



ИД «Академия Естествознания»

# УСПЕХИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

Научный журнал

№ 1 2025



# ADVANCES IN CURRENT NATURAL SCIENCES

Scientific journal

No. 1 2025



PH Academy of Natural History

# Успехи современного естествознания

Научный журнал

Журнал издается с 2001 года.

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. Свидетельство – ПИ № ФС 77-63398.

«Успехи современного естествознания» – рецензируемый научный журнал, в котором публикуются статьи обладающие научной новизной, представляющие собой результаты завершённых исследований, проблемного или научно-практического характера, научные обзоры.

Журнал включен в действующий Перечень рецензируемых научных изданий (ВАК РФ). К2.

Журнал ориентируется на профессиональных работников сельского хозяйства, экологов, научных сотрудников, специалистов в смежных областях знаний, занимающихся изучением наук о земле.

Основные научные направления: 1.6. Науки о Земле и окружающей среде, 2.8. Недропользование и горные науки, 4.1. Агрономия, лесное и водное хозяйство.

## ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

*Ледванов Михаил Юрьевич*, д.м.н., профессор

## Технический редактор

Доронкина Е.Н.

## ЗАМ. ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

*Курзанов Анатолий Николаевич*, д.м.н., профессор

## Корректор

Галенкина Е.С.,

## ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ

*Бизенкова Мария Николаевна*, к.м.н.

Дудкина Н.А.

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

д.с.-х.н., доцент *Абдулвалеев Р.Р.* (Уфа); д.г.-м.н., проф., *Абилхасимов Х.Б.* (Астана); д.т.н., проф. *Айдосов А.* (Алматы); д.г.-м.н., проф., *Алексеев С.В.* (Иркутск); д.х.н., проф., *Алоев В.З.* (Нальчик); д.г.н., проф. *Андреев С.С.* (Ростов-на-Дону); д.г.н., доцент, *Андреева Е.С.* (Ростов-на-Дону); д.с.-х.н., доцент *Анищенко Л.Н.* (Брянск); д.с.-х.н., проф. *Байрамбеков Ш.Б.* (Камызяк); д.т.н., проф. *Бейсембаев К.М.* (Караганда); д.т.н., проф. *Белозеров В.В.* (Ростов-на-Дону); д.б.н., доцент *Белоус О.Г.* (Сочи); д.с.-х.н., проф. *Берсон Г.З.* (Великий Новгород); д.г.-м.н., проф. *Бондарев В.И.* (Екатеринбург); д.т.н., профессор *Галкин А.Ф.* (Ухта); д.г.-м.н., проф. *Гавришин А.И.* (Новочеркасск); д.с.-х.н., *Горбачева А.Г.* (Пятигорск); д.с.-х.н., *Горянин О.И.* (Самара); д.г.-м.н., проф. *Гусев А.И.* (Бийск); д.с.-х.н., проф. *Данилин И.М.* (Красноярск); д.б.н., доцент *Долгов А.В.* (Мурманск); д.э.н., проф. *Долятовский В.А.* (Ростов-на-Дону); д.х.н., проф. *Дресвянников А.Ф.* (Казань); д.г.н., проф. *Егорина А.В.* (Усть-Каменогорск); д.т.н., проф. *Ерофеев В.И.* (Томск); д.с.-х.н., проф. *Залесов С.В.* (Екатеринбург); д.с.-х.н., доцент *Захарченко А.В.* (Томск); д.с.-х.н., проф. *Зволинский В.П.* (Волгоград); д.х.н., проф. *Ивашикевич А.Н.* (Москва); д.б.н., доцент *Кавцевич Н.Н.* (Мурманск); д.т.н., проф. *Калякин С.А.* (Донецк); д.с.-х.н., проф. *Караев М.К.* (Махачкала); д.г.-м.н., проф. *Кашаев А.А.* (Иркутск); д.ф.-м.н., проф. *Кобрунов А.И.* (Ухта); д.г.-м.н., доцент *Копылов И.С.* (Пермь); д.г.-м.н., проф. *Костицын В.И.* (Пермь); д.с.-х.н., проф. *Костылев П.И.* (Зерноград); д.э.н., проф. *Косыкова И.В.* (Самара); д.с.-х.н., *Коцарева Н.Б.* (Белгород); д.т.н., доцент *Кузьяков О.Н.* (Тюмень); д.г.-м.н., проф. *Кучеренко И.В.* (Томск); д.б.н., проф. *Ларионов М.В.* (Саратов); д.г.-м.н., проф. *Лебедев В.И.* (Кызыл); д.ф.-м.н., проф. *Лерер А.М.* (Ростов-на-Дону); д.г.н., проф. *Луговской А.М.* (Москва); д.г.-м.н., проф. *Мельников А.И.* (Иркутск); д.т.н., проф. *Мусаев В.К.* (Москва); д.т.н., доцент *Нехорошева А.В.* (Ханты-Мансийск); д.с.-х.н., *Никитин С.Н.* (Ульяновск); д.с.-х.н., *Оказова З.П.* (Владикавказ); д.с.-х.н., проф. *Партоев К.* (Душанбе); д.с.-х.н., проф. *Петелько А.И.* (Миценск); д.т.н., проф. *Петров М.Н.* (Красноярск); д.т.н., проф. *Пирумян Г.П.* (Ереван); д.с.-х.н., проф. *Проездов П.Н.* (Саратов); д.г.-м.н., проф. *Сакеев К.С.* (Бишкек); д.б.н. *Сибикеев С.Н.* (Саратов); д.с.-х.н., доцент *Сокольская О.Б.* (Саратов); д.т.н., проф. *Степанов В.В.* (Санкт-Петербург); д.т.н., проф. *Тарасенко А.А.* (Тюмень); д.т.н. *Теплухин В.К.* (Октябрьский); д.э.н., проф. *Титов В.А.* (Москва); д.с.-х.н., проф. *Титов В.Н.* (Саратов); д.с.-х.н., проф. *Тихановский А.Н.* (Салехард); д.г.-м.н., проф. *Трофименко С.В.* (Нерюнгри); д.т.н., проф. *Ульрих Е.В.* (Кемерово); д.г.н., проф. *Чодураев Т.М.* (Бишкек); д.с.-х.н., проф. *Шамшиев Б.Н.* (Ош); д.т.н., проф. *Шантарин В.Д.* (Тюмень); д.т.н., проф. *Шатов А.А.* (Уфа); д.ф.-м.н., проф. *Ширатов Д.Ш.* (Улан-Удэ); д.т.н., проф. *Шишелова Т.И.* (Иркутск); д.ф.-м.н., проф. *Шузунов Л.Ж.* (Нальчик); д.г.-м.н., проф. *Юргенсон Г.А.* (Чита); д.т.н., проф. *Яковенко Н.В.* (Воронеж); д.т.н., проф. *Ямалетдинова К.Ш.* (Челябинск)

ISSN 1681-7494

Электронная версия: <http://www.natural-sciences.ru>

Правила для авторов: <http://www.natural-sciences.ru/ru/rules/index>

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ = 0,775

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ = 0,368

Периодичность

12 номеров в год

Учредитель, издатель и редакция

ООО ИД «Академия Естествознания»

Почтовый адрес

105037, г. Москва, а/я 47

Адрес редакции и издателя

440026, г. Пенза, ул. Лермонтова, 3

Типография

ООО «НИЦ Академия Естествознания»  
410035, г. Саратов, ул. Мамонтовой, 5

E-mail

edition@rae.ru

Телефон

+7 (499) 705-72-30

Подписано в печать

31.01.2025

Дата выхода номера

28.02.2025

Формат

60x90 1/8

Усл. печ. л.

7,0

Тираж

1000 экз.

Заказ

УСЕ 2025/1

Распространяется по свободной цене

Подписной индекс в электронном каталоге «Почта России»: П7816

© ООО ИД «Академия Естествознания»

# Advances in current natural sciences

Scientific journal

The journal has been published since 2001.

The journal is registered by the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Mass Communications. Certificate – PI No. FS 77-63398.

«Advances in current natural sciences» is a peer-reviewed scientific journal that publishes articles of scientific novelty, which are the results of completed research, of a problematic or scientific-practical nature, scientific reviews.

The journal is included in the current List of peer-reviewed scientific publications (HCC RF). K2.

The journal is aimed at professional agricultural workers, environmentalists, researchers, specialists in related fields of study geosciences.

**Main scientific directions:** 1.6. Earth and environmental sciences, 2.8. Subsoil use and mining sciences, 4.1. Agronomy, forestry and water management.

## CHIEF EDITOR

*Ledvanov Mikhail Yurievich*, Dr. Sci. (Medical), Prof.

## Technical editor

Doronkina E.N.

## DEPUTY CHIEF EDITOR

*Kurzanov Anatoly Nikolaevich*, Dr. Sci. (Medical), Prof.

## Corrector

Galenkina E.S.,

Dudkina N.A.

## EXECUTIVE SECRETARY

*Bizenkova Maria Nikolaevna*, Cand. Sci. (Medical)

## EDITORIAL BOARD

D.Sc., Docent *Abdulvaleev R.R.* (Ufa); D.Sc., Prof. *Abilkhasimov Kh.B.* (Astana); D.Sc., Prof. *Aidosov A.* (Almaty); D.Sc., Prof. *Alekseev S.V.* (Irkutsk); D.Sc., Prof. *Aloev V.Z.* (Nalchik); D.Sc., Prof. *Andreev S.S.* (Rostov-on-Don); D.Sc., Docent, *Andreeva E.S.* (Rostov-on-Don); D.Sc., Docent *Anishchenko L.N.* (Bryansk); D.Sc., Prof. *Bayrambekov Sh.B.* (Kamyzyak); D.Sc., Prof. *Beisembaev K.M.* (Karaganda); D.Sc., Prof. *Belozеров V.V.* (Rostov-on-Don); D.Sc., Docent *Belous O.G.* (Sochi); D.Sc., Prof. *Berson G.Z.* (Velikiy Novgorod); D.Sc., Prof. *Bondarev V.I.* (Ekaterinburg); D.Sc., Prof. *Galkin A.F.* (Ukhta); D.Sc., Prof. *Gavrishin A.I.* (Novocheboksarsk); D.Sc. *Gorbacheva A.G.* (Pyatigorsk); D.Sc. *Goryanin O.I.* (Samara); D.Sc., Prof. *Gusev A.I.* (Biysk); D.Sc., Prof. *Danilin I.M.* (Krasnoyarsk); D.Sc., Docent *Dolgov A.V.* (Murmansk); D.Sc., Prof. *Dolyatovsky V.A.* (Rostov-on-Don); D.Sc., Prof. *Dresvyannikov A.F.* (Kazan); D.Sc., Prof. *Egorina A.V.* (Ust-Kamenogorsk); D.Sc., Prof. *Erofeev V.I.* (Tomsk); D.Sc., Prof. *Zalesov S.V.* (Ekaterinburg); D.Sc., Docent *Zakharchenko A.V.* (Tomsk); D.Sc., Prof. *Zvolinsky V.P.* (Volgograd); D.Sc., Prof. *Ivashkevich A.N.* (Moscow); D.Sc., Docent *Kavtsevich N.N.* (Murmansk); D.Sc., Prof. *Kalyakin S.A.* (Donetsk); D.Sc., Prof. *Karaev M.K.* (Makhachkala); D.Sc., Prof. *Kashaev A.A.* (Irkutsk); D.Sc., Prof. *Kobrunov A.I.* (Ukhta); D.Sc., Docent *Kopylov I.S.* (Perm); D.Sc., Prof. *Kostitsyn V.I.* (Perm); D.Sc., Prof. *Kostylev P.I.* (Zernograd); D.Sc., Prof. *Kosyakova I.V.* (Samara); D.Sc., *Kotsareva N.V.* (Belgorod); D.Sc., Docent *Kuzuyakov O.N.* (Tyumen); D.Sc., Prof. *Kucherenko I.V.* (Tomsk); D.Sc., Prof. *Larionov M.V.* (Saratov); D.Sc., Prof. *Lebedev V.I.* (Kyzyl); D.Sc., Prof. *Lerer A.M.* (Rostov-on-Don); D.Sc., Prof. *Lugovskoy A.M.* (Moscow); D.Sc., Prof. *Melnikov A.I.* (Irkutsk); D.Sc., Prof. *Musaev V.K.* (Moscow); D.Sc., Docent *Nehorosheva A.V.* (Khanty-Mansiysk); D.Sc. *Nikitin S.N.* (Ulyanovsk); D.Sc. *Okazova Z.P.* (Vladikavkaz); D.Sc., Prof. *Partoev K.* (Dushanbe); D.Sc., Prof. *Petelko A.I.* (Mtsensk); D.Sc., Prof. *Petrov M.N.* (Krasnoyarsk); D.Sc., Prof. *Pirumyan G.P.* (Yerevan); D.Sc., Prof. *Proezdov P.N.* (Saratov); D.Sc., Prof. *Sakiev K.S.* (Bishkek); D.Sc. *Sibikeev S.N.* (Saratov); D.Sc., Docent *Sokolskaya O.B.* (Saratov); D.Sc., Prof. *Stepanov V.V.* (Saint Petersburg); D.Sc., Prof. *Tarasenko A.A.* (Tyumen); D.Sc. *Teplukhin V.K.* (Oktyabr'skiy); D.Sc., Prof. *Titov V.A.* (Moscow); D.Sc., Prof. *Titov V.N.* (Saratov); D.Sc., Prof. *Tikhonovskiy A.N.* (Salekhard); D.Sc., Prof. *Trofimenko S.V.* (Neryungri); D.Sc., Prof. *Ulrich E.V.* (Kemerovo); D.Sc., Prof. *Choduraev T.M.* (Bishkek); D.Sc., Prof. *Shamshiev B.N.* (Osh); D.Sc., Prof. *Shantarin V.D.* (Tyumen); D.Sc., Prof. *Shatov A.A.* (Ufa); D.Sc., Prof. *Shirapov D.Sh.* (Ulan-Ude); D.Sc., Prof. *Shishelova T.I.* (Irkutsk); D.Sc., Prof. *Shugunov L.Zh.* (Nalchik); D.Sc., Prof. *Yurgenson G.A.* (Chita); D.Sc., Prof. *Yakovenko N.V.* (Voronezh); D.Sc., Prof. *Yamaletdinova K.Sh.* (Chelyabinsk)

ISSN 1681-7494

Electronic version: <http://www.natural-sciences.ru>

Rules for authors: <http://www.natural-sciences.ru/ru/rules/index>

Impact-factor RISQ (two-year) = 0,775

Impact-factor RISQ (five-year) = 0,368

Periodicity	12 issues per year
Founder, publisher and editors	LLC PH Academy of Natural History
Mailing address	105037, Moscow, p.o. box 47
Editorial and publisher address	440026, Penza, st. Lermontov, 3
Printing house	LLC SPC Academy of Natural History 410035, Saratov, st. Mamontova, 5
E-mail	edition@rae.ru
Signed for print	31.01.2025
Format	60x90 1/8
Circulation	1000 copies
Telephone	+7 (499) 705-72-30
Number issue date	28.02.2025
Conditionally printed sheets	7,0
Order	YCE 2025/1

Distribution at a free price

Subscription index in the Russian Post electronic catalog: P7816

© LLC PH Academy of Natural History

## СОДЕРЖАНИЕ

### Географические науки (1.6.8, 1.6.12, 1.6.13, 1.6.21)

#### СТАТЬИ

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА НА ТЕРРИТОРИИ, ГРАНИЧАЩЕЙ С НЕФТЕБАЗОЙ <i>Кочетова Ж.Ю., Вартазарова А.Э., Косинова И.И.</i> .....	6
ВЛИЯНИЕ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ И КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА УРОВЕНЬ ГРУНТОВЫХ ВОД (НА ПРИМЕРЕ ПРАВОЕГОРЛЫКСКОГО КАНАЛА) <i>Марнопольская Ю.Т.</i> .....	12
ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ КАРСТОВО-СУФФОЗИОННЫХ ЯВЛЕНИЙ В ЮЖНЫХ РАЙОНАХ ОМСКОЙ ОБЛАСТИ <i>Мезенцева О.В., Грицаенко А.Э.</i> .....	17
К ВОПРОСУ ОБ ОЦЕНКЕ ТУРИСТСКОГО ПОТЕНЦИАЛА РЕГИОНОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ <i>Токарев И.В., Мельников М.А., Смирнов В.Е.</i> .....	23
ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ МНОГОЭТАЖНОГО ЖИЛОГО ДОМА НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ И РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ЕЕ ОПТИМИЗАЦИИ (НА ПРИМЕРЕ ЖИЛОЙ ЗАСТРОЙКИ ГОРОДА КЕМЕРОВО) <i>Цыганков Д.А., Федорова А.А.</i> .....	28

#### НАУЧНЫЙ ОБЗОР

АНАЛИЗ МЕЖДУНАРОДНЫХ ИНИЦИАТИВ ПО ОГРАНИЧЕНИЮ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ФОСФАТОВ КАК ИСТОЧНИКОВ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЗДОРОВЬЕ ЧЕЛОВЕКА И ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ <i>Баиш П.В.</i> .....	36
---	----

### Геолого-минералогические науки (1.6.3, 1.6.5, 1.6.6, 1.6.10, 1.6.12, 1.6.17, 1.6.21)

#### СТАТЬЯ

ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В ПОЧВАХ ДЕЛЬТЫ РЕКИ СЕВЕРНАЯ ДВИНА (НА ПРИМЕРЕ ОСТРОВА ЯГРЫ) <i>Латиков П.И., Яковлев Е.Ю., Латикова А.Т.</i> .....	43
--	----

### Технические науки (1.6.7, 1.6.9, 1.6.16, 2.8.1, 2.8.6, 2.8.7, 2.8.9)

#### СТАТЬЯ

НАНОЧАСТИЦЫ ОКСИДА ВАНАДИЯ(IV) КАК ПЕРМАНЕНТНЫЙ МОДИФИКАТОР В ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКОЙ АТОМНО- АБСОРБЦИОННОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ ПРИ АНАЛИЗЕ ШАХТНЫХ ВОД: ПРЕИМУЩЕСТВА И ОГРАНИЧЕНИЯ <i>Алемасова А.С., Шептун И.Г., Заболотный А.А., Грапенко О.Ю., Чебышев К.А.</i> .....	50
---	----

## CONTENTS

### **Geographical sciences (1.6.8, 1.6.12, 1.6.13, 1.6.21)**

#### **ARTICLES**

ENVIRONMENTAL RISK ASSESSMENT ON THE TERRITORY BORDERING THE OIL DEPOT <i>Kochetova Zh.Yu., Vartazarova A.E., Kosinova I.I.</i> .....	6
THE INFLUENCE OF THE IRRIGATION SYSTEM AND CLIMATIC FACTORS ON THE GROUNDWATER LEVEL (ON THE EXAMPLE OF THE PRAVOEGORLYK CANAL) <i>Marnopolskaya Yu.T.</i> .....	12
GEOECOLOGICAL ASSESSMENT OF THE PROBABILITY OF OCCURRENCE OF KARST-SUFFUSION PHENOMENA IN THE SOUTHERN REGIONS OF THE OMSK REGION <i>Mezentseva O.V., Gritsaenko A.E.</i> .....	17
ON THE ISSUE OF ASSESSING THE TOURISM POTENTIAL OF THE REGIONS OF THE RUSSIAN FEDERATION <i>Tokarev I.V., Melnikov M.A., Smirnov V.E.</i> .....	23
ASSESSMENT OF THE IMPACT OF CONSTRUCTION AND OPERATION OF A MULTI-STORE RESIDENTIAL BUILDING ON THE ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT OF RECOMMENDATIONS FOR ITS OPTIMIZATION (USING THE EXAMPLE OF RESIDENTIAL DEVELOPMENT IN KEMEROVO) <i>Tsygankov D.A., Fedorova A.A.</i> .....	28
<b>REVIEW</b>	
ANALYSIS OF INTERNATIONAL INITIATIVES TO REGULATE THE USE OF ORGANIC PHOSPHATES AS SOURCES OF ADVERSE IMPACTS ON HUMAN HEALTH AND THE ENVIRONMENT <i>Bash P.V.</i> .....	36

### **Geological and mineralogical sciences (1.6.3, 1.6.5, 1.6.6, 1.6.10, 1.6.12, 1.6.17, 1.6.21)**

#### **ARTICLE**

ASSESSMENT OF NATURAL AND ANTHROPOGENIC RADIONUCLIDE CONTENT IN SOILS THE NORTHERN DVINA RIVER DELTA (ON THE EXAMPLE OF YAGRY ISLAND) <i>Lapikov P.I., Yakovlev E.Yu., Lapikova A.T.</i> .....	43
---	----

### **Technical sciences (1.6.7, 1.6.9, 1.6.16, 2.8.1, 2.8.6, 2.8.7, 2.8.9)**

#### **ARTICLE**

VANADIUM(IV) OXIDE NANOPARTICLES AS A PERMANENT MODIFIER IN ELECTROTHERMAL ATOMIC ABSORPTION SPECTROMETRY OF MINE WATER ANALYSIS: ADVANTAGES AND LIMITS <i>Alemasova A.S., Sheptun I.G., Zabolotnyi A.A., Grapenko O.Yu., Chebyshev K.A.</i> .....	50
---	----

## СТАТЬИ

УДК 504:550.43

DOI 10.17513/use.38363

**ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА НА ТЕРРИТОРИИ,  
ГРАНИЧАЩЕЙ С НЕФТЕБАЗОЙ****<sup>1</sup>Кочетова Ж.Ю., <sup>1</sup>Вартазарова А.Э., <sup>2</sup>Косинова И.И.**

<sup>1</sup>*Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», Воронеж,  
e-mail: zk\_yva@mail.ru, an\_vartazarova@mail.ru;*

<sup>2</sup>*ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», Воронеж,  
e-mail: kosinova777@yandex.ru*

Цель работы – оценка экологического риска на территории, прилегающей к нефтебазе в Воронеже, где по результатам ранее проводимых исследований складывается неблагоприятная экологическая ситуация вследствие утечек и разливов нефтепродуктов. Для оценки риска исследовали состояние почвы как депонирующей среды, отражающей длительное негативное воздействие эксплуатации нефтебазы на экологическое состояние территории. В качестве аналита-маркера загрязнения почвы рассматривали общее содержание нефтяных углеводородов. Для определения содержания нефтеуглеводородов в почве применяли метод пьезокварцевого микровзвешивания. Метод отличается от известных высокой чувствительностью, точностью и экономичностью, позволяет проводить измерения в полевых условиях без пробоотбора и пробоподготовки почв. На основании известных данных на первом этапе исследуемую территорию разделяли на три участка по степени загрязнения почвы: 1 – высокое; 2 – среднее; 3 – низкое. В каждой зоне отбирали по 3–4 пробы почвы с глубины 0,1; 0,5 и 0,8 м и измеряли в них концентрацию аналита-маркера. На втором этапе проводили оценку риска, связанную с загрязнением почвы нефтеуглеводородами. Для оценки риска использовали методы «доза-эффект» и корректирующих действий. Средние концентрации нефтеуглеводородов в почвах трех участков на глубине 0,5 м составили 2428, 1451 и 95 мг/кг. Оценка рисков позволила сделать вывод о том, что исследуемая территория является экологически опасной по целевому уровню загрязнения почвы. Исключение составляет участок 1. По токсическим характеристикам почвы на всех трех участках опасны для здоровья населения и требуют восстановления. Представленный в работе алгоритм исследования экологического риска на территории, прилегающей к нефтебазе в Воронеже, могут быть использованы для оценки рисков других объектов нефтяной промышленности.

