района Иркутска: Академгородок и Иркутск II, так как предположительно воздух во Иркутске II более загрязнён из-за близости Иркутского авиационного завода. Для проведения фитотестирования выбраны семена кресс-салата (*Lepidium sativum L.*). Для проведения биотестирования выбраны ветвистоусые рачки (*Daphnia Magna*). Результаты обоих экспериментов показали, что наиболее токсичной является проба из Академгородка без разбавления. Гидрохимический анализ проб показал следующие результаты: в двух случаях вода является сульфатно-гидрокарбонатной, натриево-кальциевой. Минерализация воды пробы из Академгородка равна 0,045 г/дм<sup>3</sup>, из Иркутска II – 0,049 г/дм<sup>3</sup>. С помощью комплексного анализа данных проб можно утверждать, что проба из Академгородка оказывает острое токсическое действие. Таким образом, гипотеза о большем загрязнении атмосферного воздуха в районе Иркутска II в связи с близким расположением ИАЗ не подтвердилась, но исходя из результатов, можно предположить, что пробы талой воды содержат больше минеральных веществ, что требует дополнительных исследований.

**Ключевые слова:** снежный покров, город, загрязнение, выбросы, отбор снежных проб, биотестирование, фитотестирование, гидрохимический анализ, *Lepidium sativum L.*, *Daphnia magna Str.*

### Введение

Большую часть времени человек проводит в том районе города где он живёт и учится. Мы живём во Иркутске II, учимся в Академгородке.

Основными источниками загрязнения г. Иркутска по данным Государственного доклада от 2019г.: предприятия теплоэнергетики: Ново-Иркутская ТЭЦ ПАО «Иркутскэнерго» (производство, передача и распределение тепловой энергии), Иркутское авиационное производственное объединение Иркутский авиационный завод (ИАЗ) – филиал ПАО «Корпорация «Иркут» (производство транспортных средств), предприятия строительной, деревообрабатывающей отраслей, мелкие котельные и дома с печным отоплением, а также автомобильный и железнодорожный транспорт [3].

Во Иркутске II расположен Иркутский авиационный завод – филиал ПАО «Корпорация «Иркут» – ведущее машиностроительное предприятие Прибайкалья. В апреле 2022 г. сообщили, что на предприятии действует система мер, направленная на снижение вредного воздействия на окружающую среду: реконструируются вредные производства, устанавливается современное оборудование, внедряются экологически чистые технологии, ведется постоянное обучение сотрудников. Степень очистки вредных выбросов котельных ИАЗ существенно выше нормативной за счет установки электрофильтров, систем дожигания топлива и очистки отходящих газов [5].

Предположительно, район Академгородок более чистый в экологическом плане, известно, что территория Академгородка по уровню загрязнения относится к слабой зоне, категория загрязнения – допустимая и по оценки экологической обстановки – относительно удовлетворительная [2]. Но в данной части города проходит крупная автотрасса, которая может иметь значительное влияние на экологическую обстановку. Мы решили сравнить анализ снежной пробы из Академгородка, с анализом пробы снега из Иркутска II, чтобы понять, являются ли пробы токсичными и какие факторы влияют на состав воды в большей степени.

Мониторинг снежного покрова считается удобным методом, дающим возможность оценить уровень техногенной нагрузки на окружающую среду городов и здоровья, проживающего в нем населения – поэтому метод был выбран для определения загрязнения атмосферного воздуха интересующих нас районов.

### Взятие снежных проб

Отбор проб – операция, от правильного выполнения которой во многом зависит точность получаемых результатов.

Апробирование производится на участке 5×5 м, пробы отбираются с помощью снегомера из химически стойкого полимерного материала, при этом с поверхности удаляется мусор (листья, ветки и др.), исключается попадание в образец частиц почвы [6]. Из отобранных проб составляется сборная проба, весом не менее 2 кг, которая помещается в емкость из химически стойкого полимерного материала (например, в полиэтиленовый стакан) и маркируется.

При изучении распространения промышленных выбросов точки отбора проб размещаются на участках с минимальным влиянием автомагистралей (на расстоянии не менее 20–25 м от края проезжей части магистрали), при изучении влияния автотранспорта – на примыкающих территориях [8].

Снегомер ВС-43 – устройство для отбора проб снега, по которому определяют физические характеристики снежного покрова (плотность). Снегомер состоит из металлического цилиндра, весов и лопатки (рис. 1).



Рис. 1. Весовой снегомер ВС-43

Пробу снега вырезают вручную с помощью металлического цилиндра высотой 600 мм. На одном его конце имеется зубчатое кольцо, на другом – крышка (рис. 1).

В Академгородке точка взятия пробы снега была выбрана в соответствии с требованиями – более 25 м от проезжей части, на нетронутом снежном покрове. Координаты точки взятия: 52°14'51" с. ш. 104°16'4" в. д.

Точка взятия пробы расположена вблизи Института солнечно-земной физики СО РАН, в парковой части Академгородка.

Были взяты 5 кернов снега, упакованы в полиэтиленовый мешок и доставлены в квартиру за 20 мин. В помещении уже были подготовлены эмалированная посуда для таяния снега, воронка для перелива в бутылки и сами стеклянные бутылки из-под минеральной воды.

Во Иркутске II точка взятия пробы была выбрана по тем же критериям (в парковой части, вдали от проезжей части), но в добавок учитывалось направление ветра и расположение трубы Иркутского авиационного завода. Для того чтобы определить направление ветра, была изучена роза ветров г. Иркутска (рис. 2).

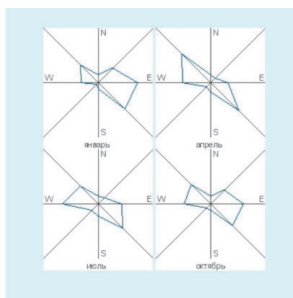


Рис. 2. Роза ветров г. Иркутска за 4 месяца [12]

По данной розе ветров видно, что во весь месяц преобладают два направления ветра: северо-западный и юго-восточный. Таким образом, в соответствие с вышеперечисленными критериями, точка взятия пробы снега была выбрана в парке возле стадиона «Зенит», возле памятника Владимиру Ильичу Ленину. В парковой части, вдали от проезжей части, в направлении на северо-запад от трубы Авиационного завода.

Координаты точки взятия пробы во Иркутске II: 52°219" с. ш. 104°13'32" в. д.

### Фитотестирование

Для проведения фитотестирования мы выбрали семена кресс-салата (*Lepidium sativum* L.). Выбор данного растения обусловлен быстрым прорастанием семян и высокой всхожестью, которая заметно уменьшается в присутствии загрязнителей [1]. Эксперимент проводили в лабораторных условиях. В чашках Петри на фильтровальную бумагу раскладывали 30 семян кресс-салата. Затем из анализируемых проб готовили разбавления 1:1 и 1:2. Для разбавления и в качестве контроля использовали отстоянную трубопроводную воду. Опыт проводили в трех повторениях. В каждую чашку Петри с семенами кресс-салата вносили по 5 мл исходной пробы и пробы с разведением водой 1:2 (рис.3).

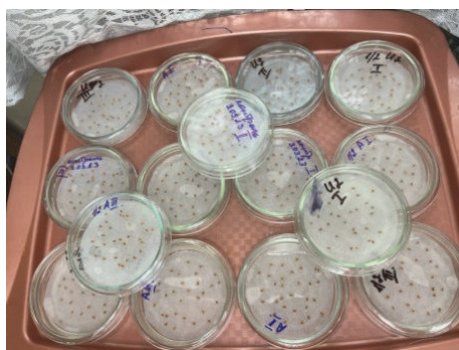


Рис. 3. Семена кресс-салата (*L. sativum* L.) при фитотестировании анализируемых образцов в чашках Петри

На 3-е сутки после начала эксперимента производили оценку энергии прорастания семян путем подсчета количества появившихся всходов. После расчета определяли процент всхожести. Всхожесть – это отношение кол-ва взошедших семян к общему количеству семян и умноженное на 100 %. Значения всхожести занесены в табл. 1 и представлены на рис. 4.

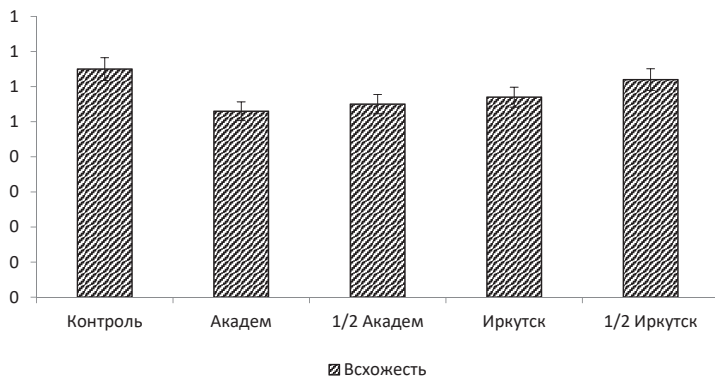


Рис. 4. Всхожесть кресс-салата (*L. sativum L.*) на третьи сутки фитотестирования анализируемых образцов

На 7-е сут замеряли длину каждого проростка и корня, результаты заносили в таблицу Excel, чтобы далее рассчитать среднее значение корня и стебля для каждой группы. Все значения представлены в табл. 1 и далее на рис. 5 и 6 показана зависимость среднего значения длины корня и стебля соответственно от месторасположения той воды, которой поливали данные семена.

Таблица 1

Название пробы	Всхожесть, %	Средняя длина корня, см	Средняя длина стебля, см
Контроль	65	7,59	2,4
Академгородок	53	7,12	2,94
½ Академгородок	55	8,65	2,4
Иркутск II	57	5,6	2,06
½ Иркутск II	62	4,34	2,86

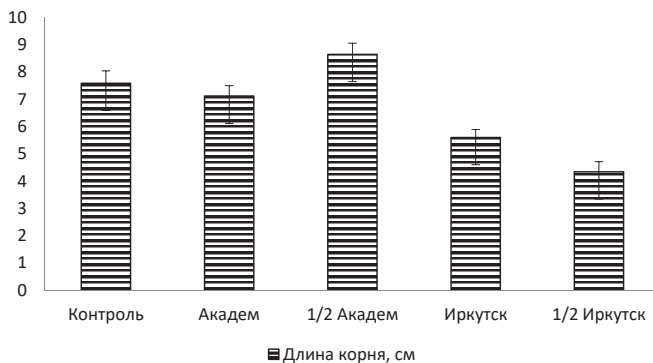


Рис. 5. Среднее значение длины корня кресс-салата (*L. sativum L.*) на 7-е сут фитотестирования анализируемых образцов, см

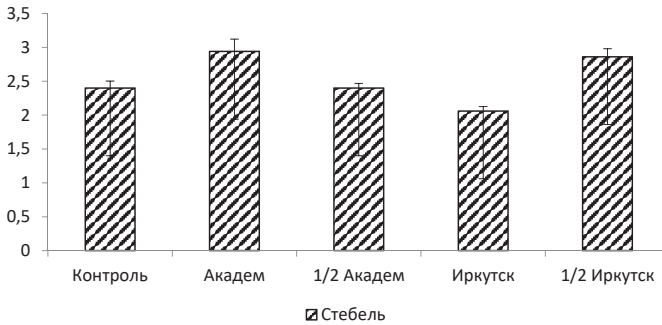


Рис. 6. Среднее значение измерений длины стебля кресс-салата (*L. sativum L.*) на 7-е сут фитотестирования анализируемых образцов, см.

### Биотестирование на дафниях

В странах ЕЭС принят стандарт на *биотестирование* сточных вод и определение токсичности отдельных веществ именно с помощью – *D. magna* [4]. Биотестирование с *D. magna* гораздо сложнее, чем с семенами кресс-салата. Ведь для их культивирования необходимы строго определённые условия. Данные ветвистоусые рачки обладают высокой чувствительностью к токсикантам различной природы и даже воду для их разведения необходимо подбирать очень аккуратно.

Эксперимент проводили в двух повторах, по 5 особей *D. magna* каждой пробе. Пробы воды очищались от крупнодисперсных включений через фильтровальную бумагу, так как крупные взвешенные частицы нарушают механизм питания у дафний при помощи фильтрации, отмеряли по 50 мл и разливали в 10 химических стаканчиков объемом по 100 мл. В итоге получилось 10 стаканчиков по 50 мл: 2 – контроль, 4 – талая вода без разведений и 4 – талая вода с разведением 1:2. В каждый стаканчик помещалось по 5 дафний, во время экспозиции опыт находился в климатате (рис. 7).



Рис. 7. Стаканчики с *D. magna* в климатате (автоматически поддерживает необходимые параметры для биотестов – освещение и температуру)



В табл. 2 представлены результаты биотестирования анализируемых проб в течение 96 ч.

Таблица 2  
Результаты биотестирования анализируемых проб в течение 96 ч

Количество часов	24	48	72	96	Смертность, %
Контроль I	5	5	4	4	10
Контроль II	5	5	5	5	
Академ I	5	3	0	0	60
Академ II	5	4	4	4	
1/2 Академ I	5	5	5	5	10
1/2 Академ II	5	4	4	4	
Иркутск I	5	4	2	2	40
Иркутск II	4	4	4	4	
1/2 Иркутск I	5	5	5	4	20
1/2 Иркутск II	5	5	5	4	

По результатам видно, что наиболее токсичной является проба из Академгородка без разбавления. Гибель 50 % дафний это показатель острого токсического действия [7] – проба из Академгородка соответствует этому показателю (60 %). Анализ пробы снега, отобранного из Иркутска II, тоже близок к данному показателю, но данную пробу отнести к остро токсичным уже нельзя.

### Гидрохимический анализ проб

С помощью титрования можно определить жёсткость воды, содержание карбонатов, содержание кальция, натрия, калия и хлоридов. Титрование мы производили в лаборатории, с помощью химических реактивов и специального приспособления. Суть титрования заключается в следующем – на реакцию с содержащимися в воде веществами уходит объём реактивного вещества, пропорциональный объёму определяемого элемента. Далее, по формулам, вычислялось содержание каждого элемента в мг-экв/дм<sup>3</sup>. Процесс титрования представлен на рис. 8.



Рис. 8. Процесс титрования

Результаты гидрохимического анализа для пробы из Академгородка представлены в табл. 3.

Таблица 3

-	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Сумма	pH
мг/дм <sup>3</sup>	3,6	0,73	8,28	0,50	15,3	14,0	2,10	44,5	7
мг-экв/дм <sup>3</sup>	0,18	0,06	0,36	0,01	0,25	0,30	0,06	0,61	7
% экв	29,5	9,8	59,0	1,7	41,0	49,2	9,8	100	7

Формула Курлова для пробы из Академгородка:

$$\frac{SO_4 49HCO_3 41}{Na 59Ca 30} \quad (1)$$

По результатам гидрохимии талая вода, взятая в академгородке, является сульфатно-гидрокарбонатной, натриево-кальциевой. Минерализация воды равна 0,045 г/дм<sup>3</sup>.

Результаты гидрохимического анализа для пробы из Иркутска II представлены в табл. 4.

Таблица 4

-	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Сумма	pH
мг/дм <sup>3</sup>	5,4	0,85	6,90	0,90	15,3	18,0	1,56	48,9	7,4
мг-экв/дм <sup>3</sup>	0,27	0,07	0,30	0,02	0,25	0,37	0,04	0,61	7,4
% экв	40	10,5	45	4,5	37,7	55,7	6,6	100	7,4

Формула Курлова для пробы из Иркутска II:

$$\frac{SO_4 56HCO_3 38}{Na 45Ca 40} \quad (2)$$

По результатам гидрохимии талая вода, взятая во Иркутске II, является сульфатно-гидрокарбонатной, натриево-кальциевой. Минерализация воды равна 0,049 г/дм<sup>3</sup>.

### Заключение

Выполненное исследование, состоящее из нескольких объёмных частей, будет продолжено, но и сейчас уже можно сделать некоторые выводы на данном этапе:

1. Гидрохимический анализ показал, что минерализация пробы из Академгородка меньше, чем пробы из Иркутска II. По формуле Курлова пробы являются одинаково сульфатно-гидрокарбонатной, натриево-кальциевой, немного с разными значениями содержания этих элементов.

2. Наибольшую всхожесть показали семена из контроля и разбавленной пробы Иркутска II. Таким образом, проба снежного покрова из Иркутска II менее токсична, чем проба из Академгородка.

3. Выращенные на пробе из Академгородка, семена кресс-салата оказались с наиболее длинным корнем, даже в сравнении с контролем (см. рис. 5 и табл. 1 соответственно). Можем предположить, что это связано с тем, что в воде было достаточно минералов и микроэлементов для роста растений и в то же время токсичные вещества содержались в небольшой концентрации из-за разбавления.

4. Наиболее длинный стебель оказался в чашках Петри с чистой пробой из Академгородка и разведённой пробой из Иркутска II. Вероятно, это также связано с минерализацией воды.

5. Биотестирование на дафниях показало, что исследуемая проба из Академгородка оказывает острое токсическое действие. Таким образом, результаты биотестирования на *D. magna* аналогичны данным фитотестирования на семенах кресс-салата (*L. sativum L.*).

С помощью комплексного анализа данных проб можно утверждать, что проба из Академгородка оказывает острое токсическое действие – это можно объяснить высокой интенсив-

ностью движения автотранспорта и миграцией веществ по воздуху при некоторых метеорологических условиях накопления при выпадении снега. Гидрохимический анализ показал, что проба из Иркутска II более минерализована. Таким образом, можно предположить, что во Иркутске II наиболее чистый воздух, но пробы снежного покрова содержат больше минералов.

#### Список литературы

1. Биотест-системы для задач экологического контроля: Методические рекомендации по практическому использованию стандартизованных тест-культур. М., 2014.
2. Воробьева И. Б. Эколого-геохимические аспекты состояния природно-антропогенного комплекса (на примере Иркутского Академгородка) // Байкальский медицинский журнал. 2007. Т. 72, № 5. С. 74–76.
3. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2019 году». Иркутск : Мегатрип, 2020. 314 с.
4. Дафния magna (Daphnia magna Straus). URL: [https://europolytest.ru/information/testobjekts/testobjekts-1\\_12.html](https://europolytest.ru/information/testobjekts/testobjekts-1_12.html) (дата обращения: 05.06.2023).
5. Защита окружающей среды. URL: <https://www.irkut.com/about/environmental-protection/> (дата обращения: 02.06.2023).
6. Китайкина М. Н., Ткачев Б. П. Методика отбора и анализа проб снега в городе Ханты-Мансийске // Северный регион: наука, образование, культура, 2015. Т. 32, № 2. С. 221–224.
7. Крестьянникова Е. В., Яхина Э. Д. Биотестирование как метод оценки качества атмосферного воздуха урбанизированной территории // Тюменский государственный университет. 2016. С. 322–326.
8. Методика выбора точек и проведение отбора проб снежного покрова на территории городского поселения. URL: <https://studfile.net/preview/9395334/page:7/> (дата обращения: 24.01.2023).

УДК 502.578:504.062.2(571.53)

## Особенности озеленения территории корпусов ИГУ

А. А. Копылова (kopylova\_sd@mail.ru), Е. В. Потапова (e.v.potapova.isu@mail.ru)

*Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия*

**Аннотация.** Качество городской среды зависит от наличия, доли и расположения насаждений на объектах озеленения, например таких как образовательные учреждения, относящиеся к категории ограниченного пользования. При выполнении работы использовался широкий спектр методов от аналитического для литературы, законодательных актов и способов оценки, полевого, картографического, до системного анализа при сопоставлении всех изученных и собранных материалов. Оценка территории 14 корпусов ИГУ показала недостаток насаждений на всех участках (кроме одного) и выявила ряд проблем, связанных с наличием места под посадки (фактически отсутствует у трёх корпусов) и состоянием деревьев (изученные относятся к 3-му и 4-му классу). Отмечено, что правильное расположение, наличие видового разнообразия и своевременное планирование работ по содержанию этих территорий, обеспечит выполнение экосистемных услуг в вопросе устойчивого развития г. Иркутска.

**Ключевые слова:** насаждения, озеленённая территория, оценка состояния, экосистемные услуги, ООН.

### Введение

Процессы качественного улучшения предметно-пространственной среды территории вузов, организация благоприятных комфортных условий для получения современного конкурентоспособного образования и полноценного отдыха в настоящее время является серьезной проблемой архитектурно-ландшафтной организации современного образовательного пространства российских университетов [1].

Специфика процессов, присущая учебным корпусам университета, включающая обществено-культурную, коммуникативную, обслуживающую и другие функции, требует рассмотрения ряда вопросов по формированию объёмно-пространственной структуры территории, функционально-ландшафтной организации открытых пространств, а также по созданию оптимальных условий для студентов и преподавателей в экологическом, санитарно-гигиеническом и эстетическом аспектах [4]. Ведущую роль в формировании комфортной и здоровой

ландшафтной среды выполняют насаждения, состояние которых, обуславливающее выполнение требуемых функций, может претерпевать значительные изменения под влиянием неблагоприятных факторов внешней среды.

Принимая во внимание, что население мира преимущественно проживает в городах, битва за устойчивое развитие будет выиграна или проиграна в этих населённых пунктах. Города – это катализаторы повышения производительности, распространения технологий и расширения инфраструктуры, способные влиять на региональное и глобальное развитие. Экологические проблемы городов (особенно крупных) состоят в том, что они концентрируют все виды загрязнения окружающей среды, оказывая прямое и косвенное влияние на огромные территории. Особенно это чувствуется в центральной части крупных городов. Точечная застройка увеличивает плотность населения и зачастую нормы по количеству озеленения на одного жителя там не соблюдаются. В этой уплотненной застройке, где размещены здания и обслуживающие их парковки, нет площадей для создания правильно организованных рекреационных зон. Озеленённые территории учебных заведений высшего образования относятся к категории озеленения ограниченного пользования, являются частью планировочной структуры города, поэтому проблемы озеленения городской среды распространяются и на эти объекты.

Основные задачи озеленённых территорий в контексте жизнеспособности и 17 целей устойчивого развития ООН до 2030 г., это, в том числе, полноценное выполнение экосистемных услуг. К одной из таких услуг как раз относится задача качественного образования при правильном ассортиментном подборе насаждений для территорий образовательных учреждений [5].

Объекты образования несут важную нагрузку по обеспечению учебного процесса, в том числе за счёт насаждений. Для многих детей, особенно маломобильных и из малообеспеченных семей, озеленение территории образовательного учреждения единственная возможность общения, познания регионального природного компонента, как минимум который должен быть представлен среди насаждений на территории учреждения. Как убедить детей охранять и уважать природу, если они её не знают и их окружает заасфальтированный город [10]!?

Высшие учебные заведения представляют современную среду, оптимальную для сложных процессов формирования молодых специалистов: воспитания, учебы, быта, общественной деятельности, творчества, физического развития, культурного совершенствования.

На территории высших учебных заведений имеются такие экосистемные услуги, как формирование наиболее здоровой и качественно комфортной и экологичной студенческой среды, намеченной в стратегическом направлении развития вуза как территории здорового образа жизни; использование художественно-эстетического начала как воспитательный аспект [1].

Университеты традиционно считаются ведущими организациями в реализации образовательных и исследовательских задач, в том числе в сфере повышения качества окружающей среды. Зеленые зоны университетов и их биологическое разнообразие могут выступать в качестве объекта исследования, что может привести к внедрению инноваций в сфере озеленения городов. Соответственно, университеты могут играть ключевую роль в преобразовании местной городской среды.

### **Методы и материалы**

При выполнении работы использовался широкий спектр методов от аналитического для литературы, законодательных актов и способов оценки, полевого, картографического, до системного анализа при сопоставлении всех изученных и собранных материалов.

Алгоритм сбора данных включал в себя 4 шага – изучение объектов по Публичной кадастровой карте; расчет площадей, занимаемых зелеными насаждениями на территории корпуса, в программе Google Earth; сравнение всей площади территории, принадлежащей корпусу с площадью, которая занята насаждениями и количественный расчёт для определения покрытия озелененной территории у территории учебного корпуса.

На начальном этапе были изучены материалы трёх основных нормативных актов федерального значения: ГОСТ 28329–89. «Озеленение городов. Термины и определения»; Приказ Госстроя РФ от 15.12.1999 № 153 «Об утверждении Правил создания, охраны и содержания зеленых насаждений в городах Российской Федерации»; СП 278.1325800.2016 «Свод правил. Здания образовательных организаций высшего образования. Правила проектирования». Специальных документов по Иркутской области и Иркутскому государственному университету в этом вопросе не разработано.

Практические методы – визуальная оценка (обследование озеленённых территорий учебных корпусов по спутниковым снимкам) и полевое обследование всех территорий с выполнением схемы участка с расположением всех элементов, заполнение бланков ведомости описания насаждений и расчёта класса состояния территории [3].

## Результаты

Корпуса Иркутского государственного университета расположены в двух районах города, относятся к разным годам постройки, архитектурным стилям и каждый имеет свои особенности расположения и структуру озеленения (табл. 1).

Таблица 1

Описание территории корпусов ИГУ

Корпус, адрес	Площадь			Состояние, балл
	земельного участка, м <sup>2</sup>	озелененной территории, м <sup>2</sup>	занятой насаждениями, %	
1, б-р Гагарина, 20	12764	3373	26	3
2, ул. Карла Маркса, 1	7338	1721	23	4
3, ул. Ленина, 3	6173	303	0	6
4, ул. Сухэ-Батора, 5	6299	1456	23	4
5, ул. Чкалова, 2	2146	403	19	5
6, ул. Лермонтова, 126	25270	10803	43	2
7, 8, ул. Улан-Баторская, 6, 10	42786	14134	33	3
9, б-р Гагарина, 36	1385	140	10	6
10–12, ул. Нижняя Набережная, 4–8	21292	2458	12	3
13, ул. Сухэ-Батора, 9	9110	420	5	5
14, ул. Ленина, 8	13343	1675	13	6

Из 14 корпусов, 10 участков (7 и 8, а также 10, 11 и 12 находятся на одном участке) исследованных озелененных территорий, только одна соответствует норме озеленения – это корпус № 6 по адресу ул. Лермонтова, 126. Но и она является фактически стихийной, без планирования, без учёта целей и назначения. Озеленение для остальных учебных корпусов ИГУ не соответствуют норме и правилам.

Стоит указать, что для территорий корпусов № 3 (абсолютно), 9, 13 (чрезвычайно мало) места для размещения насаждений – нет и необходимо предусматривать другие варианты озеленения. Корпуса 2, 3, 4, 9 – 14 расположены на главных улицах, площадях и набережных города, поэтому варианты их озеленения должны рассматриваться в контексте комплексного озеленения города, для сохранения общего фона.

Для территорий корпусов № 1, 4, 5, 7, 8, 10 и 14 необходимо создание научно обоснованных планов по озеленению и благоустройству.

Отдельно следует отметить, что состояние насаждений, особенно крупных деревьев следует контролировать специально, организуя своевременную обрезку и планируя замену. Техногенная среда является агрессивной по отношению ко всем живым организмам. Эффект негативного влияния антропогенной среды на человека возрастает по мере роста городов и развития промышленных производств. Наибольший прессинг негативных экзогенных факторов испытывают деревья, произрастающие в городской среде, и как следствие многие породы древесных растений и достигают критического возраста являются аварийными [2].

Оценка состояния деревьев на территориях корпусов показала, что большая часть насаждений относится к 3 и 4 классу состояния (ослабленные и сильно ослабленные) из 6, где

1 является лучшим. Для таких классов состояния рекомендуется наблюдение и поддержание их развития. Не выявлено насаждений, относящихся к 6 классу состояния, т. е. требующих замены, но и к 1 классу, также не отнесено ни одно дерево. Можно отметить, что все виды древесной растительности на территории корпусов № 5 и № 13 имеют удовлетворительное сильно ослабленное состояние, а в корпусе № 9 – все имеют хорошее состояние с признаками ослабления.

В основной своей массе изученные озелененные территории имеют скудный ассортимент насаждений, для расширения которого можно воспользоваться списком из книги «Растения для озеленения Иркутска», в которой содержатся сведения о деревьях, прошедших длительные испытания в Ботаническом саду Иркутского государственного университета. В список включены наиболее устойчивые в городских почвенно-климатических условиях местные и интродуцированные виды растений.

### Заключение

Проведя оценку озелененных территорий 14 учебных корпусов Иркутского государственного университета, мы пришли к выводу, что на исследуемой территории, в большинстве случаев, не соблюдается норма по площади озеленения земельных участков организаций высшего образования в 40 %. Большая часть деревьев относится к ослабленному классу состояния, ассортимент насаждений скудный, поэтому существует необходимость в разработке плана по благоустройству данных территорий.

Проблемы озеленения городов имеют комплексное значение: обеспечение комфортабельных условий жизнедеятельности, улучшение экологических условий (экологического «каркаса» городской территории), придание городской среде эстетичного компонента. Решение данных проблем способствует повышению эколого-социально-экономической ценности городской среды и, соответственно, является одной из приоритетных задач городских властей в контексте Устойчивого развития. Проблема озеленения городов остро проявляется во многих странах мира, и в частности, в России. Многие международные организации отмечают значимость насаждений в региональном и глобальном масштабе планеты. Озелененные территории играют важную роль в формировании комфортной среды обитания человека, в том числе и на территории образовательных учреждений, выполняя свои экосистемные функции.

### Список литературы

1. *Иванова Н. В., Антонова Н. Н.* Актуальные направления ландшафтно-архитектурного формирования образовательной среды университетов // Новые идеи нового века. 2014. Т. 3. С. 59–65.
2. *Корниенко В. О., Приходько С. А.* Новый методический подход к оценке механической устойчивости зеленых насаждений в городской среде // Самарский научный вестник. 2018. № 2 (23). С. 72–77.
3. Перспективные задачи изучения озелененных территорий населенных пунктов / О. Е. Соколова [и др.] // Научная жизнь. 2018. № 2. С. 58–68.
4. Особенности состояния зеленых насаждений в жилых зонах кампусов вузов на фоне значительных антропогенных нагрузок в условиях финансово-хозяйственных ограничений / Е. В. Сомов [и др.] // Вестник КрасГАУ. 2015. № 5. С. 23–28.
5. Умные, экологичные и устойчивые города: сила природных решений // ООН-программа по окружающей среде. URL: <https://www.unep.org/ru/resources/doklad/umnye-ekologichnye-i-ustoychivye-goroda-sila-prirodnykh-resheniy> (дата обращения: 05.05.2023).