**Ключевые слова:** загрязнение почв, нефтеуглеводороды, нефтебаза, «доза-эффект», метод корректирующих действий, экологический риск

**ENVIRONMENTAL RISK ASSESSMENT  
ON THE TERRITORY BORDERING THE OIL DEPOT****<sup>1</sup>Kochetova Zh.Yu., <sup>1</sup>Vartazarova A.E., <sup>2</sup>Kosinova I.I.**

<sup>1</sup>*Military Educational and Scientific Center of the Air Force N.E. Zhukovsky  
and Y.A. Gagarin Air Force Academy, Voronezh,  
e-mail: zk\_yva@mail.ru, an\_vartazarova@mail.ru;*

<sup>2</sup>*Voronezh State University, Voronezh, e-mail: kosinova777@yandex.ru*

The purpose of the work is to assess the environmental risk in the territory adjacent to the Voronezh oil depot, where, according to the results of previous studies, an unfavorable environmental situation is developing due to leaks and spills of petroleum products. To assess the risk, the state of the soil as a depositing medium was studied, reflecting the long-term negative impact of the operation of the oil depot on the ecological state of the territory. The total content of petroleum hydrocarbons was considered as an analyte marker of soil contamination. The piezoquartz microweighting method was used to determine the content of petroleum hydrocarbons in the soil. The method differs from the known ones in its high sensitivity, accuracy and cost-effectiveness, and allows measurements to be carried out in the field without sampling and sample preparation of soils. Based on the known data, at the first stage, the study area was divided into three sections according to the degree of soil contamination: 1 – high; 2 – medium; 3 – low. In each zone, 3–4 soil samples were taken from a depth of 0,1, 0,5, and 0,8 m and the concentration of the analyte marker was measured in them. At the second stage, a risk assessment was carried out related to soil contamination with petro-hydrocarbons. The methods of «dose-effect» and corrective actions were used to assess the risk. The average concentrations of petro-hydrocarbons in the soils of the three sites at a depth of 0,5 m were 2428, 1451 and 95 mg/kg. The risk assessment allowed us to conclude that the study area is environmentally hazardous in terms of the target level of soil pollution. The exception is site 1. According to the toxic characteristics of the soil in all three sites, they are dangerous to public health and require restoration. The algorithm presented in the paper for studying environmental risk in the territory adjacent to the Voronezh oil depot can be used to assess the risks of other oil industry facilities.

**Keywords:** soil pollution, hydrocarbons oil, tank farm, «dose-effect», method of corrective actions, environmental risk

### Введение

Добыча, переработка, транспортирование, хранение нефти и нефтепродуктов приводят к загрязнению окружающей среды во всем мире. Участвовавшие случаи террористических актов ставят экологическую ситуацию на объектах нефтепромышленности на грань катастрофической. Несмотря на то, что сама нефть и энергетические продукты из нее мало опасны, масштабы загрязнения и длительность трансформации нефтеуглеводородов (НУВ) в объектах окружающей среды приводят к ухудшению здоровья людей и даже гибели биocenozов [1, 2]. Оценка рисков получила международное признание как наиболее экономичный и обоснованный инструмент для экологического управления загрязненными участками [3]. Для оценки экологических рисков, связанных с загрязнением депонирующих сред нефтяными углеводородами, важно охарактеризовать источники и возможное пространственное распределение нефтеуглеводородов в объектах окружающей среды. Оценка рисков включает описание участка, количественную оценку рисков для человека и окружающей среды, а также выбор эффективных мероприятий по устранению последствий [4].

Оценку экологического риска проводили на территории, прилегающей к типичной нефтебазе, расположенной в густонаселенном районе Воронежа. Экологический мониторинг на этом объекте проводится уже

более 30 лет. В 1994 г. была обнаружена топливная линза на поверхности горизонта грунтовых вод с содержанием нефтеуглеводородов от 40 до 8051 мг/л и в грунтах – от 250 до 4850 мг/кг [5]. В 2022 г. в результате террористического акта произошел крупный выброс НУВ, сопровождающийся пожаром, что привело к значительному ухудшению экологической ситуации на территории нефтебазы [6]. Загрязнение почв на территориях, граничащих с нефтебазой, изучено недостаточно; остается открытым вопрос о необходимости проведения реабилитационных работ для снижения экологического риска.

**Цель работы** – оценка экологического риска на территории, прилегающей к нефтебазе Воронежа, и установление необходимости проведения мероприятий по экологической реабилитации загрязненной территории.

### Материалы и методы исследования

Нефтебаза расположена в Левобережном районе Воронежа в непосредственной близости к жилым и промышленным объектам. Хранилище эксплуатируется 78 лет, что позволяет его рассматривать как диагностическую модель с комплексом экологических рисков, формирующихся под воздействием нефтебаз первого уровня. Точки пробоотбора обусловлены установленным ранее расположением эколого-гидрогеохимической аномалии (рис. 1) [7].



Рис. 1. Эколого-гидрогеохимическая аномалия на нефтебазе и схема отбора проб на участках с высоким (1), средним (2) и низким (3) загрязнением почвы  
Источник: составлено авторами по [7]

Смесь нефтяных углеводородов в почвах является аналитом-маркером загрязнения окружающей среды на объектах нефтяной промышленности [8]. Концентрацию нефтеуглеводородов в почвах определяли суммарно «на месте» методом пьезокварцевого микровзвешивания с применением высокочувствительного анализатора газов [9]. Концентрацию НУВ в каждой пробе определяли не менее 3 раз в полевых условиях. В указанных на рис. 1 точках исследовали почвы на глубине 0,1; 0,5 и 0,8 м. Свойства почв на исследуемой территории подробно описаны ранее [5–7].

Для оценки риска применяли известную методику, позволяющую количественно определять потенциальный риск загрязнения для здоровья человека, экологический риск для живых организмов и природы. Он включает этапы: сбор и оценка данных, оценка воздействия, оценка токсичности, характеристика риска. Уравнение для расчета коэффициента опасности выглядит следующим образом:  $K_o = C_{факт} / C_{целевая}$  [3]. Коэффициент опасности от указанного воздействия должен быть меньше единицы. Градация загрязнения почв по содержанию НУВ включает уровни: 1) до 1000 мг/кг – низкое загрязнение; 1000–2000 мг/кг – среднее; 2000–3000 мг/кг – высокое; более 3000 мг/кг – очень высокое [5].

Для повышения точности и снижения экономических затрат при оценке экологических рисков на сравнительно масштабных территориях воздействия объектов нефтяной промышленности рекомендуется применять методику корректирующих действий. В методике используется многоуровневый подход, при котором корректирующие действия разрабатываются поэтапно с учетом задач оценки рисков и конкретных условий на исследуемом объекте. Методика включает три уровня, с каждым уровнем оценка риска усложняется и уточняется (рис. 2). Экономичность и точность такой оценки обусловлена тем, что на каждом уровне исключаются из рассмотрения те участки, которые соответствуют целевому уровню риска, а все усилия по мониторингу и расчетам сосредотачиваются на проблемной территории.

В соответствии с задачами расчет опасности может включать этапы оценки риска относительно целевой, допустимой и/или фоновой концентрации загрязнителя. Чем больше затраты на экологические исследования проблемных участков загрязненной территории, тем выше точность резуль-

татов исследования, эффект от принятых мер и меньше затраты на восстановление территорий.



Рис. 2. Схема корректирующей методики оценки экологического риска  
Источник: составлено авторами

В нормативных документах значения предельно допустимой концентрации (ПДК) для суммарного содержания НУВ в почвах отсутствуют, что является большой проблемой в оценке рисков при нефтезагрязнениях. В научной литературе рекомендованные ПДК могут отличаться на 3–4 порядка. Сложность установления нормативов для НУВ обусловлена многими факторами, основной из них – значительное влияние условий окружающей среды на поведение нефтеуглеводородов различной природы в почвах. Наиболее адекватное и научно обоснованное значение ПДК для НУВ определено экспериментально белорусскими учеными, оно составляет 100 мг/кг [10]. Часто вместо ПДК в расчетах используют фоновое содержание загрязнителя в почве, для Воронежского государственного заповедника  $C_{фон} = 32$  мг/кг [5].

#### Результаты исследования и их обсуждение

Результаты определения общего содержания НУВ на различной глубине почв представлены в табл. 1. Поверхностное загрязнение почвы НУВ на участках 1 и 2 различается незначительно, уровень загрязнения приближен к рангу – среднее. Однако на глубине 0,5 м концентрация углеводоро-



дов повышается в ~1,5–2 раза, что объясняется длительной фильтрацией НУВ через слой почвы и концентрированием их на геохимических барьерах. Здесь загрязнение почвы в одной из точек на участке 1 классифицируется как очень высокое. На глубине 0,8 м концентрации НУВ снижаются и практически не отличаются для участков 1 и 2. На участке 3, который менее подвержен воздействию нефтебазы, концентрация НУВ, напротив, максимальна в поверхностном слое почвы и убывает с глубиной. Здесь загрязнение почвы соответствует низкому рангу. Такое распределение загрязняющих веществ по высоте грунтов на участках с различной степенью техногенной нагрузки подтверждается ранее полученными выводами [11].

При оценке экологического риска концентрацию НУВ, установленную в результате химического анализа образцов почвы, сопоставляли с целевым уровнем (табл. 1). Целевой уровень поступления НУВ в почву принят равным 1000 мг/кг, что соответствует низкому уровню загрязнения почвы. Фоновые концентрации и значения менее 1000 мг/кг для оценки такого риска принимать не имеет смысла, так как на объектах нефтяной промышленности, эксплуатируемых почти столетие, эти уровни недостижимы. В то же время принятый в работе целевой уровень загрязнения почвы не-

фтяными углеводородами в 1,5 раза ниже рекомендованного ВОЗ и используемого для оценки экологического риска в западных странах.

В соответствии с этой методикой опасность загрязнения почв превышает единицу на предполагаемых проблемных участках 1 и 2, граничащих с ранее установленной эколого-гидрогеохимической аномалией на территории нефтебазы (рис. 1). На этих участках необходима рекультивация почвы глубиной не менее чем на 0,5 м.

При использовании корректирующего подхода к оценке экологического риска результаты химического анализа проб почвы интерпретируются следующим образом: ни в одном из слабо загрязненных образцов почвы (участок 3) содержание загрязняющих веществ не превышает целевого (приемлемого) уровня. В этом случае дальнейшее исследование должно быть прекращено, так как участок 3 не требует восстановления. Землепользование подобных участков в основном рекомендовано для промышленных целей, организации автостоянок, строительства нежилых помещений и т.д. В случае изменения типа землепользования для более чувствительных целей требуется повторная оценка риска, при которой устанавливается более жесткое неприемлемое воздействие из-за изменившихся критериев опасности.

Таблица 1

Фактическая концентрация нефтеуглеводородов в почве  $C_{факт}$ , мг/кг, и рассчитанный коэффициент опасности по целевому значению их концентрации  $K_o$

Участок	Глубина пробоотбора, м		
	0,1	0,5	0,8
1	1257±20	2375±44	423±10
	1014±17	3124±66	513±11
	1012±17	2428±48	506±11
$C_{ср\ факт} (K_o)$	1094±245 (1,1)	2428±749 (2,4)	480±90 (0,48)
2	974±17	1568±24	548±12
	1004±18	1591±24	617±12
	876±17	1248±18	522±12
	814±16	1374±21	435±10
$C_{ср\ факт} (K_o)$	917±190 (0,92)	1451±317 (1,5)	530±182 (0,53)
3	244±8	114±8	62±4
	237±8	106±8	65±4
	211±8	67±5	65±4
$C_{ср\ факт} (K_o)$	230±33 (0,23)	95±47 (0,95)	64±3 (0,64)

Таблица 2

Оценка коэффициентов опасности загрязнения почвы  
для человека и окружающей среды

Участок	1			2			3		
	0,1	0,5	0,8	0,1	0,5	0,8	0,1	0,5	0,8
Глубина пробоотбора, м	0,1	0,5	0,8	0,1	0,5	0,8	0,1	0,5	0,8
$C_{ср\ факт} / ПДК$	10,9	24,3	4,80	9,17	14,5	5,30	2,3	0,95	0,64
$C_{ср\ факт} / C_{фон}$	34,2	75,9	15,0	28,7	45,3	16,6	7,2	2,9	2,0

Концентрации НУВ в пробах почвы на участках 1 и 2 превышают целевой уровень на глубине отбора проб 0,5 м во всех исследуемых точках. В этом случае необходимо повысить достоверность данных путем расширения территории исследований, проведения новых химических анализов и расчетов риска. Рекомендуется исследование грунтов глубиной более 0,5 м в наиболее загрязненных точках пробоотбора.

При более жесткой оценке риска расчет коэффициента опасности проводят относительно ПДК или фоновых концентраций. Это соотношение характеризует токсичность почвы. Так как нефтебаза расположена в жилом районе города, этот этап в оценке риска является обязательным. Как правило, результаты оценки экологических рисков на объектах нефтяной промышленности указывают на то, что измеренная концентрация превышает и фон, и ПДК. Это свидетельствует о том, что последствия эксплуатации подобных объектов на протяжении долгого времени без восстановительных работ неприемлемы для здоровья людей. Рассматриваемое в работе воздействие нефтебазы на человека и окружающую среду не является исключением, расчеты показывают значительное превышение допустимой и фоновой концентраций на всех исследуемых участках в десятки раз (табл. 2). Сложившаяся экологическая ситуация на отдельных участках, граничащих с нефтебазой, только по содержанию аналита-маркера классифицируется как опасная. При этом надо понимать, что с увеличением концентрации нефтепродуктов в почве растет концентрация и многих других загрязнителей, так как НУВ изменяют физико-химические характеристики почв и способствуют накоплению тяжелых металлов, формальдегида, нитратов [12].

### Заключение

Оценка экологического риска на территории, граничащей с типичной нефтебазой

в Воронеже, проведена путем сравнения концентрации аналита-маркера загрязнения почв (нефтяных углеводородов) на участках, ранжируемых по уровню загрязнения. При этом использовали коэффициенты опасности, рассчитанные относительно целевой, предельно допустимой и фоновой концентраций. Целевые уровни экологической опасности превышены на двух загрязненных нефтепродуктами участках, в отдельных точках пробоотбора которых требуется рекультивация почв глубиной до 0,5 м. Третий мало загрязненный участок может быть использован для строительства нежилых объектов без восстановления почвы. Оценка токсической опасности почвы показала высокие риски для населения и окружающей среды на всех трех участках, расположенных вблизи нефтебазы. Максимальное превышение ПДК нефтеуглеводородов (в 24,3 раза) зафиксировано на первом участке на глубине отбора проб 0,5 м. На третьем участке повышенное загрязнение почвы, кратное 2,3 ПДК, установлено на глубине 0,1 м. Следовательно, для снижения рисков, связанных с угрозой здоровью населения, необходимо восстановление почв, информирование людей и проведение соответствующих медицинских мероприятий. Объемы рекультивационных работ должны быть уточнены с применением рассмотренного в работе корректирующего подхода к оценке рисков.

Представленный в работе алгоритм оценки экологического риска, отличающийся от известных использованием мобильного анализатора аналита-маркера загрязнения почв и корректирующего многоуровневого подхода, позволяет повысить точность и экономичность проведения исследования на сравнительно масштабных территориях. Алгоритм рекомендуется применять на объектах нефтяной промышленности при их штатной работе и в случае развития чрезвычайных ситуаций, а также на граничащих с ними территориях.

**Список литературы**

1. Оруджев Р.А., Джафарова Р.Э. Особенности токсического действия углеводородов нефти на организм человека // Вестник Витебского государственного медицинского университета. 2017. № 16 (4). С. 8–15.
2. Шамраев А.В., Шорина Т.С. Влияние нефти и нефтепродуктов на различные компоненты окружающей среды // Вестник Оренбургского государственного университета. 2009. № 6. С. 642–645.
3. Медведева С.А. Экологический риск. Общие понятия, методы оценки. XXI век // Техносферная безопасность. 2016. № 1 (1). С. 67–81.
4. Германова С.Е., Дрёмова Т.В., Самброс Н.Б., Петровская П.А. Управление и оценка рисков загрязнения почвы нефтепродуктами в АПК // Международный сельскохозяйственный журнал. 2020. № 1. С. 59–61.
5. Бокарев Д.В. Экологические проблемы загрязнения урбазосистем нефтепродуктами (на примере г. Воронежа) // Вестник Воронежского университета. Геология. 2000. Вып. 5 (10). С. 232–234.
6. Бударина В.А., Косинова И.И., Кочетова Ж.Ю., Базарский О.В. Исследование влияния пожаров на загрязнение грунтов нефтепродуктами в зоне аэрации с применением «электронного носа» на пьезосенсорах // ГеоРиск. 2023. Т. 17, № 3. С. 48–57.
7. Косинова И.И., Бударина В.А., Фонова О.Г. Преобразование абиотических компонентов природной среды в районах длительно существующих объектов логистики нефтепродуктов // Вестник ВГУ. Серия: Геология. 2019. № 1. С. 88–92.
8. Васильев А.В., Быков Д.Е., Пименов А.А. Экологический мониторинг загрязнения почвы нефтесодержащими отходами // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2015. Т. 17, № 4–1. С. 269–272.
9. Кочетова Ж.Ю., Базарский О.В., Кучменко Т.А., Маслова Н.В. Экологические проблемы авиационно-ракетного кластера и оптимизация геомониторинга с применением пьезосенсорного датчика // Экология и промышленность России. 2018. Т. 22, № 8. С. 32–38.
10. Рубин В.М., Ильюкова И.И., Кремко Л.М. Гигиеническое обоснование нормативов ПДК нефтепродуктов в почвах Республики Беларусь // Гигиена и санитария. 2013. № 92 (2). С. 99–101.
11. Kochetova Z.Y., Bazarskii O.V., Maslova N.V. Filtration of Heavy Metals in Soils with Different Degrees of Urbanization and Technogenic Load // Russian Journal of General Chemistry. 2018. Vol. 88, Is. 13. P. 2990–2996.
12. Кочетова Ж.Ю. Авиационно-ракетный кластер как новый класс объектов геоэкологического мониторинга // Географический вестник. 2019. № 3 (50). С. 79–91.

## ВЛИЯНИЕ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ И КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА УРОВЕНЬ ГРУНТОВЫХ ВОД (НА ПРИМЕРЕ ПРАВОЕГОРЛЫКСКОГО КАНАЛА)

Марнопольская Ю.Т.

*ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет», Ставрополь,  
e-mail: stav777@bk.ru*

Цель настоящего исследования – провести анализ влияния климатических факторов и площади орошаемых Правоегорлыкским каналом земель на уровень грунтовых вод. В работе были использованы методы сравнительно-географического, сравнительно-аналитического, ландшафтного, исторического и статистического анализа. Материалами послужили данные отчетов о гидрогеолого-мелиоративных работах Федерального государственного бюджетного учреждения «Управление «Ставропольмелиоводхоз» и рекогносцировочном обследовании орошаемых земель Право-Егорлыкской обводнительно-оросительной системы за 1985–2023 гг. В районах Ставропольского края с умеренно континентальным и континентальным климатом сильное влияние на высокий уровень грунтовых вод оказывают площадь орошаемых земель и количество выпавших осадков. В районах с резко континентальным климатом на высокий уровень грунтовых вод влияет не только площадь орошаемых земель, но и объем поданной воды. Такие факторы, как осадки и температура, оказывают умеренное влияние, а при увеличении коэффициента дефицита насыщения уровень грунтовых вод снижается. По данным наблюдениям установлено, что в орошаемых районах с континентальным и умеренно континентальным климатом на высокий уровень грунтовых вод влияют осадки и орошение территорий. В районах с резко континентальным климатом на высокий уровень грунтовых вод влияет площадь орошаемых территорий, а также влияет объем поданной оросительной воды. На территориях Правоегорлыкского канала на высокий уровень грунтовых вод на протяжении пяти десятилетий влияют антропогенные факторы (орошение сельскохозяйственных угодий) и климатические.

**Ключевые слова:** грунтовые воды, Ставропольский край, орошение, метеорологические показатели, сельскохозяйственные угодья

## THE INFLUENCE OF THE IRRIGATION SYSTEM AND CLIMATIC FACTORS ON THE GROUNDWATER LEVEL (ON THE EXAMPLE OF THE PRAVOEGORLYK CANAL)

Marnopolskaya Yu.T.

*North Caucasus Federal University, Stavropol, e-mail: stav777@bk.ru*

The purpose of this study was to analyze the influence of climatic factors and the area of irrigated land on the groundwater level of the Pravogorlyk canal. The methods of comparative geographical, comparative analytical, landscape, historical and statistical analysis were used in the work. The material was data from reports on hydrogeological and land reclamation works of the Federal State Budgetary Institution "Management of Stavropol Irrigation and Forestry" and a reconnaissance survey of irrigated lands of the Pravo-Egorlyk irrigation system for the period 1985-2023. In the regions of the Stavropol Territory with a temperate continental and continental climate, the area of irrigated land and the amount of precipitation have a strong influence on the high groundwater level. In areas with a sharply continental climate, high groundwater levels are affected not only by the area of irrigated land, but also by the volume of water supplied. Factors such as precipitation and temperature have a moderate effect, and with an increase in the saturation deficit coefficient, the groundwater level decreases. According to the observations, in irrigated areas with a continental and temperate continental climate, high groundwater levels are affected by precipitation and irrigation of territories. In areas with a sharply continental climate, high groundwater levels are affected by the area of irrigated areas, as well as the volume of irrigation water supplied. The territories of the Pravogorlyk Canal have been affected by high groundwater levels for five decades, such as anthropogenic factors such as irrigation of agricultural land and climatic factors.

**Keywords:** groundwater, Stavropol territory, irrigation, meteorological indicators, agricultural land

### Введение

Климат Ставропольского края удивителен и разнообразен: от зоны засушливых полупустынь до зоны увлажнения и переувлажнения. На климат края влияет наличие на юге Главного Кавказского хребта, близость Каспийского моря с восточной стороны, Черного моря – с запада [1], присутствие сухих степей и полупустынь в восточной и северо-восточной части края. На преобладающей части края выпадает до 500 мм

осадков при одновременно высокой испаряемости [2, с. 76].

Территория Ставропольского края обводнена неравномерно. Основными источниками орошения являются реки Кубань, Терек, Егорлык, Кума. Но развитие земледелия подтолкнуло к строительству оросительных каналов. Так, в 1936 г. началось строительство Невинномысского канала, из которого вода поступает в Новотроицкое водохранилище, а из него – в Пра-

воегорлыкский канал. Правоегорлыкский канал является частью Право-Егорлыкской обводнительно-оросительной системы, строительство которой завершено в 1969 г. Правоегорлыкский канал проходит по территориям Изобильненского, Труновского, Красногвардейского, Апанасенковского, Ипатовского районов, заканчивается сбросом в р. Калаус в районе г. Ипатово [3; 4].

Грунтовые воды орошаемой территории формируются за счет поливных вод, атмосферных осадков и подземного притока. Также на повышение уровня грунтовых вод влияет выпадение атмосферных осадков [5; 6]. От количества атмосферных осадков повышение уровня грунтовых вод наступает через некоторое время после их выпадения. В пустынных областях встречается конденсационное питание грунтовых вод, такое питание осуществляется за счет сгущения водяных паров воздуха. Для питания грунтовых вод большое значение имеют неинтенсивные длительные дожди при высокой относительной влажности воздуха (около 100 %), именно такие дожди дают максимальную инфильтрацию осадков. В зимний период инфильтрация осадков может произойти в случае оттепели или положительной температуры почвы [7, с. 15].

До начала обводнения и орошения земель в Ставропольском крае грунтовые воды залегают на глубине от 7 до 15 м [8]. В последние десятилетия отмечается тенденция увеличения уровня грунтовых вод. Одним из факторов повышения грунтовых вод в крае, являются более 80 крупных оросительных систем и орошаемых водоразделов, которые были построены в течение последних 70 лет. В 1980-х гг. площадь орошаемых земель в крае составила 1270 тыс. га (19 % территории края), водопотребление выросло до 3,5 млрд м<sup>3</sup>. На Ставрополье в этот период действовало 8 гидротехнических систем: Ставропольская, Большой Ставропольский канал, Александровская, Курская, Восточная, Изобильненская, Право-Егорлыкская и Терско-Кумская [9]. На сегодняшний день на территории Ставрополья имеются хранилища для воды общей емкостью 1,5 млрд м<sup>3</sup>, которые наполняются и сбрасываются с помощью искусственных водных артерий – каналов и трактов [8].

**Цель исследования** – дать оценку влияния Правоегорлыкского канала, трасса которого проходит по землям центральной, северо-западной и северо-восточной частей Ставропольского края, и климатических факторов на уровень грунтовых вод орошаемых земель за 1985–2023 гг.

## Материалы и методы исследования

В основу статьи были положены данные отчетов о гидрогеолого-мелиоративных работах ФГБУ «Управление «Ставропольмелиоводхоз» и рекогносцировочном обследовании орошаемых земель Право-Егорлыкской обводнительно-оросительной системы за 1985–2023 гг. Данные климатических условий за 1985, 1995, 2006, 2008, 2012, 2015, 2022, 2023 гг. предоставлены Ставропольским центром по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды – филиалом ФГБУ «Северо-Кавказское УГМС». Наблюдения проводились на метеорологических станциях, расположенных в населенных пунктах г. Изобильный, с. Красногвардейское, с. Дивное.

Методы исследования: сравнительно-географический, сравнительно-аналитический, ландшафтный, исторический и статистический анализ.

## Результаты исследования и их обсуждение

Правоегорлыкский канал является частью Право-Егорлыкской обводнительно-оросительной системы. Канал берет свое начало из Новотроицкого водохранилища, проходит по землям Изобильненского, Труновского, Красногвардейского, Апанасенковского, Ипатовского муниципальных округов и заканчивается концевым сбросом в р. Калаус в районе г. Ипатово. Эта территория характеризуется резко континентальным и засушливым климатом.

Для оценки уровня грунтовых вод проведен корреляционный анализ за 1985–2023 гг. по пяти муниципальным округам с использованием следующих значений: уровень грунтовых вод, площадь орошаемых с/х угодий (га), объем воды, поданной на орошение (млн м<sup>3</sup>), осадки (мм), средняя годовая температура воздуха (°C), средняя годовая относительная влажность воздуха (%), средний годовой дефицит насыщения (гПа)

Изобильненский муниципальный округ расположен в северо-западной части Ставропольского края. Площадь территории – 1935,18 км<sup>2</sup>. Климат в районе умеренноконтинентальный (летом температура достигает +25 °C, а зимой – -10 °C, среднегодовая сумма осадков до 750 мм), почвы черноземные [10; 11]. Рельеф прорезан Большим Ставропольским каналом и руслами рек Большой Егорлык, Ташла, Татарка, многочисленными прудами и Новотроицким водохранилищем [12].

Таблица 1

Результаты корреляционного анализа орошаемых Правоегорлыкским каналом земель  
Коэффициент корреляции Пирсона

Округ	S – Н	V – Н	W – Н	T – Н	B – Н	H – I
Изобильненский муниципальный округ	0,85	0,48	0,82	-0,4	0,66	-0,71
Труновский муниципальный округ	0,84	0,82	0,89	-0,49	0,78	-0,8
Красногвардейский муниципальный округ	0,56	0,36	0,6	-0,34	0,65	-0,52
Апанасенковский муниципальный округ	0,78	0,82	0,4	-0,23	0,74	-0,74
Ипатовский муниципальный округ	0,47	-0,47	0,19	-0,43	0,47	-0,36

Примечание: Н – уровень грунтовых вод, м, S – общая площадь орошаемых с/х угодий, га, V – объем воды, поданной на орошение, млн м<sup>3</sup>, W – осадки, мм, I – средний годовой дефицит насыщения, гПа, T – средняя годовая температура воздуха, °C, B – средняя годовая относительная влажность воздуха, %.

Таблица 2

Результаты корреляционного анализа орошаемых Правоегорлыкским каналом земель  
Статистическая значимость (P-value)

Округ	S – Н	V – Н	W – Н	T – Н	B – Н	H – I
Изобильненский муниципальный округ	0,0093	0,243	0,017	0,32	0,079	0,057
Труновский муниципальный округ	0,011	0,015	0,003	0,21	0,027	0,028
Красногвардейский муниципальный округ	0,151	0,38	0,125	0,397	0,088	0,19
Апанасенковский муниципальный округ	0,03	0,018	0,32	0,59	0,042	0,04
Ипатовский муниципальный округ	0,25	0,24	0,65	0,32	0,25	0,39

Примечание: Н – уровень грунтовых вод, м, S – общая площадь орошаемых с/х угодий, га, V – объем воды, поданной на орошение, млн м<sup>3</sup>, W – осадки, мм, I – средний годовой дефицит насыщения, гПа, T – средняя годовая температура воздуха, °C, B – средняя годовая относительная влажность воздуха, %.

Таблица 3

Результаты корреляционного анализа орошаемых Правоегорлыкским каналом земель  
Связь между исследуемыми признаками – прямая, теснота (сила) связи по шкале Чеддока

Округ	S – Н	V – Н	W – Н	T – Н	B – Н	H – I
Изобильненский муниципальный округ	высокая	умеренная	высокая	умеренная	заметная	высокая
Труновский муниципальный округ	высокая	высокая	высокая	умеренная	высокая	высокая
Красногвардейский муниципальный округ	заметная	умеренная	заметная	умеренная	заметная	заметная
Апанасенковский муниципальный округ	высокая	высокая	умеренная	слабая	высокая	высокая
Ипатовский муниципальный округ	умеренная	умеренная	слабая	умеренная	умеренная	умеренная

Примечание: Н – уровень грунтовых вод, м, S – общая площадь орошаемых с/х угодий, га, V – объем воды, поданной на орошение, млн м<sup>3</sup>, W – осадки, мм, I – средний годовой дефицит насыщения, гПа, T – средняя годовая температура воздуха °C, B – средняя годовая относительная влажность воздуха, %.

Согласно данным табл. 1–3 наиболее сильное положительное влияние на уровень грунтовых вод оказывают площадь орошенных сельскохозяйственных угодий ( $r = 0,85$ )

и количество осадков ( $r = 0,82$ ). Менее выраженное, но все же значительное воздействие оказывает объем воды, подаваемой на орошаемые участки ( $r = 0,48$ ). Темпера-

тура воздуха и средний годовой дефицит насыщения имеют скорее обратный эффект на уровень грунтовых вод.

Таким образом, в Изобильненском районе сильное влияние на высокий уровень грунтовых вод оказывают площадь орошаемых сельскохозяйственных угодий, количество осадков, объем поданной оросительной воды.

Труновский муниципальный округ расположен в северо-западной части края, климат континентальный. Летом температура +25 °С, а зимой – -10 °С, среднегодовая сумма осадков до 750 мм. Рельеф местности пересеченный. По территории протекают реки Егорлык, Ташла, Большая Кугульта, Малая Кугульта, пересыхающая летом река Тугулук и проходит Правоегорлыкский канал. Почвы черноземные, песчано-глинистые, местами солонцевато-глинистые [12].

Согласно приведенным в табл. 1–3 коэффициентам корреляции в Труновском муниципальном округе на высокий уровень грунтовых вод влияют осадки ( $r = 0,89$ ), площадь орошаемых сельскохозяйственных угодий ( $r = 0,84$ ) и объем воды, подаваемой на орошение ( $r = 0,82$ ). Среднегодовому дефициту насыщения свойственна значимая обратная связь с уровнем грунтовых вод ( $r = -0,80$ ).

В Труновском районе на высокий уровень грунтовых вод влияют площадь орошаемых сельскохозяйственных земель, объем оросительной воды, поданной на орошение, и осадки.

Красногвардейский муниципальный округ расположен в северо-западной части Ставропольского края. Площадь территории – 2263 км<sup>2</sup>. Речная сеть района слабо развита. Наиболее крупная река – Егорлык, она вбирает в себя реки Большой Гок, Малый Гок, Каллалы, Татарка, Большая Кугульта. По восточной территории района проходит Правоегорлыкский канал. Природной достопримечательностью района является оз. Соленое [12]. Климат умеренно континентальный с недостаточным увлажнением (максимальная температура летом достигает +26 °С, а минимальная зимой – -10 °С, среднегодовая сумма осадков составляет 560 мм). Согласно приведенным в таблицах коэффициентам корреляции в Красногвардейском муниципальном округе на уровень грунтовых вод влияет площадь орошения ( $r = 0,56$ ), среднегодовые осадки ( $r = 0,60$ ), средняя годовая относительная влажность воздуха, объем поданной воды влияет не-

значительно. Среднегодовая температура воздуха мало влияет на уровень грунтовых вод, высокий отрицательный коэффициент корреляции среднего годового дефицита насыщения (гПа) указывает на обратную зависимость.

На территории Красногвардейского района на уровень грунтовых вод оказывают влияние площадь орошаемых сельскохозяйственных угодий и выпавшие осадки.

Апанасенковский муниципальный район расположен на севере Ставропольского края. Площадь территории – 3583,98 км<sup>2</sup>. Относится к числу наиболее засушливых районов Ставрополья, к так называемой зоне рискованного земледелия. Климат резко континентальный (максимальная температура летом достигает +40 °С, а минимальная зимой – -15 °С, среднегодовая сумма осадков составляет 410–510 мм). Летом, между первой половиной июля и первой половиной августа, температура колеблется от +25 до +40 °С. Зимой она понижается до -3 – -5 °С. Сильные холода редки, чаще не превышают -10 – -15 °С. Рельеф равнинный, с высотами около 100 м, это отроги Ставропольской возвышенности, ограничивающие Маньчскую впадину. На территории находится оз. Маньч. Преобладают каштановые и светло-каштановые почвы, в ряде мест встречаются солончаки [12]. Согласно приведенным в табл. 1–3 коэффициентам корреляции в Апанасенковском муниципальном округе главными факторами, повышающими уровень грунтовых вод, являются площадь орошаемых сельскохозяйственных угодий ( $r = 0,78$ ) и объем воды, подаваемой на орошение ( $r = 0,82$ ). Осадки оказывают умеренное влияние на рост уровня грунтовых вод ( $r = 0,40$ ). Важным фактором является дефицит насыщения, который снижает уровень грунтовых вод при его увеличении ( $r = -0,74$ ).

Таким образом в Апанасенковском районе высокий уровень воды связан с площадью орошаемых сельскохозяйственных угодий и объемом воды, подаваемой на орошение, осадки, в свою очередь, оказывают умеренное влияние.

Ипатовский муниципальный округ расположен в северной части Ставропольского края. Площадь территории – 4039 км<sup>2</sup>. Климат резко континентальный. Максимальная температура воздуха летом +42°С, минимальная зимой -34°С. Среднегодовая сумма осадков 320–412 мм и нарастает по мере передвижения от северо-восточной части района к юго-западной. Относится к кате-

гории засушливых районов. Лето продолжительное, жаркое, сухое. Осень теплая и продолжительная, но заморозки очень часты. В летнее время восточный ветер приносит раскаленный воздух среднеазиатских пустынь. С ним связаны засухи и пылевые бури, начинающиеся при скорости ветра 15–20 м/с. Засухи и суховеи различной интенсивности – типичное для района явление; летом бывает 85–100 суховейных дней. Речная сеть в районе развита слабо. Протекают: р. Калаус с притоком Айгурка, относящаяся к бессточному бассейну Каспийского моря; р. Большая Кугульта (правый приток р. Егорлык), относящаяся к бассейну Азовского моря. Малые реки – Кевсала, Айгурка, Джалга, Дунда. Имеется 2 лимана, Дундинское водохранилище и большое количество прудов [12]. Согласно табл. 1–3 основными факторами, влияющими на уровень грунтовых вод в Ипатовском районе, являются площадь орошаемых сельскохозяйственных угодий ( $r = 0,47$ ) и объем воды, подаваемой на орошение ( $r = -0,47$ ). Остальные факторы, включая осадки, температуру воздуха и дефицит насыщения, оказывают либо слабое, либо умеренное влияние на уровень грунтовых вод.

Влияние на грунтовые воды в Ипатовском районе оказывают объем воды, подаваемой на орошение, и площадь орошаемых сельскохозяйственных угодий. Незначительное влияние оказывают такие факторы, как осадки, температура, дефицит насыщения.

### Выводы

По данным наблюдениям можно сделать выводы:

1. В орошаемых районах с континентальным и умеренно континентальным климатом на высокий уровень грунтовых вод влияют площадь орошения и осадки.

2. В районах с ярко выраженным континентальным климатом площадь орошения и объем поданной воды способствуют увеличению уровня грунтовых вод.

Правоегорлыкский канал оказывает существенное влияние на уровень грунтовых вод в Ставропольском крае, обеспечивая дополнительный источник воды для орошения и способствуя изменению гидрогеологических условий в регионе.

### Список литературы

1. Цховребов В.С., Фаизова В.И. Почвы и климат Ставрополя // *Аграрный вестник Северного Кавказа*. 2015. № 2. С. 21–34. URL: [https://web.archive.org/web/20191105080802/http://www.vapk26.ru/journals/17\\_2.pdf](https://web.archive.org/web/20191105080802/http://www.vapk26.ru/journals/17_2.pdf) (дата обращения: 16.11.2024).
2. Потапенко Я.И., Толоков Н.Р., Манченко В.И., Музыченко Б.А., Куражковский Ю.Н., Лукин Н.Ф. Возвращаем воду в реки! Восстановление гидрологического режима поверхности путем моделирования естественных природных процессов. Тюмень, 2020. 164 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://trezvayatyumen.ru/vozvrashhaem-vodu-v-reki/> (дата обращения: 16.11.2024).
3. Блохин Н.Ф., Блохина Т.И. Водные ресурсы Ставрополя. Ставрополь: Департамент «Ставрополькрайводхоз», 2001. 288 с.
4. Косиченко Ю.М., Талалаева В.Ф. Анализ современного состояния водных ресурсов бассейнов рек Большой Егорлык и Западный Маныч, используемых для орошения // *Экология и водное хозяйство*. 2022. С. 33–45. DOI: 10.31774/2658-7890-2022-4-3-33-45.
5. Гурбанов М.Ф. Оценка эколого-мелиоративного состояния земель и режима грунтовых вод прибрежной территории реки Кура // *Аграрный вестник Северного Кавказа*. 2016. № 1 (21). С. 217–220. URL: <https://web.archive.org/web/20191105081042/http://www.vapk26.ru/journals/21.pdf> (дата обращения: 16.11.2024).
6. Волкова В.И., Бадахова Г.Х., Кравченко Н.А., Каплан Г.Л. Динамика и современный температурный режим календарного лета на Ставропольской возвышенности // *Наука. Инновации. Технологии*. 2020. № 4. С. 149–160. DOI: 10.37493/2308-4758.2020.4.11.
7. Бабичев А.Н., Докучаева Л.М., Юркова Р.Е. Особенности изменения мелиоративного состояния и почвенного плодородия при регулярном орошении и в постмелиоративный период земель юга России // *Мелиорация и гидротехника*. 2023. № 2. С. 168–185. DOI: 10.31774/2712-9357-2023-13-2-168-185.
8. Губанов Р.С. История развития ирригационных систем Ставропольского края // *Наука, образование и культура*. 2017. № 6. С. 114–116. URL: <https://scientificarticle.ru/images/PDF/2017/21/NOK-6-21.pdf> (дата обращения: 16.11.2024).
9. Марнопольская Ю.Т. Особенности орошаемых ландшафтов Ставропольского края // *Время науки: актуальные вопросы, достижения и инновации: сборник статей Международной научно-практической конференции* (Пенза, 23 мая 2024 г.). В 2 ч. Ч. 1. Пенза, 2024. С. 229–233. [Электронный ресурс]. URL: <https://naukaip.ru/wp-content/uploads/2024/05/MK-2029-1.pdf> (дата обращения: 12.11.2024).
10. Есаулко А.Н., Колесникова Е.В., Ожередова А.Ю., Голосной Е.В., Воскобойников А.В. Мониторинг плодородия почв северо-восточной части Ставропольского края // *Плодородие*. 2022. № 4 (127). С. 41–44. DOI: 10.25680/S19948603.2022.127.12.
11. Дегтярева Т.В., Соляник Е.Н., Мельничук В.В., Ляшенко Е.А. Формирование микроэлементного состава почв полупустынных ландшафтов Ставропольского края // *Наука. Инновации. Технологии*. 2022. № 2. С. 73–88. DOI: 10.37493/2308-4758.2022.2.4.
12. АГРИЭН (Аграрная интернет-энциклопедия) / Ставропольский край. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.agrien.ru/reg/%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%B2%D1%80%D0%BE%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9.html> (дата обращения: 14.11.2024).