УДК 504.06

## **Дистанционные методы мониторинга мест несанкционированного размещения отходов**

А. М. Кумукова (alinakumukova00@gmail.com), А. П. Тарюская (ann.taurskay21@gmail.com)

*Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия*

**Аннотация.** Проблема несовершенства системы обращения с отходами в настоящее время приводит, в том числе, к образованию несанкционированных свалок. Выявление и мониторинг мест несанкционированного размещения отходов – одна из актуальных задач в сфере охраны окружающей среды. Актуальность исследования связана с образованием несанкционированных свалок в границах городов и за их пределами. Цель исследования – оценить применимость пространственно-временного анализа мест несанкционированного размещения отходов в г. Иркутске. В ходе визуального детектирования космических снимков г. Иркутска обнаружены четыре несанкционированные свалки, проведен их пространственно-временной анализ. Сделан вывод, что более рациональным подходом в изучении несанкционированных свалок является совокупное использование наземных наблюдений и детектирование космических снимков.

**Ключевые слова:** несанкционированная свалка, дистанционный мониторинг, детектирование, пространственно-временной анализ.

По данным Государственного доклада «О состоянии и об охране окружающей среды в Российской Федерации» в 2021 г. на территории Российской Федерации было образовано 48,4 млн т твердых коммунальных отходов. В Иркутской области – 616,5 тыс. т. Большая часть образованных отходов подлежит захоронению. При этом в целом по стране ликвидируется более 6,7 тыс. несанкционированных свалок.

Эффективная оценка состояния окружающей среды может быть реализована на базе современных геоинформационных технологий, выступающих средством аналитической обработки больших массивов данных.

### ***Решение проблемы несанкционированного размещения отходов на государственном уровне***

Гражданским кодексом Российской Федерации (ГК РФ) установлен тот факт, что собственник несет ответственность за содержание принадлежащего ему имущества, если иное не предусмотрено законом или договором (ст. 210 ГК РФ).

В статье 13 Земельного кодекса Российской Федерации говорится о том, что в целях охраны земель собственники земельных участков, землепользователи, землевладельцы и арендаторы земельных участков обязаны проводить мероприятия по защите земель от водной и ветровой эрозии, селей, подтопления, заболачивания, вторичного засоления, иссушения, уплотнения, загрязнения химическими веществами, в том числе радиоактивными, иными веществами и микроорганизмами, загрязнения отходами производства и потребления и другого негативного воздействия [4].

Таким образом, собственники земельных участков несут ответственность за их содержание и должны обеспечивать ликвидацию несанкционированных свалок.

Следующие государственные органы осуществляют мониторинг и принимают участие в ликвидации несанкционированных свалок:

- органы местного самоуправления;
- территориальные управления Росприроднадзора;
- природоохранная прокуратура.

Содействие в соблюдении природоохранного законодательства вышеперечисленным органам государственной власти могут оказывать сотрудники МВД. А именно, могут составлять протоколы об административном правонарушении при непосредственном обнаружении факта создания несанкционированной свалки. А также могут проводить расследования для поиска граждан, организовавших несанкционированную свалку.

Место несанкционированного размещения твердых коммунальных отходов (ТКО) может быть обнаружено региональным оператором, в этом случае он обязан в течение пяти рабочих дней уведомить собственника земельного участка, орган местного самоуправления и орган, осуществляющий государственный экологический надзор, об обнаружении места несанкционированного размещения ТКО.

Для решения проблемы несанкционированных свалок в 2018 г. в России президиумом Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам был утвержден национальный проект «Экология». Он является одним из национальных проектов Российской Федерации на период с 2019 по 2024 г. Проект включает несколько направлений деятельности, одним из которых является эффективное обращение с отходами производства и потребления, включая ликвидацию всех выявленных на 01.01.2018 несанкционированных свалок в границах городов [3].

#### *Альтернативные методы выявления несанкционированных свалок*

Помимо государственного контроля за соблюдением требований природоохранного законодательства, существуют альтернативные методики выявления мест несанкционированного размещения отходов.

К альтернативным методам относятся дистанционные методы мониторинга: визуальное детектирование, детектирование по спектрально-яркостным и текстурным признакам, а также пространственно-временной анализ несанкционированных свалок.

Визуальное детектирование наиболее простой и общедоступный метод мониторинга. Его суть состоит в изучении объектов несанкционированного размещения отходов посредством просмотра космических снимков без разработки и использования специальных программ, автоматизирующих этот процесс.

Для упрощения и ускорения работы по поиску объектов несанкционированного размещения отходов, а также для повышения точности их выявления по снимку на этапе детектирования, необходимо использовать знания о возможном расположении свалок по отношению к антропогенным и природным объектам.

Для визуального детектирования может быть использованы карты Yandex, Google, а также программа Google Earth.

Особенность автоматизированного детектирования состоит в том, что реальные объекты земной поверхности представлены отдельными элементами – пикселями, в которых зафиксирована спектральная отражательная способность объектов. Поэтому детектирование объектов по снимкам осуществляют не в географическом пространстве, а опосредованно, моделируя спектральное пространство [1].

Изучение отражательной способности свалок отходов выполняется путем измерения интенсивностей электромагнитных сигналов изображений исследуемых объектов и фонов, полученных дистанционными методами в оптическом спектральном диапазоне. По полученным значениям интенсивности электромагнитных сигналов определяются коэффициенты яркостей рассматриваемых объектов и рассчитываются контрасты [2].

Для данной методики детектирования по спектрально-яркостным и текстурным признакам используются материалы аэросъемки, полученные цифровой цветной фотокамерой, тепловизионным сканером и гиперспектрометром. Тепловизионный сканер необходим для определения температуры, а гиперспектрометр для установления типа свалки.

Задача обнаружения несанкционированной свалки решается методом автоматизированного распознавания объектов по данным аэрокосмической съемки, основанного на спектрально-яркостных и текстурных признаках объекта.

Пространственно-временной анализ – это описание развития процессов одновременно в пространстве и во времени.

В связи с тем, что несанкционированные свалки обладают высокой пространственно-временной изменчивостью своих характеристик, для исследования и картографирования стадий их функционирования эффективно использование продолжительных временных серий



данных дистанционного зондирования, получаемых от разных источников, в том числе исторических высокодетальных аэрофотоснимков и современных космических снимков сверхвысокого разрешения [5].

Особенностью применения дистанционных методов в мониторинге несанкционированных свалок является возможность выявления последовательных как резких, так и постепенных изменений в пространстве и во времени. Поэтому при обнаружении объекта несанкционированного размещения отходов целесообразно применять пространственно-временной анализ.

### ***Результаты применения пространственно-временного анализа на территории г. Иркутска***

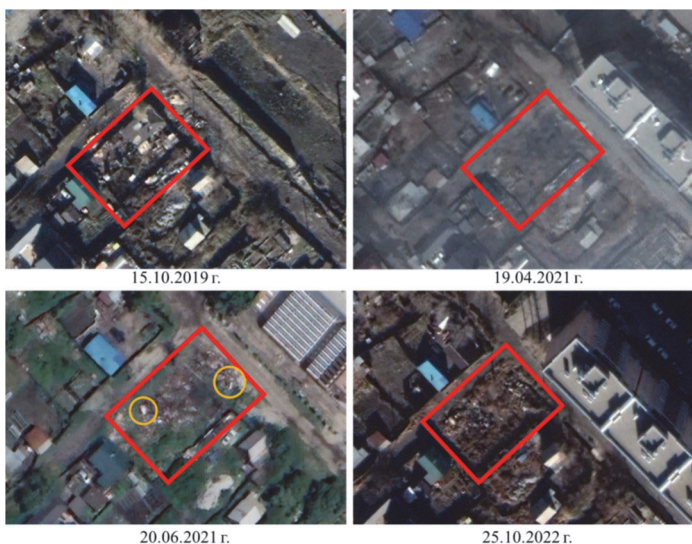
С помощью программы Google Earth был проведен пространственно-временной анализ несанкционированных свалок, выявленных на территории г. Иркутска посредством визуального детектирования в 2023 г.

В ходе проведения визуального детектирования снимков г. Иркутска, были выделены следующие недостатки данной методики:

1) невозможность обнаружения несанкционированных свалок под древесно-кустарниковой растительностью;

2) невозможность обнаружения мелких несанкционированных свалок.

Несанкционированная свалка № 1 (координаты: 52°20'33.08'', 104°12'42.57'') расположена в Ленинском районе г. Иркутска. Образована в результате сноса бывшей жилой постройки в частном секторе. Дата снимка, на котором жилая постройка еще есть – 15.10.2019. Дата снимка, на котором жилой постройки уже нет – 19.04.2021. Изначальную площадь свалки установить невозможно из-за плохого качества снимков. Площадь свалки установлена по снимку от 20.06.2021 – 366 м<sup>2</sup> (рис. 1).



*Рис. 1. Несанкционированная свалка № 1*

В ходе анализа снимков установлено появление на несанкционированной свалки новых элементов отходов (на снимке от 20.06.2021). Возможная причина – складирование отходов, образующихся в близлежащих домах.

Дата последнего снимка – 25.10.2022. Площадь несанкционированной свалки: 285 м<sup>2</sup>. Уменьшение площади несанкционированной свалки может быть связано с зарастанием данного участка растительностью.

Несанкционированная свалка № 2 (координаты: 52°21'50,70", 104°13'31,52") расположена в Ленинском районе г. Иркутска, образована на пустыре вблизи частного сектора. Дата снимка, на котором нет несанкционированной свалки – 15.10.2019. Впервые несанкционированная свалка обнаружена 19.04.2021, ее площадь составляла 16 м<sup>2</sup>, не изменялась. Свалка находилась на данном участке до 07.06.2021, на последующем снимке от 17.06.2021 свалка на участке ликвидирована (рис. 2).



Рис. 2. Несанкционированная свалка № 2

Вновь образована на том же участке несанкционированная свалка 15.07.2021, площадь – 42 м<sup>2</sup>. Дата последнего имеющегося снимка – 05.06.2022. Несанкционированная свалка не ликвидирована, площадь увеличилась до 50 м<sup>2</sup>. Предположительный состав данной свалки – строительные отходы.

Несанкционированная свалка № 3 (координаты: 52°19'51,01", 104°12'39,09") в Ленинском районе г. Иркутска, образована вследствие сноса многоквартирного жилого дома и гаражей, состоит из отходов от сноса и разборки зданий. Дата снимка, на котором жилой дом и гаражи еще есть – 05.06.2022. Дата снимка, на котором обнаружена несанкционированная свалка – 25.10.2022. Площадь несанкционированной свалки: 1364 м<sup>2</sup> (рис. 3).

Несанкционированная свалка № 4 (координаты: 52°14'40,14", 104°13'42,26") расположена в Свердловском районе г. Иркутска, образована в частном секторе. Снимки представлены с разницей в год, поэтому возникает сложность определения даты возникновения несанкционированной свалки. Дата снимка, на котором свалки еще нет – 22.07.2021, дата снимка, на котором свалка уже образовалась – 06.06.2022. Площадь данной свалки – 319 м<sup>2</sup> (рис. 4). Предполагаемый вид отходов – строительные.



05.06.2022 г.



25.10.2022 г.

Рис. 3. Несанкционированная свалка № 3



22.07.2021 г.



05.06.2022 г.

Рис. 4. Несанкционированная свалка № 4

В ходе работы были выделены следующие преимущества и недостатки изучения несанкционированных свалок с помощью пространственно-временного анализа.

Преимущества использования пространственно-временного анализа:

- 1) возможность обнаружения несанкционированных свалок;
- 2) возможность измерения площади несанкционированных свалок;
- 3) возможность отслеживания динамики различных показателей.

Недостатки использования пространственно-временного анализа:

- 1) отсутствие актуальных снимков;
- 2) наличие большого временного разрыва между снимками;
- 3) невозможность определения конкретной даты образования свалки (только промежуток времени);
- 4) невозможность определения наличия несанкционированной свалки на данный момент;
- 5) возможное наличие снимков низкого разрешения;
- 6) сложность обработки снимков в весенний и осенний период, в связи с низкой контрастностью;
- 7) зарастание в летний период отходов растительностью, в связи с чем визуально уменьшается площадь несанкционированной свалки;
- 8) отсутствие снимков зимнего периода.

## Список литературы

1. Беляков О. И. Учебный курс «Геоинформационные системы»: актуализация содержания // Известия ПГУ им. В. Г. Беллинского. 2012. № 29.
2. Бровкина О. В. Автоматическая идентификация свалок по разноспектральным аэрокосмическим данным // Исследование Земли из космоса. 2007. Т. 6. С. 22–28.
3. Государственный доклад. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2021 году. М. : Минприроды России : МГУ им. М. В. Ломоносова, 2022. 1000 с.
4. Ретроспективный мониторинг заброшенной свалки промышленных отходов по данным дистанционного зондирования различного разрешения и типа : материалы 16-й Междунар. конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса», 12–16 нояб. 2018 г. / Ин-т косм. исслед. РАН. М., 2018. 509 с.
5. Земельный кодекс Российской Федерации : федер. закон от 25.10.2001 № 136-ФЗ (ред. от 28.04.2023). Режим доступа: СПС «КонсультантПлюс».

УДК 711.5(571.53)(-21)

## Практические проблемы развития территорий современных городов на примере г. Иркутска

М. В. Левашева (lemavlad@mail.ru)<sup>1</sup>, Л. Н. Тимофеева (tim\_mila@mail.ru)<sup>1,2</sup>

*Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия*

<sup>2</sup>*Главный центр геопространственной информации, Иркутск, Россия*

**Аннотация.** Рассмотрены изменения пространственной структуры городов в исторической ретроспективе. Изучены подходы к планированию территорий современных городов. Проанализирована пространственная модель города, выявлены ее особенности. Дана характеристика г. Иркутску как объекту градостроительного планирования: проанализированы основные компоненты городской среды Иркутска, изучены структурные изменения пространственного развития г. Иркутска. Выявлено, что наиболее остро стоит проблема внедрения градостроительных регламентов, вследствие чего в вопросах управления развитием города неизбежны конфликты землепользования, усугубляются проблемы сохранения исторического контекста городского пространства. Информационной базой для исследовательской работы стали статистические данные, научная публицистика, генеральный план г. Иркутска, концепции пространственного развития г. Иркутска, программы комплексного развития социальной инфраструктуры г. Иркутска. Результаты исследовательской работы могут быть использованы региональными организациями для разработки концепции территориального планирования как г. Иркутска, так и других муниципальных образований.

**Ключевые слова:** городское планирование, пространственная структура города, генеральный план города, функциональные зоны, градостроительный регламент.

### Введение

Потребности глобальной экономики, динамичность и постоянное усложнение проблем города, связанных с возрастающими процессами урбанизации, требуют постоянного осмысления тенденций, зарождающихся в мировой и отечественной практике и своевременного реагирования.

Актуальными на современном этапе градостроительной науки является решение проблем объемно-пространственного и территориального развития городов и регионов, реконструкции городских территорий, сохранение памятников архитектуры и градостроительства, улучшение городской среды в условиях устойчивого развития городов.

В городской среде наиболее остро проявляются все социальные проблемы и противоречия. Поэтому первоочередными градостроительными задачами является изучение закономерностей и тенденций расселения, функционирования различных градостроительных объектов, городских транспортных систем.

Цель работы – на примере г. Иркутска рассмотреть практические проблемы планирования территорий современных городов.

В ходе исследования были поставлены следующие задачи:

- изучить теоретические аспекты формирования городского пространства;
- охарактеризовать основные подходы к планированию территорий современных городов;
- дать комплексную характеристику городу Иркутску как объекту градостроительного планирования.

Объект исследования: городское планирование.

Предмет исследования: территории современных городов.

Методы исследования: сравнительные методы анализа, методы анализа эмпирического материала, картографический метод.

Иркутск является административным центром Иркутской области и Иркутского районного муниципального образования. Город расположен в долине р. Ангары и ее притоков Иркуты и Ушаковки и является перекрестком транспортных путей, связывающих запад и восток России, а также России с Китаем и Монголией. На 01.01.2022 численность постоянного населения Иркутска составляет более 617 тыс. чел. Площадь города составляет около 300 км<sup>2</sup>.

### **Теоретические аспекты формирования и развития территорий городов**

В качестве ведущего фактора эволюционирования (качественного скачка в развитии) городского пространства большинство источников признает изменение экономической структуры общества, совершенствование техники, технологии и организации производства, повышение их эффективности [1,5].

В настоящее время в нашей стране мы можем отметить существование и развитие городов в рамках трех основных концепций: «индустриальный город», «город эпохи модернизма», «постиндустриальный город»[3]. Именно целевая установка на формирование промышленной, финансовой, рекреационной, столичной специализации города определяет тренд пространственных изменений городской среды.

Следует отметить, что городское планирование в настоящее время должно развиваться очень динамично, как ответ на запросы быстро изменяющегося общества. В частности, мы пришли к выводу, что инструментарий традиционного городского планирования уже устарел для постиндустриального города с такими характерными чертами как введение тотального технологического надзора по соображениям безопасности, сокращение публичных пространств, рост социального неравенства (различные виды социальной стратификации, включая элитные жилые кварталы).

### **Особенности пространственной организации г. Иркутска**

Город Иркутск воплощает неравномерно-районированную модель пространственной организации города. Ключевым типом структур в такой модели являются пространственные городские единицы – «узловые районы». Каждая пространственная единица развивается и как независимая территория, и как часть единой системы, при этом уровень развития узловых районов различается, наблюдается его снижение по мере удаления от центра города (например, транспортная инфраструктура, доступность социально значимых объектов и пр.) [3; 8]. При этом внутренняя структура каждого из районов сформирована, но логистика этой структуры заметно уступает центральной части города.

Такие особенности делают неэффективным применение методов линейного планирования для решения задач пространственного развития города, наиболее целесообразно использовать методику сетевого планирования, обеспечивающую гибкость решений. В этом контексте генеральный план города [2], отражающий объединение городских сетей, районов и основных функциональных инфраструктур, разработанный без цифровой основы и серии сопутствующих карт (слоев ГИС), является статичной картинкой, не обеспечивающей управленческих решений. Традиционно генеральные планы отражают в основном прогнозную динамику объектов социальной инфраструктуры (здания, сооружения, дороги). Так, Генеральный план г. Иркутска (М 1:10 000), разработанный до 2025 г., дифференцирует объекты на существующие и строящиеся, планируемые к размещению, планируемые к реконструкции, планируемые к

ликвидации. Функциональные зоны и их границы показаны на плане как статичные элементы, не учитывающие перспектив развития.

### **Анализ планировочной документации**

Планировочная структура города – это совокупность функциональных зон и планировочных элементов, связанных между собой в единое целое транспортной сетью, сетью центров жилых районов и микрорайонов, сетью зеленых насаждений и мест отдыха, а также инженерными коммуникациями. Генеральный план города в общем смысле – это баланс функциональных зон и объектов социальной инфраструктуры, это проектный документ, на основании которого осуществляется планировка, застройка, реконструкция и другие виды градостроительного освоения территории. Неравномерно-районированная пространственная структура позволяет для каждого жителя города найти наиболее подходящий для него тип среды [3]. Узловые районы разной удаленности требуют разной обеспеченности различными инфраструктурами, которая рассматривается как компенсация за удаленность от главного центра, что отражается в генпланах – выделяются функциональные зоны, которые определяют объемы жилой и нежилой застройки.

Генеральный план г. Иркутска [2; 4]. отчасти отражает современную тенденцию развития городского пространства – усложнение функционала выделенных зон, а именно их многофункциональность и интегрированность (выделяются зона смешанной и общественно-деловой застройки, многофункциональная общественно-деловая зона), но усиление этой тенденции неизбежно приведет к пересмотру функционального зонирования как одного из основных подходов градостроительного планирования.

Понятие «функциональная зона» достаточно широко трактуется планировщиками, так представленные в Генеральном плане г. Иркутска зоны нередко дублируют друг друга по целевой функции (например, зона отдыха, рекреационная зона, зона лесов), либо название зоны не отображает ее назначение-функцию (зона лесов, зона исторической застройки). Например, «зона исторической застройки» – это архитектурно-планировочное решение, а не функционал. Необходима унификация легенд генеральных планов поселений.

Пространственное развитие городов целесообразно рассматривать посредством оценки пространственных систем (архитектурно-планировочной, охраны наследия, социальной, инженерной, транспортной, природно-экологической) через характеристики доступности, обеспеченности, безопасности, многообразия, представленности в виде серии карт. Реализация подобной оценки практически невозможна без использования инструментария современных ГИС.

Анализ материальной среды города показал, что наблюдается дефицит земли для комплексного освоения, в основном город развивается за счёт точечной застройки, вместе с тем в пригородной зоне имеются значительные территории, которые используются неэффективно. Следует отметить, что на данный момент особенно остро стоит проблема внедрения градостроительных регламентов, в настоящее время нормативная документация разработана лишь для 38 % территории г. Иркутска, причем и для этой части отмечаются очевидные минусы: противоречивость трактовок правил землепользования, неполная проработка разделов, касающихся функционирования зон с особыми условиями и охраны объектов культурного наследия. Вследствие чего неизбежны конфликты землепользования, проблемы сохранения исторического контекста городского пространства.

Значительный рост населения пригорода Иркутска и объемов маятниковой миграции, вследствие невысоких темпов городского строительства на фоне бурного загородного строительства (населенные пункты Марково, Мамоны и Усть-Куда, Пивовариха, Урик, Хомутово и Карлук), выводит на первый план проблему формирования общей транспортной системы города и пригородов.

Утверждение в системе городского планирования методики формирования индекса качества городской среды (от 23 марта 2019 г. с изменениями 2020 г.) на основе анализа 36 инди-

каторов отражает тенденцию формализации данных [7]. Данный статистический инструментарий балльной оценки полезен на региональном уровне, так как позволяет выявить проблемные поселения и, возможно, скорректировать тактические решения территориального планирования региона в сфере градостроительства. Мы считаем его малоэффективным на муниципальном уровне (город, поселение): осредненные индикаторы не показывают внутригородскую пространственную дифференциацию, соответственно, рост того или иного индикатора не решает проблемы планирования конкретного города, а лишь улучшает общую статистику. По итогам такой оценки [9] Иркутск относится к городам с благоприятной городской средой и от года к году демонстрирует положительную динамику.

### Заключение

При планировании развития городских территорий необходимо применять системный подход, так как современный город – это сложно устроенная (структурно, функционально, динамически) географическая система. Одна из важных установок – стратегия развития конкретного города должна разрабатываться с учетом особенностей его пространственной организации воплощенной в абстрактной модели. Так, для Иркутска актуальными будут тактические решения позволяющие снизить различия в пространственном развитии узловых районов города (инфраструктура, логистика) как между собой, так и в сравнении с центром.

Следует переосмыслить традиционные подходы к структурированию городского пространства, которые применяются повсеместно. Широко используемый метод функционального зонирования городского пространства уже малоактуален, вследствие усложнения структуры города (замещение монофункциональности той или иной зоны на полифункциональность, разорванность ареалов зон как результат интегрированности), а преобладание точечной застройки ускоряет процесс интеграции зон.

Современные подходы и инструментарий градостроительного планирования требуют повсеместного внедрения ГИС-технологий, которые бы обеспечили оперативность и гибкость администрирования.

### Список литературы

1. Аношкин П. А. Пространственная модель современного города // Проблемы современной экономики. 2011. № 40. С. 45–49.
2. Генеральный план города Иркутска // Администрация города Иркутска : [сайт]. URL: [https://admirk.ru/authority/documents/?PAGE\\_TITLE=%2C+Генеральный+план+города+Иркутска&arrFilter\\_pf%5Bproject%5D=&arrFilter\\_pf%5Bsector%5D=&arrFilter\\_pf%5Btag\\_filters%5D=&set\\_filter=Y&SECTION\\_ID=1343](https://admirk.ru/authority/documents/?PAGE_TITLE=%2C+Генеральный+план+города+Иркутска&arrFilter_pf%5Bproject%5D=&arrFilter_pf%5Bsector%5D=&arrFilter_pf%5Btag_filters%5D=&set_filter=Y&SECTION_ID=1343) (дата обращения: 12.03.2023).
3. Гостев М. В. Неравномерно-районированная модель города: источники-развитие-применение-влияние // Городские исследования. Высшая школа урбанистики им. А. А. Высоковского НИУ ВШЭ. 2022. Т. 7, № 1. С. 106–122.
4. Концепция пространственного развития г. Иркутска до 2040 г. // Администрация города Иркутска. URL: [https://admirk.ru/authority/documents/AGE\\_TITLE=2C+Концепция+пространственного+развития+города+Иркутска+до+2040+года&arrFilter\\_pf%5Bproject%5D=&arrFilter\\_pf%5Bsector%5D=&arrFilter\\_pf%5Btag\\_filters%5D=&set\\_filter=Y&SECTION\\_ID=1470](https://admirk.ru/authority/documents/AGE_TITLE=2C+Концепция+пространственного+развития+города+Иркутска+до+2040+года&arrFilter_pf%5Bproject%5D=&arrFilter_pf%5Bsector%5D=&arrFilter_pf%5Btag_filters%5D=&set_filter=Y&SECTION_ID=1470) (дата обращения: 12.03.2023).
5. Корзун А. В. Планировочная структура Иркутска: факторы устойчивого развития (ретроспективный анализ) // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2011. № 2 (49). С. 79–83.
6. Система управления развитием городской инфраструктуры «Умный город» / А. А. Мельников [и др.] // Архивор. 2015. № 1. С. 32–54.
7. Об утверждении методики формирования индекса качества городской среды : распоряжение Правительства Российской Федерации от 23 марта 2019 года № 510-р // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов «Консорциум кодекс» : сайт. URL: <https://docs.cntd.ru/document/553937399?marker=7DSOKC> (дата обращения: 24.10.2022).
8. Родоман Б. Б. География, районирование, картоиды : сб. тр. Смоленск : Ойкумена, 2007. 128 с.
9. Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Иркутской области. URL: <https://irkutskstat.gks.ru/> (дата обращения: 01.11.2022).

УДК 504.064.2.001.18

## Природно-экологический каркас города Иркутска

А. И. Михалева (IvanovAV@mail.ru), Е. В. Потапова (e.v.potapova.isu@mail.ru)

*Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия*

**Аннотация.** Природно-экологический каркас или ПЭК представляет собой и включает в себя озеленённые участки, расположенные на территории города. Он состоит из ядер (парки, скверы и т. д.), транзитных объектов, коридоров (реки) и точечных объектов – фактически любых крупных участков озеленения, но преимущественно отдаётся категории общего пользования. Разработка ПЭК остаётся современным, но не однозначным, даже с точки зрения метода выполнения подходом к оценке состояния озеленения города. Предложен авторский план по его созданию для г. Иркутска. Ядра (всего их выделено 14) являются центром озелененных пространств внутригородской и пригородной территории в Иркутске и в центральной части города расположены вблизи коридоров каркаса, что является благоприятным показателем, так как ключевые объекты способны к самовосстановлению и самоочищению. В северной части города ядра удалены от коридоров, что может привести к угнетению ключевых природных территорий.

**Ключевые слова:** озеленённые участки, ядра, насаждения, планировка, зелёные зоны.

Благоустройство городов – одна из актуальных проблем современного градостроительства, целью которого является создание наилучших и безопасных условий для жителей конкретного города, в задачи входит не только застройка территории и реконструкция зданий, но и озеленение, и создания общественных зелёных пространств. Они выполняют ряд функций, обеспечивающих лучшее качество и сохранение городской среды обитания, защищают от ветров и шума, выполняют эстетическую функцию.

Природно-экологический каркас (ПЭК) представляет собой и включает в себя озелененные участки (парки, скверы и т. д.), расположенные на территории города [1; 2]. Понятие «каркас» происходит от французского слова carcasse – скелет, поэтому можно сказать, что ПЭК является зелёным «скелетом» города. В свою очередь ПЭК сегодня – это фундаментальная категория обеспечения устойчивого развития территории. Он призван выполнять функции поддержки экологической стабильности, в частности, необходим для сохранения местообитания редких видов флоры и фауны в условиях хозяйственного освоения. На данный момент ПЭК является своеобразным методом для оценки зеленой инфраструктуры города и может быть использован для оптимизации городской среды [2; 3]. Для многих городов нашей страны не существуют карт ПЭК, поэтому подобные работы имеет смысл вводить в градостроительные проекты. Практическая значимость этого высока, так как карта является отличным способом наглядности информации, это поможет не только по-новому взглянуть на ситуацию озеленения города, но и поможет развитию инфраструктуры и благоустройству города. В ходе исследования были проведены полевые работы, которые нацелены на оценку состояния зелёных насаждений (далее – ЗН) города. В качестве объекта исследования выбраны участки озеленения г. Иркутска, преимущественно крупные объекты озеленения, которые стали основой ПЭК г. Иркутска.

В течение последних десятилетий на первом месте при планировании городской территории стояли градостроительные и санитарно-гигиенические нормативы. Экологическим вопросам, как правило, уделялось остаточное внимание. При этом планирование, проектирование городских территорий велись по нормативам, определяющим требования не к городу как территориально целостному образованию, а к отдельным его районам, различным по функциям, – промышленным зонам, жилым территориям, инженерно-транспортным коридорам и так далее. В результате такого проектного подхода к городу, как к разрозненным территориям, планировочная структура многих городов не отвечает в настоящее время требованиям сохранения и устойчивого развития городских систем различного иерархического и функционального статуса [4].



Существуют различные трактовки понятия «природно-экологический каркас». Одним из первых в данной работе о данном термине упоминает Б. И. Кочуров, который подразумевает под ним озелененные участки (парки, скверы и т. д.), которые расположены на территории года. [4]. По мнению Л. М. Еникеевой ПЭК является своеобразным методом для оценки зеленой инфраструктуры города и может быть использован для оптимизации городской среды [2]. Э. Э. Красильникова считает, что ПЭК – это, своего рода, упреждающее зонирование территории, ориентированное на выделение важнейших участков с различными режимами использования, гарантирующих экологическую безопасность конкретного региона и поддерживающие эволюционно присущей ей природной специфике [3]. Исходя, из вышеперечисленного, можно сделать вывод, что единого определения ПЭК не существует. И каждый автор в зависимости от своего рода деятельности, трактует его по-своему.

Основа этого каркаса – так называемые природные ядра, минимально измененные участки ландшафта, где сохраняются естественные связи между компонентами, они самодостаточны в рамках функционирования элементов, а также обладают максимальным разнообразием природного комплекса – это лесопарки, парки с наиболее естественной растительностью. Уже от них протягиваются связи к остальным элементам города и ландшафта: улицам, бульварам, рекам, оврагам, системам дворов. Таким образом отдельные элементы системы включаются в цепочки, перетекая от одного к другому.

### Методы

Методы исследования – сравнительный анализ, обобщение, полевые методы, а также картографический.

В настоящее время единого подхода формирования экологического каркаса не существует, так как отсутствуют рекомендованные критерии создания. В связи с этим была разработана авторская пошаговая методика создания ПЭК для г. Иркутска.

1. Первым пунктом для создания ПЭК являлся выбор города.