УДК 551.435.88  
DOI 10.17513/use.38365

## ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ КАРСТОВО-СУФФОЗИОННЫХ ЯВЛЕНИЙ В ЮЖНЫХ РАЙОНАХ ОМСКОЙ ОБЛАСТИ

Мезенцева О.В., Грицаенко А.Э.

*ФГБОУ ВО «Омский государственный педагогический университет»,  
Омск, e-mail: mezolga@yandex.ru*

Статья посвящена анализу состава залегающих пород Омской области с помощью изучения материалов пробуренных скважин в Горьковском, Черлакском, Павлоградском, Кормиловском районах Омской области и геоэкологической оценке вероятности возникновения карстово-суффозионных процессов. Данные о скважинах предоставлены Омским филиалом ФБУ «Территориальный фонд геологической информации по Сибирскому федеральному округу». В работе использовался аналитический метод исследования. Произведен анализ пробуренных скважин в южных районах Омской области, из которых были выделены содержащие наибольшее количество пород, подверженных растворению или выносу мельчайших частиц при фильтрации воды. Эти сведения обобщены в виде таблиц с указанием пород и их свойств, глубины залегания. На основе анализа этих данных выявлена вероятность возникновения карстово-суффозионных явлений. Местоположение скважин привязано к элементам и формам рельефа. В результате исследования выявлены породы, наиболее подверженные карстово-суффозионным процессам в скважинах на юге Омской области, и сделаны выводы о потенциальной вероятности возникновения карстовых и суффозионных явлений, которые будут вредить сельскохозяйственной деятельности и строительству. При проведении сельхозработ и строительстве на этой территории новых зданий и сооружений, линейных объектов необходимо учитывать залегание пород, подверженных карсту и суффозии, и применять соответствующие защитные мероприятия.

**Ключевые слова:** карстово-суффозионные процессы, горные породы, рациональное природопользование, геоэкологическая оценка

## GEOECOLOGICAL ASSESSMENT OF THE PROBABILITY OF OCCURRENCE OF KARST-SUFFUSION PHENOMENA IN THE SOUTHERN REGIONS OF THE OMSK REGION

Mezentseva O.V., Gritsaenko A.E.

*Omsk State Pedagogical University, Omsk, e-mail: mezolga@yandex.ru*

The article is devoted to the analysis of the composition of the underlying rocks of the Omsk region by studying the materials of drilled wells in the Gorky, Cherlak, Pavlograd, Kormilovsky districts of the Omsk region and the geoeological assessment of the likelihood of karst-suffusion processes. The data on the wells were provided by the Omsk branch of the Federal Budgetary Institution Territorial Fund for Geological Information in the Siberian Federal District. The analytical research method was used in the work. The analysis of drilled wells in the southern regions of the Omsk region was carried out, from which those that contained the largest number of rocks susceptible to dissolution or removal of the smallest particles during water filtration were identified. This information is summarized in the form of tables indicating the rocks and their properties, the depth of occurrence. Based on the analysis of these data, the probability of occurrence of karst-suffusion phenomena has been revealed. The location of wells is linked to the elements and shapes of the relief. As a result of the study, the rocks most susceptible to karst-suffusion processes in wells in the south of the Omsk region were identified, and conclusions were drawn about the potential likelihood of karst and suffusion phenomena that would harm agricultural activities and construction. When carrying out agricultural work and the construction of new buildings and structures on this territory, linear objects must take into account the occurrence of rocks subject to karst and suffusion and apply appropriate protective measures.

**Keywords:** karst-suffusion processes, rocks, rational nature management, geoeological assessment

### Введение

Карстово-суффозионные процессы в Омской области не редкость, они происходят чаще всего в южных районах. Связано это с такими факторами, как засушливый климат, режим выпадения осадков, их интенсивность, условия инфильтрации, экспозиция склона и угол наклона земной поверхности, геологическая и геоморфологическая история [1]. Породы юга Омской области содержат залежи карбонатов в виде больших очагов легкорастворимых солей (например, территория вблизи оз. Эбейты). Содержание

большого количества карбонатов, известняков, мергелей, гипсов, пылеватых и мелкозернистых песков свидетельствует о возможности карстово-суффозионных процессов [2]. Необходимо отметить, что если данные породы залегают глубоко, например под тугопластичной глиной или под любым другим водупором, то опасность развития карста или суффозии минимальна. В основном карст и суффозия протекают в зоне аэрации при скоплении влаги в микропонижениях рельефа и ее инфильтрации. Движущая сила таких процессов – это фильтрующаяся вода.

От количества поступающей воды и от состава грунтовой воды будет зависеть интенсивность процессов. Вода может как растворять, так и выносить карстово-суффозионные породы, но часто эти процессы идут одновременно, параллельно. Если происходит растворение породы, то этот процесс называется карст [3], а если механический вынос мельчайших частиц, то это суффозия [4]. Вода может поступать в области залегания пород, которые подвержены карстово-суффозионным процессам, за счет инфильтрации дождевой и талой воды в связи с ливнями, снеготаянием, паводками и наводнениями, при орошении и других антропогенных воздействиях. Итогом описанных процессов являются как значительные, так и незначительные просадки, понижения, которые называются воронками, провалами, блюдцами, западинами [5]. В Омской области преимущественно распространены лессы и лессовидные суглинки, которые при образовании пустот легко обваливаются, так как эти породы не имеют несущих свойств.

Исходя из этих условий можно сделать вывод, что опасность карста и суффозии в Омской области заключается в том, что они скрыты от человеческого глаза, можно видеть только результат (обрушение), который происходит моментально. Для более рационального природопользования в строительной и сельскохозяйственной сфере необходима своевременная диагностика, применение соответствующих мероприятий, которые описаны в статье [6].

**Целью исследования** является геоэкологическая оценка возможности возникновения карстово-суффозионных процессов на основе анализа состава залегающих пород Омской области с помощью изучения

материалов пробуренных скважин в Горьковском, Черлакском, Павлоградском, Кормиловском районах Омской области.

### Материалы и методы исследования

Использованные в работе материалы были собраны в Омском филиале ФБУ «ТФГИ по Сибирскому федеральному округу». Авторами рассмотрены все пробуренные скважины в некоторых районах Омской области: Горьковском, Черлакском, Павлоградском, Кормиловском по данным последнего бурения 1982–1984 гг. И для иллюстрации выбраны скважины, в которых встречаются карстово-суффозионные породы. Фактическая геологическая информация не утрачивает актуальность. Также изучены особенности данной территории относительно рисков для строительной или сельскохозяйственной сферы. Изученные скважины относятся к геоморфологическим районам, областям Омской области. В работе применен аналитический метод исследования. Новизна данного исследования заключается в анализе исходной информации из технических отчетов геологических экспедиций [7], которые требуют обобщения и конкретных выводов.

### Результаты исследования и их обсуждение

*Кормиловский район* расположен на Западно-Барабинской равнине, на юге лесостепной зоны с небольшим дефицитом увлажнения. Через него протекает р. Омь, берущая начало в Васюганских болотах. Первая скважина находится на 2,6 км северо-западнее от с. Никитина на сельскохозяйственной пашне. Геоморфологический элемент: правый склон речной долины р. Омь (табл. 1).

Таблица 1

Анализ данных Скважины № 1 в Кормиловском районе  
2,6 км северо-западнее с. Никитина

Глубина залегания	Описание пород	Вероятность карстово-суффозионных процессов
1–2 м	Суглинок средний желто-бурый с прослоями супеси с включениями извести, гипса, редкими обломками раковин, лессовидный, сухой	Большая вероятность карстово-суффозионных процессов за счет содержания извести, гипса, обломков раковин
2–4 м	Глина плотная, серовато-бурая с включением мергеля, гидроокислов железа, известково-мергелистых конкреций	Средняя вероятность карстово-суффозионных процессов за счет содержания мергеля, известковых-мергелистых конкреций
4–7,5 м	Глина песчанистая, зеленовато-серая с включениями гидроокислов железа и пропластками тонкозернистого белесо-серого песка, сильно обохрена, слюдяная, слоистая, тугопластичная, свежая некарбонатная	Маловероятны карстово-суффозионные процессы

Примечание: составлено А.Э. Грицаенко.

Таблица 2

Анализ данных Скважины № 2 в Кормиловском районе  
0,45 км юг-юго-западнее с. Борки

Глубина залегания	Описание пород	Вероятность карстово-суффозионных процессов
1–3,5 м	Глина желто-бурая, пылевая с известковыми конкрециями, слюдистая, карбонатная	Средняя вероятность карстово-суффозионных процессов за счет содержания известковых конкреций и карбонатов
3,5–6,6 м	Глина бурая, плотная, мягко-пластичная, слюдистая, карбонатная	Маловероятны процессы карста за счет содержания карбонатов
6,6–8,1 м	Глина зелено-серая, жирная, пятнами обохрена, содержит карбонаты	Маловероятно из-за глубины залегания и вышележащих плотных пород, но присутствуют карбонаты

Примечание: составлено А.Э. Грицаенко.

Таблица 3

Анализ данных Скважины № 1 в Горьковском районе  
0,5 км восточнее развалин бывшего села Горский Лог

Глубина залегания	Описание пород	Вероятность карстово-суффозионных процессов
0,5–2 м	Суглинок серовато-бурый, косослоистый, обохренный, карбонатный	Возможны карстово-суффозионные процессы, интенсивность будет зависеть от количества карбонатов в породе
2–2,9 м	Суглинок бурый с известково-мергелистыми конкрециями, карбонатный	Большая вероятность карстово-суффозионных процессов за счет растворения и выноса известково-мергелистых конкреций и карбонатов
2,9–4 м	Суглинок светло-коричнево-бурый, косослоистый, пластичный, с включением гидроокислов железа, карбонатный	Возможны карстово-суффозионные процессы, интенсивность будет зависеть от количества карбонатов в породе

Примечание: составлено А.Э. Грицаенко.

Вторая скважина находится тоже в Кормиловском районе, в 0,45 км юго-юго-западнее с. Борки. Располагается она на сельскохозяйственной пашне. Геоморфологический элемент: тыловая часть второй надпойменной террасы по левому берегу р. Омь (табл. 2). В каждой из рассмотренных скважин Кормиловского района встречаются породы, которые подвержены процессам вымывания или растворения. В первой – это такие породы, как прослой супеси с включениями известки и гипса, обломки раковин, включения мергеля, известково-мергелистые конкреции, песок. Во второй – это известковые конкреции, глина карбонатная. На близлежащей территории возможны процессы карста и суффозии. Скважины располагаются на действующих сельскохозяйственных пашнях.

Горьковский район расположен на Западно-Барабинской равнине, а также включает в себя часть геоморфологического района Прииртышский увал, на котором находится наибольшее число суффозион-

ных процессов. Скважина № 1 в Горьковском районе Омской области расположена в 0,5 км восточнее от развалин бывшего села Горский Лог на сельскохозяйственной пашне (табл. 3). Геоморфологический элемент: склон долины Иртыша.

Скважина № 2 Горьковского района Омской области располагается 0,2 км западнее развалин бывшего села Горский Лог. Геоморфологический элемент: оползневое тело на надпойменной террасе р. Иртыш (табл. 4).

В представленных скважинах содержатся такие породы, которые могут быть подвержены карстово-суффозионным процессам: суглинок карбонатный, известково-мергелистые конкреции, глина карбонатная. Скважина № 1 находится на сельскохозяйственной пашне, при определенном содержании подверженных пород могут образовываться карстово-суффозионные проявления. Скважина № 2 располагается на территории бывшего села Горский Лог, в ней также обнаружены вышеперечисленные породы.

Таблица 4

Анализ данных Скважины № 2 в Горьковском районе 0,2 км западнее развалин бывшего села Горский Лог

Глубина залегания	Описание пород	Вероятность карстово-суффозионных процессов
0,45–2 м	Глина коричнево-бурая, плитчатая, с включением окислов железа, малослюдистая, карбонатная	Возможны карстово-суффозионные процессы за счет содержания карбонатов
2–3,3 м	Суглинок коричнево-бурый, плотный, вертикально-слоистый, с включением мелких известково-мергелистых конкреций	Возможны незначительные карстово-суффозионные процессы за счет содержания мелких известково-мергелистых конкреций
3,3–4,6 м	Глина голубовато-серая, плотная, жирная, однородная, карбонатная	Маловероятны карстово-суффозионные процессы за счет глубины залегания, но глины содержат в себе карбонаты

Примечание: составлено А.Э. Грицаенко.

Таблица 5

Анализ данных Скважины № 1 в Черлакском районе 6,2 км юго-восточнее пос. Черлак

Глубина залегания	Описание пород	Вероятность карстово-суффозионных процессов
0,6–1,5 м	Песок желто-бурый, до желтого, среднезернистый, малослюдистый, карбонатный	Большая вероятность карстово-суффозионных процессов за счет возможного выноса водой неустойчивого слоя песка и растворения карбонатов
1,5–2,8 м	Суглинок светло-коричнево-бурый, тонкораспыленный, вязкий переслаивающийся с супесью, с прослоями гидроокислов железа, карбонатный	Возможны карстово-суффозионные процессы за счет содержания супеси, карбонатов
2,8–3,5 м	Песок серый, крупнозернистый, кварцевый, карбонатный	Средняя вероятность карстово-суффозионных процессов за счет возможного выноса водой неустойчивого слоя песка и растворения карбонатов
3,5–5,1 м	Глина желто-бурая, слоями обохрена, с пропластками мергеля и известковыми конкрециями, мягкопластичная, слабокарбонатная	Возможны небольшие карстово-суффозионные процессы за счет содержания легкорастворимых пород

Примечание: составлено А.Э. Грицаенко.

Таблица 6

Анализ данных Скважины № 2 в Черлакском районе 1,5 км юго-западнее с. Целинное

Глубина залегания	Описание пород	Вероятность карстово-суффозионных процессов
0,4–2,3 м	Песок желто-серый, мелкозернистый, карбонатный	Большая вероятность карстово-суффозионных процессов за счет возможного выноса водой неустойчивого слоя песка и растворения карбонатов
2,3–3 м	Супесь желто-серая до серого слоистая, макропористая, слюдястая, карбонатная	Есть вероятность карстово-суффозионных процессов за счет содержания супеси и карбонатов
3–4,5 м	Песок желто-серый, тонко-мелкозернистый, слюдястый, с прослоями суглинков, с редкими известково-мергелистыми конкрециями и обломками раковин	Большая вероятность карстово-суффозионных процессов за счет возможного выноса водой неустойчивого слоя песка, обломков раковин и растворения известково-мергелистых конкреций.

Примечание: составлено А.Э. Грицаенко.

*Черлакский район* Омской области располагается на Западно-Барабинской равнине, а также включает в себя часть геоморфологического района Прииртышский увал. Скважина № 1 в Черлакском районе находится в 6,2 км юго-восточнее пос. Черлак на сельскохозяйственной пашне (табл. 5). Геоморфологический элемент: вторая надпойменная терраса р. Иртыш.

Скважина № 2 в Черлакском районе Омской области находится в 1,5 км юго-западнее с. Целинное на сельскохозяйственной пашне (табл. 6). Геоморфологический элемент: склон водораздела к озерной котловине.

В представленных скважинах Черлакского района, которые располагаются на сельскохозяйственных пашнях, встречаются такие карстово-суффозионные породы, как карбонаты, песок, супесь, мергель, известковые конкреции. На близлежащей территории возможны карстово-суффозионные процессы.

Большая часть *Павлоградского района* Омской области расположена на Северо-

Казахстанской аккумулятивной равнине, но небольшая его часть с севера входит в Ишимскую равнину, а небольшой участок южной территории – на геоморфологический район Алаботинская долина. Скважина № 1 в Павлоградском районе Омской области находится на расстоянии 0,4 км северо-западнее с. Бердовка в данный момент по спутниковым снимкам мы определили, что данная территория не используется (табл. 7). Геоморфологический элемент: озерная котловина.

Скважина № 2 в Павлоградском районе Омской области находится в 3,3 км северо-восточнее с. Назаренко на сельскохозяйственной пашне (табл. 8). Геоморфологический элемент: плоский водораздел.

Павлоградский район расположен в самой южной части Омской области с повышенными теплоэнергетическими ресурсами климата и значительным дефицитом атмосферных осадков. Это способствует отложению карбонатов в почве.

**Таблица 7**

Анализ данных Скважины № 1 в Павлоградском районе  
0,4 км северо-западнее с. Бердовка

Глубина залегания	Описание пород	Вероятность карстово-суффозионных процессов
0,8–1,7 м	Суглинок серовато-бурый, слоистый, с мелкими охристыми пятнами, карбонатный	Возможны карстово-суффозионные процессы, интенсивность процессов будет зависеть от количества карбонатов в породе
1,7–4,3 м	Глина бурая макропористая, с прослоями и гнездами гипса, слюдистая, карбонатная. В интервале 1,7–2,1 м прослой супеси пылеватой	Большая вероятность карстово-суффозионных процессов за счет возможного растворения гипса, карбонатов и выноса супеси пылеватой
4,3–9,7 м	Глина желто-бурая мягкопластичная, жирная, с конкрециями гидроокислов железа, с блестками слюды, карбонатная	Малая вероятность карстово-суффозионных процессов

Примечание: составлено А.Э. Грицаенко.

**Таблица 8**

Анализ данных Скважины № 2 в Павлоградском районе  
3,3 км северо-восточнее с. Назаренко

Глубина залегания	Описание пород	Вероятность карстово-суффозионных процессов
0,9–2,1 м	Суглинок темно-коричнево-бурый, плитчатый, в интервале 1,5–2,1 м с мергелистыми конкрециями, карбонатный	Большая вероятность карстово-суффозионных процессов за счет возможного растворения мергелистых конкреций, карбонатов
2,1–3,0 м	Суглинок светло-коричнево-бурый, с мергелистыми конкрециями, карбонатный	Большая вероятность карстово-суффозионных процессов за счет возможного растворения мергеля, карбонатов
3,0–6,0 м	Суглинок бурый с прослойками алевролита зелено-серого, пятнами обожженного, карбонатный	Малая вероятность карстово-суффозионных процессов

Примечание: составлено А.Э. Грицаенко.

В скважинах Павлоградского района встречаются такие породы, как карбонаты, гипсы, мергелистые конкреции, супеси пылеватые, которые могут растворяться и выноситься водой.

### Заключение

В ходе исследования выполнен анализ залегания карстующихся пород в скважинах на юге Омской области и сделаны выводы о потенциальной вероятности возникновения карстовых и суффозионных явлений, которые будут влиять на сельскохозяйственную деятельность и строительство. Наличие этих пород в зоне аэрации уже является потенциальной опасностью. Вероятность проявления карстово-суффозионных процессов определяется химическим составом и мощностью слоя карстующихся пород, а также его залеганием в зоне аэрации. Большинство изученных скважин находятся на сельскохозяйственных пашнях, которые из года в год используются и приносят региону сельскохозяйственную продукцию и подвергаются рискам значительных просадок грунта. За годы, прошедшие с 1982–1984 гг. на сельхозугодьях зафиксировано появление новых значительных просадок почвенно-грунтового слоя. При проведении сельхозработ и строительстве на этой территории новых зданий и сооружений, линейных объектов необходимо учитывать залегание подверженных карсту и суффозии пород и применять противокарстовые, противосуффозионные мероприятия.

### Список литературы

1. Мезенцева О.В., Грицаенко А.Э. Количественные показатели суффозионных и карстовых процессов в Омской области // Успехи современного естествознания. 2024. № 7. С. 27–33. URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=38286> (дата обращения: 14.11.2024). DOI: 10.17513/use.38286.
2. Бажутин П.И., Кивилева З.В. Влияние мощности карстующихся карбонатных пород на характер распространения карстовых форм // Проблемы геологии и освоения недр. 2019. С. 326–327. URL: <https://usovma.tpu.ru/upload/constructor/7a9/j8sjxl2t9kmrnzdm12hg84gu512n4a2.pdf> (дата обращения: 27.11.2024).
3. Хоменко В.П., Криночкина О.К. Карстово-суффозионно-обвальное провалообразование и оценка его опасности для зданий и сооружений // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2022. № 1. С. 20–29. URL: <https://sciencejournals.ru/view-article/?j=geoekol&y=2022&v=0&n=1&a=GeoEkol2201007Khomenko> (дата обращения: 14.11.2024).
4. Боровиков А.А. Оценка суффозионной устойчивости минеральных грунтов // Мелиорация. 2021. № 1. С. 19–24. URL: <https://melio.belal.by/jour/article/view/934> (дата обращения: 27.11.2024).
5. Аникеев А.В. Опасность и риск образования воронок провала и оседания в карстовых районах: основные показатели, подходы и способы оценки // Инженерная геология. 2016. № 5. С. 10–18. URL: <http://www.csl.isc.irk.ru/BD/%D0%96%D1%83%D1%80%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D1%8B/%D0%98%D0%BD%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%BD%D0%B0%D1%8F%20%D0%B3%D0%B5%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3-%D0%B8%D1%8F%202016/%E2%84%96%205/10-18.pdf> (дата обращения: 14.11.2024).
6. Хоменко В.П. Противокарстовая и противосуффозионная защита в России: история и современность // Вестник МГСУ. 2018. № 4. С. 482–489. URL: [https://www.researchgate.net/publication/325489800\\_ANTIKARST\\_AND\\_ANTISUFFOSION\\_PROTECTION\\_IN\\_RUSSIA\\_HISTORY\\_AND\\_PRESENT\\_SITUATION](https://www.researchgate.net/publication/325489800_ANTIKARST_AND_ANTISUFFOSION_PROTECTION_IN_RUSSIA_HISTORY_AND_PRESENT_SITUATION) (дата обращения: 23.11.2024).
7. Жмакин Н.И., Рейнгард Я.Р. Отчет по изучению и прогнозированию экзогенных геодинамических процессов Омской области // Архив Омского филиала ФБУ «ТФГИ по Сибирскому федеральному округу». № 1723. Омск. 1982–1984 гг.

УДК 911:338.48  
DOI 10.17513/use.38366

## К ВОПРОСУ ОБ ОЦЕНКЕ ТУРИСТСКОГО ПОТЕНЦИАЛА РЕГИОНОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

<sup>1,2</sup>Токарев И.В., <sup>1</sup>Мельников М.А., <sup>1</sup>Смирнов В.Е.

<sup>1</sup>ФГАОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет», Пермь, e-mail: swedish123@yandex.ru, smive98@mail.ru;

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Пермский государственный институт культуры», Пермь, e-mail: igor.tokarev2012@yandex.ru

Целью исследования является оценка развития туристской отрасли в России и выявление региональных особенностей изменения основных показателей сферы туризма с 2019 по 2022 год. Актуальность исследования заключается в важности продемонстрировать, как российские регионы смогли адаптироваться к глобальным мировым изменениям, преодолевая кризисные явления в развитии своей туристской привлекательности. Методологическую часть исследования составил алгоритм иерархической кластеризации, который был применен для объединения исследуемых критериев, специально отобранных для подготовки данной статьи. В качестве фундаментального массива анализируемых сведений были использованы статистические материалы Росстата 85 субъектов Российской Федерации. Статистические данные были подвергнуты нормированию по принципу минимакса с последующим приведением к единственному индексу. Нормирование было осуществлено в каждом исследуемом году. С использованием программы Statistica 10 данные были преобразованы в дендограмму, в которой российские регионы были разделены на четыре кластера в соответствии с уровнем их туристского развития. Результаты исследования позволяют оценить туристский потенциал регионов России и могут способствовать формированию у региональных органов власти более глубокого понимания степени привлекательности их территорий для туристов.

**Ключевые слова:** туризм, туристская отрасль, рекреация, кластер, кластерный анализ, иерархическая кластеризация, показатели

## ON THE ISSUE OF ASSESSING THE TOURISM POTENTIAL OF THE REGIONS OF THE RUSSIAN FEDERATION

<sup>1,2</sup>Tokarev I.V., <sup>1</sup>Melnikov M.A., <sup>1</sup>Smirnov V.E.

<sup>1</sup>Perm State National Research University, Perm, e-mail: swedish123@yandex.ru, smive98@mail.ru;

<sup>2</sup>Perm State Institute of Culture, Perm, e-mail: igor.tokarev2012@yandex.ru

The purpose of the study is to analyze the dynamics of the development of the tourism industry in Russia and identify the specifics of regional changes in key indicators of the tourism sector in the period from 2019 to 2022. The relevance of the study lies in the importance of demonstrating how Russian regions have been able to adapt to global changes, overcoming crisis phenomena in the development of their tourist attractiveness. The methodological part of the study was compiled by the hierarchical clustering algorithm, which was used to combine the studied criteria, specially selected for the preparation of this article. Statistical materials of Rosstat of 85 subjects of the Russian Federation were used as a fundamental array of analyzed information. Statistical data were normalized according to the minimax principle, followed by reduction to a single index. Rationing was carried out in each year under study. Using the Statistica 10 software, a data conversion procedure was carried out, as a result of which a dendrogram was compiled, clearly demonstrating the distribution of Russian regions into four clusters in accordance with the level of their tourist development. The results of the study make it possible to assess the tourism potential of Russian regions and can contribute to the formation of a deeper understanding of the attractiveness of their territories for tourists by regional authorities.

**Keywords:** tourism, tourism industry, recreation, cluster, cluster analysis, hierarchical clustering, indicators

### Введение

Туристский сектор в России относится к приоритетным отраслям экономического развития. Практически все регионы прилагают усилия для создания привлекательных туристских продуктов, развития туристской индустрии и инфраструктуры, повышения эффективности использования туристско-рекреационного потенциала и увеличения туристского потока. Каждый регион обладает своим уникальным набором факторов и условий для развития туризма, что спо-

собствует региональной неоднородности. Поэтому сравнивать регионы друг с другом и ранжировать их по уровню развития туризма крайне сложно. Как правило, такие задачи возникают в процессе разработки документов стратегического территориального планирования [1; 2].

Для развития туризма важно наличие туристско-рекреационного потенциала, объектов туристского сервиса, гостеприимство. Туристско-рекреационная деятельность на той или иной территории состоит в фор-

мировании территориальных туристско-рекреационных систем, которые в свою очередь являются частью территориальных социально-экономических или общественных систем [3]. Несмотря на то, что начиная с 50-х годов XX века отмечается неуклонный рост туристского потока, отмечаются периоды спада и стремительного роста. Кроме того, отмечается неравномерность колебаний на национальном и региональном уровне. На глобальном уровне наиболее существенное влияние оказывают экономические, геополитические и климатические факторы, а также проявившиеся в последние годы эпидемиологические факторы [4].

Безусловно, с одной стороны, неблагоприятные факторы оказывают сдерживающее влияние на показатели развития туристской отрасли, но с другой – преодоление кризисных явлений приводит к качественным изменениям туристской сферы, появлению новых инновационных подходов, что делает дестинацию более конкурентоспособной.

Для России исследование влияния глобальных факторов на развитие туризма является актуальной и нетривиальной задачей. С одной стороны, Россия занимает значимое место в туристско-рекреационном пространстве, являясь одним из лидеров по развитию въездного и выездного туризма. С другой стороны, за последние несколько лет страна испытала несколько потрясений, которые кардинально изменили географию и структуру туристской отрасли.

**Цель настоящего исследования** – оценка развития туристской отрасли в России и выявление региональных особенностей изменения основных показателей сферы туризма с 2019 по 2022 год.

#### **Материалы и методы исследования**

В процессе географических исследований учёные часто сталкиваются с задачей интеграции географических объектов, обладающих множеством характеристик, выраженных в разнообразных единицах измерения. Для решения этой проблемы применяется кластерный анализ, который представляет собой эффективный инструмент для классификации и типологии объектов, схожих по определённым признакам. В основу методологии исследования заложены труды отечественных географов и экономистов, занимающихся изучением туризма. В качестве основного метода применялся кластерный анализ, который показывает высокую результативность при изучении сферы туризма на региональном уровне.

Для данного исследования был выбран алгоритм иерархической кластеризации, который обладает рядом преимуществ относительно других методов исследования. Метод иерархического кластерного анализа включает в себя две основные подгруппы: агломеративные кластер-процедуры, основанные на принципе объединения групп элементов, начиная с наиболее близких и заканчивая более отдалёнными, и дивизимные кластер-процедуры, основанные на принципе последовательного разделения групп элементов, начиная с наиболее отдалённых и заканчивая всё более близкими [5; 6].

Для агломеративных кластер-процедур характерно рассмотрение каждого объекта как отдельного кластера. Затем алгоритм приступает к процедуре объединения двух наиболее близко расположенных кластеров, учитывая расстояние между ними и пересчитывая матрицу расстояний. В результате работы алгоритма все полученные наблюдения объединяются в один кластер [7].

Для проведения кластеризации в рамках дивизионных процедур применяется иной алгоритм работы. На начальном этапе все объекты объединяются в один кластер. Затем на основе матрицы расстояний определяются наиболее удалённые друг от друга объекты, которые становятся основой для формирования двух новых кластеров. Оставшиеся объекты распределяются по ранее сформированным кластерам на основании принципа, согласно которому объект относится к тому кластеру, расстояние до которого является наименьшим. Затем в уже существующих двух кластерах выявляются объекты, наиболее удалённые друг от друга, что приводит к образованию новых кластеров. Ключевое различие между дивизимными кластер-процедурами и агломеративными заключается в том, что первые используют исходную матрицу расстояний, которая не требует пересчёта на каждом этапе исследования. Алгоритмы иерархической кластеризации представляют собой геометрическую модель, изображённую в виде дендрограммы – объединения кластеров в иерархическую структуру [8].

Решение задач кластерного анализа проводится в несколько этапов, начиная с формулировки основной проблемы исследования и завершая оценкой достоверности полученных данных путем кластерного анализа. Поскольку кластерные системы строятся на множестве переменных, анализ работы с ними принято считать многомерным.



Многомерный анализ включает в себя три основных этапа:

1. Составление таблицы исходных данных с указанием объектов и их признаков.

2. Нормирование исходной информации с использованием среднего индекса по формуле минимакса:

$$I = \frac{x - n_{\min}}{n_{\max} - n_{\min}},$$

где I – индекс показателя;

x – значение показателя;

$n_{\min}$  – минимальное значение показателя;

$n_{\max}$  – максимальное значение показателя.

3. По полученным нормированным данным проводится табличная классификация по получившимся кластерам.

В качестве основного массива исследуемой информации были использованы статистические данные Росстата 85 регионов России за 2019-2022 годы. В качестве исследуемых критериев были выбраны следующие показатели:

1. Средняя продолжительность пребывания, дней.

2. Процент иностранных граждан, размещенных в коллективных средствах размещения, от общего потока размещенных в коллективных средствах размещения.

3. Доходы коллективных средств размещения, миллионов рублей.

4. Валовая добавленная стоимость туристской индустрии экономики субъекта Российской Федерации.

5. Доля валовой добавленной стоимости туристской индустрии в валовом региональном продукте субъекта Российской Федерации, в процентах.

Исходные данные были нормированы по принципу минимакса и приведены к единственному индексу. Нормирование было произведено в каждом исследуемом году.

#### Результаты исследования и их обсуждение

С помощью программы Statistica 10 данные были интерпретированы в дендрограмму, где регионы разбиты по четырем кластерам соответственно уровню туристского развития регионов. Результаты представлены на рисунке. В первый кластер вошли регионы, характеризующиеся высоким уровнем развития. Во второй – регионы, демонстрирующие уровень развития выше среднего. В третий – регионы со средним уровнем развития. В четвертый – регионы, характеризующиеся низким уровнем раз-

вития. В каждом из исследуемых годов наблюдается изменение порядка регионов-лидеров и регионов-аутсайдеров. Это связано с активным ростом развития других регионов и появлением новых центров туризма, культуры и науки. В таблице представлен сводный состав регионов, относящихся к первому (лидеры) и четвертому (аутсайдеры) кластерам.

Результаты исследования отражают развитие отрасли туризма в регионах России в период с 2019 по 2022 год. Для корректной оценки состояния отрасли субъекты Российской Федерации были сгруппированы в кластеры со следующей градацией: регионы I кластера (высокий уровень) – обладатели наибольшей туристской привлекательности; регионы II кластера (перспективный уровень) обладают высоким туристским потенциалом; регионы III кластера (средний уровень) – регионы, недостаточно использующие собственный туристский потенциал; регионы IV кластера (низкий уровень) – территории, чьи туристские ресурсы не обладают достаточной привлекательностью и не пользуются спросом у туристов, в том числе иностранных.

Таким образом, к регионам I кластера, характеризующимся высоким уровнем туристского развития, относятся: Краснодарский край, Кабардино-Балкарская Республика, Ставропольский край, Республика Крым и город федерального значения Москва. Это обусловлено комплексом таких факторов, как обеспеченность туристской инфраструктурой, наличие культурно-исторических объектов, вовлеченность местных властей в развитие туристской отрасли, в частности в продвижение федеральных и региональных программ развития туризма. Кроме того, немаловажную роль в развитии регионов играют природно-климатические факторы.

К регионам IV кластера (низкого уровня) относятся: Тамбовская, Волгоградская, Саратовская, Тульская, Рязанская области, Ямало-Ненецкий, Ханты-Мансийский и Чукотский автономные округа. Причины отнесения к факторам низкого уровня: неразвитая туристская инфраструктура (низкие темпы развития и совершенствования транспортной системы, коллективных средств размещения и питания), низкая узнаваемость туристского бренда регионов, климатические факторы, а также эффективность использования собственных туристских ресурсов.

**Дендрограмма (метод Варда) иерархической кластеризации  
Регионы I (высшего) и IV (низшего) кластеров за период с 2019 по 2022 год**

<b>Регионы I кластера</b>			
<b>2019 год</b>	<b>2020 год</b>	<b>2021 год</b>	<b>2022 год</b>
г. Москва – 45 Краснодарский край – 34 Республика Крым – 36 Кабардино-Балкарская Республика – 20 Ставропольский край – 67	г. Санкт-Петербург – 66 г. Москва – 45 Приморский край – 55 Хабаровский край – 28 Забайкальский край – 85 Владимирская область – 79 Мурманская область – 46 Иркутская область – 17	Кабардино-Балкарская Республика – 20 Республика Крым – 36 г. Москва – 45 Ставропольский край – 67 Краснодарский край – 34	Краснодарский край – 34 г. Москва – 45 Республика Алтай – 2 Дагестан – 15 Ставропольский край – 67 Республика Крым – 36 Пензенская область – 53 Курская область – 38 г. Севастополь – 63 Брянская область – 9
<b>Регионы IV кластера</b>			
<b>2019</b>	<b>2020</b>	<b>2021</b>	<b>2022</b>
Республика Калмыкия – 22 Ямало-Ненецкий АО – 83 Ханты-Мансийский АО – 30 Ненецкий АО – 47 Томская область – 71 Магаданская область – 41 Республика Коми – 32 Ульяновская область – 77 Тамбовская область – 69 Волгоградская область – 80 Тульская область – 72 Рязанская область – 58 Орловская область – 52 Саратовская область – 62 Омская область – 50 Республика Мордовия – 43 Кемеровская область – 27 Челябинская область – 12 Республика Удмуртия – 76 Курская область – 38 Красноярский край – 35 Самарская область – 61 Пермский край – 54 Ленинградская область – 39 Оренбургская область – 51 Астраханская область – 6 Белгородская область – 8	Калужская область – 23 Ямало-Ненецкий АО – 83 Ханты-Мансийский АО – 30 Чукотский АО – 13 Магаданская область – 41 Красноярский край – 35 Волгоградская область – 80 Рязанская область – 58 Республика Калмыкия – 22 Ненецкий АО – 47 Республика Мордовия – 43 Орловская область – 52 Чувашская Республика – 14 Саратовская область – 62 Вологодская область – 81 Томская область – 71 Тамбовская область – 69 Омская область – 50 Республика Коми – 32 Республика Адыгея – 1 Ярославская область – 84 Тульская область – 72 Ульяновская область – 77 Новгородская область – 78	Чукотский АО – 13 Смоленская область – 65 Республика Саха (Якутия) – 59 Ульяновская область – 77 Кемеровская область – 27 Вологодская область – 81 Тамбовская область – 69 Новгородская область – 78 Волгоградская область – 80 Рязанская область – 58 Омская область – 50 Сахалинская область – 60 Забайкальский край – 85 Приморский край – 55 Новосибирская область – 49 Свердловская область – 68 Тверская область – 73 Калужская область – 23 Астраханская область – 6 Курская область – 38 Оренбургская область – 51 Белгородская область – 8 Саратовская область – 62 Тульская область – 72	Чеченская Республика – 11 Карачаево-Черкесская Республика – 25 Тульская область – 72 Республика Ингушетия – 16 Республика Северная Осетия – Алания – 64 Камчатский край – 24 Республика Карелия – 26 Чукотский АО – 13 Республика Адыгея – 1 Республика Бурятия – 10 Ярославская область – 84 Костромская область – 33 Псковская область – 56 Калининградская область – 21 Тюменская область – 74

Примечание: составлено авторами.

### Заключение

При использовании метода кластерного анализа становится возможным проанализировать уровень развития туризма в регионах России, благодаря чему появляется возможность выявить проблемные территории, чья туристская привлекательность находится в стадии стагнации, усовершенствовать научные идеи и выявить новые стимулы по развитию туризма в регионах Российской Федерации.

### Список литературы

1. Konyshov E.V., Safarian A.A. The evaluation of development efficiency for the tourism and recreation complex in the regions of Russia with the DEA method // Geographical Bulletin. 2023. No. 4(67). P. 147-159. DOI: 10.17072/2079-7877-2023-4-147-159.
2. Афанасьев О.Е. Туристско-экскурсионные макродестинации и новое туристско-экскурсионное районирование России как организационные формы планирования развития отрасли // Современные проблемы сервиса и туризма. 2023. № 17(2). С. 82-109. DOI: 10.5281/zenodo.8081678.
3. Борзенков А.В. Сравнительный анализ подходов в понимании и развитии агротуризма и сельского туризма // Географический вестник. 2024. № 3(70). URL: <https://press.>

psu.ru/index.php/geogr/article/view/9540 (дата обращения: 02.11.2024). DOI: 10.17072/2079-7877-2024-3-152-161.

4. Zyrianov A.I., Konyshv E.V. Geographical and tourist aspects of the COVID-19 pandemic // *Geographical Bulletin*. 2021. No. 4(59). P. 149-160.

DOI: 10.17072/2079-7877-2021-4-149-160.

5. Ананченко И.В., Зудилова Т.В., Полин Я.А., Осетрова И.С. О применимости алгоритмов кластеризации для борьбы со спамом в социальных сетях // *Современные наукоемкие технологии*. 2020. № 4-2. С. 190-194.

DOI: 10.17513/snt.37995.

6. Кисляков А.Н., Поляков С.В. Иерархические методы кластеризации в задаче поиска аномальных наблюдений

на основе групп с нарушенной симметрией // *Управленческое консультирование*. 2020. № 5(137). С. 116-127. DOI: 10.22394/1726-1139-2020-5-116-127.

7. Домбровская В.Е. Возможности применения кластерного анализа в исследованиях туризма // *Экономические и социальные проблемы России*. 2023. № 4(56). С. 35-47. DOI: 10.31249/espr/2023/04.03.

8. Меньшикова Т.Н. Пространственный анализ развития туризма в регионах Арктической зоны Российской Федерации на основе кластерного подхода // *Вестник Московского государственного областного университета*. Серия: Естественные науки. 2019. № 2. С. 94-100. DOI: 10.18384/2310-7189-2019-2-94-100.

УДК 504.062:69.055.4  
DOI 10.17513/use.38367

## ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ МНОГОЭТАЖНОГО ЖИЛОГО ДОМА НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ И РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ЕЕ ОПТИМИЗАЦИИ (НА ПРИМЕРЕ ЖИЛОЙ ЗАСТРОЙКИ ГОРОДА КЕМЕРОВО)

Цыганков Д.А., Федорова А.А.

*ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)», Новосибирск, e-mail: tsygankov@sibstrin.ru*

Данная работа выполнялась с целью проведения оценки воздействия строительства и эксплуатации многоэтажного жилого дома на окружающую среду, а также разработки и внедрения рекомендаций по сокращению вредного воздействия до требуемого уровня на примере жилой застройки г. Кемерово. Выводы работы базируются на количественном анализе выбросов всех видов загрязнителей воздушной, водной и земельной среды, а также их концентраций, формирующихся в окружающей среде в периоды строительства и эксплуатации объекта. В основу принятия предварительных решений по охране воздушной среды положены результаты расчетов выбросов загрязнителей, выполненных с использованием сертифицированного программного обеспечения. Для установления фактических величин концентраций токсичных веществ в воздушной среде использовались аспираторы «Бриз-1» и «ПА-300М-1». В ходе анализа загрязнения воздушной среды выяснилось, что превышение допустимого уровня воздействия происходит только в ходе земляных работ. Выполнение рекомендаций по снижению выделений пыли, заключавшихся в обработке поверхностей специальными составами, позволило сократить загрязнение атмосферы в период строительства на 31,2%, доведя его до нормы. Результаты анализа характера использования водной и земельной среды позволили сделать вывод о том, что их избыточного загрязнения наблюдаться не будет. Порядок обращения со всеми видами отходов производства и потребления, образующимися в период строительства и эксплуатации жилого дома, рекомендуемый их передачу специализированной организации для дальнейшего транспортирования, утилизации или захоронения, обеспечит требуемый уровень загрязнения окружающей среды в пределах отведенной территории.

**Ключевые слова:** окружающая среда, концентрация, норматив, отходы, профилактические мероприятия

## ASSESSMENT OF THE IMPACT OF CONSTRUCTION AND OPERATION OF A MULTI-STORE RESIDENTIAL BUILDING ON THE ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT OF RECOMMENDATIONS FOR ITS OPTIMIZATION (USING THE EXAMPLE OF RESIDENTIAL DEVELOPMENT IN KEMEROVO)

Tsygankov D.A., Fedorova A.A.

*Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin),  
Novosibirsk, e-mail: tsygankov@sibstrin.ru*

This work was carried out to assess the impact of construction and operation of a multi-store residential building on the environment, as well as to develop and implement recommendations to reduce harmful effects to the required level using the example of residential development in the city of Kemerovo. The conclusions of the work are based on a quantitative analysis of emissions of all types of air, water and land pollutants, as well as their concentration formed in the environment during the construction and operation of the facility. The preliminary decisions on air protection are based on the results of pollutant emission calculations performed using certified software. To establish the actual values of toxic substance concentrations in the air, aspirators "Breeze-1" and "PA-300M-1" were used. During the analysis of air pollution, it was found that the permissible level of exposure is exceeded only during excavation work. Compliance with recommendations for reducing dust emissions, which consisted of treating surfaces with special compounds, allowed for a reduction in atmospheric pollution during the construction period by 31.2%, bringing it to the standard. The results of the analysis of the nature of the use of water and land environment allowed for the conclusion that their excessive pollution will not be observed. The procedure for handling all types of production and consumption waste generated during the construction and operation of a residential building, recommending their transfer to a specialized organization for further transportation, disposal or burial, will ensure the required level of environmental pollution within the designated area.

**Keywords:** environment, concentration, standard, waste, preventive measures

### Введение

Оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС) является неотъемлемой составной частью строительства зданий промышленного и гражданского назначения. Эта процедура проводится для периода выполнения основных видов строительно-монтажных работ (СМР) и сдачи готового

объекта в эксплуатацию. Если результаты ОВОС будут свидетельствовать о сверхнормативном воздействии хозяйственной деятельности на окружающую среду, то ее содержание, порядок выполнения и сроки реализации всех видов выполняемых работ могут быть серьезно изменены вплоть до остановки строительства и эксплуатации

готового объекта. Процедура ОВОС проводится в установленном порядке с обязательной разработкой и внедрением мероприятий по охране окружающей среды [1].

**Цель исследования** – оценка воздействия строительства и эксплуатации многоэтажного жилого дома на окружающую среду и разработка рекомендаций по сокращению вредного воздействия на воздушную, водную, земельную среды, а также образованию и накоплению всех видов отходов (на примере жилой застройки г. Кемерово).

#### **Материалы и методы исследования**

Исходными данными для ОВОС послужили результаты количественного анализа всех видов и объемов загрязнений окружающей среды, образующихся в результате проведения основных видов СМР, выполняемых в подготовительный и основной периоды строительства многоэтажного жилого дома, а также его последующей эксплуатации. Расчеты выбросов токсичных веществ в окружающую среду и ее загрязнения проводились с использованием сертифицированного программного обеспечения, основанного на утвержденных методиках, а контроль – с помощью специализированного измерительного оборудования.

#### **Результаты исследования и их обсуждение**

Отведенный под строительство земельный участок площадью 0,8 га находится в черте г. Кемерово, расположен в районе застройки жилыми зданиями, учреждениями и предприятиями культурно-бытового обслуживания населения различной этажности. Территория подготовлена к застройке, свободна от зеленых насаждений, а также памятников природы и архитектурного наследия.

В начале подготовительного периода строительства выполняются работы по обустройству ворот и временных ограждений опасных объектов, подключению действующих инженерных сетей, организации пункта мойки колес автомобильного транспорта, освещению строительной площадки, установлению информационного щита – паспорта объекта и организации охраны объекта. Далее следует обустройство помещений административно-бытового характера и организация пункта питания работающих.

В начале основного периода строительства выполняются земляные работы по обустройству котлована, сооружению свайного ленточного фундамента, возведению монолитной бетонной плиты и многочисленных

конструкций подземной части жилого дома. После засыпки пустот котлована производится возведение монолитных бетонных конструкций первого этажа, сборных железобетонных конструкций надземной части, монтаж лифтов и обустройство кровли строящегося здания. В конце основного периода производится монтаж оконных и дверных конструкций, выполняются внешние и внутренние отделочные работы, налаживается инженерное обеспечение строящегося здания, а также проводятся работы по благоустройству придомовых территорий.

Основными источниками выбросов загрязняющих веществ в атмосферу в период строительства являются земляные работы, движение автомобильного транспорта и работа строительной техники, а также сварочные, наружные и внутренние отделочные работы. Оценка интенсивности выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух для периода строительства и эксплуатации многоэтажного жилого дома выполнена с использованием программного обеспечения «ЭКО центр», основанного на рекомендациях [1–3]. Характеристики выбросов загрязняющих веществ, поступающих в атмосферу в период строительства, представлены в табл. 1.

Результаты расчета приземных концентраций токсичных веществ в воздухе свидетельствуют о том, что движение автомобильного транспорта, строительной техники, сварочные, а также внутренние и внешние отделочные работы не окажут сверхнормативного воздействия на атмосферу [4].

При этом выяснилось, что превышения допустимых норм загрязнения воздушной среды будут обусловлены проведением работ по планировке поверхности и обустройству котлована, рассчитанных на 2,5 мес.

Полученные в результате расчета данные говорят о том, что только в 8 из 16 контрольных точек (КТ) уровень загрязнения не превысит предельно допустимые концентрации (ПДК) токсичных веществ (табл. 2).

Ситуационный план на рис. 1.

С целью проверки результатов расчета было решено в течение первых двух недель с момента начала ведения земляных работ проводить замеры содержания неорганической пыли ( $\text{SiO}_2$ , 70–20%) во всех контрольных точках с использованием аспиратора «Бриз-1». В каждой точке замеры проводились по 3 раза через одинаковые промежутки времени примерно равные 4 сут, средние значения полученных концентраций представлены на рис. 2.

Таблица 1

Загрязняющие вещества, выбрасываемые в атмосферу  
в период строительства

Наименование	Класс опасности	Суммарный выброс	
		г/с	т/г
Железа оксид в пересчете на железо	3	0,0000786	0,0000566
Марганец и его соединения в пересчете на марганца (IV) оксид	2	0,0000074	0,0000053
Азота (IV) оксид	3	0,0016560	0,0041900
Азота (II) оксид	3	0,0002690	0,0008900
Углерод (сажа)	3	0,0001134	0,0002880
Сера диоксид	3	0,0004140	0,0011730
Углерод оксид	4	0,0059100	0,0148000
Фториды газообразные	2	0,0001346	0,0000969
Фториды плохо растворимые	2	0,0000099	0,0000071
Керосин	-	0,0020640	0,0052800
Пыль неорганическая (SiO <sub>2</sub> 70–20%)	3	0,0000099	0,0000071
Всего веществ – 11		0,0106668	0,0267940
В том числе твердых – 5		0,0002192	0,0003641
В том числе жидких (газообразных) – 6		0,0104476	0,0264299

Таблица 2

Степень соответствия расчетного уровня загрязнения окружающей среды  
требованиям безопасности в контрольных точках для периода строительства

№ КТ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Загрязнение воздуха	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-

Примечание. + – соответствует требованиям; – – не соответствует требованиям.

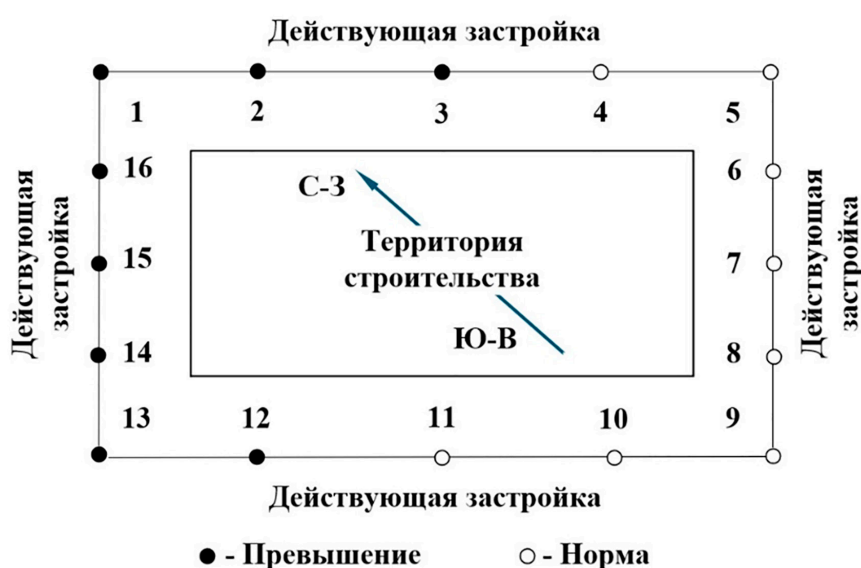


Рис. 1. Расположение строительной площадки относительно действующей застройки

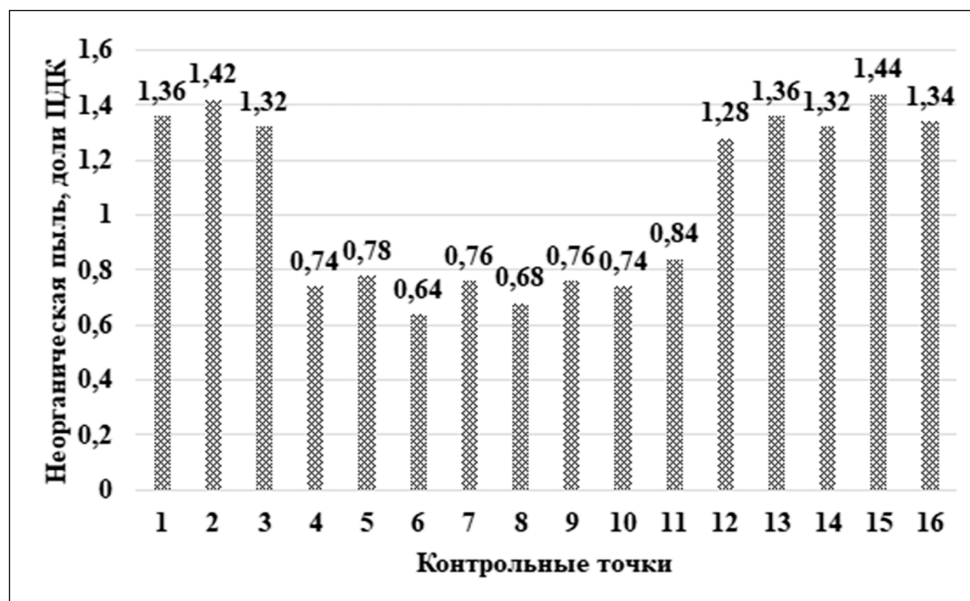


Рис. 2. Средние концентрации неорганической пыли ( $SiO_2$  70–20%) в контрольных точках во время начала проведения земляных работ

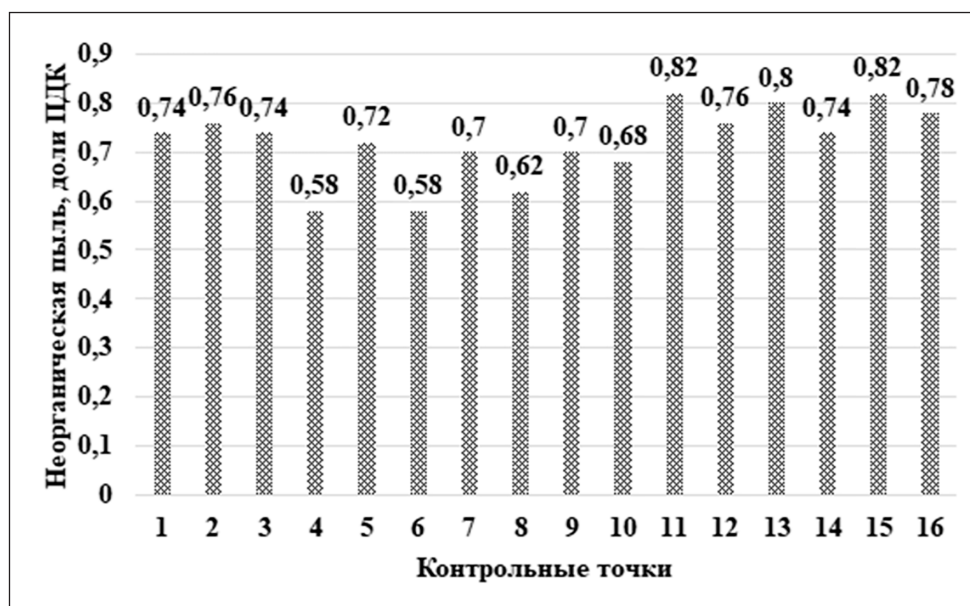


Рис. 3. Средние концентрации неорганической пыли ( $SiO_2$  70–20%) в контрольных точках во время проведения основного объема земляных работ

Для снижения концентрации неорганической пыли ( $SiO_2$  70–20%) было рекомендовано поливать землевозные дороги битумной эмульсией с расходом 1–1,5 кг/м<sup>2</sup> дороги со сроком действия до 90 сут, обрабатывать перемещаемые грунты растворами солей с расходом 0,6–0,8 кг/ м<sup>2</sup> в местах их перемещения бульдозером со сроком действия до 25 сут, а также увлажнять грунты водой при выполнении разовых работ

по их разработке или перевозке с расходом 1–2 кг/м<sup>2</sup> со сроком действия до 2,5 ч.

Параллельно с выполнением рекомендаций по снижению пылевыведения оставшиеся 2 мес. велись периодические контрольные замеры содержания неорганической пыли ( $SiO_2$  70–20%) во всех контрольных точках с использованием аспиратора «ПА-300М-1». В каждой точке замеры проводились по 3 раза через одинаковые про-

межутки времени, примерно равные 20 сут, средние значения полученных концентраций представлены на рис. 3.

Основным источником поступления загрязняющих веществ в атмосферу для периода эксплуатации жилого дома является въезд-выезд личного автомобильного транспорта проживающих с территории дворовой стоянки. Характеристики выбросов загрязняющих веществ, поступающих в атмосферу в период эксплуатации, представлены в табл. 3.

Результаты расчета приземных концентраций токсичных веществ в воздухе свидетельствуют о том, что во всех контрольных точках превышения ПДК по всем загрязняющим веществам отсутствуют [4].

Основными источниками шумового воздействия на окружающую среду в период строительства являются автомобильный транспорт и работающая строительная техника. Для оценки шумового воздействия строительства и эксплуатации жилого дома на прилегающую территорию

с нормируемыми показателями состояния использовалось программное обеспечение «ЭКО центр – Шум», учитывающее рекомендации [5].

Для условий строительства объекта в качестве расчетного принято дневное время суток при условии того, что в ночное время работы не производятся. Расчет уровней звукового давления произведен для границы территории строительной площадки и ближайшей жилой застройки при наибольшем шумовом воздействии – одновременной работе всех источников шума. Допустимые уровни звукового давления приняты в соответствии с [6] и представлены в табл. 4.

Результаты расчета уровней звукового давления при работе строительной техники представлены в табл. 5.

Результаты расчета уровней звукового давления для периода строительства жилого дома свидетельствуют о незначительном превышении требований стандарта безопасности в двух точках в дневное время (8–10%).

Таблица 3

Загрязняющие вещества, выбрасываемые в атмосферу в период эксплуатации

Наименование	Класс опасности	Суммарный выброс	
		г/с	т/г
Азота (IV) оксид	3	0,0003505	0,0027090
Азота (II) оксид	3	0,0000569	0,0004410
Сера диоксид	3	0,0001035	0,0008040
Углерод оксид	4	0,0304527	0,2640800
Бензин	4	0,0041215	0,0366600
Всего веществ – 5		0,0350851	0,3046940
В том числе твердых – 0		0	0
В том числе жидких (газообразных) – 5		0,0350851	0,3046940

Таблица 4

Допустимые уровни звукового давления на территории, прилегающей к жилой застройке, в период строительства

Среднегеометрическая частота в октавных полосах, Гц	31,5	63	125	250	512	1000	2000	4000	8000
Уровни звукового давления для постоянных источников шума, дБА									
С 7:00 до 23:00	90	75	66	59	54	50	47	45	44
С 23:00 до 7:00	83	67	57	49	44	40	37	35	33
Уровни звукового давления для непостоянных источников шума, дБА									
С 7:00 до 23:00	55								
С 23:00 до 7:00	45								



**Таблица 5**

Уровни звукового давления на границе строительной площадки и территории, непосредственно прилегающей к жилой застройке, для периода строительства

Расчетные точки	Уровень звукового давления, дБА
КТ1	60
КТ2	50
КТ3	60
КТ4	50
С 7:00 до 23:00	55
С 23:00 до 7:00	45

Примечание. КТ1 соответствует КТ3; КТ2 – КТ7; КТ3 – КТ11; КТ4 – КТ15 (рис. 1).

**Таблица 6**

Допустимые уровни звукового давления на территории, прилегающей к жилой застройке, в период эксплуатации

Среднегеометрическая частота в октавных полосах, Гц	31,5	63	125	250	512	1000	2000	4000	8000
Уровни звукового давления для постоянных источников шума, дБА									
С 7:00 до 23:00	90	75	66	59	54	50	47	45	44
С 23:00 до 7:00	83	67	57	49	44	40	37	35	33
Уровни звукового давления для непостоянных источников шума, дБА									
С 7:00 до 23:00	55								
С 23:00 до 7:00	45								

**Таблица 7**

Уровни звукового давления на границе территории жилого дома и территории, непосредственно прилегающей к жилой застройке, для периода эксплуатации

Расчетные точки	Уровень звукового давления, дБА
КТ1	31,1
КТ2	31,6
КТ3	40,1
КТ4	36,3
С 7:00 до 23:00	55
С 23:00 до 7:00	45

Примечание: как в табл. 5.

Основным источником шумового воздействия на окружающую среду в период эксплуатации жилого дома является личный подъезжающий и отъезжающий автомобильный транспорт проживающих. Допустимые уровни звукового давления приняты в соответствии с [6] и представлены в табл. 6.

Согласно существующим требованиям и накопленному опыту во время пикового движения автомобильного транспорта со стоянки должны выезжать 8%, а въезжать 2% общего числа автомобилей. При

этом скорость их движения по территории стоянки не должна превышать 10 км/ч [7].

Для оценки шумового воздействия жилого дома в период эксплуатации на прилегающую территорию принято дневное время суток. Расчеты проводились с учетом одновременной работы всех источников шумового загрязнения и представлены в табл. 7.

Результаты проделанной работы свидетельствуют о том, что при эксплуатации жилого дома шумовое воздействие на окружающую среду является допустимым (табл. 7).

Водоснабжение в период строительства жилого дома осуществляется от действующих инженерных сетей. Загрязнение подземных и поверхностных природных водных объектов будет обусловлено поверхностным стоком с территории строительной площадки, сбросом вод, образующихся в результате хозяйственно-бытовой деятельности работающих и мойки колес автомобильного транспорта, а также мест временного накопления отходов. Годовое количество ливневых стоков составляет 1681,6 м<sup>3</sup>. В период эксплуатации водопотребление и водоотведение жилого здания составит 127,8 м<sup>3</sup>/сут. Существующий характер водопользования не противоречит действующим правилам [8, 9].

Основное воздействие на земельные ресурсы для периода строительства заключается в проведении земляных работ, предполагающих образование основной массы твердых производственных отходов – грунтов, не содержащих загрязнителей окружающей среды. Они транспортируются по обработанным специальными составами землевозным дорогам до мест засыпки неровностей земной поверхности [10].

Дополнительными источниками образования отходов в период строительства являются СМР и хозяйственно-бытовая деятельность работающих. Они связаны с появлением несортированного мусора от офисных и бытовых помещений, обтирочного материала, механического осадка от очистки сточных вод, образующихся от мойки техники, шлама от очистки канализационных колодцев, а также остатков стальных сварочных электродов.