ПЭК можно построить для любого населенного пункта если в нем присутствуют:

– зелёные насаждения общего пользования – парки, скверы, городские леса и т. д.;

– транспортные сети (дороги общего пользования, железнодорожное полотно и т. д.);

– промышленные предприятия или источники негативного воздействия на окружающую среду;

– водные объекты как в самом городе, так и на загородных территориях.

2. Вторым пунктом были выбор и исследования зеленых зон города.

Учитывались благоустроенные крупные (около и более 30 000 м<sup>2</sup>) объекты озеленения, используемые населением для рекреации постоянно и учтённые в Генеральном плане и публичной кадастровой карте, как основа озеленения города (всего 14 шт., как ключевые и транзитные по берегам рек, острова (более 150 отдельных участков). Проводилась оценка состояния как самих зон – класс гемеобности, так и насаждений [5; 6].

3. Третьим пунктом выполнялись полевые работы и анализ данных дистанционного зондирования не менее 2 лет, так как снимки могут быть некорректными и не отражать действительную обстановку.

4. Четвертым пунктом было создание карт.

Элементами, которые выделены на карте природно-экологического каркаса:

– ключевые природные территории города («ядра» каркаса);

– транзитные территории вдоль речных долин;

– водные объекты (реки, ручьи, каналы и т. д.)

– автодороги (федерального, регионального значения и т. д.)

– природные и озелененные территории, не являющиеся ключевыми (отмечать необязательно).

Данная методика может дорабатываться и дополняться.

## Результаты

ПЭК города включает в себя три важные составляющие:

- 1) природную, связанную природными особенностями, т. е. ландшафтной структуры территории;
- 2) экологическую, связанную с улучшением городской среды;
- 3) ландшафтно-морфоструктурную, которая содержит как природные, так и хозяйственные элементы территории, определяющие внешний облик.

В качестве основных деталей такого каркаса выступают линии водоразделов (границы водосборных бассейнов), речная сеть.

Различают площадные и линейные элементы каркаса. На площадные, или крупно ареальные элементы (ядра каркаса), которые считаются базовыми, накладываются основные функциональные нагрузки: глобальные функции средообразования, сохранение природных комплексов, поддержание разнообразия видов, рекреация. К ним относят территории, которые большие по площади памятники природы и т. д. Линейные элементы, или коридоры, являются экологически активными осями, выполняющие шумоподавление и защитные функции: озелененные коридоры транспортной инфраструктуры, водоохранные зоны рек, поймы крупных рек, долины малых рек, защитные лесопосадки и т. д.

ПЭК г. Иркутска состоит из 14 ядер и 4 транзитных территорий – рек (табл.). Это благоприятный показатель для крупного города. Ядра являются центром озелененных пространств внутригородской и пригородной территории в Иркутске, что расширяет зону оптимизирующего воздействия и повышает экологическую устойчивость к антропогенным нагрузкам.

Таблица

Ядра ПЭК г. Иркутска

Объект озеленения	Площадь <sup>1</sup> , м <sup>2</sup>	Древесный состав	Общее состояние ЗН <sup>2</sup>	Стадия рекреационной дигрессии <sup>3</sup>
о. Юность, о. Конный	474 891	лиственный	неуд.	4
между ул. Ширямова – ул. Дыбовского	161 934	смешанный	хор.	4
парк Авиаторов	107 368	смешанный	хор.	3
Иерусалимская гора	195 226	смешанный	неуд.	5
б-р Гагарина	130 233	лиственный	хор.	5
сад Томсона	115 355	лиственный	хор.	3
роща Звёздочка	84 658	смешанный	уд.	3
парк Комсомольский	84 148	смешанный	уд.	3
парк им. Парижской коммуны	68 033	лиственный	уд.	3
парк Академгородок	66 221	смешанный	хор.	3
Каштаковская роща	56 383	смешанный	хор.	3
сквер им. Кирова	31 719	смешанный	неуд.	5
мемориал «Вечный Огонь»	31 102	смешанный	уд.	5
Грибоедовская роща	30 164	смешанный	хор.	5

Примечания: <sup>1</sup> – рассчитана авторами и может отличаться от официальных данных; <sup>2</sup> – оценивается в баллах: 2 – неудовлетворительно, 3 – удовлетворительное, 4 – хорошее [4]; <sup>3</sup> – оцениваются по % вытоптанности: до 1 – 1 стадия, от 1,1 до 5 – 2 стадия, от 5,1 до 10 – 3 стадия, от 10,1 до 25 – 4 стадия, более 25 – 5 стадия [4].

По данным изучения этих объектов можно сделать следующие выводы:

1. Выделенные зелёные массивы, расположенные в разных районах города, имеют преимущественно смешанный породный состав, что в большей степени свидетельствует об их искусственном происхождении.

2. Все крупные объекты Иркутска в удовлетворительном и хорошем состоянии. Это значит, что деревья на данных озелененных территориях имеют искривления, признак болезней и кроны их разряжены. Для травянистых форм жизненность видов низкая, отсутствие стадий цветения и плодоношения (часто в результате укусов), средняя высота ниже обычной для данного вида.

3. Несмотря на общую запущенность состояния парков, большая часть обследованных деревьев находится в хорошем состоянии. Однако многие, особенно лиственные породы, широко представленные в насаждениях г. Иркутска, приближаются к своему физиологическому пределу, так как входят в возрастную группу старше 40 лет. У многих наблюдается значительное разражение крон, обилие сухих веток и повреждений стволов.

Разнообразие во флоре не многочисленно. В древесном ярусе преобладают береза, сосна, тополь, клен американский, лиственница. В кустарниковом ярусе наблюдаются сирень, черёмуха, рябина, карагана, шиповник. В травянистом ярусе в основном сорные виды растений: осоки, мятлики, иван-чай, клевер луговой и т. д. Можно сделать вывод, что ядра каркаса г. Иркутска не отличаются разнообразием флоры. В основном встречаются виды, которые хорошо приживаются в городской среде и выдерживают интенсивные антропогенной нагрузки.

Стадии рекреационной дигрессии для наиболее крупных объектов озеленения оцениваются от 2 до 4, это значит, что в данных местах наблюдается более 25 % вытоптанности живого напочвенного покрова, наблюдается стихийная тропиночно-дорожная сеть. Также по методике была посчитана проходимость в данных объектах. Было выведено, что за каждые 5 мин проходят в среднем от 2 до 15 чел. Следовательно, антропогенная нагрузка является высокой.

### **Заключение**

Внутригородские объекты озеленения находятся в пределах городской черты застройки и включают озелененные территории с искусственно созданными или существующими насаждениями, водоемами, оборудованными площадками отдыха и спорта, объединенными дорожной сетью. Они подразделяются на объекты общего пользования, включающие городские парки и сады, скверы и бульвары; объекты ограниченного пользования, включающие насаждения жилых и детских учреждений, спортивных комплексов и площадок; объекты специального назначения, включающие насаждения промышленных, складских территорий, санитарно-защитных зон и дорог. Все они создают ландшафтно-экологический фон города, но лишь часть сохраняется как природно-экологический каркас, который обеспечивает его жизнеспособность.

Ключевые природные территории г. Иркутска имеют хорошее и удовлетворительное состояние деревьев. В настоящее время значительная часть насаждений исследованных городских территорий требует осуществления тех или иных форм восстановления. Необходимость их реконструкции обусловлена тем, что насаждения не способны выполнять свои функции. Ядра являются центром озелененных пространств внутригородской и пригородной территории в Иркутск, в центральной части города ядра расположены вблизи транзитной территории («коридоров» каркаса), что является благоприятным показателем, так как ключевые ЗН способны к самовосстановлению и самоочищению. В северной части города ядра удалены от транзитной территории, что может привести к угнетению ключевых природных территорий города. Вдоль каждой реки в г. Иркутске имеются насаждения, что является благоприятным показателем, однако древесно-кустарниковые формы во временном контексте занимают уже значительно меньшую площадь и находятся в угнетенном состоянии. Также на берегах рек наблюдается частичная вырубка деревьев, что оказывает на качество каркаса города неблагоприятное воздействие.

Оценка насаждений Иркутска позволяет сделать вывод о том, что нужно разработать меры для повышения их эстетического и функционального состояния. Стоит уменьшить и/или контролировать нагрузки на этих территориях, так как наблюдается вытаптывание и угнетение растений.

Парки г. Иркутска в основном не ухожены, водоохранные зоны рек нуждаются в соблюдении специального режима. Необходимы природоохранные меры по улучшению санитарного, гидрологического, экологического состояния водных объектов и благоустройству их прибрежных территорий, что приведёт к улучшению качества природно-экологического каркаса города.

В последние десятилетия распространенной тенденцией для развития городов является их территориальное разрастание, не оправданное ростом населения. Городские территории поглощают ценные рекреационные и природоохранные угодья. Необходимо создание ландшафтного плана города, сочетающего демоэкономические функции при условии сохранения и развития экологического каркаса города, выполняющего средообразующие, природоохранные, рекреационные и оздоровительные функции.

#### Список литературы

1. Батуев А. Р., Лопаткин Д. А. Обоснование и картографирование территориальной структуры экологического каркаса региона // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2008. Т. 1, № 1. С. 56–75.
2. Бодня М. Экологический каркас города. Функции и принципы проектирования. URL: <https://medium.com/@marchlab.info/экологический-каркас-города-функции-и-принципы-проектирования-182bd435f799> (дата обращения: 15.05.2023).
3. Булатова Е. К., Ульчицкий О. А. Ландшафтный урбанизм в контексте современной городской среды : монография. М. : Юрайт, 2022. 129 с.
4. Теоретические основы оценки комфортности проживания населения урбанизированной территории / Б. И. Кочуров [и др.] // Наука, власть и общество перед лицом экологических рисков и опасностей : сб. науч. материалов. Саратов : Наука, 2007. С. 56–58.
5. Потапова Е. В. Общая экология. В 3 ч. Ч. 2. Методы полевых исследований : учеб. пособие. Иркутск : Изд-во ИГУ, 2015. 155 с.
6. Правила создания, содержания и охраны зеленых насаждений на территории г. Иркутска : утв. решением Думы г. Иркутска от 25.11.2004 № 004-20-050035/4. URL: <http://zakon-region2.ru/4/163156/> (дата обращения: 15.05.2023).

УДК 504.03

## Спецификация объектов озеленения России и Кот-д'Ивуар

М. Теа (thearusse@gmail.com), Е. В. Потапова (e.v.potapova.isu@mail.ru)

*Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия*

**Аннотация.** Объекты озеленения на территориях населённых пунктов представляют собой комплексы взаимосвязанных элементов инфраструктуры. Их роль и назначение зависит от классификации, типизации и несёт не только эстетическую задачу, но и санитарную, охранную для всех сред. Существуют некоторые особенности организации озеленения в разных странах. В статье приводится сравнительная характеристика основных типов озеленения для России и Кот-д'Ивуар. Указано, что городские леса и парки имеют много общего, как социально значимые объекты. Озеленение территорий учреждений здравоохранения и образование, несмотря на важность, выполняются без должного внимания. Насаждения в границах дорог, ЛЭП, трубопроводов плохо или абсолютно не организовано, на большей протяженности этих объектов. Озеленение около жилых домов всё ещё может иметь важную задачу обеспечения питанием, вместо эстетической и охранной. Структура территорий культурных объектов, зачастую представляет собой неповторимые природно-архитектурные ансамбли уникальной ценности.

**Ключевые слова:** насаждения, региональные особенности, законодательство, нарушения, международное сотрудничество.

Объекты озеленения на территориях населённых пунктов представляют собой комплексы взаимосвязанных элементов инфраструктуры. Каждый объект застройки с окружающей его территорией выполняет свои функции в городском пространстве, создает неповторимый оттенок в восприятии окружения и обеспечивает место реализации архитектурно-ландшафтными решениями. Важное значение для этого отводится насаждениям.

Устойчивое развитие городов, как призыв к действию, нацеленному на улучшение благосостояния и защиту нашей планеты, по наращиванию экономического роста и решению вопросов в области образования, здравоохранения, социальной защиты и трудоустройства, а также борьбе с изменением климата и защите окружающей среды, содержит актуальные

планы по решению таких задач. Общественные пространства как участки свободного и бесплатного посещения [1] выполняют социально-инклюзивные задачи, способствуют снижению гендерной и межнациональной напряжённости. Однако структура объектов озеленения, расположение насаждений, видовое разнообразие и требования к этим элементам неодинаковы в зависимости от страны и региона.

Применительно к типизации (классификации) объектов озеленения можно указать на некоторые особенности озеленения городов для России и Республики Кот-д'Ивуар. В первую очередь законодательные нормы в общемировом контексте и внутри каждой из этих стран пока не сопоставимы. Нельзя не отметить, что на уровне таких программ как ООН-Хабитат и ВОЗ «Здоровые города» доля озеленения до 50 м<sup>2</sup> на каждого жителя в обеих странах далека от этого показателя. Создание системы общественных пространств также слабо реализуется. Структуры городов и других населённых пунктов имеют некоторые схожие характеристики, но и значительные отличия, которые будут указаны ниже, внутри описания группы. Отметим, что общее разделение объектов озеленения на категории общего пользования, ограниченного пользования и специального назначения, как в российском законодательстве, для Кот-д'Ивуар не используется, но структурно, в границах населённых пунктов, фактически все типы схожи и наблюдаются [2–4].

Городские леса, распространённый вид объектов на территории населённых пунктов России, как участки сохранных коренных лесов в границах или специально посаженные для сохранения аборигенной флоры, реже в виде самозарастания. В городах Кот-д'Ивуар встречаются реже, иногда выполняют религиозные функции, некоторые леса и даже деревья обязаны своей сакральностью тому, что они служили местом убежища для определенного населения или местом сохранения божеств во время межэтнических войн, а другие посаженные деревья приобрели свою святость в связи с историческими событиями и часто связаны с поклонением предкам.

Парки, скверы, рощи, бульвары и другие объекты общего пользования лишь в городах России имеют иногда большие размеры, распространение и особенные элементы застройки – карусели, беседки, фонтаны и многое другое, а в Кот-д'Ивуар такими местами также являются места встречи собрания общины, местом информирования населения о реализации каких-то проектов, представленное деревом, часто, в прямом смысле, одним деревом, и называется «деревом переговоров». Прекрасный пример организации парка в г. Абиджане Даилья Флёр (Parc Dahlia Fleur). Особенности социального назначения таких участков однотипно для большинства стран мира – совместная рекреация, общение в границах таких объектов – это важная составляющая их роли для населения и туристов.

Озеленение территорий образовательных учреждений во многих странах носит, том числе просветительский характер, но не всегда ему соответствует. В России этому типу объектов вменяется ещё и охранно-санитарная роль (при правильной организации), хотя во многих жарких странах, в том числе в некоторых поселениях Кот-д'Ивуар занятия проводятся непосредственно под деревьями, тем самым вообще обеспечивается процесс передачи знаний.

Озеленение территорий учреждений здравоохранения несмотря на рекомендации по их созданию и содержанию в России, в основном мало им соответствуют, в Кот-д'Ивуар, таких требований нет и объекты зачастую не имеют места для размещения специального озеленения.

Озеленение в пределах жилой застройки имеет колоссальное значение и функция обеспечения пищей, сохраняется и специально культивируется в Кот-д'Ивуар. Во дворах домов часто высаживаются плодовые деревья (например, манго), но значительно реже организуются просто эстетически привлекательные зоны, как в России. Но и обратно аналогичные примеры можно привести, особенно сопоставимы территории частного сектора России – где польза от посаженных растений так же важнее красоты.

Озеленение территорий культовых объектов, храмов, монастырей, как отмечалось выше, для Кот-д'Ивуар часто является основой культа, а в России на значительной части таких объектов созданы неповторимые природно-архитектурные ансамбли, аптекарские огороды и другие формы уникальной ценности.

Санитарно-защитные зоны предприятий, промплощадки даже при наличии требований и обязательности соблюдения и в России не всегда соответствуют таковым, в Кот-д'Ивуар даже не соблюдаются санитарные разрывы (но в законодательстве о них есть информация), дома располагаются прямо за ограждениями предприятий.

Кладбища и их санитарно-защитные зоны объекты особого внимания, особенно в границах городов. Непосредственно их территории обычно озеленены, но вот соблюдение регламентов санитарных разрывов практически редко осуществляется в обоих государствах.

Содержание водоохраных зон рек, ручьёв, озёр, водохранилищ и морей представляет проблему во всех государствах. Они являются стабильно посещаемыми и интенсивно эксплуатируемыми, но, например для сохранения качества вод водных объектов, эти нагрузки нужно контролировать, а из-за ошибок содержания, ограничения доступа, это становится отдельной задачей. Наличие в границах водоохраных зон промышленных объектов, даже не портовых сооружений – актуальная действительность, как для России, так и для Кот-д'Ивуара. Примером правильного использования в Абиджане можно указать создание гольф-клуба на берегу лагуны Эбрье (Ébrié Lagoon), но там же огромные участки заняты трущобами и производственными площадками. Берега многих водных объектов России, на заметном протяжении несмотря на запреты, являются недоступными, даже в границах защитной береговой полосы, похожие проблемы отмечены и в Кот-д'Ивуар.

Озеленение при автомобильных дорогах сначала проектируется, условно создаётся, но потом гибнет из-за недостатка ухода или в результате аварий и так в обеих странах. Можно отметить, что визуально для Кот-д'Ивуар характерна скорее эстетическая составляющая озеленения дорог, чем санитарная – высадка редко стоящих, но красивоцветущих экземпляров по краю дороги или в разделительной полосе.

Специальное озеленение при железных дорогах в границах населённых пунктов фактически отсутствует или представлено озеленением других объектов. Построенное наземное метро в Абиджане проложено прямо около домов, без какого-либо санитарного ограждения, тем более насаждениями.

Озеленение санитарных разрывов при речных и морских портах, аэропортах, специально спроектированное для выполнения защитных функций фактически не отмечено, в Кот-д'Ивуар регламент для этих объектов в основном ссылается на шумовое загрязнение, но отмечает необходимость создания санитарного разрыва в 50 м, что явно не решит проблему этого вида загрязнения.

Озеленение при трубопроводах, под ЛЭП и других похожих объектах, несущих некоторую вероятность опасности и требующих специального отношения в Кот-д'Ивуар в границах городов не отмечены, так же, как и контролирующие документы. В России, как обычно, есть законы, но выполняются они с трудом и особенно в населённых пунктах, где земля стоит дороже запретов на использование этих участков.

В категории резервных территорий – неудобья и пустыри, условно неухоженные участки присутствуют практически во всех населённых пунктах. Их динамика различна, в Кот-д'Ивуар они быстрее зарастают или используются. В России зачастую превращаются в несанкционированные места складирования мусора, самозарастания, но в последние десятилетия они тоже быстрее стали включаться в оборот, преимущественно застраиваться.

Площадки для сбора мусора есть уже в большинстве стран, их оборудование и содержание обычно контролируется, фактически эти объекты являются самыми посещаемыми и не только жителями (например в России, городская администрация проводит рейды по контролю их содержания фактически ежемесячно), однако обычно представляют собой запущенные, вытопанные и замусоренные участки.

Гаражи, парковки, стоянки – это неотъемлемая часть российских городов, особенно гаражные кооперативы, которые в городах Кот-д'Ивуара фактически отсутствуют, но организуется стоянки у некоторых объектов (например, у порта в г. Абиджане на бульваре Пё (Boulevard de la Paix) также за счёт уменьшения площадей, занятых насаждениями.

Создание устойчивой структуры всех населённых пунктов в мире – основная задача местных органов власти, которым предоставляются инструменты и знания, необходимые для повышения их потенциала в подготовке к природным и техногенным катастрофам, в реагировании на них и восстановлении после них. Необходимая рамочная структура построения, особенно планирования безопасного и жизнестойкого города, предлагается несколькими подразделениями и программами ООН, а также уже реализованными пилотными проектами эко- и смарт-городов.

Окружающая среда веками считалась африканскими народами священной и управлялась с уважением. Основная часть обычаев или культурной самобытности в Африке берёт свое начало в вопросах окружающей среды. Базовое понимание ценности природных объектов для рационального использования проявляется и в России. Закрепление этих основ на законодательном уровне способствует оптимизации природопользования, особенно на территориях населённых пунктов, которые являются как основным местом проживания людей, так и главным местом проявления всех экологических угроз. Международное сотрудничество во всех направлениях и, особенно в вопросах сохранения качества среды обитания всех живых организмов Земли – это единственно верный путь дальнейшего устойчивого развития.

#### Список литературы

1. Хабитат III. Исследовательские доклады. Нью-Йорк, 2015. С. 13.
2. République de Côte d'Ivoire, Décret n 2005–261 du 21 juillet 2005 fixant les modalités d'application en matière d'urbanisme et d'habitat URL: <http://www.alertefoncier.org/bibliotheque/d/%C3%A9cret-n%C2%B02005-261-du-21-juillet-2005-fixant-les-modalit%C3%A9s-dapplication-en-mati%C3%A8re> (дата обращения: 05.05.2023).
3. République de Côte d'Ivoire, Ministère de l'assainissement et de la salubrité, projet d'assainissement et de la résilience urbaine : Cadre de Gestion Environnementale et Sociale (CGES), version finale février 2020, P. 238–245. URL: [https://onad.ci/upload/projets/paru\\_cges\\_finale\\_opt\\_approuve\\_bm\\_20200220\\_130753.pdf](https://onad.ci/upload/projets/paru_cges_finale_opt_approuve_bm_20200220_130753.pdf) (дата обращения: 05.05.2023).
4. Journal officiel de la République de Côte d'Ivoire, n° 22 du mardi 22 décembre 2020 : loi n° 2020–624 du 14 août 2020 instituant Code de l'Urbanisme et du Domaine foncier urbain. URL: <https://lexterra.ci/data/domaine/urbain/2020-08-14%20L2020-624%20Code%20Urbanisme.pdf> (дата обращения: 05.05.2023).

УДК 502.4:631.4(470.311)

### Видовой состав и структура живого напочвенного покрова в сосновых фитоценозах национального парка «Лосиный остров»

Д. В. Лежнев (lezhnev.daniil@yandex.ru)<sup>1,2</sup>, В. А. Меняева (vmenayayeva@bk.ru)<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана (Мытищинский филиал), Мытищи, Россия

<sup>2</sup>Институт лесоведения РАН, Московская область, с. Успенское, Россия

**Аннотация.** Национальный парк «Лосиный остров» располагается в северо-восточной части Московского региона. Видовое разнообразие напочвенного покрова является важным показателем структуры сообществ, с которым связана их продуктивность и устойчивость. Целью работы стало изучение видового состава и структуры живого напочвенного покрова в сосновых фитоценозах «Лосиного острова». Использованы данные, собранные на 6 постоянных пробных площадях в национальном парке. При изучении покрова основное внимание уделяли определению видового разнообразия и проективному покрытию растительности. Определено обилие видов по шкале Друде. В ходе исследования обнаружены 40 видов сосудистых растений, относящихся к 35 родам и 22 семействам. Общее проективное покрытие варьирует от 60 до 90 %, в среднем составляет 75–80 %. На большинстве изученных объектов доминирует *Oxalis acetosella* L. Распределение растений по эколого-ценотическим группам: неморальная – 35 %, бореальная – 18 %, высокотравная – 15 %, луговая – 15 %, нитрофильная – 10 %.

**Ключевые слова:** видовой состав, живой напочвенный покров, сосновые фитоценозы, эколого-ценотические группы, национальный парк «Лосиный остров».

### Введение

Особо охраняемые природные территории (ООПТ) выполняют важнейшую экологическую роль в сохранении и поддержании качества городской среды, на их основе формируется экологический каркас города, где они являются основными структурными элементами системы городского озеленения. Лесные экосистемы ООПТ выполняют множество разнообразных функций и влияют на качество городской среды, что обуславливает необходимость выявления индикаторов их экологического состояния. Сосновые фитоценозы наряду с словыми и березовыми господствуют среди лесных экосистем Московского региона, в данных условиях сосновые насаждения можно встретить практически в любых условиях произрастания [8]. Национальный парк «Лосиный остров» – один из первых национальных парков в Российской Федерации. Парк располагается в северо-восточной части г. Москвы и Московской области, начинаясь от парка «Сокольники» и заканчиваясь за МКАД у городов: Мытищи, Королёв, Щелково и Балашиха. Примерно 30 % территории парка находится в черте г. Москвы, при этом общая площадь составляет 11,6 тыс. га [6].

Лосиный остров является уникальным объектом для исследований по ряду причин: со всех сторон окружен территориями Московской агломерации, а также здесь расположен водно-болотный комплекс и притоки р. Яузы [Ошибка! Источник ссылки не найден.].



На территории Лосиног острова довольно давно установлен режим, близкий к заповедному, способствующий сохранению в его границах старовозрастных сосняков, рассматриваемых в данной статье. В связи с интенсивным воздействием Московской агломерации на сосновые фитоценозы в Лосином острове особое значение приобретают исследования направленные на изучение состояния живого напочвенного покрова (ЖНП).

ЖНП принято считать одним из важнейших индикаторов изменения лесорастительных условий в связи с рекреационным лесопользованием. Нижние ярусы растительности связывают элементы питания и вовлекают их в систему малого биокруговорота. В этом проявляется почвозащитная и ресурсосберегающая роль ЖНП, обеспечивающая стабильность биокруговорота элементов питания и повышение устойчивости фитоценоза [1; 5; 4].

ЖНП формируется на протяжении десятилетий проходя разные этапы развития, обусловленные изменением породного состава насаждений, климата и ростом рекреационной нагрузки и техногенного воздействия. Поэтому покров даже в одновозрастных лесах и одинаковых лесорастительных условиях будет неоднороден [15].

Видовое разнообразие напочвенного покрова является важным показателем структуры сообществ, с которым связана их продуктивность и стабильность. Чем богаче набор жизненных форм, тем полнее используются ресурсы среды, более разнообразны внутренние связи между видами, которые способствуют поддержанию динамического равновесия в сообществе. Травяные сообщества образуют экосистемы с наиболее интенсивным биологическим круговоротом, улучшают почвенные условия на местах произрастания [3].

Все вышесказанное подчеркивает актуальность данного исследования в ООПТ. Вместе с тем исследования напочвенного покрова урбанизированных лесов обусловлены их экологической и рекреационной ролью, так как данные экосистемы подвержены высокому уровню техногенного и антропогенного воздействия. Определение характеристик напочвенного покрова в сосновых фитоценозах имеет важное значение при оценке экологического состояния лесных экосистем и их биоразнообразия [7; 2].

Цель работы – изучить видовой состав и структуру живого напочвенного покрова в сосновых фитоценозах национального парка «Лосиный остров». Для достижения поставленной цели определены следующие задачи:

- установить и проанализировать флористический состав в сосновых фитоценозах;
- определить проективное покрытие живого напочвенного покрова;
- оценить распределение растительности по эколого-ценотическим группам.

### Методика исследования

На примере шести постоянных пробных площадей (ППП) рассмотрен видовой состав и структура живого напочвенного покрова. Объект исследования – живой напочвенный покров в сосновых фитоценозах, расположенных в национальном парке «Лосиный остров». При изучении ЖНП особое внимание уделяли определению видового разнообразия и проективного покрытия травянистой растительности по шкале Друде [10]. Все исследуемые объекты по функциональному зонированию отнесены к рекреационной зоне. Тип лесорастительных условий – свежие сложные субори (С<sub>2</sub>), тип леса – сосняк сложный (С. сл), бонитет – I-II (табл. 1).

Таблица 1

Таксационная характеристика сосновых фитоценозов на исследуемых объектах

№ ППП	Площадь, га	Состав древостоя	Возраст сосны, лет	Полнота, отн.	Запас, м <sup>3</sup> /га
3	0,25	96С4Б	72	0,83	500
5	0,25	87С10Б3Лп	77	0,76	470
11	0,25	96С4Б	87	0,82	616
14	0,25	61С35Б4Лп	87	0,47	261
35	0,25	67С21Б12Е	153	1,09	722
38	0,40	64С25Е11Б	163	0,66	635

Примечание: С – сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), Б – береза повислая (*Betula pendula* Roth.), Лп – лана мелколиственная (*Tilia cordata* Mill.), Е – ель европейская (*Picea abies* (L.) Н. Karst.).

Возраст главной породы на исследуемых участках варьирует от 72 до 163 лет, что позволяет оценить видовой состав, проективное покрытие и структуру ЖНП на различных стадиях развития соснового фитоценоза. Стоит отметить, что на ППП-14 проводилась выборочная санитарная рубка в 2013 г., что подтверждается низкими показателями по относительной полноте (0,47) и запасу (261 м<sup>3</sup>/га). Постоянные пробные площади, располагаются на территории 3 лесопарков «Лосино-Острова»: ППП-3 и ППП-5 – Лосиноостровский лесопарк; ППП-11 и ППП-14 – Лосино-Погонный лесопарк; ППП-35 и ППП-38 – Мытищинский лесопарк (рис. 1).



Рис. 1. Карта-схема расположения исследуемых объектов на территории «Лосино-острова»

### Результаты и обсуждение

В ходе исследований в сосновых фитоценозах национального парка обнаружено 40 видов сосудистых растений, относящихся к 35 родам и 22 семействам. Наиболее представленные семейства: *Rosaceae* 15 %, *Asteraceae* 13 %, *Lamiaceae* 10 %, *Balsaminaceae* 8 %, *Poaceae* 8 % (табл. 2).

Общее проективное покрытие по шкале Друде: ППП-3 – 70 %; ППП-5 – 80 %, ППП-11 – 60 %; ППП-14 – 60 %; ППП-35 – 90 %; ППП-38 – 80 %, в среднем для сосновых фитоценозов проективное покрытие примерно составляет 75–80 %. На большинстве изученных объектов доминирует *Oxalis acetosella* L. до 70 % с присутствием *Galeobdolon luteum* Huds. 20 %, *Glechoma hederacea* L. 20 %, *Athyrium filix-femina* (L.) Roth. 10–20 %. Также на некоторых ППП зарегистрированы *Glechoma hederacea* L., *Carex pilosa* Scop. и *Rubus idaeus* L., что является следствием антропогенного воздействия.

Эколого-ценотические группы видов сосудистых растений широко используются в современных экологических исследованиях – для решения задач оценки структурного разнообразия растительного покрова [12] (рис. 2–3).

На всех ППП отмечается присутствие представителей неморальной, бореальной, луговой и нитрофильной эколого-ценотических групп. Также наблюдается небольшая примесь других групп (водно-болотные и боровые виды). На исследуемых объектах, расположенных вблизи городской застройки (ППП-3 и ППП-14), отмечен наиболее разнообразный видовой состав напочвенного покрова. Влияние рекреации можно было проследить через наличие луговых и высокотравных видов, именно поэтому более нарушенные фитоценозы являются наиболее разнообразными с точки зрения набора экологических и фитоценотических групп и видового состава [13].