Характеристика отходов производства и потребления на период строительства представлена в табл. 8.

В результате проделанной работы выяснилось, что в период строительства жилого дома образуется 5 видов отходов общим объемом 519,4 т/г: 3 класса опасности – 31,6 т/г; 4 класса опасности – 487,8 т/г; 5 класса опасности – 0,02 т/г [11].

Основные источники образования отходов в период эксплуатации жилого дома будут обусловлены регулярно проводимой уборкой придомовой территории и хозяйственно-бытовой деятельностью проживающих.

Таблица 8

Отходы, образующиеся в период выполнения основных видов СМР

№	Наименование	Масса, т/г	Движение
1	Мусор от офисных и бытовых помещений организаций несортированный (исключая крупногабаритный)	8,8	Захоронение на полигоне
2	Обтирочный материал, загрязненный нефтепродуктами (содержание менее 15%)	1,8	Захоронение на полигоне
3	Осадок механической очистки нефтесодержащих сточных вод, содержащий нефтепродукты в количестве 15% и более	31,6	Захоронение на полигоне
4	Отходы (шлам) от очистки канализационных колодцев	477,4	Захоронение на полигоне
5	Остатки стальных сварочных электродов	0,02	Захоронение на полигоне
Итого:		519,4	

Таблица 9

Отходы, образующиеся в период проведения строительных работ

№	Наименование	Масса, т/г	Движение
1	Отходы из квартир несортированные (исключая крупногабаритные)	118,3	Захоронение на полигоне
2	Мусор от бытовых помещений несортированный (исключая крупногабаритный)	0,9	Захоронение на полигоне
3	Отходы из квартир (крупногабаритные)	39,3	Захоронение на полигоне
4	Смет уличный	14,2	Захоронение на полигоне
Итого:		172,7	

В период эксплуатации жилого дома будут образовываться мелкогабаритные и крупногабаритные отходы от квартир, мелкогабаритный мусор от бытовых помещений и уличный смет [10]. Характеристика отходов в период эксплуатации жилого дома представлена в табл. 9.

В результате проделанной работы выяснилось, что в период эксплуатации жилого дома образуется 4 наименования отходов общим объемом 172,7 т/г, включая отходы 4 класса опасности в количестве 133,4 т/г и 5 класса – 39,3 т/г [11].

Расчет платы за загрязнение окружающей среды для периода строительства жилого дома составляет 27698,95 руб. и выполнен с учетом рекомендаций [12]. В период эксплуатации жилого дома плата за загрязнение окружающей среды определяется регулярными отчислениями за передачу образующихся отходов организации, имеющей соответствующую лицензию на обращение с ними, которая составит 445734,68 руб./г.

### Выводы

1. Сравнительный анализ результатов расчета, выполненных с применением сертифицированного программного обеспечения, и натурных измерений определил, что сверхнормативное загрязнение воздушной среды будет наблюдаться во время проведения земляных работ, выполняемых в основной период строительства жилого здания.

2. Выполнение предложенных мероприятий по предварительной обработке пылящих поверхностей специальными составами во время проведения основного объема земляных работ позволило снизить средний уровень загрязнения воздушной среды на 31,2%, доведя его нормативных показателей.

3. Принятый характер водопользования и землепользования обусловил то, что сверхнормативное загрязнение водной и земельной среды в период строительства и эксплуатации жилого дома наблюдаться не будет.

4. Предлагаемый порядок управления всеми видами отходов, образующимися в период строительства и эксплуатации жилого дома, предполагающий их передачу специализированной организации для дальнейшего обращения, позволит исключить загрязнение ими окружающей среды в пределах выделенного земельного отвода.

Практическое значение выполненных исследований заключается в разработке предложений по снижению загрязнения воздушной среды при проведении земляных работ, включающих в себя планирование

территории будущей застройки и обустройство котлована, символизирующее начало нулевого цикла СМР при строительстве многоэтажного жилого дома. Результаты выполненной работы могут быть внедрены организациями-застройщиками, стремящимися сократить выплаты за загрязнение окружающей среды, производимые в начальный период строительства.

### Список литературы

1. Постановление Правительства РФ от 16.02.2008 № 87 (ред. от 06.05.2024) «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию» [Электронный ресурс]. URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_75048/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_75048/) (дата обращения: 04.11.2024).
2. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 06.06.2017 № 273 «Об утверждении методов расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе» [Электронный ресурс]. URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=310516/> (дата обращения: 04.11.2024).
3. СанПиН 2.1.6.1032-01. Гигиенические требования к обеспечению качества атмосферного воздуха населенных мест [Электронный ресурс]. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294847/4294847621.htm/> (дата обращения: 08.11.2024).
4. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания [Электронный ресурс]. URL: [https://ds278-krasnoyarsk-r04.gosweb.gosuslugi.ru/netcat\\_files/19/8/SP123685\\_21\\_0.pdf/](https://ds278-krasnoyarsk-r04.gosweb.gosuslugi.ru/netcat_files/19/8/SP123685_21_0.pdf/) (дата обращения: 09.11.2024).
5. МУК 4.3.2494-17 «Контроль уровня шума на территории жилой застройки, в жилых и общественных зданиях и помещениях»: методические указания. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2017. 21 с.
6. СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки» [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/901703278/> (дата обращения: 04.11.2024).
7. СП 113.13330.2012. Свод правил. Стоянки автомобилей. Актуализированная редакция СНиП 21-02-99 (утв. приказом Минрегиона России от 29.12.2011 № 635/9, ред. от 17.04.2015) [Электронный ресурс]. URL: [https://energy.midural.ru/images/Upload/2017/101/SPSA\\_29.12.2011.pdf/](https://energy.midural.ru/images/Upload/2017/101/SPSA_29.12.2011.pdf/) (дата обращения: 06.11.2024).
8. ГН 2.1.5.1315-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования [Электронный ресурс]. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/649/4294815336.pdf/> (дата обращения: 04.11.2024).
9. Рекомендации по расчету систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока с селитебных территорий, площадок предприятий и определению условий его выпуска в водные объекты». М.: ФГУП «НИИ ВОДГЕО», 2015. 56 с.
10. СанПиН 2.1.7.1322-15. Гигиенические требования к размещению и обезвреживанию отходов производства и потребления: Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2015. 16 с.
11. Федеральный классификационный каталог отходов (ФККО) утвержден приказом Росприроднадзора от 22.05.2017 № 242 (ред. от 18.01.2024) [Электронный ресурс]. URL: <https://trn.gov.ru/fkko/> (дата обращения: 04.11.2024).
12. Постановление Правительства РФ от 31.05.2023 № 881 «Об утверждении правил исчисления и взимания платы за негативное воздействие на окружающую среду» [Электронный ресурс]. URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=449752/> (дата обращения: 12.11.2024).

## НАУЧНЫЙ ОБЗОР

УДК 504.054

DOI 10.17513/use.38368

**АНАЛИЗ МЕЖДУНАРОДНЫХ ИНИЦИАТИВ ПО ОГРАНИЧЕНИЮ  
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ФОСФАТОВ  
КАК ИСТОЧНИКОВ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ  
НА ЗДОРОВЬЕ ЧЕЛОВЕКА И ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ****Баш П.В.***ФГБУН «Санкт-Петербургский федеральный исследовательский центр  
Российской академии наук», Санкт-Петербург, e-mail: polli-ant@mail.ru*

Целью работы является анализ и систематизация нормативно-правовых документов, касающихся мероприятий по ограничению использования соединений органических фосфатов, реализованных за рубежом в контексте снижения негативного влияния этих соединений на человека, живые организмы и природные среды. Настоящая статья посвящена актуальной проблеме, практически не освещенной в российском научном поле. В работе проведен анализ результатов современных научных исследований по воздействию соединений на человека и живые организмы, а также исследованы существующие зарубежные практики и нормативная база, направленная на ограничение использования и контроль данных соединений; проведена аналитика результатов исследований, доказывающих, что новый экотоксикант имеет все признаки персистентности, биоаккумуляции и токсичности. В статье приведены аргументы в пользу введения норм контроля данного экотоксиканта и примеры зарубежных инициатив по ограничению его использования. Работа освещает и систематизирует данные о доказанных негативных эффектах воздействия соединений органических фосфатов на человека и окружающую среду, а также подчеркивает необходимость и важность исследований этого персистентного экотоксиканта. На основе зарубежного опыта автором предложены методы контроля и снижения токсического воздействия соединений органических фосфатов посредством комплексных мер, направленных на минимизацию их использования для обеспечения здоровья человека и сохранения окружающей среды.

**Ключевые слова:** фосфорорганические эфиры, органические фосфаты, новый экотоксикант, пластификаторы, антипирены, токсичность, биоаккумуляция, нормирование

*Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (№ 122041100086-5).*

**ANALYSYS OF INTERNATIONAL INITIATIVES TO REGULATE  
THE USE OF ORGANIC PHOSPHATES AS SOURCES OF ADVERSE  
IMPACTS ON HUMAN HEALTH AND THE ENVIRONMENT****Bash P.V.***St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences,  
St. Petersburg, e-mail: polli-ant@mail.ru*

The purpose of this paper is to analyze and systematize regulatory documents concerning measures to limit the use of organic phosphate compounds implemented abroad in the context of reducing the negative impact of these compounds on humans, living organisms and environment. The present article is devoted to the actual problem, practically not covered in the Russian scientific field. The paper analyzes the results of modern scientific research on compounds impact on humans and living organisms, as well as investigates existing foreign practices and regulatory framework aimed at limiting the use and control of these compounds; article analyzes the results of studies proving the signs of persistence, bioaccumulation and toxicity of new ecotoxicant. The article provides arguments for creating control norms for this ecotoxicant, as industrial use of these compounds still continues to grow, and gives an example of foreign measures to regulate its use. The paper highlights and systematizes data about organic phosphate compounds proven negative effects on humans and the environment, and emphasizes the need and importance of this persistent ecotoxicant deep research. Based on foreign experience, the author proposed methods of control and reduction organic phosphate compounds toxic effects through integrated measures aimed at minimizing their use to ensure human health and environment preservation.

**Keywords:** organophosphorus esters, organic phosphates, new ecotoxicant, flame retardants, plasticisers, toxicity, bioaccumulation, rationing

*The work was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (No. 122041100086-5).*

**Введение**

Органические эфиры ортофосфорной кислоты, называемые также органическими фосфатами или фосфорорганическими эфирами (ФОЭ), представляют собой класс синтетических химикатов, известных

превосходными огнезащитными и пластифицирующими свойствами и широко применяющихся в производстве товаров народного потребления. Тенденция к увеличению глобального потребления и универсальность органических фосфатов для

промышленного использования создают проблему их постоянного поступления в окружающую среду и делают их сравнимыми со стойкими органическими загрязнителями. Фосфорорганические антипирены стали основным антипиреном на рынке после того, как Стокгольмской конвенцией были признаны опасными веществами такие антипирены, как полибромированные дифениловые эфиры (ПБДЭ) [1; 2]. Ввиду высокой токсичности последних во многих странах были введены правила, предусматривающие постепенный отказ от их производства и промышленного использования [3]. Пришедшие им на замену в качестве более экологичной альтернативы ФОЭ считались менее опасными, однако последние международные исследования показали их значительную токсичность и устойчивость в окружающей среде, что вызывает беспокойство научного сообщества [4].

При этом в России исследований с фокусом на данные соединения практически не проводилось. Подавляющее большинство научных работ в этой области, а также регулятивных мер по нормированию использования ФОЭ были разработаны зарубежными научными группами. В российском контексте вопрос изучения ФОЭ приобретает особую актуальность также в связи с укреплением торговых отношений с Китаем, который активно использует ФОЭ в производстве. Рост импорта продукции, содержащей эти соединения, увеличивает нагрузку на экосистемы, в то время как проблема остается практически не изученной в рамках отечественной науки.

**Цель работы** – систематический анализ данных о международном опыте регулирования и ограничения использования органических эфиров ортофосфорной кислоты как нового персистентного экотоксиканта. Поставлены задачи: комплексный обзор зарубежных исследований токсичности, биоаккумуляции и воздействия органических фосфатов на живые организмы; выявление и обоснование необходимости исследований загрязнителя в России и внедрения мер контроля за ним; поиск реализованных в мире мероприятий по минимизации использования соединений; разработка предложений по ограничению использования ФОЭ.

#### **Материалы и методы исследования**

В статье проведён систематический анализ 27 зарубежных исследований и нормативных актов последних лет, охватывающих экологические аспекты, связанные

с воздействием ФОЭ на живые организмы, проведен анализ инициатив по ограничению использования данной группы соединений в производстве готовой продукции.

#### **Результаты исследования и их обсуждение**

Органические эфиры ортофосфорной кислоты – группа органических соединений со структурой  $O=P(OR)_3$ , в которой R может быть представлена арильной, алкильной или хлоралкильной группой [5]. Галогенированные органические фосфаты используются в качестве антипиренов в мебели, пластмассах различного назначения, электронных устройствах, строительных материалах и текстиле, а алкилированные и ароматические фосфатные эфиры широко применяются в качестве пластификаторов в лакокрасочных изделиях, гидравлических жидкостях, пластмассах [1]. В таблице 1 представлены основные соединения ФОЭ, исследующиеся в большинстве работ, однако группа фосфорорганических эфиров насчитывает еще более 10 прочих соединений.

С развитием мировой промышленности и глобальным ростом потребления товаров количество поступающих в природную среду ФОЭ неуклонно растет [6]. Ввиду их повсеместного использования фосфорорганические соединения стали действительно широко распространены среди химических веществ антропогенного характера – ксенобиотиков, бесконтрольно поступающих в окружающую среду и становящихся ее токсикогенным фактором [7]. ФОЭ выделяются в ОС в процессе производства, транспортировки и применения на производстве [8]. Загрязнитель обнаруживается даже в местах, где точно отсутствуют его источники – в арктическом воздухе и донных отложениях, в Антарктических водорослях и воде [9; 10]. Это указывает на то, что ФОЭ могут перемещаться на большие расстояния с воздушными и водными массами, попадая в отдалённые районы, что свидетельствует об их устойчивости и способности к дальнему переносу, а знания об их воздействии и поведении в ОС остаются весьма скудными [10].

Попадая в организм, ФОЭ могут быть поглощены, метаболизированы или выведены. Однако если скорость поглощения организмом превышает скорость его выведения, происходит их биоаккумуляция. Ее степень зависит от таких факторов, как конкретное соединение ФОЭ, его концентрация в окружающей среде, содержание липидов в организме и продолжительность воздействия [11].

Таблица 1

Перечень основных фосфорорганических эфиров,  
использующихся в качестве антипиренов и пластификаторов

Название соединения	Международное название	Аббревиатура	Номер CAS
Хлорированные органические фосфаты			
Трис(2-хлорэтил)фосфат	Tri(2-chloroethyl)phosphate	ТСЕР	115-96-8
Трихлорпропилфосфат	Tri(chloropropyl) phosphate	ТСРР	13674-84-5
Трис(1,3-дихлоропропил)фосфат	Tris(1,3-dichloroisopropyl)phosphate	ТДСРР	13674-87-8
Трис(1,3-дихлор-2-пропил)фосфат	Tris(2,3-dichloropropyl)phosphate	ТДСРРР	13674-96-7
Группа с алкильными заместителями			
Триметилфосфат	Trimethyl phosphate	ТМР	512-56-1
Триэтилфосфат	Triethyl phosphate	ТЕР	78-42-2
Триизобутил фосфат	Tri-iso-butyl phosphate	ТиБР	126-71-6
Три-н-бутилфосфат	Tri-n-butyl phosphate	ТнБР	126-73-8
Трибутилфосфат	Tributyl phosphate	ТБР	126-73-8
Трибутоксипропил фосфат	Tributoxyethyl phosphate	ТВЕР	78-51-3
Трис(2-бутилоксиэтил)фосфат	Tris(2-butoxyethyl) phosphate	ТВОЕР	78-51-3
Трис(2-этилгексил)фосфат	Tris(2-ethylhexyl) phosphate	ТЕНР	78-42-2
Трипропилфосфат	Tripropyl phosphate	ТРР	115-86-6
Группа с арильными заместителями			
Дифенил(2-этилгексил)фосфат	2-ethylhexyl diphenyl phosphate	ЕНДРР	298-07-7
Трикрезилфосфат	Tricresyl phosphate	ТСрР	1330-78-5
Трифенилфосфат	Triphenyl phosphate	ТРфР	115-86-6
Трис(3-метилфенил)фосфат	Tris(methylphenyl) phosphate	ТМРР	13674-84-5

Примечание: составлено автором.

Возможность биоаккумуляции ФОЭ вызывает опасения, поскольку потенциально приводит к повышению концентрации этих соединений на высших трофических уровнях пищевой цепи. Хищники, крупные рыбы и морские млекопитающие накапливают высокие концентрации ФОЭ и, с большей вероятностью, испытывают выраженные неблагоприятные воздействия токсиканта на организм [11].

Накопившись в первичных продуцентах, аккумулированные в пищевой цепи органические фосфаты могут быть также употреблены человеком. С потреблением рыбы и морепродуктов, и даже питьевой воды, человек может получить высокие концентрации ФОЭ, способные оказывать потенциально вредное воздействие на его здоровье. Помимо этого, промышленная обработка и упаковка пищевых продуктов также способствуют загрязнению продуктов питания органическими фосфатами [12]. В ряде работ выявлено, что ФОЭ проявляют канцерогенные, нейротоксичные, иммунотоксичные и эмбриотоксичные свойства. Также они

способны вызывать раздражение кожи и являются разрушителями эндокринной системы (эффекты изучены на объектах: человек, мыши и крысы, рыбы, дафнии) [2; 13].

Помимо доказанного вреда живым организмам и человеку, ФОЭ проявляют также признаки устойчивости. В недавнем исследовании изучены 20 соединений из группы в сточных водах 25 водоочистных станций в Китае. Большинство соединений обнаруживались на каждом этапе пятиступенчатой системы очистки воды, даже на последней стадии очистки. То есть вещество настолько устойчиво, что в процессе очистки сточных вод избавиться от него практически невозможно. Наиболее распространенными и часто встречающимися ФОЭ в сточных водах были ТСРР, ТСЕР, ТВОЕР и ТнБР, что связано с их более широким применением в потребительских и промышленных материалах [12].

Согласно международным конвенциям, вредные химические вещества должны быть запрещены в случае, если они отвечают следующим критериям: стойкость, лету-

честь (потенциал для переноса на большие расстояния), биомагнификация (накопление в пищевой сети) и токсичность (проявление токсических эффектов) [1-3]. Поэтому имеющиеся данные о присутствии ФОЭ во всех средах и их существенных токсических эффектах говорят о необходимости дальнейших исследований вещества с целью обоснования постепенного отказа от их использования и замены менее вредными соединениями для обеспечения здоровья экосистем [10; 11]. Однако мировое потребление ФОЭ, как химических соединений массового производства, продолжает неуклонно расти: с 1992 по 2015 год использование этих соединений в промышленности увеличилось со 100 000 до 680 000 тонн, а в 2018 году показатель превысил 1 050 000 тонн. Китайский рынок при этом составлял в среднем 30% общего объема использования антипиренов еще в 2014-2016 годах, а с наращиваниями темпов производства и мирового потребления эта цифра будет только увеличиваться [2].

По некоторым оценкам, к 2027 г. их мировое использование достигнет 3 400 000 т, при сохранении тенденции к ежегодному росту [11]. Как новый загрязнитель, обладающий биоаккумуляцией и токсичностью, он вызывает беспокойство и требует сокращения уровня использования в произ-

водстве. Однако до сих пор не существует глобальной программы контроля ФОЭ [14]. В таблице 2 представлены реализованные к моменту подготовки статьи инициативы, нормативные акты и требования, ограничивающие использование ФОЭ. Систематизированные данные могут служить опорой при проведении российских исследований и составлении национальной программы мониторинга.

Статья рассматривает негативное воздействие ФОЭ на человека и экосистемы и предлагает к рассмотрению инициативы по ограничению их использования в разных странах, таких как США, Канада и Китай. Международный опыт снижения уровня ФОЭ демонстрирует комплексный подход, включающий классификацию соединений как «опасные» [15-17], запреты на использование, установление нормативов для контроля загрязнения в ОС, ограничение содержания веществ в готовых товарах, повышение осведомленности покупателей и обязательную маркировку продукции, содержащей эти соединения [20; 21; 24]. В некоторых странах ряд соединений ФОЭ были признаны приоритетными загрязнителями или особо опасными веществами, что также отражает глобальную тенденцию к ужесточению контроля за ФОЭ [22; 26; 27].