Таблица 2

Флористический состав живого напочвенного покрова на объектах исследования

№	Семейство	Число родов	Число видов	% от общего числа видов
1	<i>Rosaceae</i>	4	6	15
2	<i>Asteraceae</i>	5	5	13
3	<i>Lamiaceae</i>	4	4	10
4	<i>Balsaminaceae</i>	1	3	8
5	<i>Poaceae</i>	3	3	8
6	<i>Сyperaceae</i>	1	2	5
7	<i>Ranunculaceae</i>	2	2	5
8	<i>Apiaceae</i>	1	1	3
9	<i>Aristolochiaceae</i>	1	1	3
10	<i>Brassicaceae</i>	1	1	3
11	<i>Caryophyllaceae</i>	1	1	3
12	<i>Convallariaceae</i>	1	1	3
13	<i>Dryopteridaceae</i>	1	1	3
14	<i>Equisetaceae</i>	1	1	3
15	<i>Hypericaceae</i>	1	1	3
16	<i>Oxalidaceae</i>	1	1	3
17	<i>Papaveraceae</i>	1	1	3
18	<i>Plantaginaceae</i>	1	1	3
19	<i>Primulaceae</i>	1	1	3
20	<i>Trilliaceae</i>	1	1	3
21	<i>Urticaceae</i>	1	1	3
22	<i>Woodsiaceae</i>	1	1	3
<b>Всего</b>		<b>35</b>	<b>40</b>	<b>100</b>

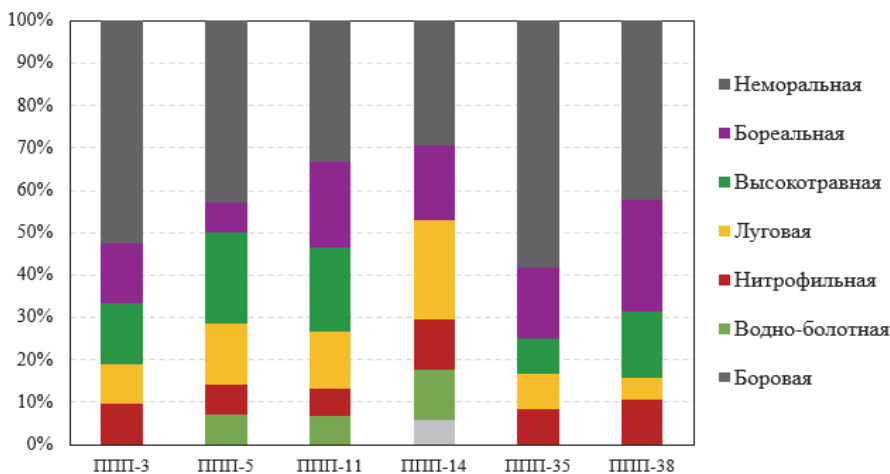


Рис. 2. Распределение живого напочвенного покрова на эколого-ценотические группы

По данным круговой диаграммы видно, что большую часть на исследуемых ППП занимают представители неморальной группы, которая составляет 35 %, бореальная – 18 %, высокотравная – 15 %, луговая – 15 %, нитрофильная – 10 %, что свидетельствует о процессе неморализации [9; 14]. Несмотря на высокий уровень рекреационной и техногенной нагрузки, оказываемой на почвенный покров сосновые фитоценозы «Лосинового острова» сохраняют признаки естественного объекта, соответствующего природным условиям Московского региона.

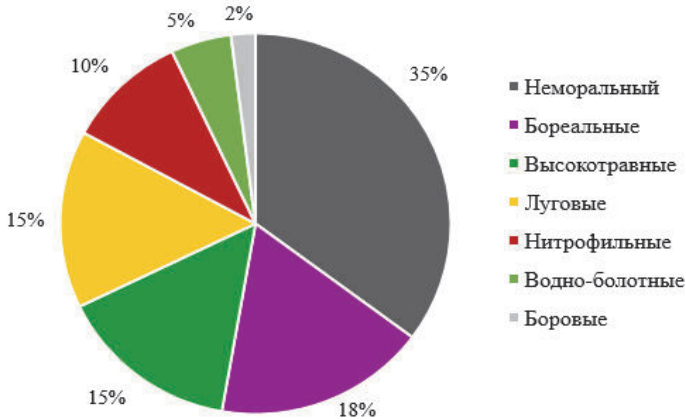


Рис. 3. Долевое распределение живого напочвенного покрова по ЭЦГ в сосновых фитоценозах Лосиног острова

### Заключение

1. В сосновых фитоценозах национального парка «Лосиный остров» видовой состав живого напочвенного покрова насчитывает 40 видов. На исследуемых участках присутствуют сосудистые растения из 35 родов и 22 семейств. В составе преобладают: *Rosaceae* 15 %, *Asteraceae* 13 %, *Lamiaceae* 10 %, *Balsaminaceae* 8 %, *Poaceae* 8 %.

2. Общее проективное покрытие ЖНП по шкале Друде, в среднем для сосновых фитоценозов «Лосиног острова» составляет 75–80 %. На большинстве изученных проб доминировала *Oxalis acetosella* L. до 70 %, другие виды – *Athyrium filix-femina* (L.) Roth, *Galeobdolon luteum* Huds., *Glechoma hederacea* L., *Carex pilosa* Huds. – составляют 10–20 %.

3. Распределение растений по ЭЦГ однородное и на большинстве ППП встречаются представители одинаковых групп. Значительную часть занимают представители неморальной группы, которая составляет 35 %, бореальная – 18 %, высокотравные растения – 15 %, луговые – 15 %, нитрофильные – 10 %.

### Список литературы

1. Беляева Н. А., Кузнецов Е. Н., Григорьева О. И. Изменение структуры живого напочвенного покрова под воздействием рекреационной нагрузки (на примере городского парка «Сосновка») // Аграрный научный журнал. 2015. С. 8–12.
2. Дубенок Н. Н., Кузьмичев В. В., Лебедев А. В. Результаты экспериментальных работ за 150 лет в Лесной опытной даче Тимирязевской сельскохозяйственной академии. М.: Наука, 2020. 382 с.
3. Коновалова И. С., Коновалов Д. Ю. Динамика живого напочвенного покрова на начальных этапах формирования лесных культур средней подзоны тайги // Лесной вестник. 2023. № 2 (27). С. 27–37.
4. Коротков С. А., Ухов М. В. Оценка устойчивости лесных сообществ города Троицк (Новая Москва) в условиях возрастающей антропогенной нагрузки // Вклад особо охраняемых природных территорий в экологическую устойчивость регионов: Современное состояние и перспективы. 2021. С. 44–53.
5. Коротков С. А. Смена состава древостоев и устойчивость защитных лесов центральной части Русской равнины: монография. М.: АНО «Доблесть эпох», 2023. 168 с.
6. Коротков С. А., Глазунов Ю. Б., Барсуков Л. Е. Историческая динамика и тенденции формирования лесов национального парка «Лосиный остров» // Лесной вестник. 2021. Т. 25, № 3. С. 5–13.
7. Костина Е. Э., Мамай А. В., Мошкина Е. В. Особенности структуры живого напочвенного покрова и биологической активности лесных почв в условиях урбанизации // Бореальные леса: состояние, динамика, экосистемные услуги. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2017. С. 148–150.

8. Динамика основных лесов в Серебряноборском участковом лесничестве Московской области / Д. В. Лежнев [и др.] // Вопросы геологии и комплексного изучения экосистем Восточной Азии : сб. докл. Благовещенск, 04–07 октября 2022 года. – Благовещенск : ИГиП ДВО РАН, 2022. – С. 217–219.
9. Динамика сосняков сложных в условиях ближнего Подмосквья / Д. В. Лежнев [и др.] // Организмы, популяции и сообщества в трансформирующейся среде : сб. материалов XVII Междунар. науч. экол. конф. Белгород, 22–24 нояб. 2022 г. Белгород : Белгород. Гос. нац. исслед. университет, 2022. С. 102–105.
10. *Лежнев Д. В., Меняева В. А., Кривошапов Н. Ф.* Структура сосняков сложных национального парка «Лосиный остров» // Актуальные проблемы развития лесного комплекса : материалы XX Междунар. науч.-техн. конф. Волгоград : Изд-во ВоГУ, 2022. С. 152–158.
11. *Мерзленко М. Д., Мельник П. Г., Сухоруков А. С.* Лесоводственная экскурсия в Лосиный Остров. М. : Изд-во МГУД, 2008. 128 с.
12. *Смирнов В. Э., Ханина Л. Г., Бобровский М. В.* Обоснование системы эколого-ценотических групп видов растений лесной зоны Европейской России на основе экологических шкал, геоботанических описаний и статистического анализа // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический. 2006. Т. 111, № 2. С. 36–47.
13. *Телеснина В. М., Семенюк О. В., Богатырев Л. Г.* Биологический круговорот в городских насаждениях на примере ООПТ города Москвы // Почва как связующее звено функционирования природных и антропогенно-преобразованных экосистем : материалы V Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 90-летию кафедры почвоведения и оценки земельных ресурсов ИГУ и Дню Байкала, Иркутск, 23–29 августа 2021 г. Иркутск : Изд-во ИГУ, 2021. С. 324–327.
14. *Уранов А. А., Смирнова О. В.* Восточноевропейские леса: история в голоцене и современность. М. : Наука, 2004. 479 с.
15. *Чижов Б. Е., Шишкин А. М., Кулясова О. А.* Сукцессии живого напочвенного покрова в культурах сосны обыкновенной, созданных на вырубках разнотравных березняков лесостепи Западной Сибири // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2016. № 3. С. 96–102.

## ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

УДК 556.536(571.53)

### Гидравлическое моделирование зон затопления на территории г. Тулуна при подъёме уровня воды в р. Ие

Т. И. Антонова, Е. Н. Сутырина (ensut78@gmail.com)

*Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Россия*

**Аннотация.** В ходе исследования оценены границы зон на территории гор. Тулуна, затопляемых в результате разливов р. Ии, с применением различных подходов, в том числе гидравлического моделирования в программе HEC-RAS. Результатом работы стали картографические материалы, демонстрирующие зоны затопления территории г. Тулуна, затопляемой при максимальных расходах р. Ии обеспеченностью 0,2, 1, 2, 5 и 10 %, также произведена количественная оценка площадей зон затопления на территории г. Тулуна. Полученные результаты имеют практическую значимость, так как оценка границ зон затопления позволяет осуществлять городское планирование с учетом рационального использования прирусловых территорий и защиты от негативного воздействия вод.

**Ключевые слова:** зона затопления, река Ия, Тулун, гидравлическая модель, HEC-RAS.

Река Ия образуется слиянием рек Хиаи и Холбы, стекающих с северо-восточных склонов Восточного Саяна и впадает в Иинский залив Братского водохранилища. Длина реки – 484 км, площадь водосбора – 18 100 км<sup>2</sup>, общее падение – 934 м, средний уклон – 1,9 ‰. Водный режим реки Ии характеризуется весенне-летними половодьями, высокими летними дождевыми паводками и малым зимним стоком. Июнь – август – самые многоводные месяцы, на которые приходится почти 60 % годового речного стока [4; 5; 7].

Она протекает через Нижнединский, Тулунский, Куйтунский и Братский районы и городской округ Тулун. В верховьях имеет горный характер, ниже долина реки расширяется, течение становится спокойным. Впадает в Окинский залив Братского водохранилища, подпор от которого распространяется на 320 км. До заполнения водохранилища являлась левым притоком впадающей в Ангару р. Оки.

На р. Ие регулярно происходят наводнения. В 1984 г. в г. Тулуна произошло наводнение, в зоне затопления оказались 300 жилых домов. В июне 2006 г. после почти недельного дождя уровень воды в реке значительно поднялся. Дома на берегу реки были затоплены, часть федеральной дороги Р-255 и мост через р. Тульчик (ныне ручей Канин) также были затоплены. В результате этого стихийного бедствия погиб один человек. В 2007–2008 гг. по берегам р. Ии были отсыпаны дамбы. 28 июня 2019 г. уровень воды в р. Ие достиг 1389 см и превысил критическое значение почти на 7 м. Дамбы, отсыпанные в 2007–2008 гг. и имеющие высоту в 2,5–3,0 м, оказались неспособны предотвратить затопление жилых строений, в зоне затопления оказалось 887 домов.

Целью исследования является определение зон затопления на территории г. Тулуна при подъёме уровня воды в р. Ие с применением гидравлического моделирования. Актуальность

исследования подтверждается большим интересом многих авторских коллективов к моделированию процессов формирования и прохождения паводков на р. Ие и зонированию г. Тулун по повторяемости наводнений и по степени опасности затопления [1–7].

В настоящее время существует разнообразие программные пакеты, разработанные специально для гидравлического моделирования, которые упрощают ввод данных и имеют удобный графический интерфейс для отображения информации, облегчая интерпретацию полученных результатов. В рамках данной работы для оценки зон затопления использовались средства программы HEC-RAS – свободно распространяемого программного обеспечения, которое отличается широким кругом пользователей и является одним из наиболее популярных пакетов для гидравлического моделирования во всем мире. HEC-RAS – позволяет моделировать поток в естественных руслах рек или искусственных каналах для определения уровня воды. Результаты моделирования дают возможность исследовать прохождение паводков и паводочий различной обеспеченности, определять зоны затопления.

Для оценки зоны затопления с различной обеспеченностью, в Иркутском УГМС были получены расходы расчетной обеспеченностью 0,2, 1, 2, 5, 10 %.

С помощью программы HEC-RAS было смоделировано прохождение расходов различной обеспеченности при нестационарном режиме потока и построены зоны затопления при расходах расчетных обеспеченностей 0,2, 1, 2, 5, 10 %. Результаты моделирования представлены на рис. 1–5.

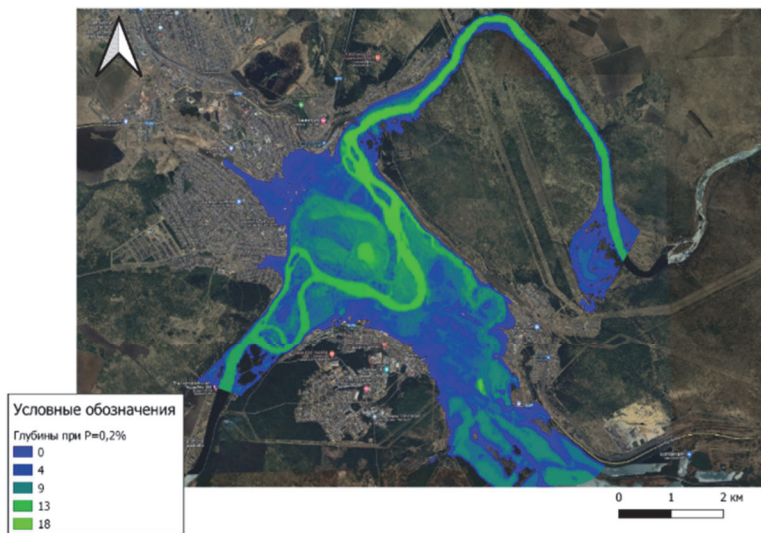


Рис. 1. Зона затопления при расходах расчетной обеспеченностью 0,2 %

Для и картографирования зон затопления различной обеспеченности на территории г. Тулуна и вычисления их площадей был использован инструментарий программы QGIS. Результаты оценки зон затопления различной обеспеченности при разливе р. Ии, которые представлены на рис.6 и 7.

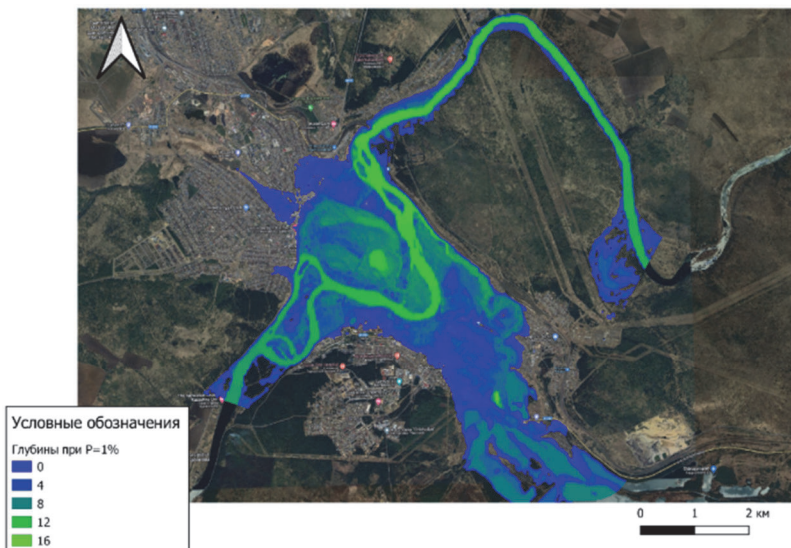


Рис. 2. Зона затопления при расходах расчетной обеспеченностью 1 %

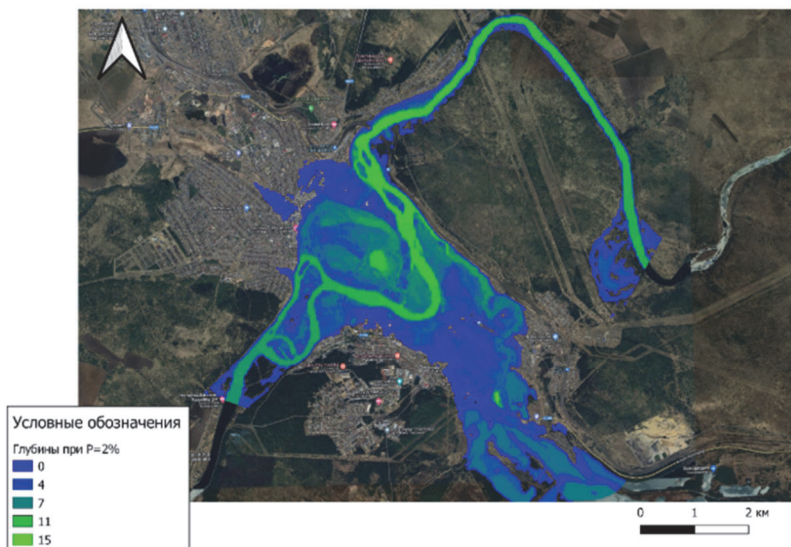


Рис. 3. Зона затопления при расходах расчетной обеспеченностью 2 %



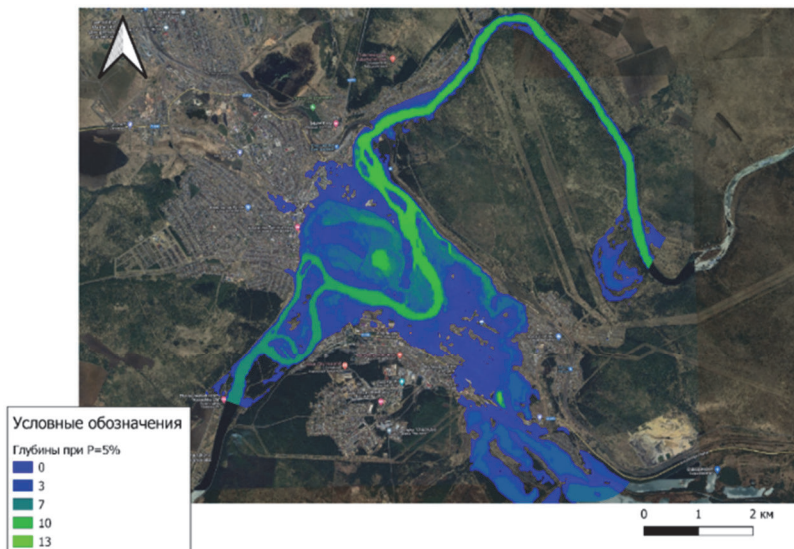


Рис. 4. Зона затопления при расходах расчетной обеспеченностью 5 %

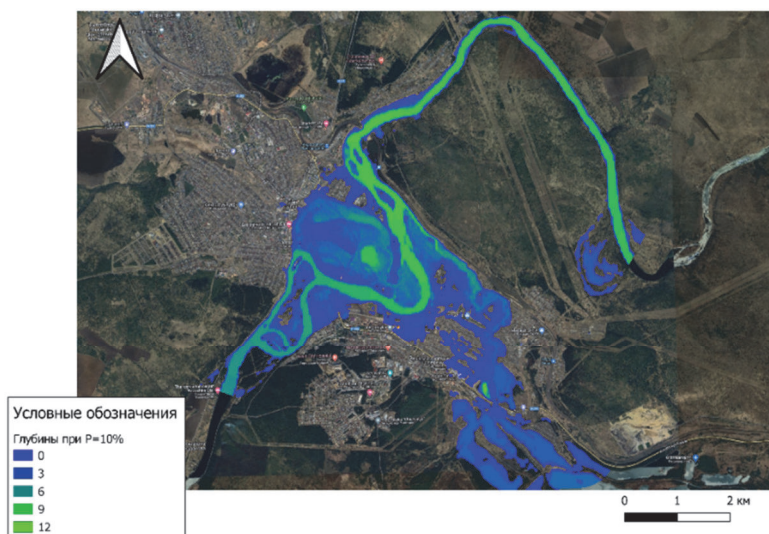


Рис. 5. Зона затопления при расходах расчетной обеспеченностью 10 %

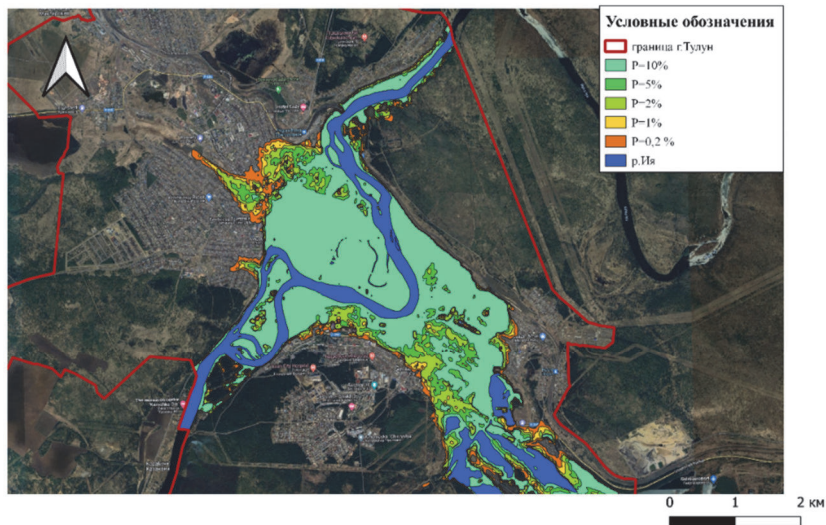


Рис. 6. Зоны затопления г. Тулуна различной обеспеченности

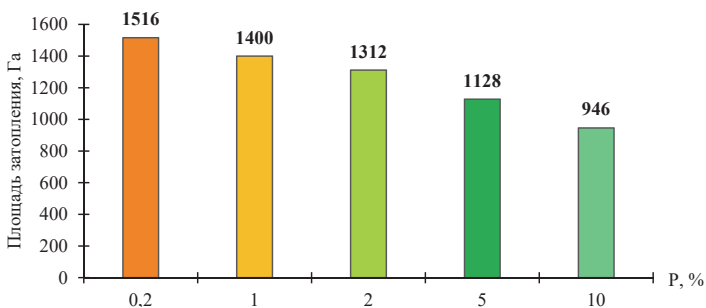


Рис. 7. Площадь зон затопления на территории г. Тулуна различной обеспеченности при разливе р. Ия

Применение гидравлического моделирования упрощает трудоемкую оценку зон затопления и позволяет уйти от подхода, основанного на переносе уровня с использованием неизменного для всего участка реки значения уклона, при котором игнорируются многие особенности рельефа долины реки.

В ходе исследования оценены границы зон на территории г. Тулуна, затопляемых в результате разливов р. Ия, с применением различных подходов, в том числе гидравлического моделирования в программе HEC-RAS.

Результатом работы стали картографические материалы, демонстрирующие зоны затопления территории г. Тулуна, затапливаемой при расходах р. Ия расчетной обеспеченности 0,2, 1, 2, 5 и 10 %, также произведена количественная оценка площадей зон затопления на территории г. Тулуна.

Полученные в работе результаты имеют практическую значимость, так как оценка границ зон затопления позволяет осуществлять городское планирование с учетом рационального использования приурловых территорий и защиты от негативного воздействия вод.

### Список литературы

1. Парыгина Е. А., Слепнева Е. В., Кичигина Н. В. Зонирование малых городов Иркутской области по степени опасности затопления // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2023. Т. 45. С. 80–94. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2023.45.80>
2. Слепнева Е. В., Парыгина Е. А., Кичигина Н. В. Генезис наводнений в Иркутской области // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2020. Т. 34. С. 96–112. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2020.34.96>
3. Estimates of Peak Flow of the Iya River during the Extreme Flood in 2019 / M. V. Bolgov [et al.] // Russian Meteorology and Hydrology. 2020. Vol. 45, Iss. 11. P. 783–790. <https://doi.org/10.3103/S1068373920110059>
4. Kalugin A. Process-Based Modeling of the High Flow of a Semi-Mountain River under Current and Future Climatic Conditions: A Case Study of the Iya River (Eastern Siberia) // Water. 2021. Vol. 13, N 1042. <https://doi.org/10.3390/w13081042>
5. Modelling maximum discharge of the catastrophic flood at the Iya River (Irkutsk region, Russia) in 2019 / A. Fedorova [et al.] // E3S Web of Conferences: IV Vinogradov Conference «Hydrology: from Learning to Worldview» in Memory of Outstanding Russian Hydrologist Yury Vinogradov. 2020. Vol. 163, N 01004. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016301004IV>
6. Sutyryna E. N., Antonova T. I. SRTM Data Application for Extrapolation of Rating Curves (On the Example of the Iya River at the Tulun Gauge) // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2022. Т. 41. С. 140–150. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2022.41.140>
7. Tsygankova M. V. Landscape structure of the Iya river basin // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 629, N 012054. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/629/1/012054>

УДК 630.111(234.85)

## Современные тенденции изменений климата Уральских гор

С. Ж. Вологжина (svologzhina@gmail.com), К. А. Лощенко (loshchenko@bk.ru),  
И. В. Латышева (ababab1967@mail.ru)

*Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия*

**Аннотация.** Статья посвящена статистическому анализу временной динамики температуры воздуха, атмосферного давления, средней скорости ветра у поверхности Земли и общего количества облаков в северной, средней и южной части Уральских гор по данным метеорологических станций и выходным данным реанализов. Уральский федеральный округ является крупнейшим промышленным и сельскохозяйственным регионом России. В наименьшей степени исследован климатический режим Уральских гор. Анализ климатических данных показывает, что за последние десятилетия на территории Уральских гор происходит заметное потепление климата, что может оказывать как позитивное, так и негативное воздействие на развитие региона. Наблюдаемые климатические изменения могут привести к более частым экстремальным погодным явлениям, таким как засухи и сильные ветры, в холодный период года – снегопады и сильные метели, которые могут повлиять на экономику и жизнь населения.

**Ключевые слова:** климат, аномалии, температура воздуха, атмосферные осадки, скорость ветра, наветренные склоны, подветренные склоны, Уральские горы.

## Введение

Уральские горы служат препятствием для смещения воздушных масс с Атлантического океана на территорию азиатской части России. Существенные различия климата на восточном и западном склонах гор объясняются различиями в их экспозиции и влиянием мезомасштабных атмосферных процессов. В результате, Зауралье, которое расположено на подветренных склонах Уральских гор, характеризуется меньшим количеством облачности и атмосферных осадков, как следствие, более морозной зимой с малым количеством снега и более жарким и засушливым летом. Наибольшая изменчивость погодных условий на Урале связана в основном с вторжениями холодных арктических воздушных масс [2].

Преобладающим типом воздушных масс являются континентальные умеренные и арктические, но, возможно также влияние тропического воздуха и атлантических воздушных

масс, которые трансформируются над данной территорией в процессе их перемещения. Важным климатообразующим фактором является высота над уровнем моря. Климат высокогорий значительно прохладнее, чем равнинных территорий. Это объясняется тем, что с высотой температура воздуха и содержание водяного пара уменьшаются, поэтому в горах даже в летние месяцы может выпадать снег [1].

Екатеринбург стал первым пунктом инструментальных метеорологических наблюдений на востоке Уральского хребта. Первые метеорологические наблюдения были проведены в период Великой Северной экспедиции в 1734 г. под руководством академика И. Г. Гмелина в Монетном дворе на плотине в Екатеринбурге с 1 по 14 января 1734 г., а затем переданы маркшейдеру Андрею Татищеву. В октябре 1835 г. А. Гумбольдт и А. Я. Купфер открыли магнитно-метеорологическую обсерваторию (ЕММО) в Екатеринбурге. Благодаря инструментальным метеорологическим измерениям на территории Уральского федерального округа за последние 180 лет удалось получить достоверные данные о климатических изменениях [3].

### Результаты исследования

В работе предпринята попытка проанализировать климатический режим северной, центральной и южной части Уральских гор. Для этого были рассчитаны аномалии средних месячных и средних годовых значений различных метеорологических величин в северной (62°с.ш., 59°в.д.), средней (57°с.ш., 60°в.д.) и южной части (54°с.ш., 58°в.д.) Уральских гор по данным NCEP/NCAR 1 за период 1948–2022 гг. В многолетней динамике средних годовых температур воздуха (рис. 1–3) с начала 2000-х годов отчетливо прослеживается тенденция повышения температур, которая лишь в отдельные годы сопровождается отрицательными температурными аномалиями.

Наибольшие положительные аномалии средних годовых температур воздуха отмечаются в настоящее время в северной и средней части Уральских гор (~2 °С), что почти вдвое выше максимальных значений по югу Урала.

В холодный период года (ноябрь–март) примерно с 2005 г. во всех регионах Уральских гор отмечается увеличение сумм выпавших осадков, наиболее выраженное в средней и северной части Уральских гор. В теплый период года (апрель – сентябрь), наоборот, отмечается тенденция к увеличению засухливости. С начала 2000-х она проявилась по северу Урала, а начиная с 2015 г. в его средней и южной частях.

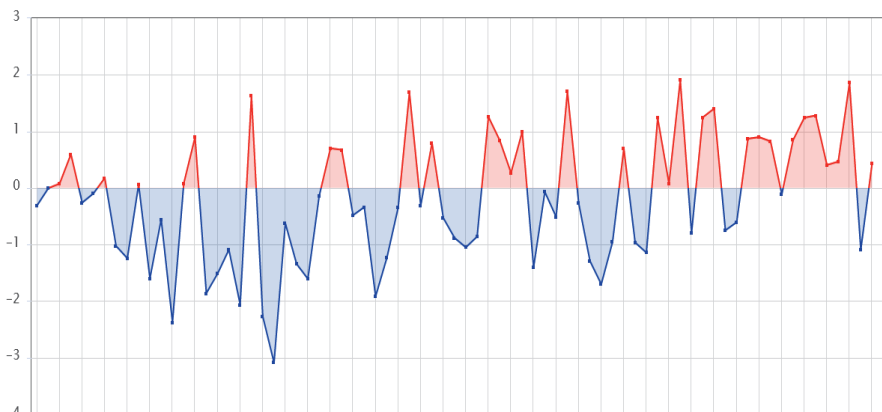


Рис. 1. Изменение средней годовой температуры воздуха в северной части Уральских гор в 1948–2022 гг. по данным NCEP/NCAR 1

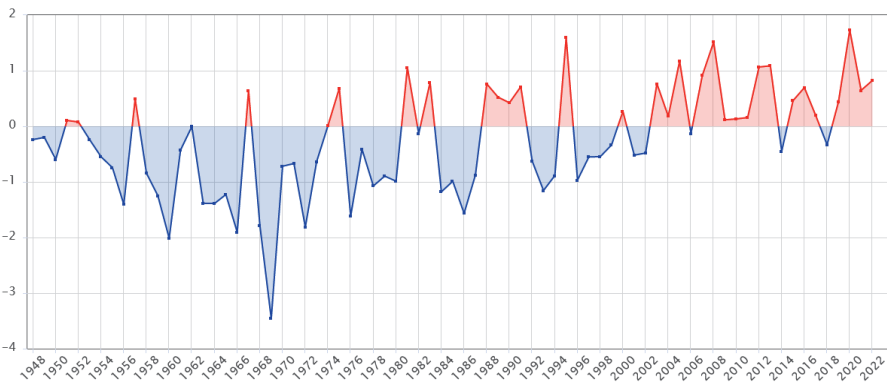


Рис. 2. Изменение средней годовой температуры воздуха в средней части Уральских гор в 1948–2022 гг. по данным NCEP/NCAR 1

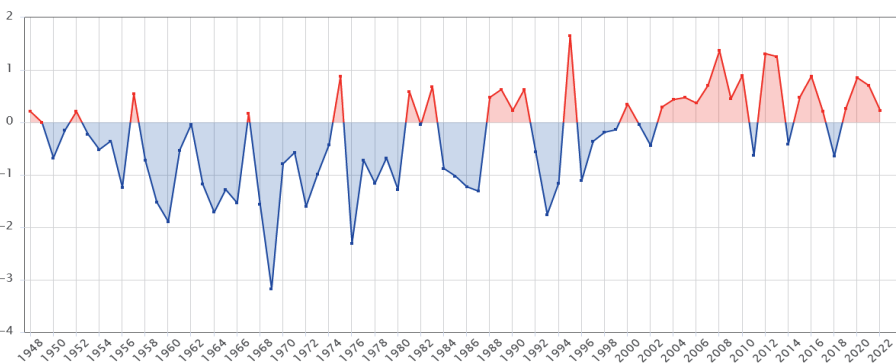


Рис. 3. Изменение средней годовой температуры воздуха в южной части Уральских гор в 1948–2022 гг. по данным NCEP/NCAR 1

В последние десятилетия в теплый период года происходит уменьшение общего количества облаков, а с 2016 г. эта тенденция прослеживается и в холодный период года. Уменьшение количества облачности в теплый период года хорошо согласуется с уменьшением количества выпавших осадков и подтверждает тенденцию усиления засушливости климата Уральских гор.

В холодный период года, когда увеличивается количество атмосферных осадков на фоне роста средней температуры воздуха, приземное давление имеет тенденцию к уменьшению на территории Уральских гор. В теплый период года, когда уменьшается количество облаков и атмосферных осадков на фоне роста средних температур воздуха, эти тенденции сопровождаются увеличением приземного давления на территории Уральских гор.

Кроме того, в последние десятилетия в северной части Уральских гор в холодный период года и по югу Урала в холодный и теплый периоды года наблюдается тенденция ослабления ветра. Тогда как в средней части Урала средние скорости ветра в последние годы незначительно возрастают.

Выявленные в работе тенденции уменьшения сумм атмосферных осадков в теплый период года на фоне увеличения средней скорости ветра на Среднем Урале могут привести к

увеличению частоты и интенсивности лесных пожаров, и, как следствие, нанести значительный ущерб экономике региона. Кроме того, наблюдаемые изменения климата могут повлиять на биологическое разнообразие лесов, изменение характеристик лесных экосистем и т. д. Быстрые темпы повышения температур могут привести к смещению границ распространения древесных пород в более северные районы. В условиях увеличения периодов засухи происходит уменьшение урожайности хвойных пород древесины, что в свою очередь ведет к снижению прибыли от лесозаготовок. Повышение средних температур воздуха в горных районах может привести к таянию и сокращению ледников. В свою очередь, это может привести к изменению водного режима рек и озер и повлиять на экосистемы. Уменьшение количества атмосферных осадков в теплый период года может вызвать снижение уровня воды в реках и водохранилищах, и оказать негативное воздействие на производство гидроэлектроэнергии.

Выявленные в работе тенденции увеличения засушливости климата в теплый период года могут сопровождаться снижением урожайности сельскохозяйственных культур в предгорьях Уральских гор. В наибольшей степени увеличение периода засухи может привести к сокращению посевных площадей и уменьшению урожайности зерновых культур. Однако современные климатические изменения могут создать и новые возможности для развития сельского хозяйства, такие как увеличение в условиях повышения средних температур воздуха продолжительности вегетационного периода, расширение ареала выращиваемых культур и т. д. Потепление климата может стать благоприятным для выращивания теплолюбивых растений, таких как виноград и орехи.

Изменения климата могут привести к увеличению числа опасных погодных явлений. В период 2010–2020 гг. их среднее число за год варьирует от 17 в Перми, 19 в Тюмени, 23 в Екатеринбурге и Челябинске и 25 в Уфе.

### **Заключение**

Современные тенденции изменений климата Уральских гор характеризуются следующим. С начала 2000-х годов на территории Уральских гор прослеживается тенденция повышения средних годовых температур воздуха с наибольшими темпами потепления в северной и средней части Урала, что почти вдвое выше темпов роста температур по югу Урала.

В холодный период года на фоне повышения средних температур воздуха увеличивается количество атмосферных осадков, что сопровождается понижением приземного давления, т. е. циклогенезом на территории Уральских гор. В теплый период года на фоне повышения средних температур воздуха происходит уменьшение количества облаков и атмосферных осадков, которое сопровождается повышением приземного давления, т. е. антициклогенезом на территории Уральских гор. В северной части Уральских гор в холодный период года и по югу Урала в холодный и теплый периоды года отмечается тенденция ослабления ветра, а в его средней части средние скорости ветра незначительно повышаются.

Необходимо отметить, что полученные выводы по данным реанализов хорошо согласуются с тенденциями изменения климата по данным метеорологических станций, что указывает на возможность их использования для изучения региональных особенностей климата горных районов Урала.

Выявленные климатические изменения на территории Уральских гор могут привести к увеличению повторяемости экстремальных погодных явлений, поэтому на региональном уровне необходимо проводить более подробные исследования, что позволит лучше понимать причины региональных изменений климата и разработать оптимальные стратегии адаптации.

### **Список литературы**

1. Гусева Н. А., Гусев Ю. М. Климатические изменения и проблемы гидрологии на Урале // Водные ресурсы. 2020. Т. 46, № 5. С. 639–646.
2. Иванов Е. В., Тюленев М. А. Климатические изменения и географические особенности экологического состояния территории Уральского федерального округа // Экология и промышленность России. 2021. Т. 21, № 10. С. 12–17.
3. Кудрявцев А. А., Кудрявцева А. А. Климат Уральского региона: современное состояние и тенденции изменения // Актуальные проблемы географии и геоэкологии : материалы Междунар. науч.-практ. конф. Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2021. С. 49–56.

УДК 551.58(470+571)

## Сравнительная оценка изменений границ климатических сезонов года на европейской и азиатской территории России

Д. А. Джапаридзе ([daraalekseevna38@gmail.com](mailto:daraalekseevna38@gmail.com))<sup>1</sup>, Е. А. Кочугова ([Kochugovae@mail.ru](mailto:Kochugovae@mail.ru))<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия

<sup>2</sup>Институт географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, Иркутск, Россия

**Аннотация.** Проанализированы изменения границ климатических сезонов года на примере европейской и азиатской частей России. Выполнен сравнительный анализ продолжительности естественных климатических сезонов года за два периода 1961–1990 и 1991–2020 гг. Оценена динамика продолжительности естественных климатических сезонов на примере метеорологических станций, расположенных в азиатской (АЧР) и европейской (ЕЧР) частях России в пределах широтной зоны 46–67° с шагом 5°. Выявлено, что в последние десятилетия зима в ЕЧР стала наблюдаться позднее на 15 дней, а в АЧР – раньше на 3 дня, чем в 1961–1990 гг. Наступление весны и лета в европейской части более ранее (в среднем на 2 дня), а в азиатской части, наоборот, позднее. Начало осеннего сезона в АЧР не изменилось, а в ЕЧР стало наблюдаться позднее, по сравнению с 1961–1991 гг.

**Ключевые слова:** климатический сезон, температура воздуха, даты перехода через заданные пределы, продолжительность сезона года, азиатская часть России, европейская часть России.

По оценке Росгидромета, скорость потепления на территории Российской Федерации 2,5 раза больше темпов повышения глобальной температуры. В среднем она составляет 0,51 °C за 10 лет [1; 3]. Из этого следует значительная уязвимость России с точки зрения глобальных изменений климата. Поскольку быстрое потепление может привести к серьезным последствиям, таким как увеличение частоты и интенсивности лесных пожаров, рост уровня моря, сокращение ледников, к резкому изменению режима летнего половодья, ухудшению экологической ситуации в регионе и пр.

Географическое распределение коэффициентов линейных трендов среднегодовой и среднесезонных температур на территории России указывает на неоднородность темпов потепления [4]. В этой связи целесообразно рассмотреть особенности изменений температурного режима на примере различных физико-географических регионов.

В табл. 1 приведены средние годовые и сезонные аномалии температуры у земной поверхности за последние несколько лет над европейской частью России и Средней Сибирью. Последняя характеризуется наиболее интенсивным ростом приземной температуры воздуха. Таблица 1 составлена по материалам «Докладов об особенностях климата на территории Российской Федерации» за 2010–2020 гг. [7]. Анализируя данные, можно отметить, что годовые аномалии температуры приземного воздуха стали увеличиваться, начиная с 2016 г. Данные таблицы показывают, что, в целом, по территории России стремительное потепление отмечается в весенний период (0,63 °C/10 лет). Сравнительный анализ территорий позволил выявить следующие особенности: рост температуры в 1,5 раза интенсивнее в азиатской части, чем в европейской; летом, наоборот, потепление наблюдается сильнее в европейской части. Потепление в осенний период на АЧР выражается слабее, чем в ЕЧР.

В статье для исследования дат устойчивого перехода температуры через определенный порог были использованы данные архива ВНИИГМИ–МЦД [6], а именно, были взяты среднесуточные значения температуры воздуха за два периода с 1961 по 1990 гг. и 1991 по 2020 гг.

Отбор станций соответствовал условиям:

- а) метеорологические станции располагаются в пределах широт 46–67 ° северного полушария с шагом 5°;
- б) пары станций, в пределах одного широтного круга, должны располагаться, соответственно в европейской и азиатской частях России;
- в) отобранные станции находятся на равнинной территории, высота над уровнем моря, которых не превышает 170 м.

Таблица 1

Средние годовые и сезонные аномалии температуры приземного воздуха для различных физико-географических районов России ( $\nu T$  – отклонения от средних за 1961–1990 гг.;  $s$  – среднее квадратическое отклонение за 1961–1990 гг.) (составлена по материалам [7])

Годы	Год		Зима		Весна		Лето		Осень	
	$\nu T$ , °C	$s$ , °C	$\nu T$ , °C	$s$ , °C	$\nu T$ , °C	$s$ , °C	$\nu T$ , °C	$s$ , °C	$\nu T$ , °C	$s$ , °C
Европейская часть России										
2010	1,26	-	-2,15	-	1,81	-	3,64	-	1,53	-
2011	0,97	-	-1,40	-	0,70	-	1,73	-	0,97	-
2012	1,17	-	1,12	-	1,88	-	1,64	-	2,44	-
2013	1,82	-	1,23	-	0,35	-	1,84	-	1,90	-
2014	1,26	0,94	2,14	2,33	2,43	1,44	0,95	1,00	-0,20	0,90
2015	2,07	0,94	3,35	2,30	2,11	1,44	0,53	1,00	1,46	1,04
2016	1,75	0,94	4,27	2,30	2,80	1,44	2,31	1,00	-0,41	1,04
2017	1,41	0,94	1,14	2,30	0,65	1,44	0,46	1,00	1,49	1,04
2018	1,34	0,94	3,30	2,35	-0,16	2,35	1,52	1,01	1,92	1,04
2019	1,88	0,96	2,65	2,35	2,29	1,45	0,09	1,01	1,20	1,04
2020	2,86	0,96	6,82	2,35	2,20	1,45	1,35	1,01	2,64	1,04
Средняя Сибирь										
2010	0,29	-	-2,43	-	1,00	-	0,76	-	1,80	-
2011	2,62	-	-0,53	-	4,79	-	1,62	-	2,03	-
2012	1,34	-	1,10	-	2,82	-	2,81	-	1,35	-
2013	1,57	-	-1,76	-	1,23	-	1,17	-	2,39	-
2014	1,32	1,15	0,58	2,78	4,74	1,66	1,28	0,65	-0,09	1,80
2015	2,81	1,15	4,23	2,74	2,99	1,66	1,69	0,65	1,18	1,8
2016	1,88	1,15	5,17	2,74	3,11	1,66	1,03	0,65	0,03	1,80
2017	2,56	1,15	3,00	2,74	4,38	1,66	1,63	0,65	0,59	1,80
2018	1,92	1,15	1,60	2,81	1,45	2,81	1,79	0,65	2,28	1,82
2019	2,28	1,14	3,47	2,81	3,63	1,69	2,34	0,65	1,72	1,82
2020	4,48	1,14	6,01	2,81	5,43	1,69	1,96	0,65	4,39	1,82

Примечание: Значения средних квадратических отклонений ( $s$ ) начали фиксироваться в докладах с 2014 г.

В результате было сформировано пять пар станций: Каневка (Мурманская область) и Верхоянск (Республика Саха), Троицко-Печорск (Республика Коми) и Якутск (Республика Саха), Первомайское (Томская область) и Кострома (Костромская область), Акбулак (Оренбургская область) и Мазаново (Амурская область), Красный Яр (Приморский край) и Ремонтное (Ростовская область).

Календарные сезоны года не всегда совпадают с климатическими сезонами. Деление календарного года на зиму, весну, лето и осень не может отражать естественную изменчивость климата. Поэтому под естественными климатическими сезонами, как правило, понимаются «обособленные этапы годового цикла климатического компонента географической среды, характеризующиеся однотипностью, единой общей направленностью климатообразующих факторов и явлений и внешне выражающиеся в определенных взаимосвязанных становлениях других компонентов среды, изменениях аспектов ландшафтов» [5].

Для оценки продолжительности сезонов года необходимы строгие критерии, привязанные к температуре [2]. Обычно за зимний сезон принимают промежуток времени, в течение которого отмечается устойчивая отрицательная температура, а за летний – период времени со среднесуточной температурой выше 15 °C. Под переходными сезонами (весна, осень) понимают временные интервал, когда среднесуточная температура воздуха меняется в пределах от 0 до 15 °C [2; 5]. Таким образом, начало сезона и его конец определяют по переходам средней суточной температуры воздуха через определённые пределы.

Существует большое количество методик определения даты устойчивого перехода температуры через определенный предел. В данном исследовании определение дат устойчивого перехода через пороговые значения проводилось индивидуально для каждого года. Причем



днем устойчивого перехода считался день, после которого значение среднесуточной температуры не переходило пороговую отметку в сторону повышения или понижения в течение 5 сут, либо эти переходы были кратковременными и незначительными.

Поскольку изменение температуры в азиатской и европейской частях России происходит разными темпами, следовательно, это должно найти отражение в продолжительности сезонов года. Для оценки изменений было проведено сравнение за различные интервалы времени; определение дат начала и окончания климатических сезонов года осуществлялось за две исторические климатологические нормы с 1961 по 1990 г. и с 1991 по 2020 г. Результаты представлены в сводных табл. 2 и 3.

Анализ табл. 2 показал, что средние многолетние даты начала сезонов в ЕЧР смещаются в пределах от 2 до 15 дней. Наиболее существенные изменения происходят с датами начала зимнего сезона. В последние 30 лет зима в ЕЧР стала наступать на 15 дней позднее. Также в более поздние сроки наблюдается начало осени. Однако эти изменения незначительны и составляют 4 дня. Чуть более ранее наступление сезона (на 2 дня) характерно для весеннего и летнего сезонов.

В АЧР тенденции изменения дат начала климатических сезонов года другие, за исключением зимы. Здесь в последние три десятилетия даты начала зимы также смещаются на более поздние сроки, но это смещение составляет всего 3 дня.

Начало весеннего и летнего сезонов в азиатской части России стало поздним, в отличие от европейской. Особенно значительные изменения отмечают летом. Если с период с 1961 по 1990 г. переход температуры через 15 °С в среднем фиксировался 29 мая, то в период с 1991 по 2020 г. эта дата стала наступать на 21 день позднее (19 июня). Выявленная тенденция хорошо проявила себя в теплый сезон 2023 г., когда в последней декаде мая (20 мая 2023 г.) в Иркутске выпал снег. Наступление весны сместилось на более поздние сроки незначительно (4 дня). Дата начала осеннего сезона в оба периода совпала. Средняя многолетняя дата начала осени не изменилась, она по-прежнему наступает в АЧР –14 сентября.

Таблица 2  
 Средние даты начала и окончания сезонов года на европейской части России  
 за периоды с 1961 по 1990 г. и 1991 по 2020 г.

Сезоны года	Даты начала		Даты окончания	
	1961–1990 гг.	1991–2020 гг.	1961–1990 гг.	1991–2020 гг.
Зима	28.10	13.11	07.04	05.04
Весна	08.04	06.04	27.05	18.05
Лето	21.05	19.05	17.09	21.09
Осень	18.09	22.09	02.11	11.11

Таблица 3  
 Средние даты начала и окончания сезонов года на азиатской части России  
 за периоды с 1961 по 1990 г. и 1991 по 2020 г.

Сезоны года	Даты начала		Даты окончания	
	1961–1990 гг.	1991–2020 гг.	1961–1990 гг.	1991–2020 гг.
Зима	16.10	19.10	21.04	18.04
Весна	22.04	26.04	19.05	22.05
Лето	29.05	19.06	17.08	13.09
Осень	14.09	14.09	17.10	19.10

Далее мы проанализируем изменения дат окончания сезонов года. В целом их колебания не превышают 27 дней. Сравнивая даты окончания климатических сезонов за два периода, следует отметить, что тенденции смещения дат на обеих территориях происходит почти синхронно, исключение составляет весна. Весной эти тенденции противоположны. Так, в последние десятилетия окончание весны в ЕЧР стало наблюдаться раньше на 9 дней, а в АЧР – позднее на 3 дня, чем в 1961–1990 г.

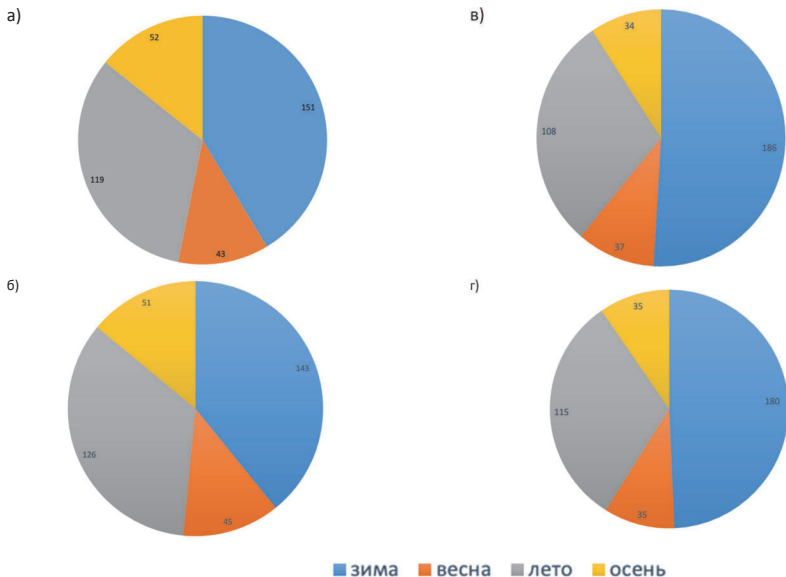
Летний сезон в ЕЧР в последние десятилетия заканчивается на 5 дней позднее, чем в предыдущий период. В АЧР он стал задерживаться почти на месяц (27 дней). Высокие температуры в азиатской части наблюдаются до середины сентября, а в период с 1961 по 1990 г. они наблюдались лишь до 17 августа.

Даты окончания зимнего сезона как в ЕЧР, так и в АЧР почти не изменились. На обеих территориях зима стала заканчиваться раньше на 2–3 дня.

Колебания дат начала и окончания климатических сезонов, приводят к изменению их продолжительности. На рис. 1 представлены осредненные по территориям продолжительности сезонов.

Диаграммы хорошо иллюстрируют, что в европейской части России почти на месяц (35 дней) увеличилась продолжительность зимнего сезона, по сравнению с периодом 1961–1990 г. Это произошло, в основном, за счет сокращения длительности осени. Аналогичные тенденции характерны и для азиатской территории.

Рассматривая изменения продолжительности естественных климатических сезонов на станциях отдельно колебания могут быть более значительными, но тенденции сохраняются.



а) ЕЧР за период 1961–1990 г.; б) АЧР за период 1961–1990 г.;  
в) ЕЧР за период 1991–2020 г.; г) АЧР за период 1991–2020 г.

Рис. 1. Средние продолжительности сезонов года (дни) на ЕЧР и АЧР за различные временные периоды с 1961 по 2020 г.

#### Список литературы

1. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Основной том. М. : Росгидромет, 2014. 1004 с.
2. Гурьянов Д. А. Статистический анализ продолжительности сезонов года в Санкт-Петербурге // Известия Российского государственного педагогического университета им. А. И. Герцена. 2013. Т. 207. С. 107–113.
3. Доклад о климатических рисках на территории Российской Федерации. СПб., 2017. 106 с.
4. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2022 год. М., 2023. 104 с.
5. Малинин В. Н., Гурьянов Д. А. К оценке продолжительности сезонов года в Санкт-Петербурге // Известия Русского географического общества. 2018. Т. 162. С. 252–256.

6. Специализированные массивы // Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных : сайт. URL: <http://aisori-m.meteo.ru/climspr/> (дата обращения: 10.10.2021).

7. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). Ежегодный «Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации». URL: <http://www.igce.ru/performance/publishing/reports/> (дата обращения: 19.02.2023).

---

УДК 556.51 (517.3)

## **Структурно-гидрографический анализ речных систем для оценки возникновения опасных гидрологических явлений в бассейне оз. Хубсугул**

Е. А. Ильичёва (lenail3663@mail.ru)<sup>1,2</sup>, М. В. Павлов (maksimpavlov\_v@mail.ru)<sup>1</sup>,  
А. А. Ушкалов (lolitamen@mail.ru)<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Институт географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, г. Иркутск, Россия

<sup>2</sup>Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Россия

**Аннотация.** Рассмотрен водосборный бассейн оз. Хубсугул и речные системы суббассейнов с точки зрения проявления опасных гидрологических процессов на основе структурно-гидрографического и морфометрического анализа. Проведено сравнение гидрометрических характеристик отдельных бассейнов в условиях средней и максимальной водности в бассейне озера по данным топографических карт и цифровой модели высот, что позволило определить структурно-гидрографические параметры, имеющие устойчивые связи со среднемноголетним и экстремальным стоком, при которых есть риски возникновения опасных гидрологических явлений. Выделены морфометрические и структурные параметры речных систем, индицирующие потенциальное формирование селевых потоков разных типов и с экстремальным проявлением паводков при предельных значениях стока без учета ландшафтных и климатических характеристик. Построена карта-схема опасных гидрологических явлений для бассейна оз. Хубсугул, даны морфометрические и структурные параметры, характеризующие выделяемые районы. Структурно-гидрографический подход для потенциально опасных гидрологических явлений в речных системах бассейна оз. Хубсугул ранее не применялся.

**Ключевые слова:** водосбор, Хубсугул, речная система, структура речной сети, водно-эрозийная система, максимальный сток, сель, паводок.

### **Введение**

В бассейне оз. Хубсугул формируется сток р. Селенги – одного из значимых притоков Байкала. К настоящему времени гидрологическая изученность района недостаточна, гидрологические посты на реках бассейна отсутствуют, за исключением постоянных наблюдений на р. Эгийн-Гол – н. п. Хатгал и Хантай, которые дают интегральную характеристику водности в бассейне и основные черты гидрологического режима в верхней и средней части Эгийн-Гола [3]. Оценки гидрологического режима, стока воды и наносов рек, питающих котловину озера, представлены по результатам проведенных во второй половине прошлого века советско-монгольских комплексных экспедиций [7; 8].

Рассматривая речную систему (РС) как результат исторического развития сложного взаимодействия потока воды и подстилающей поверхности, обусловленного особенностями влагооборота, тектоники и геологического строения, сопротивляемости поверхности эрозионному расчленению, мы имеем огромную закодированную информацию не только о «каркасе» речного бассейна, но и о территории его водосбора. Свойства речных систем являются предметом исследований структурной гидрографии, получившей значительное развитие в отечественной науке [4].

В представленном исследовании рассматриваются основные морфометрические параметры бассейна и речных систем с точки зрения применимости структурно-гидрографического анализа, с целью поиска индикаторов строения речных систем для оценки возникновения опасных гидрологических явлений.

## Материалы и методы

В работе Б. И. Гарцмана «Возможности моделирования речной сети на основе ГИС-инструментария и оцифровки модели рельефа» [2] отмечено, что развитие геоинформационных технологий и средств дистанционного зондирования привело к созданию цифровых рельефа (ЦМР) в виде общедоступных глобальных покрытий среднего масштаба и высокого качества.

На основе ЦМР при помощи инструментов ArcMap была построена водно-эрозионная сеть, границы суббассейнов, выделяемых в бассейне оз. Хубсугул, рассчитаны морфометрические параметры, произведены гидрометрические, структурно-гидрографические расчеты и статистическая обработка данных, также проведена визуализация полученных результатов в виде картосхем. Аналогичные действия были проведены с топографическими картами 1:200 000 масштаба (наиболее близкий масштаб к ЦМР) для получения информации по речной сети суббассейнов. При сравнении данных, полученных с ЦМР, и топографических карт представляется возможность оценить возрастание водоносной способности водно-эрозионной сети, когда учитываются практически вся гидрографическая сеть бассейна в пределах указанных масштабов, в сравнении с речной.

Для целей данного исследования использованы следующие параметры: количество водотоков, впадающих в озеро, площадь суббассейнов, уклон, длина главной реки, длина водно-эрозионной сети, длина речной сети и магнитуда. Магнитуда речной сети или порядок по Шриву вычисляется по схеме Хортон-Стралера, т. е. суммируется количество водотоков 1-ого порядка. Значения магнитуды показывают количество элементарных «входов», иными словами, мощность внешнего отдела речной системы. Также используются значения кратности магнитуд водно-эрозионной сети (ВЭС) по отношению к речной, показывающие во сколько раз одна превышает другую.

## Результаты

Для района исследований в ряду опасных гидрологических явлений наиболее типично прохождение экстремальных паводков, в том числе грязекаменных и водокаменных селевых паводков и сльвов. По материалам комплексной экспедиции 1971–1972 гг. [7; 8] и инженерно-геологическим условиям, приведенным в Атласе оз. Хубсугул [1] селевая активность на склонах котловины озера наблюдается повсеместно: на западном борту котловины 1 раз в 5–7 лет, на восточном – 1 раз в 10–11 лет. В работе А. А. Рогозина [9] показана цикличность селевой активности, оказывающая влияние на уровень воды в озере и изрезанность береговой линии, причем наиболее значимое воздействие селевых потоков в устьях рек отводится западному побережью.

Детальные исследования селеобразования и обобщения фондовых и ранее изданных материалов в байкальской рифтовой зоне посвящены работы последних лет С. А. Макарова [5; 6; и др.], где показаны природные условия и предпосылки развития современных и древних селей характерных для региона.

Наряду с климатическими и ландшафтными факторами следует рассматривать морфометрические и структурно-гидрографические особенности бассейнов. Селевая деятельность характерна для рек с короткими водосборами малой площади (длина главной реки первые километры, площадь до 3–5 км<sup>2</sup>), значительный уклон (15–35°), речные системы низких порядков (I–III по Хортону-Стралеру), временный и эпизодический, реже постоянный сток.

По топографическим картам (1:200 000) в котловину оз. Хубсугул впадает немногим более 90 водотоков различного ранга. Анализ цифровой модели показывает водно-эрозионную сеть, учитывая тальвеги эпизодических водотоков, срабатывающих в многоводные периоды и поверхности неруслового стока, принадлежащие склонам малых водосборов. В таблице 1 проведено районирование речных систем по периодичности стока с использованием топографических карт и цифровой модели.

Наибольшую площадь до 81 % занимают суббассейны постоянных речных систем, так как рр. Их-Хоро-Гол, Ханх-Гол, Алаг-Цар-Гол и другие, более 60 рек разных порядков.

Таблица 1

Периодичность стока речных систем бассейна оз. Хубсугул

Тип водотока	Количество водотоков, шт.	Площадь суббассейнов, км <sup>2</sup>	Доля площади суббассейнов от водосбора оз. Хубсугул, %
Постоянные	63	4033	81,3
Временные	28	326	6,6
Эпизодические	140	358	7,2
Нерусловой сток	-	243	4,9
Всего	231	4960	100

Площадь водосборов временных водотоков, сток с которых осуществляется периодически в зависимости от сезона года и водности периода составляет 6,6 %. В бассейне Хубсугула наибольшее количество эпизодических водотоков (140 шт.) и поверхностной нерусловой стока, при небольшой площади – 358 и 243 км<sup>2</sup> соответственно. Территориальное расположение водотоков с эпизодическим стоком, в большинстве случаев, приурочено к западному борту Хубсугульской впадины. Таким образом, при рассмотрении морфометрических характеристик отдельных бассейнов, обнаруживается связь некоторых параметров строения речных систем с определенными частями водосборного бассейна Хубсугула, что и позволило районировать эту территорию (табл. 2, рис.), в качестве основного критерия выбрано превышение значений магнитуд водно-эрозионной над русловой сетью (кратность магнитуд при средней и повышенной водности).

Таблица 2

Средние значения морфометрических и структурно-гидрографических параметров

№ района	Количество РС	Площадь бассейна, км <sup>2</sup>	Уклон, °	Длина			Магнитуда		
				Главной реки, км	ВЭС, км	РС, км	ВЭС	РС	Кратность
1	191	6,5	18	2,8	5,2	3,5	2,2	1,56	2,5
2	33	86	5	14	63	43	30	7,8	6
3	7	87	2	13,3	64	30	36	4,8	до 14

Водотоки и их водосборы первого района характеризуются наибольшими уклонами: в среднем 18°, иногда достигают 45°, при небольшой длине главной реки, что обусловлено сбросовым строением западного борта Хубсугульской впадины. Речные системы рр. Хонты-Гол, Мунгарга-Гол и другие относительно протяженные реки (до 27 км), состоят из двух, а иногда из трех РС, объединяющиеся в нижнем течении водно-эрозионной сетью. Площади таких водосборов достигают 190 км<sup>2</sup>. В описываемом районе в периоды повышенной водности магнитуда возрастает в 2,5 раза. Район представлен 191 водотоком, в основном временного и эпизодического стока, большая часть РСпадает в оз. Хубсугул с запада. На восточном побережье к этому району из постоянных водотоков относится р. Шогнул-Гол.

В район № 2 объединяются самые большие водосборы и протяженные реки, к примеру, р. Их-Хоро-Гол с площадью до 571 км<sup>2</sup>, длина главной реки 58 км и р. Ханх-Гол, дренирует территорию в 193 км<sup>2</sup> и длиной 26 км. Днища долин этих рек пологие и покатые, в среднем 5°, но на отдельных участках, в притоках, крутизна достигает 15°. Длина и магнитуда ВЭС превышает значения РС в 1,5 раза и в 6 раз соответственно, что говорит о способности речной системы быстро собирать атмосферные осадки и трансформировать в русловой сток с большой площади. Для рек этого района характерны высокие до экстремальных паводки, когда речные воды выходят на поймы и затопливают днища долин. Образование мощных селевых потоков здесь маловероятно ввиду большой протяженности речной сети и малых уклонов основных рек. При таких соотношениях длины и уклона резко теряется энергия потока.

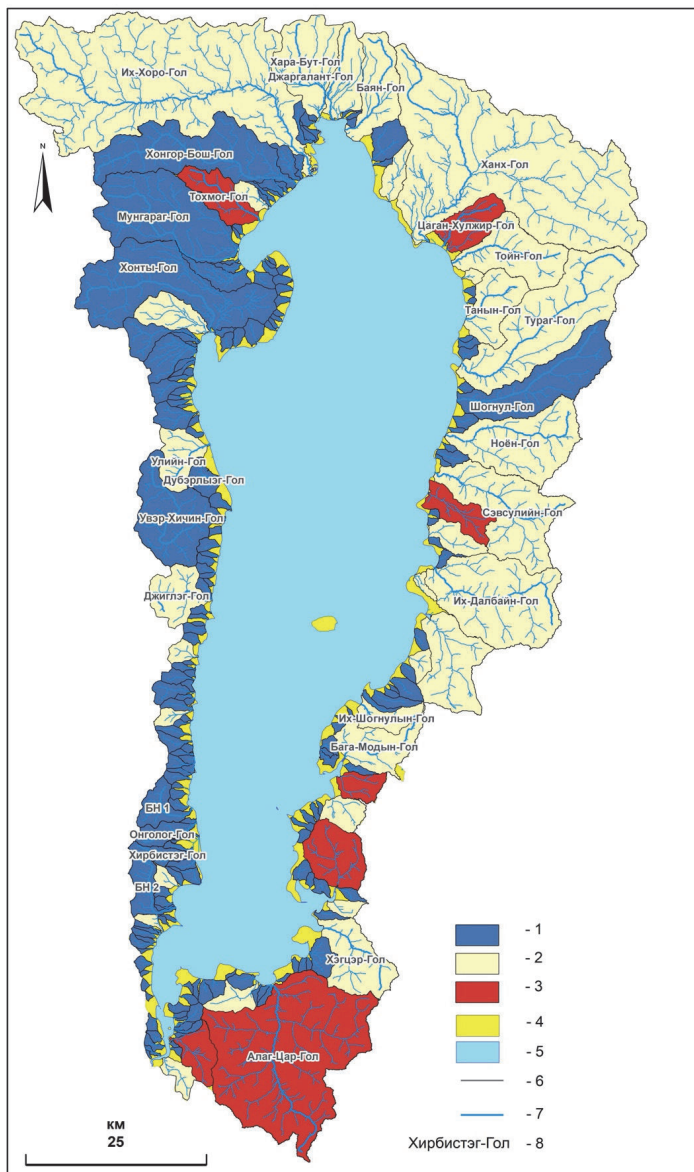


Рис. Кратность магнитуды водно-эрозионной и речной сети  
 Кратность, количество раз: район 1 – 1–2,5; район 2 – 2,5–6; район 3 – 6–14.  
 4 – малые водосборы неруслового стока; 5 – зеркало оз. Хубсугул;  
 6 – граница водосбора оз. Хубсугул; 7 – русловая сеть; 8 – название реки

По осредненным морфометрическим параметрам реки третьего и второго района сходны. Наиболее крупная река этого района р. Алаг-Цар-Гол (площадь 372 км<sup>2</sup>, длина 31 км). Падение днищ долин составляет 20–80 м на 1 км и относится к слабологим или пологим склонам. Длина водно-эрозионной сети возрастает в отношении к русловой в два раза, а магнитуда до 14 раз. В этом районе присутствуют как эпизодические водотоки, так и постоянные. Здесь проходят экстремальные паводки с обширными зонами затоплений в низовьях рек.

### Выводы

Предпринята попытка использования структурно-гидрографического подхода к выделению потенциально опасных зон в долинах рек с селевыми проявлениями и экстремальными паводками. В бассейне оз. Хубсугул выделяется район с короткими водосборами, крутым падением днищ и малыми значениями магнитуды, как показатель селеопасности. А также районы с экстремальными паводками, где при повышенной водности длина водно-эрозионной сети в два раза превышает русловую, а магнитуда увеличивается более, чем в десять раз.

*Исследование проведено в рамках НИР АААА-А21-121012190059-5.*

### Список литературы

1. Атлас озера Хубсугул: Монгольская Народная Республика / под ред. Б. А. Боговяленского. М. : Главное управление геодезии и картографии при совете министров СССР, 1989. 118 с.
2. Гарцман Б. И. Опыт гидрографического и ландшафтного описания речного бассейна на основе ГИС и геоанных // Метеорология и гидрология. 2014. № 6. С. 67–79.
3. Гидрологический режим рек бассейна р. Селенги и методы его расчета. Л. : Гидрометеоздат, 1977. 235 с.
4. Ильичева Е. А. Закономерности строения речных систем юга Восточной Сибири и их использование при расчетах и картографировании водных ресурсов : дис. ... канд. геогр. наук. Иркутск, 2001. 167 с.
5. Катастрофические селевые потоки, произошедшие в поселке Аршан Тункинского района республики Бурятия 28 июня 2014 г. / А. С. Макаров [и др.]. Иркутск : Изд-во ИГ СО РАН им. В. Б. Сочавы, 2014. 111 с.
6. Макаров А. С. Сели Прибайкалья. Иркутск : Изд-во ИГ СО РАН им. В. Б. Сочавы, 2012. 111 с.
7. Природные условия и ресурсы Прихубсугулья в МНР / под ред. Н. Содном, Н. Ф. Лосев. М. : Недра, 1973. 355 с.
8. Природные условия и ресурсы Прихубсугулья (Монгольская Народная Республика). Труды Советско-Монгольской комплексной экспедиции. Вып. 2 / под ред. Ж. Батменха, Н. Ф. Лосева. Иркутск ; Улан-Батор, 1976. 509 с.
9. Рогозин А. А. Береговая зона Байкала и Хубсугула: морфология, динамика и история развития. Новосибирск : Наука, 1993. 168 с.

УДК 551.55(571.53)

## Изменчивость повторяемости различных градаций скорости ветра в Иркутской области

Е. А. Кочугова (Kochugovae@mail.ru)<sup>1,2</sup>, А. М. Синькова (bff2997@gmail.com)<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия

<sup>2</sup>Институт географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, Иркутск, Россия

**Аннотация.** Ветер относится к основным метеорологическим величинам, которые формируют климатический режим местности, влияя на все виды человеческой деятельности. Сведения о ветровых параметрах имеют большое практическое значение в таких отраслях как сельское хозяйство, энергетика, транспорт, промышленное и жилищное строительство и т. д. В статье рассмотрено изменение ветрового режима на территории Иркутской области за многолетний период (1966–2020 гг.). Изучена динамика сильных, умеренных и слабых скоростей ветра. Выявлен рост доли слабых ветров (до 5 м/с) и уменьшение повторяемости умеренных и сильных. Рассмотрено пространственно-временное распределение сильных ветров (более 15 м/с). Ежегодно сильные ветры наблюдаются на станциях Инга, Большое Голоустрое и Ушканий остров. Однако число случаев с сильными ветрами после 2000 г. значительно сократилось. Определены сезоны и годы, когда сильный ветер имел наибольшую повторяемость. Изучена годовая изменчивость скорости ветра на примере отдельных метеорологических станций Иркутской области.

**Ключевые слова:** сильный ветер, Иркутская область, скорость ветра, максимальный порыв.

## Введение

Глобальной тенденцией изменений режима ветра на сегодняшний день является понижение скоростей приземного ветра в обоих полушариях [1; 3]. Ученые ещё не пришли к единому выводу о причинах таких изменений вследствие отсутствия длинных рядов наблюдений, но всё же выделяют несколько предполагаемых причин. К повсеместному уменьшению скорости ветра могут приводить крупномасштабные изменения атмосферной циркуляции (например, смещение центров действия атмосферы) и увеличение шероховатости земной поверхности (например, разрастание лесных массивов и урбанизация). Также к возможным причинам относят изменения методики измерений скорости ветра, условий окружающей среды вокруг станции, на которой проводят наблюдения, изношенность или перемещение приборов и пр. По некоторым же исследованиям с 2013 г. в глобальном масштабе снижение скорости ветра прекратилось, поэтому было выдвинуто предположение о наличии декадных циклов.

На территории Российской Федерации, согласно докладу [4], наблюдается уменьшение скорости ветра. Среднегодовая скорость ветра особенно сильно уменьшилась на внутриматериковых станциях (в 1,5–2 раза), а на побережье Северного Ледовитого океана и Охотского моря уменьшение не столь значительно (в 1,2–1,3 раза) [2].

В европейской части России уменьшение скорости ветра в среднем происходит со скоростью 0,6 м/с за 10 лет. Однако есть территории, где наблюдается обратная тенденция, к ним относятся южные районы Республики Башкортостан и Оренбургская область. Здесь согласно исследованию [5], начиная с 2010 г., наблюдается рост скорости ветра примерно 1 м/с за 10 лет. Смена тенденций также отмечена на территории Краснодарского края, Адыгеи, где в последние 10–12 лет, наряду со значениям средней стала проявляться тенденция к росту и максимальной скорости ветра [4].

Следует обратить внимание, что скорость изменения зависит от сезонов. К примеру, в работе [3] показано, что на большей части территории России (особенно на ЕЧР и в Западной Сибири) скорость ветра продолжает уменьшаться, но сильнее эта тенденция проявляется зимой и весной (0,5–1,0 м/с за 10 лет, в отдельных районах до 1,5 м/с за 10 лет). Летом и осенью линейный тренд скорости ветра равен минус 0,1–0,5 м/с за 10 лет. Значимых тенденций в изменении средней скорости ветра на азиатской части не выявлено [2; 7], а на северо-востоке страны скорости даже растут. Изменения, в Забайкальском крае до 2000-х гг., характеризовались уменьшением средней и максимальной скоростей ветра, после чего обе характеристики начали активно расти, причем сильнее это выражалось в изменениях, именно, максимальной скорости.

Одновременно с уменьшением скорости ветра на большинстве метеорологических станций произошло ее перераспределение по градациям: повторяемость штилей уменьшилась, слабых ветров (2–3 м/с) увеличилась, повторяемость градаций 6–7 м/с и всех последующих градаций повсеместно уменьшилась. В большинстве районов России повторяемость градаций 6–7 м/с уменьшилась в 2–10 раз, особенно сильно (7–10 раз) в Алдане, Астрахани, Благовещенске, Вилюйске, Ергогачене, Иркутске, Ханты-Мансийске и др. [4]. Причина различия тенденций заключается в большой протяженности Российской Федерации и ее многообразии физико-географических условий.

## Материалы исследования

Сильный ветер относится к опасным явлениям. Он нередко служит причиной ущерба в строительстве, энергетике, коммунальном хозяйстве и пр. По оценкам [6] только прямой риск сильных ветров в Сибирском Федеральном округе составляет около 4 млрд руб. в год.

В этой связи изучение изменения ветрового режима, и, особенно, пространственно-временной изменчивости сильного ветра приобретает особую актуальность. В данной статье проводится оценка динамики повторяемостей ветров различных градаций на территории Иркутской области.



Исходным материалом для исследования послужили данные 8-ми срочных наблюдений за скоростью ветра на 19 метеорологических станциях Иркутской области: Наканно, Ика, Перевоз, Казачинское, Максимово, Червянка, Тайшет, Верхняя Гутара, Иркутск, Баяндай, а также Ербогачен, Ершово, Братск, Карам, Жигалово, Балаганск, Ушканий остров, Инга и Большое Голоустное. Для составления временных рядов за период с 1966 по 2020 г. был использован архив ВНИИГМИ-МЦД [9]. Схема расположения станций представлена на рис. 1.

### Результаты исследования

В статье подробно рассматривались три градации скорости ветра, это деление было выполнено на основе [8] согласно которому в слабым относились ветры до 5 м/с, к умеренным – от 6 до 14 м/с, а сильным считался ветер 15 м/с и более.

Рассчитав повторяемость указанных градаций, было получено, что основную долю от всех случаев с ветром в каждом месяце составляет градация слабого ветра. Ее повторяемость в среднем равна 90 %. Наиболее часто слабые ветры в Иркутской области наблюдаются в июле-августе. На метеорологических станциях Братск и Верхняя Гутара в эти месяцы наблюдаются, исключительно, слабый ветер. В апреле-мае доля слабых ветров в среднем для всех рассматриваемых станций уменьшается до 88 %, что составляет годовой минимум.

Повторяемость градации «умеренный ветер» (6–14 м/с) составляет малую долю (в среднем около 10 % от всех случаев), исключая станции Большое Голоустное и Ушканий остров, где умеренный ветер наблюдается чаще (табл. 1). Данные таблицы показывают, что для большинства метеостанций наибольшая повторяемость рассматриваемой градации приходится на конец весны (апрель-май). Исключение составляют метеорологические станции Братск, Ушканий остров и Большое Голоустное, где максимум доли ветра со скоростью 6–14 м/с отмечается в октябре-ноябре.



Рис. 1. Используемые в работе метеорологические станции Иркутского УГМС

Таблица 1

Годовое распределение повторяемостей умеренных ветров, %

Название станции	Месяцы											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Наканно	4	4	5	9	8	5	3	3	6	7	6	6
Червянка	12	12	18	23	20	10	4	5	10	12	12	10
Тайшет	9	9	13	17	14	7	3	3	6	9	12	10
Верхняя Гутара	4	4	3	3	3	1	0	1	1	3	4	4
Иркутск	2	2	4	6	4	1	1	1	1	2	2	1
Ика	3	3	6	10	11	5	3	3	4	5	4	3
Перевоз	6	4	4	6	6	3	1	1	3	4	6	7
Максимово	4	4	7	9	7	3	1	1	2	3	4	3
Качачинское	4	4	7	10	9	4	2	2	2	4	4	3
Баяндай	1	1	3	5	6	3	1	1	1	1	1	2
Ербогачен	1	1	2	5	5	3	2	2	2	2	2	1
Ершово	6	7	9	10	9	4	3	3	4	6	7	6
Братск	5	3	4	5	4	1	0	1	4	11	11	6
Карам	2	3	6	9	10	5	2	2	3	3	3	2
Жигалово	3	3	6	10	9	4	1	1	3	3	3	2
Балаганск	2	2	5	11	12	6	4	5	7	7	5	2
Ушканий остров	23	17	18	21	16	11	11	14	28	38	51	45
Инга	3	4	7	11	11	7	4	5	6	6	4	4
Большое Голоустное	38	26	25	29	30	23	19	25	31	30	42	52

Вклад в общее число случаев с ветром в каждом месяце градации с сильным ветром (15 м/с и более) наименьший, часто он близок к нулю. Более 1 % повторяемости ветров данной градации отмечается только на станциях Инга и Ушканий остров. На рис. 2 показано распределение случаев с сильным ветром на этих станциях за различные десятилетия. В качестве периода с большой повторяемостью сильных ветров можно выделить временной интервал с 1981 по 1990 г. В этот период на станции Ушканий остров ветер со скоростью 15 м/с и более был зафиксирован 381 случай, а на станции Инга – 133, что соответственно составляет 32 и 27 % от общего числа случаев с сильным ветром на этих станциях. Начиная с 1991 г. повторяемость сильного ветра стала уменьшаться.

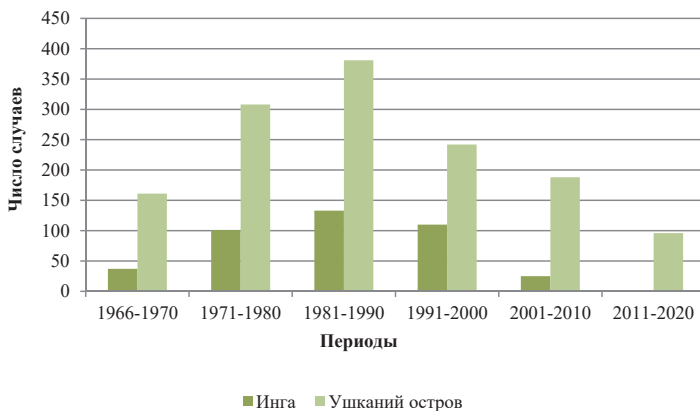


Рис. 2. Распределение числа случаев с сильным ветром по десятилетиям

В отдельных исследованиях указано, что градации ветра за многолетний период претерпели изменения. Перераспределение градаций скоростей ветра в Иркутской области было рассмотрено на примере станций, где за период с 1966 по 2020 г. наблюдались все градации (Тайшет, Червянка, Наканно, Балаганск, Жигалово, Инга, Ушканий остров и Большое Голоустное).

На рис. 3 представлено распределение слабых ветров, соответствующих скорости ветра 1–5 м/с. Наибольшим числом случаев характеризуются станции Балаганск и Тайшет, многолетний ход их кривых почти на всем протяжении повторяет друг друга. Примерно в 4 раза реже слабый ветер наблюдался на станции Червянка. В целом на станциях Жигалово, Тайшет, Балаганск и Червянка наблюдается устойчивое увеличение доли слабых ветров в последние годы.

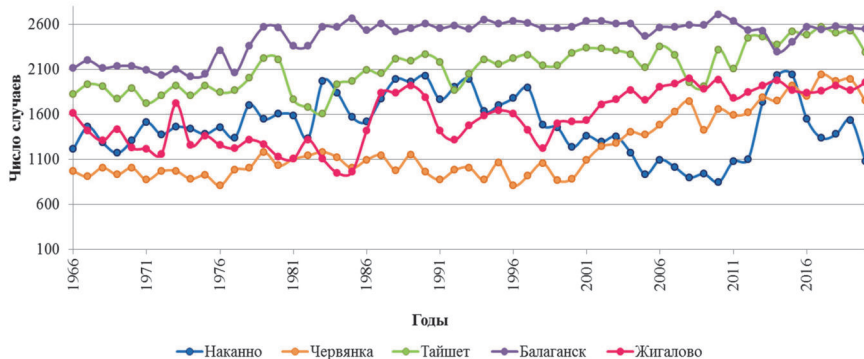


Рис. 3. Многолетняя динамика слабых ветров

На рис. 4 показана многолетняя динамика умеренных ветров, соответствующих скорости ветра 6–14 м/с. На кривых выражено общее снижение частоты этой градации с 1966 по 2020 г.: на станции Тайшет с 565 случаев до 159, Червянка – с 252 до 161, Балаганск – с 205 до 128, Жигалово – с 217 до 68 и с 204 до 20 случаев в Наканно. Кривые, описывающие многолетний ход значений, во многом повторяют друг друга. Максимумы повторяемости градации «умеренный ветер» на всех рассматриваемых станциях приходились на 1966, 1968 и 1970 г.

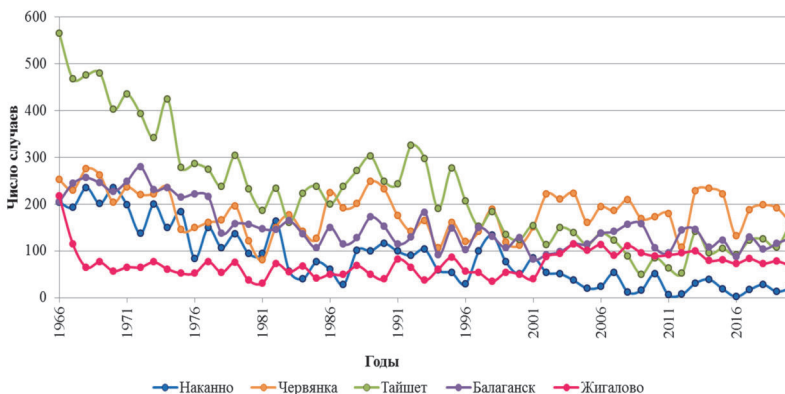


Рис. 4. Многолетняя динамика умеренных ветров

Наибольшее число случаев с сильным ветром наблюдалось на станции Ушканий остров (рис. 5), где абсолютный максимум был достигнут в 1984 г. (58 случаев). Значительно реже он наблюдался на станциях Инга и Большое Голоустное. Несмотря на большую межгодовую изменчивость можно заключить, что число случаев с сильным ветром, начиная с 2000-х гг. сократилось.

Отметим, что для станций Инга, Большое Голоустное, Наканно, Балаганск и Ушканий остров характерны два периода усиления ветра: первый с 1966 по 1970 г. и второй с 1981 по 1990 г.

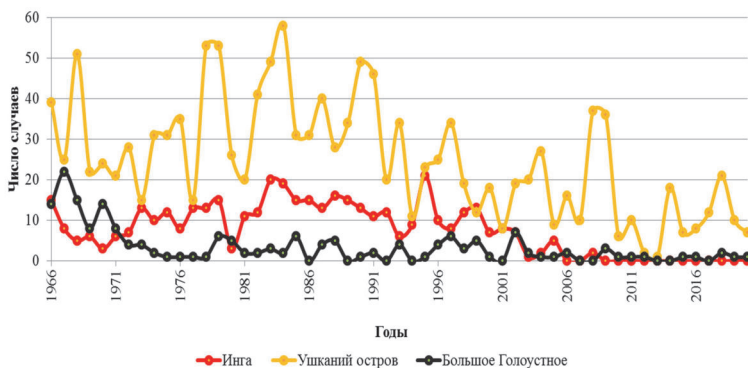


Рис. 5. Многолетняя динамика сильных ветров на станциях Инга, Ушканий остров, Большое Голоустное

## Заключение

Анализ многолетней динамики скоростей ветра выявил, что, в целом, на территории Иркутской области растет доля слабых ветров, повторяемость градаций умеренный и сильный ветер уменьшается. Уменьшение скоростей ветра на территории Иркутской области можно считать проявлением и подтверждением общего снижения скоростей приземного ветра на территории всей России.

## Список литературы

1. Баранова А. А., Голод М. П., Мещерская А. В. Изменение градуированных скоростей ветра на территории России во второй половине XX века // Труды ГГО им. А. И. Воейкова. 2007. Вып. 556. С. 116–138.
2. Бардин М. Ю., Платова Т. В., Самохина О. Ф. Изменчивость антициклонической активности в умеренных широтах Северного полушария // Фундаментальная и прикладная климатология. 2019. № 3. С. 32–58.
3. Бульгина О. Н., Корицунова Н. Н., Разуваев В. Н. Изменение режима ветра на территории России в последние десятилетия // Тр. ГГО им. А. И. Воейкова. 2013. Вып. 568. С. 156–172.
4. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Основной том. М. : Росгидромет, 2014. 1004 с.
5. Горохольская В. З., Волобуева О. В. Сильные ветра и метели на территории Республика Башкортостан // Метеорология и гидрология. 2006. Вып. 7. С. 49–55.
6. Риск сильных ветров в экономических показателях на территории Российской Федерации / В. В. Грязнова [и др.] // Снежные лавины, сели и оценка риска. М. : Перо, 2020. С. 116–132.
7. Кижнер Л. И., Серая Н. Ю. Изменение режима ветра в Томске в начале XXI // Труды ГГО им. А. И. Воейкова. 2015. Вып. 576. С. 102–113.
8. РД 52.27.724-2019. Наставление по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения. М. : Гидрометцентр России, 2019. 72 с.
9. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Описание массива срочных данных об основных метеорологических параметрах на станциях России. URL: <http://meteo.ru/data/163-basic-parameters#описание-массива-данных> (дата обращения: 15.06.2023).

УДК 521.50

## Анализ многолетней динамики индексов ЭНЮК во взаимосвязи с глобальными и региональными изменениями климата

К. А. Лощенко (loshchenko@bk.ru), И. В. Латышева (ababab1967@mail.ru)

*Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Россия*

**Аннотация.** Обсуждаются современные гипотезы формирования теплой и холодной фазы индекса Эль-Ниньо – Южного колебания (ЭНЮК). Проанализирована многолетняя динамика климатических индексов в разных частях Тихого океана за период 1982–2021 гг. и индекса МЕI, который объединяет океанические и атмосферные переменные. Основное внимание уделялось поиску возможных корреляционных связей между теплыми и холодными событиями ЭНЮК и температурными аномалиями в разных регионах земного шара, включая южные районы Иркутской области. В последние годы на юге Иркутской области отмечается уменьшение числа случаев, когда падение температуры воздуха происходит на фоне проявления теплого и холодного эпизодов ЭНЮК, но, существенно возросло число случаев, когда наблюдается рост температуры воздуха на фоне теплых и особенно холодных эпизодов ЭНЮК (Ла-Нинья). Выявленные тенденции хорошо согласуются как с увеличением средних годовых температур воздуха в Иркутской области, так и с увеличением повторяемости и продолжительности холодных эпизодов Ла-Нинья, ярким примером которого было продолжительное Ла-Нинья 2020–2023 гг.

**Ключевые слова:** климат, аномалии, температура поверхности океана (ТПО), температура воздуха, ЭНЮК, Эль-Ниньо, Ла-Нинья, Иркутская область.

### Введение

Эль-Ниньо или Южное колебание (ЭНЮК) – основной климатический сигнал, который обуславливает межгодовую изменчивость глобальной системы «океан-атмосфера» и формируется в результате ослабления пассатных ветров и, как следствие, формирования аномалии западного ветра. Это приводит к выравниванию термоклина до берегов Южной Америки. Поэтому ослабевает экваториальная циркуляционная атмосферная ячейка Уокера и усиливается меридиональная ячейка Хэдли, которая осуществляет тепло- и влагообмен между экватором и полюсами. Первые описания этого явления были сделаны в работах Rasmusson и Wallace в 1982 г. [10] Для Ла-Нинья характерны противоположные условия: усиление пассатного ветра, что приводит к апвеллингу, подъему термоклина, понижению ТПО у побережья Южной Америки и углублению термоклина в западной экваториальной части Тихого океана. Как следствие, происходит усиление ячейки Уокера, тогда как ячейка Хэдли, наоборот, ослабевает [8].

В качестве характеристики Эль-Ниньо (Ла-Нинья) традиционно используют индекс Южного колебания (ЭНЮК), представляющий нормированную разность приземного давления между о. Таити и портом Дарвин (Австралия). Впервые этот индекс был введен Г. Уокером в 1924 г. [11] Он характеризует количественное изменение приземного давления между устойчивыми областями повышенного и пониженного атмосферного давления в экваториальной части Тихого океана. Начиная с 1985 г. с запуском проекта TOGA, целью которого являлось расширение сети наблюдений за аномалиями температуры поверхности Тихого океана индекс ЭНЮК стали рассчитывать как температурную аномалию в определенных тропических районах Тихого океана.

Со временем было обнаружено, что проявления теплой и холодной фаз ЭНЮК отмечаются в погодных и климатических аномалиях не только над тропической зоной Тихого океана, но, и во внетропических широтах за [9]. В последние десятилетия были разработаны различные крупномасштабные климатические модели, целью которых стали мониторинг и прогнозирование квазипериодического феномена ЭНЮК. Однако, несмотря на усовершенствование подходов моделирования и достаточно длительное исследование этих событий, механизм формирования Эль-Ниньо и Ла-Нинья остается одной из важнейших научных задач, которая не решена до сих пор. Существующие в настоящее время гипотезы, объясняющие механизм формирования Эль-Ниньо, можно разделить на две группы. В рамках первой гипотезы ЭНЮК

интерпретируется как следствие крупномасштабных низкочастотных процессов, которые протекают в системе «океан-атмосфера». В качестве последних рассматриваются изменение характеристик теплосодержания океана, термохалинная циркуляция, постепенное изменение структуры общей циркуляции атмосферы. При этом вариативность ансамбля этих характеристик на десятилетних масштабах может быть причиной изменения состояния системы «океан-атмосфера», что может привести к благоприятным условиям для возникновения явлений Эль-Ниньо и Ла-Нинья [1]. Согласно другой гипотезе, изменчивость ЭНЮК обусловлена более высокочастотной, так называемой внутрисезонной изменчивостью в системе «океан-атмосфера» в экваториальной зоне [2]. Отметим, что в обеих гипотезах при поиске механизма рассматривается взаимодействие системы «океан – атмосфера», где важно понять, какой вклад вносят глобальные процессы в системе «океан – атмосфера» в формирование событий Эль-Ниньо и Ла-Нинья. Например, в работе [5] описывается взаимодействие Эль-Ниньо и Ла-Нинья с Восточно-Атлантическим колебанием.

Изучение составляющих радиационного баланса Земли в тропической части Тихого океана позволяет производить мониторинг событий Эль-Ниньо (Ла-Нинья), которые хорошо проявляются в поле величин альbedo и могут быть использованы для более глубокого понимания механизмов возникновения и развития ЭНЮК. Используя данные поглощённой солнечной радиации и альbedo, полученные с помощью радиометров ИКОР-М с января 2010 г. по январь 2019 года, в работе [7] была оценена возможность обнаружения явления Эль-Ниньо (Ла-Нинья) в Тихом океане. За период работы радиометров ИКОР-М наблюдалось два явления Эль-Ниньо: в 2009–2010 гг. и в 2015–2016 гг., причем последнее было одно из самых интенсивных событий, наблюдаемых инструментально. Выявлено, что зимой наблюдается повышение значений альbedo до 15–20 % – в центре Тихого океана, до 30 % – в его западной части, а летом прослеживается уменьшение альbedo в этих областях. В восточной части Тихого океана годовой ход величины альbedo противоположен: в январе и феврале значения понижаются до 15–20 %, летом в данном регионе наблюдаются высокие значения (до 35 %). Наиболее сильное и продолжительное событие Эль-Ниньо в 2015–2016 гг. привело к повышению значений альbedo до 40 % в районе 160 ° в. д. в июне 2015 г. и несколько восточнее – в январе 2016 г. С развитием впоследствии Ла-Нинья летом 2011 и 2016 гг. область высоких значений альbedo исчезает. Повышение ТПО на западе Тихого океана в период Ла-Нинья способствует формированию там конвективной облачности, приводящей к увеличению альbedo до 35 %. Таким образом, среднемесячные величины альbedo и поглощённой солнечной радиации для регионов мониторинга Эль-Ниньо могут быть использованы для определения фаз развития и интенсивности таких аномалий в Тихом океане.

Таким образом, во время событий Эль-Ниньо (Ла-Нинья) в тропической части Тихого океана происходит повышение (понижение) температуры поверхности океана и изменение циркуляционных условий атмосферы. Прежде всего, отмечается интенсификация образования конвективной облачности в одних районах и ее уменьшение в других. Такие изменения в облакообразовании происходят в результате смещения циркуляционной ячейки Уокера, которая мигрирует вслед за областью с повышенными значениями температуры поверхности океана. В результате указанных процессов изменяется энергетический режим в данном регионе [3; 4; 6].

### Результаты исследования

Согласно определению ВМО (<http://www.wmo.int/>), явление Эль-Ниньо идентифицируется, когда положительная среднемесячная аномалия температуры поверхности океана в регионе Niño3.4 (5°ю. ш. – 5° с. ш., 120–170° з. д.) равна или превышает 0,5 °С. В работе были рассчитаны средние и экстремальные значения данного показателя за период 1982–2021 гг. Оказалось, что в средних значениях данного индекса прогрев экваториальной зоны Тихого океана наступает в период с апреля по июнь, но, максимальные значения этот индекс имеет с ноября по январь, когда активно проявляется тропический циклогенез в Северном полушарии. В многолетней динамике наиболее изменчив данный индекс в период с декабря по февраль. Отмечается уменьшение значений данного показателя с января по март, что указывает на

уменьшение вероятности проявления теплого события ЭНЮК и наглядно подтверждается последним продолжительным событием Ла-Нинья в 2020–2023 гг.

Для более детального анализа проведено сравнение многолетней динамики климатических индексов в разных частях Тихого океана. Наибольшие изменения выявлены в динамике индекса Nino 4, которые проявляются в повышении ТПО в западной части экваториальной и тропической зоны Тихого океана и в индексе Nino 1+2, где ТПО, наоборот, понижаются в восточной части экваториальной и тропической зоны Тихого океана. На наш взгляд, такие тенденции усиливают горизонтальные градиенты температур и могут оказывать влияние как на океанические процессы, включая интенсивность и продолжительность теплой и холодной фаз ЭНЮК, так и атмосферные, в том числе проявляющиеся в процессах тропического циклогенеза.

Индекс MEI объединяет океанические и атмосферные переменные, рассчитывается методом выделения главных компонент. Он учитывает давление на уровне моря, температуру поверхности моря, зональные и меридиональные компоненты приземного ветра и уходящую длинноволновую радиацию над тропическим тихоокеанским бассейном (30° ю. ш. – 30° с. ш. и 100° в. д. – 70° з. д.). Это индекс рассчитывается для 12 перекрывающихся двухмесячных «сезонов» (декабрь – январь, январь – февраль и т. д.), чтобы уменьшить влияние более частых внутрисезонных периодов. Выявлено, что с 1960–1970-х гг. происходит увеличение теплых событий ЭНЮК, особенно в холодный период года. Интересно, что по времени это совпадает с началом роста глобальных температур.

На фоне повышения температуры поверхности океана, возможно, увеличивается его вклад в образование тропических циклонов. Для исследования данной гипотезы в работе по архивным данным Гидрометцентра России за период 2013–2019 гг. была проанализирована динамика тропических циклонов Северного и Южного полушарий. Всего в исследуемый период наблюдалось 557 тропических циклонов, из них, в 60 % случаев, это были тропические циклоны, которые образовались в Тихом океане, т. е. в зоне влияния Эль-Ниньо. Однако в динамике тихоокеанских тропических циклонов не удалось обнаружить значимых изменений, тогда как в Атлантике наблюдался рост числа тропических циклонов в исследуемый нами период.

Для того чтобы оценить возможный климатический отклик на события Эль-Ниньо и Ла-Нинья, были построены карты коэффициентов парной корреляции между средними месячными значениями приземной температуры воздуха и океаническим индексом Южной Осцилляции (SOI) (рис. 1). В качестве исходных были взяты средние месячные значения указанных величин за период 1951–2020 гг., осредненных за календарные сезоны года. В зимние месяцы с индексом SOI отмечаются отрицательные корреляционные связи приземной температуры воздуха в центральной и восточной части экваториальной и тропической зоны Тихого океана и положительные в его западной части. Слабые отрицательные корреляционные связи в зимний период выявлены с приземной температурой воздуха на юге Иркутской области. Весной ослабевает область отрицательной корреляционной связи с приземной температурой воздуха в центральной и восточной части экваториальной и тропической зоны Тихого океана, летом проявляется область положительной корреляционной связи на северном и восточном побережье Австралии. Осенью вновь усиливаются отрицательные и положительные корреляционные связи в Тихом океане.

Для определения возможного регионального отклика на события ЭНЮК в работе выполнено сравнение температурных аномалий на метеорологической станции Иркутск (южные районы Иркутской области) и индексов ЭНЮК, рассчитанных за период 1950–2022 гг. Суммированием температурных аномалий и осреднением указанных индексов за календарные сезоны года мы пытались уменьшить вклад короткопериодных вариаций в определении дальних атмосферных связей между возможными проявлениями аномалий температурного режима Тихого океана в южных районах Иркутской области. Было выделено 4 группы изменений температуры воздуха в Иркутске (рост и падение) на фоне проявления теплых и холодных эпизодов ЭНЮК (событий Эль-Ниньо и Ла-Нинья) (рис. 2).

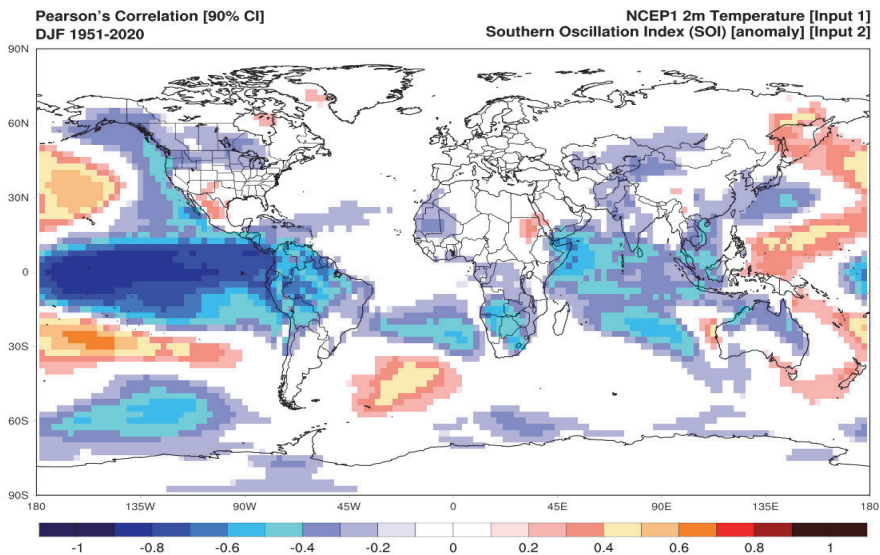


Рис. 1. Карта корреляционных полей температуры воздуха и индекса SOI, осредненных за зимние месяцы 1951–2020 гг. по данным Реанализов NCEP1

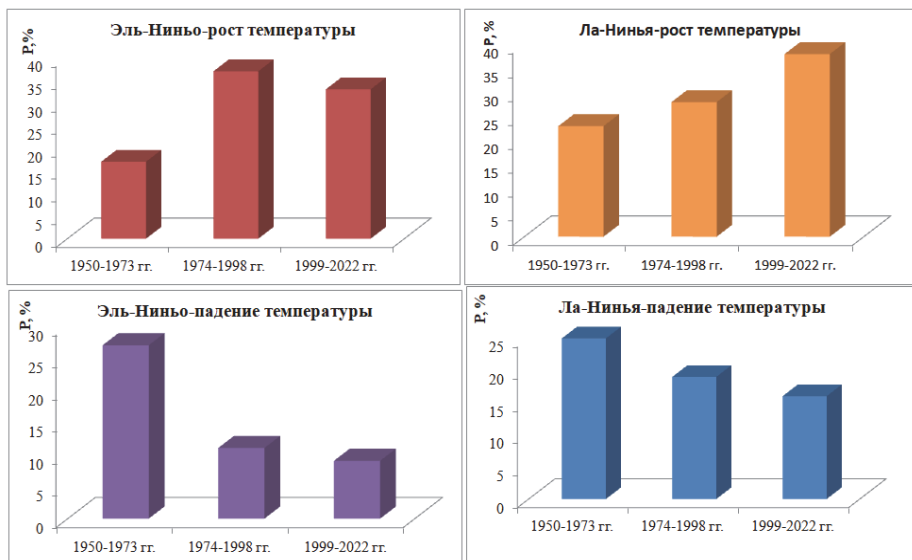


Рис. 2. Повторяемость (%) различных типов изменений температуры воздуха в Иркутске и индексов ЭНИЮК за период 1950–2022 гг.



Рассматриваемый период 1950–2022 гг. условно был разделен на три временных интервала длительностью в 24 года. Первый временной интервал (1950–1973 гг.) предшествует периоду роста средних температур воздуха на юге Иркутской области, второй временной интервал (1974–1998 гг.) – период быстрого роста средних температур и последний временной интервал (1999–2022 гг.) характеризуется увеличением межгодовой изменчивости температуры воздуха на фоне роста числа отрицательных температурных аномалий в отдельные месяцы года. Установлено, в последние годы происходит уменьшение числа случаев, когда падение температуры воздуха в Иркутске происходило на фоне проявлений теплого и холодного эпизодов ЭНЮК. В тоже время увеличилось число случаев, когда рост температуры воздуха в Иркутске происходит не только на фоне теплых эпизодов ЭНЮК (Эль-Нинья), но в большей степени на фоне холодных эпизодов (Ла-Нинья). Это можно объяснить как общим характером повышения средней температуры воздуха в Иркутской области, причиной чему могут быть и другие факторы (антропогенные, циркуляционные), так и увеличением повторяемости и продолжительности холодных эпизодов Ла-Нинья.

Одним из примеров продолжительного Ла-Нинья являются события 2020–2023 гг. Холодный эпизод Ла-Нинья отмечался с мая 2020-го по апрель 2023 г. Как показал анализ карт аномалий приземной температуры воздуха, наибольших значений понижение ТПО достигло в октябре 2022 г. в области NINO 1+2. В глобальной температуре воздуха в годы Ла-Нинья 2020–2023 произошло незначительное ослабление роста температур, более заметное ослабление роста средних температур воздуха отмечалось в тропиках (на 0,2 °С по сравнению с 2020 г.), практически к нулевым значениям приблизились положительные температурные аномалии в экваториальной зоне. Причем в тропиках и вблизи экватора средние температуры воздуха понижались на протяжении всего эпизода Ла-Нинья 2020–2023 гг. На территории Сибири заметное понижение средних годовых температур воздуха в годы Ла-Нинья 2020–2023 было только в 2021 г.

### **Заключение**

Современные тенденции изменения климатических индексов, отражающих теплые и холодные атмосферные и океанические события в экваториальной и тропической зонах Тихого океана, характеризуются повышением температуры поверхности западной части океана в зоне индекса Nino 4 и понижением в восточной части в зоне индекса Nino 1+2, что может определять как увеличение продолжительности, так и интенсивности событий Эль-Нинья и Ла-Нинья. Подтверждением является продолжительный период Ла-Нинья 2020–2023 гг.

В период с 1960–1970 гг. по настоящее время происходит увеличение как теплых, так и холодных событий ЭНЮК, которое во времени совпадает с началом роста глобальных температур. Наиболее изменчив температурный режим в западной части тропической зоны Тихого океана, которая с крупномасштабными атмосферными потоками может оказывать влияние на климатический режим Евразии, включая территорию объекта исследования – Иркутскую область.

Для определения возможного влияния событий Эль-Нинья через дальние атмосферные связи на климатический режим территории Иркутской области были рассчитаны коэффициенты парной корреляции между средними месячными значениями различных индексов ЭНЮК, температурой воздуха и атмосферного давления у поверхности Земли. В Иркутской области в полях корреляции выявлены устойчивые корреляционные связи только в ноябре и январе, которые сопровождаются отрицательными аномалиями температуры воздуха и роста приземного давления на территории Иркутской области в теплые периоды Эль-Нинья, обратные статистические связи соответственно в холодный эпизод Ла-Нинья.

*Публикация осуществляется в рамках проекта «Мониторинг и прогнозирование опасных природных явлений погоды», реализуемого победителем грантового конкурса для преподавателей магистратуры 2021/2022 Стипендиальной программы Владимира Потанина.*

## Список литературы

1. Гуцина Д. Ю., Девитт Б., Коркмазова С. А. Внутрисезонная изменчивость тропической тропосферы и ее воспроизведение в атмосферной модели промежуточной степени сложности // *Метеорология и гидрология*. 2010. № 11. С. 11–35.
2. Демченко П. Ф., Кислов А. В. О представлении непрерывных функций нескольких переменных в виде суперпозиций непрерывных функций одного переменного и сложения // *Доклады Академии наук СССР*. 2010. № 114. С. 953–956.
3. Марчукова О. В., Лубков А. С., Воскресенская Е. Н. Качество воспроизведения событий Эль-Ниньо и Ла-Нинья по разным масштабам реконструированных данных температуры поверхности океана // *Вестник СПбГУ. Науки о Земле*. 2020. Т. 1, вып. 1. С. 97–120.
4. Матвеева Т. А., Гуцина Д. Ю. Изменения характеристик центрально тихоокеанского и восточно-тихоокеанского Эль-Ниньо в условиях потепления климата (по результатам экспериментов RCP 2.6 и RCP 8.5 CMIP5) // *Фундаментальная и прикладная климатология*. 2017. Т. 2. С. 86–110.
5. Нестеров Е. С. Изменчивость характеристик атмосферы и океана в Атлантико-Европейском регионе в годы событий Эль-Ниньо и Ла-Нинья // *Метеорология и гидрология*. 2000. № 8. С. 74–83.
6. Серых И. В., Сонечкин Д. М. Сопоставление временных энергетических спектров индексов Эль-Ниньо – Южного Колебания и глобальных полей температуры и атмосферного давления в приповерхностном слое // *Фундаментальная и прикладная климатология*. 2017. Т. 2. С. 144–155.
7. Спирихина А. А., Червяков М. Ю. Пространственно-временные вариации составляющих радиационного баланса Земли во время событий Эль-Ниньо (Ла-Нинья) // *Комплексные исследования Мирового океана : материалы II Всерос. науч. конф. молодых ученых*. М. : Изд-во ИО РАН. 2017. С. 265–266.
8. Glantz M. H. Shades of Chaos: Lessons Learned About Forecasting El Niño and Its Impacts // *Int. J. Disaster Risk Sci.* 2015. Vol.6. P. 94–103. <https://doi.org/10.1007/s13753-015-0045-6>
9. Philander S. G. Global analyses of sea surface temperature, sea ice, and night marine air temperature since the late nineteenth century // *J. Geophys. Res.* 1990. Vol. 108 (D14). P. 4407.
10. Rasmusson E. M., Carpenter T. H. Variations in tropical sea surface temperature and surface wind fields associated with Southern Oscillation (El Niño) // *Monthly Weather Review*. 1982. Vol. 110. P. 354–384. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1982\)1102.0.CO](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1982)1102.0.CO)
11. Walker G. T. Correlation in seasonal variations of weather // *Mem. India Meteorol. Dep.* 1924. Vol. 24. P. 275–332.

УДК 627.81:004.9(571.53)

## Применение средств ГИС при водохозяйственном обосновании параметров водохранилищ (на примере проектируемой на р. Голоустной ГЭС)

Е. Н. Сутырина (ensut78@gmail.com), М. В. Новиков  
 Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Россия

**Аннотация.** С применением данных SRTM и использованием средств ГИС произведена оценка топографических характеристик проектируемого в рамках исследования водохранилища на р. Голоустной. Выбраны характерные уровни и объёмы водохранилища. С использованием ГИС и данных OSM из открытых источников произведена оценка площади, требующейся для размещения водохранилища. Установлено, что при выбранной схеме размещения створа плотины и заданных уровнях в зону затопления попадает большая часть с. Малое Голоустное с населением около 1300 чел. 172,2 га земель различного использования окажутся в зоне затопления. Потребуется произвести лесоводку на площади в 993,4 га. Также на основании полученных топографических характеристик рассчитаны водноэнергетические параметры проектируемой ГЭС.

**Ключевые слова:** река Голоустная, проектируемое водохранилище, зона затопления, водохозяйственное обоснование, водноэнергетические расчеты.

Цель работы – выполнить водохозяйственное обоснование параметров водохранилища, проектируемого на р. Голоустной и дать оценку предполагаемой зоны затопления с использованием средств ГИС.

Голоустная (рис. 1) – река в Иркутской области, приток оз. Байкал. Исток реки находится на северных склонах Приморского хребта. Протекает по территории Иркутского района.

Длина реки составляет 122 км, площадь водосборного бассейна 2300 км<sup>2</sup>. По данным наблюдений, проводившихся с 1942 по 1997 г., среднегодовой расход воды в 3,5 км от устья составлял 9,57 м<sup>3</sup>/с. Река имеет заболоченную долину в устье. На берегах реки расположены село Малое Голоустное, посёлки Нижний Кочергат и Большое Голоустное [1; 2; 5]. В водосборном бассейне р. Голоустной преобладают горно-таежные темнохвойные водораздельных поверхностей и склонов зеленомошные ландшафты [3].

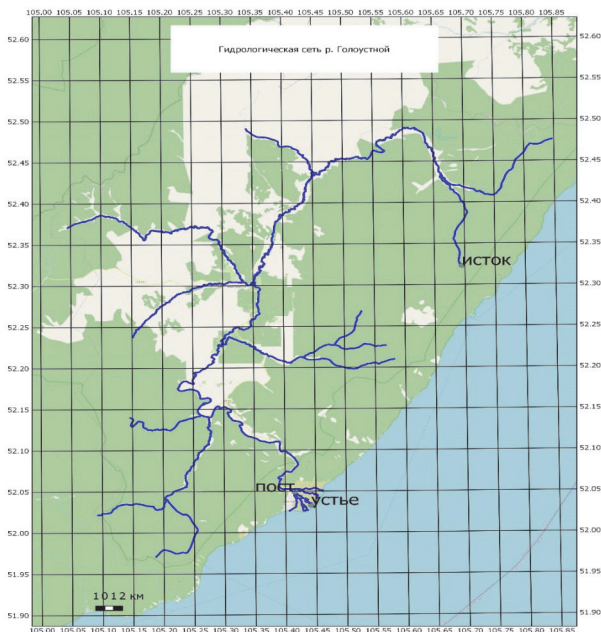


Рис. 1. Река Голоустная

При выполнении данной работы в качестве исходных материалов для оценки топографических параметров проектируемого водохранилища используются данные радарной топографической съемки поверхности SRTM – международного исследовательского проекта по созданию цифровой модели высот земной поверхности с помощью ее радарной топографической съемки. Использовались данные SRTM с исправленными областями, производимые CGIAR (Consultative Group for International Agriculture Research) и предоставляемые в формате GeoTIFF (Geo Tagged Image File Format) фрагментами 5° x 5°. Данные представляют собой простой 16-битный растр, значение пикселя в котором является высотой над уровнем моря в данном пикселе. В ранее опубликованных работах авторов уже обсуждался позитивный опыт применения информации SRTM для оценки топографических характеристик водохранилищ [7; 8]. В рамках данной работы загрузка и обработка данных SRTM была произведена с помощью средств ГИС QGIS, в результате обработки были получены наглядные картографические материалы и определены основные топографические характеристики проектируемого на р. Голоустной водохранилища – значения площадей, объёмов, средних глубин и критерия литорали при различном наполнении водохранилища и построены топографические кривые водохранилищ.

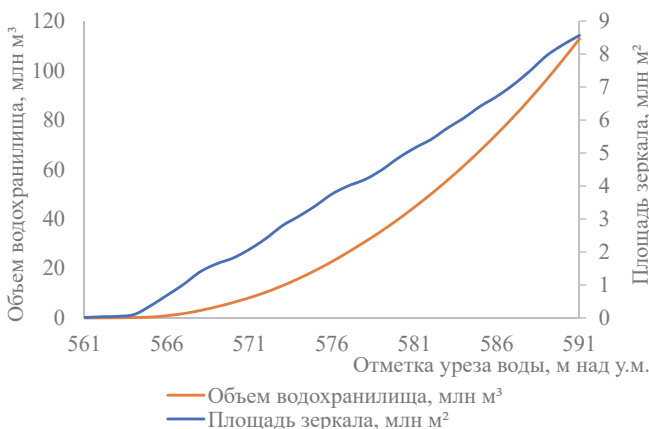


Рис. 2. Топографические кривые проектируемого водохранилища

Далее выбираются характерные уровни: уровень мертвого объема (УМО) и нормальный подпорный уровень (НПУ), а также объемы водохранилища [4; 6]. Параметры водохранилища являются взаимосвязанными и выбор их должен осуществляться как единое целое. При их назначении следует пользоваться следующими соображениями:

1. При выборе НПУ задается полный объем водохранилища, который не должен превосходить двух-трех годовых объемов стока заданного водотока.
2. Величина сработки водохранилища (разность между НПУ и УМО) не должна превышать 1/3 от максимального напора при НПУ (в работе выбран полезный объем равный 25 % от объема стока р. Голоустной за год, что позволило уложиться в заданные рамки).
3. При УМО средняя глубина водохранилища должна быть не менее 2,5 м, а площадь мелководья с глубинами не более 2 м не превышать 15 % площади водохранилища, т. е. критерий литорали  $L_{0i}$  должен составлять не более 0,15–0,30.
4. Мертвый объем при УМО должен вмещать (т. е. быть не менее) объем наносов за период срока службы водохранилища, который в зависимости от класса сооружения составляет от 50 лет.

С учетом соблюдения условий, указанных выше в пунктах 1–4, в данной работе в качестве примера выбран и далее проанализирован только один вариант значений характерных уровней: УМО задан на отметке 621,3 м над у. м., а НПУ – на отметке 624 м над у. м.

На рис. 3 показана карта распределения глубин в проектируемом водохранилище при выбранном НПУ.

Для ГЭС, имеющих водохранилища, ставится дополнительная задача регулирования стока из неограниченно большого числа возможных вариантов, который давал бы больший энергетический эффект и не только на самой ГЭС, но и для энергетической системы в целом. В рамках работы для примера проанализирован только один вариант при описанных выше параметрах. Расчет регулирования произведен балансовым методом с использованием календарных гидрологических рядов, ниже на рис. 4 приведены разностно-интегральные кривые (РИК), используемые для расчета регулирования стока.

На следующем этапе выполнены водноэнергетические расчёты, т. е. совокупность вычислительных операций по определению величин напора, мощности, выработки электроэнергии гидроэлектростанции. Для оценки величины напора использованы топографическими характеристиками водохранилища, полученные ранее в работе по данным SRTM. На основании выполненных в работе расчетов был составлен паспорт водно-энергетических характеристик ГЭС, представленный в табл.

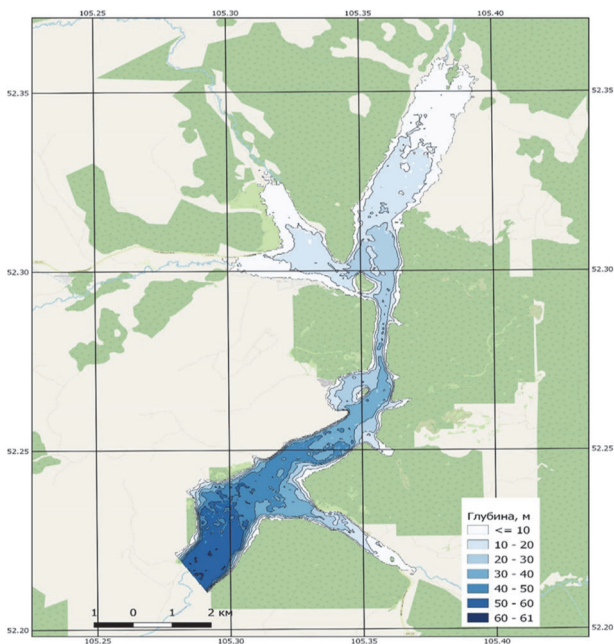


Рис. 3. Карта глубин водохранилища при НПУ

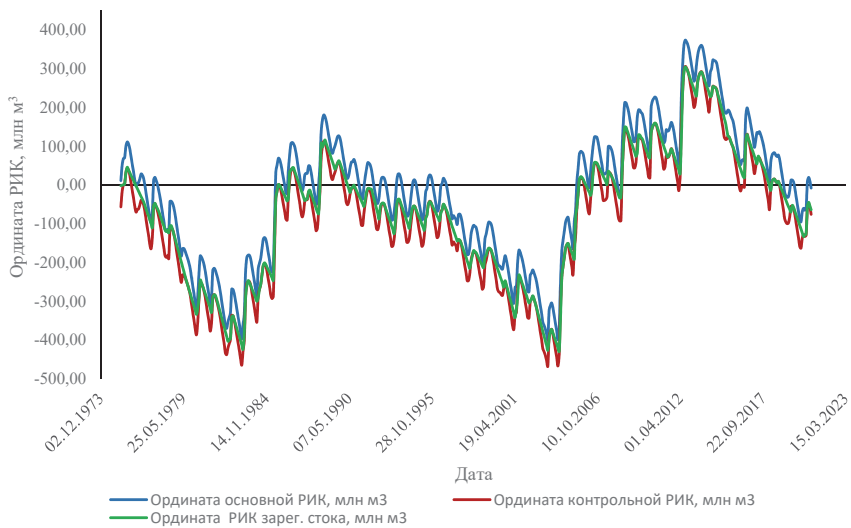
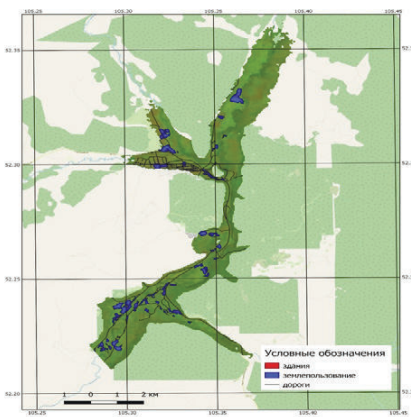


Рис. 4. Разностно-интегральные кривые стока р. Голоустной

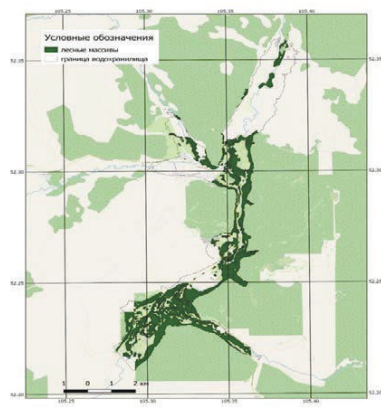
Таблица

Паспорт водно-энергетических характеристик ГЭС, проектируемой на р. Голоустной

Характеристики естественного стока	
Среднегодовой сток $W$ , млн $m^3$	
Максимальный среднемесячный расход $Q_{\max}$ , $m^3/c$	
Минимальный среднемесячный расход $Q_{\min}$ , $m^3/c$	
Среднегодовое количество осадков $Q_{\text{ср}}$ , $m^3/c$	
Характеристики водохранилища	
Полный объем водохранилища $W_{\text{полн}}$ , млн $m^3$	
Мертвый объем водохранилища $W_{\text{умо}}$ , млн $m^3$	
Полезный объем водохранилища $W_{\text{полез}}$ , млн $m^3$	
Коэффициент емкости водохранилища $\beta$ , %	
Глубина сработки водохранилища $h_{\text{срб}}$ , м	
Отметка уровня воды при НПУ $Z_{\text{НПУ}}^{\text{ВВ}}$ , м	
Отметка уровня воды при УМО $Z_{\text{УМО}}^{\text{ВВ}}$ , м	
Площадь зеркала при НПУ $\Omega_{\text{НПУ}}$ , млн $m^2$	
Площадь мелководий с глубиной до 2 м при НПУ, млн $m^2$	
Площадь зеркала при УМО $\Omega_{\text{УМО}}$ , млн $m^2$	
Площадь мелководий с глубиной до 2 м при УМО, млн $m^2$	
3. Характеристики зарегулированного режима ГЭС	
Максимальный зарегулированный расход $Q_{\text{макс}}^{\text{ЗР}}$ , $m^3/c$	
Минимальный зарегулированный расход $Q_{\text{мин}}^{\text{ЗР}}$ , $m^3/c$	
Объем холостого сброса $W_{\text{хсбр}}$ , млн $m^3$	
Объем используемого стока $W_{\text{исп}}$ , млн $m^3$	
Кэф. использования стока $K_{\text{исп}}$ , %	
Макс. расход ГЭС $Q_{\text{макс}}^{\text{ГЭС}}$ , $m^3/c$	
Мин. расход ГЭС $Q_{\text{мин}}^{\text{ГЭС}}$ , $m^3/c$	
Макс. УНБ $Z_{\text{макс}}^{\text{УНБ}}$ , м	
Мин. УНБ $Z_{\text{мин}}^{\text{УНБ}}$ , м	
Макс. напор $H_{\text{макс}}$ , м	
Мин. напор $H_{\text{мин}}$ , м	
Средневзвешенный напор $H_{\text{ср.вз}}$ , м	
Среднегодовая выработка электроэнергии ГЭС по зарегулированному водотоку $\mathcal{E}_{\text{ср}}^{\text{ГЭС}}$ , млн кВт*ч	



А



Б

Рис. 4. Объекты инфраструктуры, землепользования (А) и лесные массивы (Б) в зоне затопления

Далее с помощью модуля Quick OSM в ГИС QGIS были добавлены и проанализированы объекты инфраструктуры и землепользования, попавшие в зону затопления (рис. 4, А).

Из рис. 4, А видно, что в зону затопления частично попадает один населенный пункт – с. Малое Голоустное с населением около 1300 чел. В селе находится 399 строений, из которых в зону затопления попадет 267. Также в зону затопления попадает около 65,1 км дорог, в том числе часть федеральной автодороги Голоустинский тракт, протяженность затопленного участка которой составит около 14,4 км. Всего в зону затопления попадает около 172,2 га земель различного назначения.

С помощью модуля Quick OSM также были загружены данные о лесных массивах (рис. 4, Б), попадающих в зону затопления. По полученным данным сооружение рассматриваемого водохранилища потребует лесосводку на площади 993,4 га при общей площади проектируемого водохранилища при НПУ в 3058,5 Га.

Проведенное исследование показало возможности применения современных ГИС-пакетов и пространственных данных из открытых источников для водохозяйственного и водноэнергетического обоснования водохранилищ, а также для оценки объектов инфраструктуры, землепользования и лесных массивов, попадающих в зону затопления.

#### Список литературы

1. Географическое описание Восточной Сибири. URL: <https://vostok-sibir.ru/predbjakale.html> (дата обращения: 27.11.2022).
2. Беркин Н. С., Макаров А. А., Русинек О. Т. Байкаловедение. Иркутск : Изд-во ИГУ, 2009. 291 с.
3. Гагарина О. В., Раздобарин Д. Е. Гидрологический режим реки при изменении ландшафтной структуры водосбора (на примере реки Голоустной) // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2021. Т. 37. С. 17–27. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2021.37.17>
4. Гаджиев М. К. Основы рационального природопользования: Регулирование речного стока. Курс лекций. Махачкала : Изд-во ДГТУ, 2010. 100 с.
5. Голоустная: сайт. URL: <https://pribibibl.ru/turizm-na-baykale/klimat-pribaykalya/> (дата обращения: 27.11.2022).
6. Затеев В. Б. Введение в специальность гидроэлектроэнергетика. Саяногорск : СШФ СФУ, 2007. 156 с.
7. Сутырина Е. Н. Определение морфометрических характеристик искусственных водоемов по данным дистанционного зондирования (на примере водохранилищ Суховской и Тельминской ГЭС) // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2010. Т. 3, № 2. С. 167–178.
8. Сутырина Е. Н. Определение морфометрических характеристик проектируемых и строящихся водохранилищ Ангарского каскада ГЭС по данным дистанционного зондирования // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2014. Т. 10. С. 101–114.

УДК 551.510.42(571.53)

## Исследование метеорологических параметров образования гроз на аэродроме Иркутск

Е. А. Швецова (evgeniya.shvetsova@mail.ru)

Авиаметеком Росгидромета, Иркутск, Россия

**Аннотация.** Рассматриваются метеорологические параметры образования гроз на аэродроме Иркутск с 2017–2022 гг., а также продолжительность грозового периода. Особое внимание уделяется соотношению продолжительности гроз к изменению метеорологических параметров по высотам. В работе использовались взятые с аэрологического зондирования атмосферы параметры: высота нулевой изотермы, высота минус десятой изотермы и высота минус двадцатой изотермы, высота и температура тропопаузы, суммарный дефицит температуры и точки росы. В результате получены некоторые выводы о связи продолжительных грозовых периодах с низкими показателями высот тропопаузы, нулевой, минус десятой, минус двадцатой изотерм, значениями суммарной температуры и температуры точки росы. Также в качестве примера разобран случай с самой продолжительной грозой.

**Ключевые слова:** гроза, метеорологические параметры, тропопауза, продолжительная гроза.

В состав атмосферы с молекулами газов и примесями так же входят электрически заряженные частицы, несущие положительный или отрицательный заряд.

Гроза – комплексное атмосферное явление, необходимой частью которого являются многократные электрические заряды между облаками или между облаком и землей (молнии), сопровождающиеся звуковым явлением – громом. Гроза связана с развитием мощных кучево-дождевых облаков, следовательно, с сильной неустойчивостью стратификации воздуха при высоком влагосодержании [1].

В своем исследовании я изучала метеорологические параметры образования гроз на аэродроме Иркутск с 2017 по 2022 г. В 2017 и 2021 гг. отмечали 17 гроз, а в 2018 г. – 30. В основном продолжительность гроз составляла менее одного часа, всего в паре случаев грозу отмечали более одного часа (рис. 1).

В 2019 и 2020 гг. отмечали 36 и 34 случая с грозой. В 2019 г. в семи случаях отмечали грозу с продолжительностью более 2 ч, также были случаи с грозой более трех часов. 2020 год интересен ранней грозой 30 апреля и самой продолжительной грозой 7 ч 4 мин. Грозовой период в 2019 и 2020 гг. продолжался до конца сентября (рис. 1).

В 2022 г. отмечали 18 гроз, 2022-й интересен тем, что в этот год преобладали продолжительные грозы более одного, двух и трех часов (рис. 1).



Рис. 1. Число случаев с грозой на аэродроме Иркутск в период с 2017 – 2022 года.

Высота нулевой изотермы при грозах более одного часа варьируются от 2500 до 3500 м, при грозах более двух и трех часов от 3300 до 4500 м, грозы более четырех часов в основном наблюдались с высотой нулевой изотермы от 4400 м и выше. Самые продолжительные грозы наблюдались с низкой высотой нулевой изотермы от 1500 до 2300 м (рис. 2).



Рис. 2. График высоты 0 изотермы на аэродроме Иркутск с 2017–2022 гг.

Высота минус десятой изотермы варьируется от 4000 до 6000 м, но самые продолжительные грозы наблюдались с низкой высотой минус десятой изотермы от 2200 до 3500 м (рис. 3).



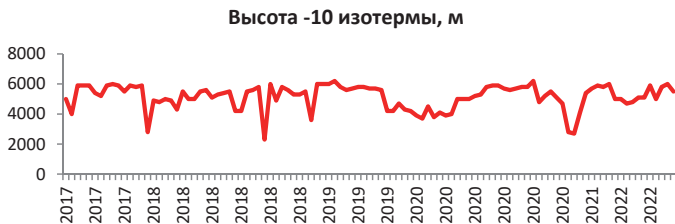


Рис. 3. График высоты -10 изотермы на аэродроме Иркутск с 2017–2022 гг.

Высота минус двадцатой изотермы варьируется от 6500 до 7500 м. но самые продолжительные грозы наблюдались с низкой высотой минус двадцатой изотермы от 4000 до 5000 м (рис. 4).



Рис. 4. График высоты -20 изотермы на аэродроме Иркутск с 2017–2022 гг.

Высота тропопаузы при грозах варьируется от 11 до 13 км не зависимо от продолжительности гроз. В отдельные годы высота тропопаузы наблюдалась на высоте от 8 до 10 км, что связано хорошей адвекцией холода в нижележащих слоях (рис. 5).



Рис. 5. График высоты тропопаузы на аэродроме Иркутск с 2017–2022 гг.

Температура тропопаузы варьируется от -50 до -60 °С не зависимо от продолжительности гроз (рис. 6).

При грозах более одного часа суммарный дефицит точки росы в слое от земли до уровня тропопаузы варьируется от 45 до 85 °С. При грозах более двух часов от 60 до 150 °С. При грозах более трех и четырех часов суммарный дефицит точки росы влажнее, в среднем от 25 до 50 °С (рис. 7).



Рис. 6. График температуры тропопазы на аэродроме Иркутск с 2017–2022 гг.



Рис. 7. График суммарного дефицита точки росы от уровня Земли до высоты тропопазы на аэродроме Иркутск с 2017–2022 гг.

В основном при грозах суммарная температура в слое от земли до тропопазы варьируется от  $-100$  до  $-150$  °С. Самое максимальное значение суммарной температуры отмечали в 2018 г. при грозе менее одного часа (температура  $-12,6$  °С). Самую минимальную суммарную температуру отмечали при грозе более двух часов (температура  $-300,4$  °С) (рис. 8).

Также при детальном изучении суммарной температуры получились выводы, что при грозах более трех и четырех часов суммарная температура выше (от  $-60$  до  $-100$  °С), а при грозах более одного и двух часов суммарная температура ниже (от  $-100$  до  $-200$  °С) (рис. 8).



Рис. 8. График суммарной температуры от уровня Земли до высоты тропопазы на аэродроме Иркутск с 2017–2022 гг.

В качестве примера я проанализировала самую продолжительную грозу (7 ч 4 мин) на аэродроме Иркутск, которую начали отмечать в 21:57 ВСВ 14 июля 2020 г., а закончили 05:05 ВСВ 15 июля 2020 г.

По фактическим картам к 00 ВСВ 15.07.2020 Иркутск находился под влиянием:

На АТ700 гПа поверхности меридионально ориентированной барической ложбины, южных потоков ветра, термической ложбины и влажной воздушной массы с дефицитами 4 °С.

На АТ500 гПа поверхности так же была меридионально ориентированная барическая ложбина с юго-западными потоками ветра, термическая ложбина и влажная воздушная масса с дефицитами 1 °С (рис. 9).

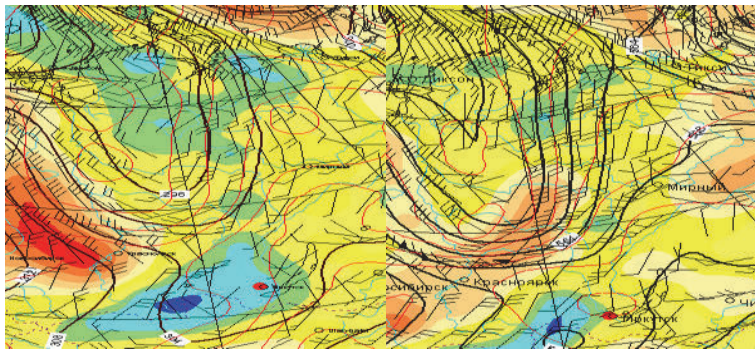


Рис. 9. Карта АТ700 (слева) и АТ500 (справа) 00 ВСВ 15.07.2020

На уровне земли Иркутск 14 июля 2020 г. за 12 ВСВ находился под влиянием барической ложбины от южного циклона с центром в районе Монголии, а к 00 ВСВ 15 июля в ложбине сформировался замкнутый циклонический центр, очерченный 1000 изобарой и с минимальным давлением в центре 998 гПа, который образовался на полярном фронте, на фоне интенсивной адвекции холода в тыловую часть тропосферной ложбины.

На АТ850 гПа Иркутск так же находился под влиянием меридиональной, узкопрофильной барической ложбины, термической ложбины, адвекция холода в течение ночи прогнозировалась на 6 °С и влажной воздушной массы с дефицитами 4 °С (рис. 10).

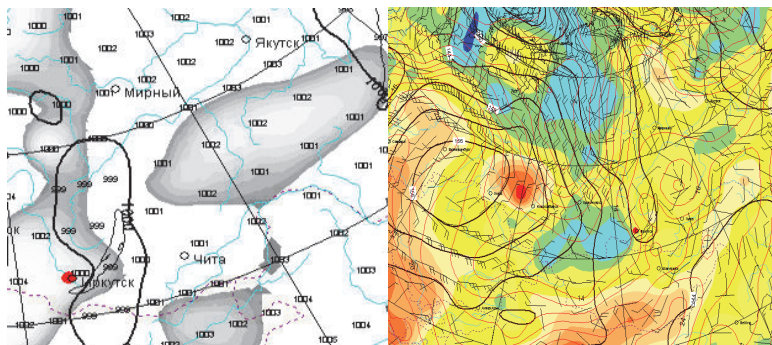


Рис. 10. Карта уровень Земли (слева) и АТ850 гПа (справа) за 00 ВСВ 15.07.2020

По данным спутникового зондирования, в связи с вынужденной динамической конвекцией при прохождении атмосферного фронта на фоне интенсивных восходящих токов воздуха, холодной и влажной воздушной массы сформировалась грозовая кучево-дождевая облачность, ориентированная вдоль наветренной стороны Восточного Саяна (рис. 11, 12).



Рис. 11. Спутниковый снимок за 21:00 ВСВ 14.07.2020

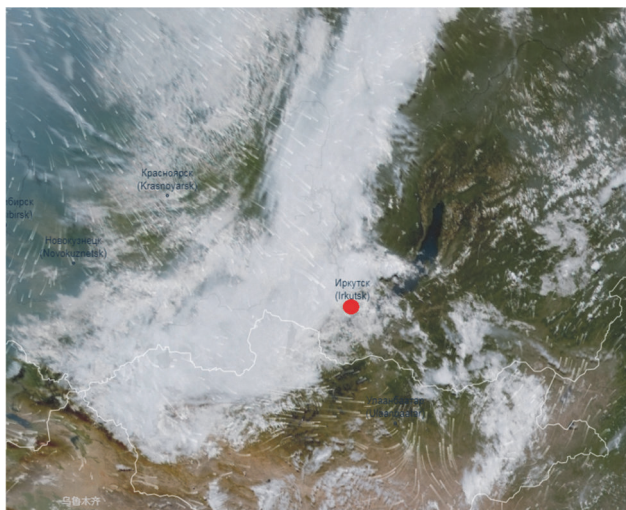


Рис. 12. Спутниковый снимок за 03:00 ВСВ 15.07.2020

По данным аэрологической диаграммы за 00 ВСВ 15 июля 2020 г. метеорологические параметры во время грозы были такие:

Уровень конденсации (нижняя граница облачности) расположена на высоте 250 м.

Нулевая изотерма отмечалась на высоте 4400 м

Минус десятая изотерма отмечалась на высоте 6300 м

Минус двадцатая изотерма отмечалась на высоте 7800 м

Высота тропопаузы отмечалась на высоте 13000 м, температура тропопаузы  $-59,7$

Суммарный дефицит точки росы был  $9,9$  °С,

Суммарная температура  $-109,1$  °С (рис. 13).

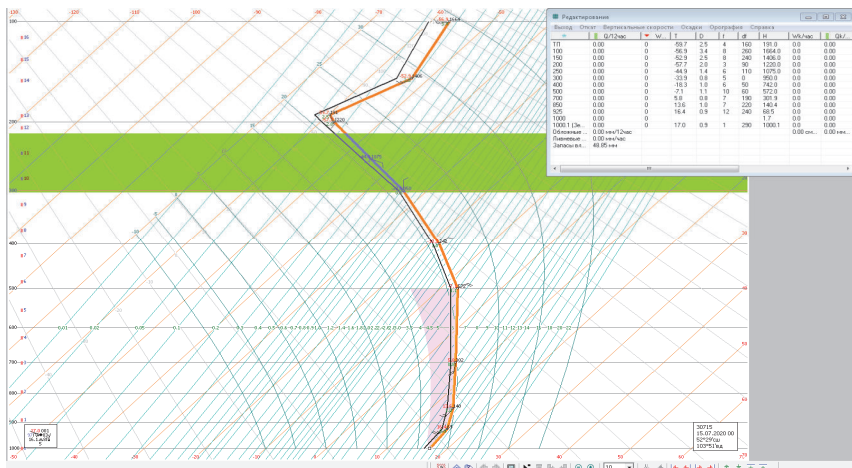


Рис. 13. Аэрологическая диаграмма за 00:00 ВСВ 15.07.2020

**Заключение.** К 21.00 ВСВ юго-восточнее Иркутска в связи с вынужденной динамической конвекцией при наличии интенсивных восходящих токов, в холодной и влажной воздушной массе на фоне передней части высотной ложбины, циклона и холодного атмосферного фронта у земли сформировалась кучево-дождевая облачность с активной грозовой деятельностью, которую отмечали 7 ч 4 мин на аэродроме Иркутск. Также развитию грозового облака по вертикали способствовал низкий уровень конденсации (250 м) и высокий уровень тропопазы (13 км).

#### Список литературы

1. Матвеев Л. Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы. Л. : Гидрометеоздат, 1984. 691 с.

УДК 621.22(571.5)

## Водно-энергетические расчеты ГЭС на реке Бирюсе

А. А. Шипицина (a-shih@mail.ru), Е. Н. Сутырина (ensut78@gmail.com)

Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Россия

**Аннотация.** Цель исследования заключается в проведении оценки и расчетов гидроэнергетического потенциала р. Бирюсы с целью определения возможности строительства и эффективности работы ГЭС на данной реке. Для достижения этой цели необходимо было выполнить следующие задачи: провести исследование и собрать данные природно-климатических и топографических характеристик данной реки, произвести анализ и расчет гидрологических данных для многолетнего периода, рассчитать и оценить мощность водного потока по дине реки, а также рассчитать валовый гидроэнергетический потенциал на различных участках реки. Основные результаты исследования включают в себя определение потенциала гидроэнергии, оценку технических характеристик ГЭС и в дальнейшем определение их экономической эффективности. Новизна исследования состоит в применении современных методов расчетов и анализа для решения задачи оптимизации использования водно-энергетического потенциала р. Бирюсы. Научная значимость исследования заключается в расширении знаний о возможности использования гидроэнергии на данной реке. Практическая значимость заключается в возможности использования результатов исследования при планировании и проектировании ГЭС на р. Бирюсе.

**Ключевые слова:** гидроэлектростанция, гидроэнергетический потенциал, водно-энергетический потенциал.

Использование возобновляемых источников энергии является одним из ключевых способов обеспечения устойчивого развития регионов. В отличие от традиционных источников энергии, таких как ископаемые топлива, возобновляемые источники энергии основываются на бесконечно возобновляемых природных ресурсах, таких как солнечное излучение, ветер, гидроэнергия, геотермальная энергия и биомасса.

Эксплуатация возобновляемых источников энергии имеет ряд преимуществ. Она позволяет снизить использование ископаемых топлив, что снижает выбросы парниковых газов и вредных веществ в атмосферу, уменьшая негативное влияние на окружающую среду и климат.

Кроме того, развитие возобновляемой энергетики способствует сокращению зависимости от импорта энергии, улучшает энергетическую безопасность и способствует созданию новых рабочих мест. Возобновляемые источники энергии также способствуют диверсификации энергетического сектора и повышению энергетической эффективности.

Поэтому развитие и использование возобновляемых источников энергии является важной составляющей стратегии устойчивого развития регионов, способствуя экономическому, экологическому и социальному прогрессу.

Исследование оценки гидроэнергетического потенциала р. Бирюсы и составление водно-энергетического кадастра для оценки возможности энергетического использования является важным и интересным проектом. Он позволяет изучить и оценить потенциал возобновляемого источника энергии – гидроэнергии, что имеет большое значение для обеспечения устойчивого развития и снижения негативного влияния на окружающую среду.

Чтобы достичь поставленной цели, необходимо выполнить следующие задачи:

Была собрана гидрологическая информация по р. Бирюсе, провели измерения основных параметров реки, таких как расход воды, скорость течения, уровень воды, глубина русла и другие характеристики, для многолетнего периода.

Кроме того, провели оценку природно-климатических и топографических характеристик р. Бирюсы.

Река Бирюса (рис. 1) получает свое начало от слияния Большой и Малой Бирюсы, возникающих на северных склонах Восточного Саяна. Затем она впадает в р. Тасееву за пределами Иркутской области. Общая протяженность реки составляет 1012 км, а площадь водосборного бассейна равна 55 800 км<sup>2</sup>.

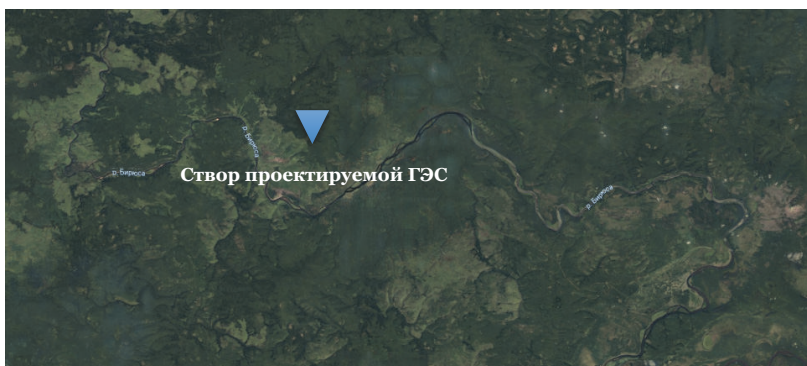


Рис. 1. Река Бирюса

Важно отметить, что Бирюса является многоводной рекой, что означает, что она обладает большим количеством воды и имеет существенное значение для водного хозяйства региона. Она широкая в устье, примерно 170 м, и имеет глубину около 4,5 м. Средняя скорость течения на Бирюсе составляет около 1,4 м/с.

Интересно, что в верховьях Бирюсы река представляет собой типичную горную реку. Это может оказать влияние на ее гидрологические характеристики.

Ранее р. Бирюса использовалась для сплава леса, что свидетельствует о важности этой реки для лесопромышленной отрасли региона. Кроме того, средний многолетний расход воды на участке реки в районе пос. Шиткино составляет около 300 м<sup>3</sup>/с. Этот показатель является важным при оценке потенциала реки для гидроэнергетического использования.

Затем с учетом полученных результатов выявили наиболее перспективный участок р. Бирюсы для строительства в перспективе гидроэлектростанции (ГЭС). При выборе участка необходимо было учитывать не только его потенциал водной энергии, но и другие факторы, такие как доступность для строительства, влияние на окружающую среду и социально-экономические показатели.

При разбивке водотока по створам, границы брались в местах расположения гидрологических постов. Таким образом, русло реки было разделено на 5 участков (табл. 1, рис. 2–4).

Исходные данные

Таблица 1

№ створа	Створ	Q, м <sup>3</sup> /с	F, км <sup>2</sup>	Z <sub>гп</sub> , м Б.С.	H <sub>гп</sub> , см	Z, м Б.С.	Расстояние от устья, км	Расстояние от истока L, км
1	Бирюса – Исток	0,0	0	–	–	2500	1 012	0
2	Бирюса – уч. Нерой	21,7	1770	768,34	52,7	768,87	902	110
3	Бирюса – г. Бирюсинск	263	24 700	249,68	108	250,76	568	444
4	Бирюса – р. п. Шиткино	291	31 800	212,29	314	215,43	467	545
5	Бирюса (Она) – с. Почет	351	50 600	150,00	183	151,83	200	812
6	Бирюса – Устье	350	55 800	-	–	102	0	1012

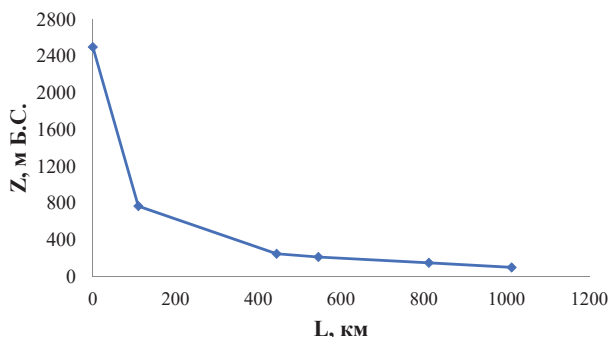


Рис. 2. Продольный профиль р. Бирюсы

После сбора данных необходимо осуществили оценку валового водноэнергетического потенциала на пяти рассматриваемых участках р. Бирюсы. Для этого рассчитали средний годовой расход воды на каждом участке и применили специальные формулы для определения потенциальной энергии, которую можно получить из данного объема воды (табл. 2, рис. 5).

По полученным результатам гидрологических характеристик р. Бирюсы и проведенных расчетов для определения валового гидроэнергетического потенциала позволил определить, что из пяти рассмотренных участков р. Бирюсы второй участок оказался наиболее подходящим для строительства гидроэлектростанции (ГЭС) в перспективе, так как на втором участке реки имеется самый высокий валовый гидроэнергетический потенциал. Это означает, что на этом участке, возможно, получить наибольшее количество энергии от гидроэлектростанции.

Предполагаемый створ ГЭС приведен на рис. 1. Морфометрические параметры водохранилищ определялись по данным, полученным с помощью радарной топографической съемки SRTM, построены батиграфические и объемные кривые водохранилища (рис. 6 и 7).

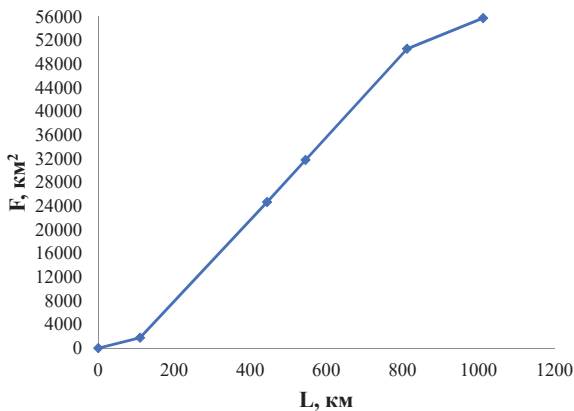


Рис. 3. График нарастания площадей водосбора по длине р. Бирюсы

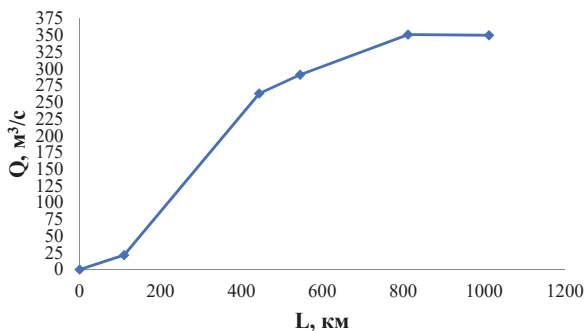


Рис. 4. Возрастание расхода воды по длине р. Бирюсы

Таблица 2

Данные для расчета валового гидроэнергетического потенциала

№ участка	$\Delta L_{\text{из}}$ , км	$\Delta Z$ , м	$Q_{\text{ср}}$ , м³/с	$N_i$ , МВт	$J_i$ , МВт/км
1	110	1731,13	10,85	184,92	1,68
2	334	518,11	131,5	667,69	2,00
3	101	35,33	145,5	50,38	0,50
4	267	63,6	175,5	109,39	0,41
5	200	49,83	175	85,46	0,43



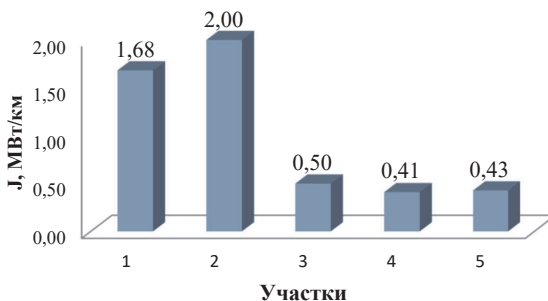


Рис. 5. Диаграмма распределения мощности на единице длины

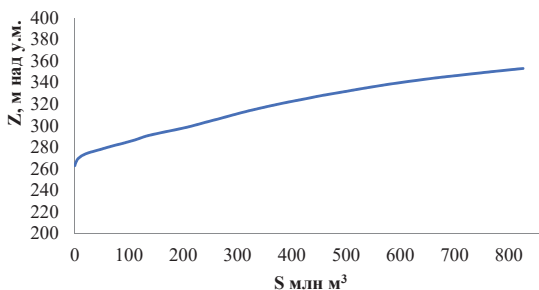


Рис. 6. Кривая площадей  $S = S(Z)$  водохранилища Бирюсинской ГЭС

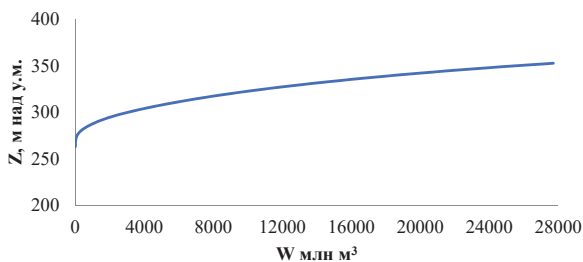


Рис. 7. Кривая объемов  $W = W(Z)$  водохранилища Бирюсинской ГЭС

Установленная мощность рассчитана по приближенной формуле:

$$N_{уст1} = 10^{-6} \eta \rho g Q_{ср} H_{макс1}, \quad (1)$$

где  $Q_{ср}$  – средний расход воды, 263 м<sup>3</sup>/с;  $H_{макс1}$  – максимальный напор, 83 м;  $\rho$  – плотность воды, 998,2 кг/м<sup>3</sup>;  $g$  – ускорение свободного падения, 9,78 м/с<sup>2</sup>;  $\eta$  – коэффициент полезного действия равный для крупных ГЭС  $\eta = 0,95$ .

В результате произведённых вычислений по пяти участкам р. Бирюсы, второй участок реки, который находится между створами участка Нерой и рабочим пос. Шиткино, оказался наиболее подходящим для строительства гидроэлектростанции (ГЭС) в перспективе. Это было установлено после обработки гидрологических характеристик и проведения расчетов валового водноэнергетического потенциала на пяти рассмотренных участках реки. Это означает, что на данном участке можно получить наибольшее количество энергии от ГЭС.

Кроме того, проведенные расчеты также позволили определить установленную мощность одной большой ГЭС на этом участке, которая составляет 202,45 МВт. Это впечатляющий показатель, который свидетельствует о значительном потенциале р. Бирюсы для производства электроэнергии.

Оценка потенциала гидроэнергетического развития р. Бирюсы и определение оптимального участка для строительства ГЭС позволяют принять взвешенные решения в планировании развития энергетического сектора в регионе.

#### Список литературы

1. *Сутырина Е. Н., Фролов С. В., Студень А. А.* Водохозяйственные расчёты : учеб. пособие. Иркутск : Изд-во ИГУ, 2019. 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
2. Бирюса (река). URL: <https://waterresources.ru/reki/biryusa-reka/> (дата обращения: 24.12.2022).
3. Ангаро-Байкальский бассейновый округ. URL: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f3/Angara.png/> (дата обращения: 24.12.2022).
4. Государственный водный реестр. URL: <http://www.textual.ru/gvr/index.php?card=206835>. (дата обращения: 24.12.2022).

*Научное издание*

# **БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ**

Материалы  
III Международной научно-практической конференции  
приуроченная к 75-летию географического факультета  
Иркутск, 21–23 июня 2023 г.

ISBN 978-5-9624-2234-3

*Материалы публикуются в авторской редакции  
Дизайн обложки: П. О. Ершов*

Темплан 2023 г. Поз. 141  
Уч.-изд. л. 14,0

ИЗДАТЕЛЬСТВО ИГУ  
664082, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 124