**Таблица 2**

Международные инициативы по снижению использования органических эфиров ортофосфорной кислоты

Страна, нормативный акт и год принятия	Внедренная инициатива	Источник
Соединенные Штаты Америки (США) – Калифорния, 1992 год Proposition 65, California Safe Drinking Water Toxic Enforcement Act	Законом (штата Калифорния) о безопасной питьевой воде и токсичных веществах ТСЕР внесен в список как канцероген с 1992 года	[15]
Канада, 1999 год Canadian Environmental Protection Act	Три(1-хлор-2-пропил)фосфат (ТСРР) и три(1,3-дихлор-2-пропил)фосфат (ТДСРР) были признаны потенциально токсичными в соответствии с Разделом 64 СЕРА. Акт устанавливает, что эти соединения подлежат экологической и санитарной оценке и оценке риска для окружающей среды и здоровья человека	[16]
Страны Европейского союза (ЕС), 2006 год Регламент Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH) № 1907/2006	В регламенте обращено внимание на проблему ФОЭ – соединения объявлены потенциально опасной группой загрязнителей, добавлены в качестве кандидатов на включение в список опасных веществ	[17]
ЕС, 2009 год Регулируется регламентами REACH	Три(2-хлорэтил)фосфат (ТСЕР) добавлен в список приоритетных загрязнителей	[18]
Канада, 2010 год Закон о безопасности потребительских товаров Канады	Согласно закону запрещен ТСЕР для использования для поролоновых набивок в игрушках и прочих детских товарах	[19]

США – Калифорния, 2011 год Proposition 65 – Safe Drinking Water and Toxic Enforcement Act.	Регулируют ФОО в рамках Закона, вводят ограничения на использование огнезащитных средств в потребительских товарах. Закон требует от компаний уведомлять о наличии в товарах химических веществ, для которых установлена канцерогенность или токсичность, отражающаяся на репродуктивной функции – к таким соединениям законом относится, в частности, ТДСРР. ТСРР находится под наблюдением как потенциально опасный	[20]
США – Вашингтон, 2011-2017 Safer Products for Washington; The reporting list of Chemicals of High Concern to Children (CHCC list) – закон Департамента Экологии штата Вашингтон, запрещает использование некоторых антипиренов, определяет некоторые, как вызывающие беспокойство	Запрещено использование: ТСЕР – классифицирован возможным канцерогеном, влияет на развитие, 2011 год; ТДСРР – принят возможным канцерогеном, установлено влияние на эндокринную систему. Запрещен в 2013 году. Добавлены в список опасных веществ и контролируются: ТСРР – токсичность для репродуктивной системы, способность к биоаккумуляции, добавлен в 2017 году; ТРР – воздействие на эндокринную и нервную систему	[21; 22]
Россия, 2015 год Государственный реестр потенциально опасных химических и биологических веществ РФ (ТСРР попал в список в 1996 г., однако данные по его токсичности актуализированы в 2015 г.)	ТСРР попал в Федеральный регистр потенциально опасных химических и биологических веществ – присвоен 2 класс опасности, что классифицируется как высокая опасность вещества для здоровья человека. Для него определены: предельно допустимая концентрация (ПДК) в воздухе рабочей зоны, максимальная разовая концентрация (м.р.): 0,1 мг/м <sup>3</sup> ; ПДК рыб. хоз.: 0,14 мг/л, 4 (малоопасный) класс. Ориентировочный безопасный уровень воздействия (ОБУВ) в атмосферном воздухе, (м.р.): 0,1 мг/м <sup>3</sup>	[23]
Европейский союз, 2014 год Директива 2014/79/EU	Директивой вводятся ограничения содержания ТСЕР и ТДСРР в детских игрушках: разрешенное содержание соединений до 5 мг/кг	[24]
Европейский союз, 2015 год Директива 2014/79/EU, поправка	Поправка запрещает использование ТСЕР	[24]
США, 2017 год California Assembly Bill No. 2998 (AB 2998) Consumer products: flame retardant materials.	Штат Род-Айленд принял закон, запрещающий продажу мебели и мягких постельных принадлежностей с добавлением любых галогенорганических антипиренов. Сан-Франциско – принято постановление, запрещающее продажу мягкой и перетянутой мебели, а также детских товаров, содержащих огнезащитные химикаты. В штате Мэн вступил в силу запрет продажи мягкой мебели, содержащей антипирены	[25]
ЕС, 2018 год Регламент (ЕС) 2018/1513, дополнивший Приложение XVII к Регламенту REACH (№ 1907/2006)	Запрет на использование галогенированных антипиренов в корпусах или подставках электронных дисплеев. Данный запрет также требует обязательную маркировку всех антипиренов, использованных в компонентах дисплеев, для повышения прозрачности в цепочке поставок	[26]
ЕС, 2019 год Закон о контроле токсичных веществ, Поправки в Приложение XVII Регламента (ЕС) № 1907/2006	ТСЕР и ТРPhP были предложены REACH в качестве высокоприоритетных химических веществ для оценки рисков	[26]
США – Калифорния, 2020 год California Assembly Bill No. 2998 (AB 2998) Consumer products: flame retardant materials	Закон запрещает продажу в Калифорнии мебели, матрасов и некоторых детских товаров, содержащих огнезащитные химические вещества, включая некоторые ФОО, в концентрациях выше 1000 ppm	[25]
Китай, 2022 год Техническое руководство по определению критериев качества воды для пресноводных организмов HJ831-2022, Министерство экологии и охраны окружающей среды Китайской Народной Республики	Три(2-хлорэтил)фосфат (ТСЕР) добавлен в список приоритетных загрязнителей в Китае в рамках законодательства, направленного на контроль за новыми загрязняющими веществами	[27]

Примечание: составлено автором.



В России отмечается отсутствие систематических исследований ФОЭ с фокусом на экологические воздействия соединений, что делает проблему практически невидимой для научного сообщества. Это указывает на необходимость проведения национальных мониторинговых программ и разработки регулятивных мер. Однако одно из соединений ФОЭ также взято на контроль законами Российской Федерации – ТСЕР отнесен ко 2 классу опасности для человека, и хотя для водных организмов он классифицируется 4 классом, как малоопасный, однако подчеркивается, что превышение нормативов может вызвать нарушения в экосистемах. Включение в списки опасных веществ отражает растущую обеспокоенность их потенциальным воздействием на здоровье человека и окружающую среду [23]. По сравнению с зарубежными практиками российские меры все еще находятся на начальной стадии внедрения, однако существует потенциал для дальнейших исследований воздействия вещества на экосистемы и разработки мер по минимизации этого воздействия. В будущем возможно расширение списка признанных опасными соединений ФОЭ, применение маркировки продукции, повышение осведомленности потребителей о возможных токсических эффектах, ограничения для производителей на использование данных соединений.

### Выводы

Судьба ФОЭ при высвобождении в природную среду вызывает широкую озабоченность, особенно в долгосрочной перспективе. Именно поэтому в последние десятилетия органические эфиры ортофосфорной кислоты, так же как и их предшественник, стали рассматриваться как потенциально опасный загрязнитель. Ввиду проявляемых токсических эффектов и значительного уровня содержания ФОЭ во всех экологических матрицах, задача включения соединений в стандарты качества окружающей среды становится все более актуальной. Всестороннее изучение вопроса необходимо для понимания риска, который новые загрязнители представляют для здоровья глобальной экосистемы и человека.

Новый персистентный экотоксикант требует комплексных подходов к регулированию его поступления в объекты ОС. Для обеспечения экологической безопасности, связанной с воздействием ФОЭ, может быть предложен ряд мероприятий для реализации в России.

1. Необходимо углубление знаний об экотоксиканте, стандартизация результатов всестороннего изучения ФОЭ в природных объектах России для оценки общего содержания в ОС и влияния на экосистемы. Составление сводной базы данных об органических фосфатах, как основы для построения системы мониторинга и скрининга конкретных соединений.

2. На основании полученных результатов может быть предложено внесение остальных (помимо уже включенного ТСРР) соединений ФОЭ в Федеральный регистр потенциально опасных химических и биологических веществ; присвоение классов опасности соединениям. Первыми могут быть включены соединения наиболее опасной группы – хлоралкильные ФОЭ.

3. Внедрение информирования потребителей о негативном воздействии соединений ФОЭ и других ЗВ с целью стимулирования минимизации использования пластика, как источника этих веществ, путем корректирования потребительских привычек.

4. Расширение законодательства на остальные соединения группы ФОЭ, введение нормативов содержания в природных объектах и потребительских товарах.

5. Введение ограничивающих норм для промышленных производств на использование.

6. Проведение исследований, направленных на развитие технологий переработки имеющейся продукции, содержащей токсичные соединения ФОЭ.

7. Проведение исследований по поиску более экологичных альтернатив.

8. Исследования токсического воздействия альтернативных соединений на экосистемы.

В статье исследованы применяемые в мире инициативы по минимизации поступления соединений ФОЭ в ОС, ее практическая значимость заключается в том, что работа освещает мало изученную актуальную проблему и представляет научному сообществу и заинтересованным сторонам основные краткие сведения о природе, механизмах распространения в природных средах, токсичности и биоаккумуляционных способностях группы часто используемых в производстве соединений ФОЭ. Статья стремится выявить ключевые тенденции, успешные практики и пробелы в регулировании, чтобы предложить рекомендации для дальнейшего развития геоэкологических стратегий и совершенствования международных и национальных мер

по снижению риска применения данных веществ. Систематизированные данные статьи могут быть использованы для разработки отечественной программы мониторинга соединений органических фосфатов, для оценки рисков и принятия обоснованных решений в области экологической безопасности. В частности, информация, представленная в статье, может стимулировать отечественных исследователей к проведению дополнительных фундаментальных и прикладных исследований нового персистентного экотоксиканта, что позволит повысить информированность как граждан, так и законодательных органов и будет способствовать формированию стратегий по снижению или предотвращению негативного воздействия данных соединений на экосистемы и человека.

### Список литературы

1. Da S., Wang J. Occurrence, Bioaccumulation, and Risk Assessment of Organophosphate Esters in Rivers Receiving Different Effluents // *Toxics*. 2024. Vol. 12. № 8. P. 612. DOI: 10.3390/toxics12080612.
2. Dou M., Wang L. A review on organophosphate esters: physicochemical properties, applications, and toxicities as well as occurrence and human exposure in dust environment // *Journal of Environmental Management*. 2023. Vol. 325. P. 116601. DOI: 10.1016/j.jenvman.2022.116601.
3. Wan W., Zhang S., Huang H., Wu T. Occurrence and distribution of organophosphorus esters in soils and wheat plants in a plastic waste treatment area in China // *Environmental Pollution*. 2016. Vol. 214. P. 349-353. DOI: 10.1016/j.envpol.2016.04.038.
4. Ma, Y., Xie Z., Lohmann R., Mi W., Gao G. Organophosphate Ester Flame Retardants and Plasticizers in ocean sediments from the North Pacific to the Arctic Ocean. // *Environmental Science & Technology*. 2017. Vol. 51. № 7. P. 3809-3815. DOI: 10.1021/acs.est.7b00755.
5. Bi R., Su G. Dietary intake assessment of known and unknown organophosphate esters in foodstuffs via high-resolution mass spectrometry // *Science of the Total Environment*. 2023. Vol. 854. P. 158452. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.158452.
6. Paun I., Pirvu F., Iancu V.I., Niculescu M., Pascu L.F., Chiriac F.L. An Initial Survey on Occurrence, Fate, and Environmental Risk Assessment of Organophosphate Flame Retardants in Romanian Waterways // *Journal of xenobiotics*. 2023. Vol. 14. № 1. P. 31-50. DOI: 10.3390/jox14010003.
7. Кононова С.В., Несмеянова М.А. Фосфонаты и их деградация микроорганизмами // *Биохимия*. 2002. Т. 67, № 2. С. 220-233. URL: <https://biochemistrymoscow.com/ru/archive/2002/67-02-0220/> (дата обращения: 15.11.2024).
8. Cheng F., Wang C., Pan H., Chen C., Huang W., Li S., Kung T. Levels of organophosphate flame retardants and their metabolites among 391 volunteers in Taiwan: difference between adults and children // *Frontiers in Public Health*. 2023. Vol. 11. P. 1186561. DOI: 10.3389/fpubh.2023.1186561.
9. Sagerup K., Leonards P., Routti H., Fuglei E., Aars J., Ström H., Gabrielsen G.W. Organophosphorous flame retardants in Arctic biota. 2011. [Электронный ресурс]. URL: <https://brage.npolar.no/npolar-xmlui/bitstream/handle/11250/173195/OrganophosphorousFlameRetardants2011.pdf?sequence=1> (дата обращения: 11.10.2024).
10. Fu J., Fu K., Gao K., Li H., Xue Q., Chen Y., Jiang G. Occurrence and trophic magnification of organophosphate esters in an Antarctic ecosystem: insights into the shift from legacy to emerging pollutants // *Journal of Hazardous Materials*. 2020. Vol. 396. P. 122742. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2020.122742.
11. Paun I., Pirvu F., Iancu V.I., Niculescu M., Pascu L.F., Chiriac F.L. An Initial Survey on Occurrence, Fate, and Environmental Risk Assessment of Organophosphate Flame Retardants in Romanian Waterways // *Journal of xenobiotics*. 2023. Vol. 14. № 1. P. 31-50. DOI: 10.3390/jox14010003.
12. Wang Y., Zhao Y., Han X., Wang J., Zhuang Y., Li W. A review of organophosphate esters in aquatic environments: levels, distribution, and human exposure // *Water*. 2023. Vol. 15. № 9. P. 6-15. DOI: 10.3390/w15091790.
13. Bekele T.G., Zhao H., Wang Q., Chen J. Bioaccumulation and trophic transfer of emerging organophosphate flame retardants in the marine food webs of Laizhou Bay, North China // *Environmental Science & Technology*. 2019. Vol. 53. № 22. P. 13417-13426. DOI: 10.1021/acs.est.9b03687.
14. Lai N.L.S., Kwok K.Y., Wang X.H., Yamashita N., Liu G., Leung K.M., Lam J.C. Assessment of organophosphorus flame retardants and plasticizers in aquatic environments of China (Pearl River Delta, South China Sea, Yellow River Estuary) and Japan (Tokyo Bay) // *Journal of hazardous materials*. 2019. Vol. 371. P. 288-294. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2019.03.029.
15. Safe Drinking Water and Toxic Enforcement Act (Proposition 65), California Health and Safety Code. 1986. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.p65warnings.ca.gov/fact-sheets/tris2-chloroethyl-phosphate-tcep> (дата обращения: 04.11.2024).
16. Canadian Environmental Protection Act № 54. 1999. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/evaluating-existing-substances/updated-risk-management-scope-tcpp-tccpp.html?utm> (дата обращения 01.11.2024).
17. REACH (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals) № 1907/2006. 2006. [Электронный ресурс]. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A02006R1907-20231201> (дата обращения: 05.11.2024).
18. SVHC Support document. TCEP. 2009. [Электронный ресурс]. URL: <https://echa.europa.eu/documents/10162/6d09755f-7fcb-4a00-b7ce-91ab45a2e5af> (дата обращения: 01.11.2024).
19. Canada Product Safety Act. [Электронный ресурс]. URL: <https://laws-lois.justice.gc.ca/eng/acts/c-1.68/> (дата обращения: 06.11.2024).
20. Proposition 65 – Safe Drinking Water and Toxic Enforcement Act. 2011. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.p65warnings.ca.gov/fact-sheets/chlorinated-tris>. (дата обращения: 05.11.2024).
21. Rationale for Reporting List of Chemicals of High Concern to Children 2011–2017. 2017. [Электронный ресурс]. URL: <https://apps.ecology.wa.gov/publications/documents/1804025.pdf#page=52> (дата обращения: 08.11.2024).
22. Safer Products for Washington. 2011. [Электронный ресурс]. URL: <https://ecology.wa.gov/regulations-permits/reporting-requirements/childrens-safe-products-act-reporting/chemicals-of-high-concern-to-children> (дата обращения: 01.11.2024).
23. Государственный реестр потенциально опасных химических и биологических веществ РФ. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.rpohv.ru/online/detail.html?id=927> (дата обращения: 07.11.2024).
24. European Union law. Directive 2014/79/EU. [Электронный ресурс]. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=celex%3A32014L0079> (дата обращения: 01.11.2024).
25. California Assembly Bill No. 2998 (AB 2998). 2017. [Электронный ресурс]. URL: [https://leginfo.ca.gov/faces/billNavClient.xhtml?bill\\_id=20170180AB2998](https://leginfo.ca.gov/faces/billNavClient.xhtml?bill_id=20170180AB2998) (дата обращения: 03.11.2024).
26. European Union law. Regulation (EU) 2018/1513. 2018. [Электронный ресурс]. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A32018R1513> (дата обращения: 01.11.2024).
27. Техническое руководство по определению критериев качества воды для пресноводных организмов HJ831-2022. [Электронный ресурс]. URL: [https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk01/202011/t20201102\\_805937.html](https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk01/202011/t20201102_805937.html) (дата обращения: 01.11.2024).

## СТАТЬЯ

УДК 504.064.2

DOI 10.17513/use.38369

**ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ  
И ТЕХНОГЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ  
В ПОЧВАХ ДЕЛЬТЫ РЕКИ СЕВЕРНАЯ ДВИНА  
(НА ПРИМЕРЕ ОСТРОВА ЯГРЫ)****<sup>1</sup>Лапиков П.И., <sup>1</sup>Яковлев Е.Ю., <sup>2</sup>Лапикова А.Т.**

<sup>1</sup>*ФГБУН Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лавёрова Уральского отделения Российской академии наук, Архангельск, e-mail: pavel.lapikov.i@gmail.com;*

<sup>2</sup>*Северный филиал ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», Архангельск, e-mail: gat29@gmail.com*

Цель работы – проведение радиоэкологической оценки почвенного покрова на предмет загрязнения техногенными и естественными радионуклидами в дельте р. Северная Двина на примере о. Ягры (Северодвинск, Приморский район, Архангельская область). Места отбора проб определялись с помощью построения сети точек, находящихся на разной удаленности от береговой линии и от потенциальных источников загрязнения в виде радиационно опасных объектов Северодвинска. Всего в работе оценивались почвы из 6 точек. В каждом месте пробоотбора авторы оценивали 7 горизонтов с шагом 5 см, от 0 до 35 см в самой глубокой точке профиля. В исследовании применялись методы радиометрии и полупроводниковой гамма-спектрометрии, которые позволяют определять низкие активности радионуклидов с достаточной точностью. В пробах оценивались следующие количественные характеристики: удельная бета-активность радия-226, тория-232, калия-40, цезия-137, стронция-90, средние значения среди всех точек и всех горизонтов были следующими: 364; 6,5; 6; 283; 5; 4,5 Бк/кг соответственно. Полученные значения по активности цезия-137 варьировались от 0,14 до 24 Бк/кг, полученные значения могут быть связаны с неоднородностью распространения ввиду химической, биологической и физической миграции цезия в условиях песчаных аллювиальных почв с высокой степенью засоленности с изменяющейся толщиной гумусового горизонта зависящего от типа микрорельефа о. Ягры (Северодвинск). Исследования проводились вне охраняемых территорий и не нарушали нормы и правила в области обеспечения безопасности. Полученные значения могут быть использованы для радиоэкологического мониторинга в будущем.

**Ключевые слова:** почвенный покров, радиоэкологическая обстановка, радионуклид, цезий

**ASSESSMENT OF NATURAL AND ANTHROPOGENIC RADIONUCLIDE  
CONTENT IN SOILS THE NORTHERN DVINA RIVER DELTA  
(ON THE EXAMPLE OF YAGRY ISLAND)****<sup>1</sup>Lapikov P.I., <sup>1</sup>Yakovlev E.Yu., <sup>2</sup>Lapikova A.T.**

<sup>1</sup>*Federal Centre for Integrated Arctic Research named after N.P. Laverov of the Russian Academy of Sciences, Archangelsk, e-mail: pavel.lapikov.i@gmail.com;*

<sup>2</sup>*Northern branch of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Arkhangelsk, e-mail: gat29@gmail.com*

The aim of the work was to conduct radioecological assessment of the soil cover for contamination with anthropogenic and natural radionuclides in the delta of the Northern Dvina River on the example of Yagry Island (Severodvinsk, Primorsky District, Arkhangelsk Oblast). Sampling locations were determined by constructing a network of points located at different distances from the shoreline and from potential sources of contamination in the form of radiation-hazardous facilities of Severodvinsk. In total, soils from 6 points were evaluated in this work. At each sampling location the authors evaluated 7 horizons with a step of 5 centimeters from 0 cm to 35 cm at the deepest point of the profile. The study utilized radiometry and solid-state gamma spectrometry techniques, which allow the determination of low activity radionuclides with sufficient accuracy. The following quantitative characteristics were evaluated in the samples: specific beta, activity of radium-226, thorium-232, potassium-40, cesium-137, strontium-90, the average values among all points and all horizons were as follows: 364 Bq/kg, 6.5 Bq/kg, 6 Bq/kg, 283 Bq/kg, 5 Bq/kg, 4.5 Bq/kg respectively. The obtained values of caesium-137 activity varied from 0.14 Bq/kg to 24 Bq/kg, the obtained values can be related to heterogeneity of distribution due to chemical, biological and physical migration of caesium in conditions of sandy alluvial soils with a high degree of salinity with varying thickness of humus horizon depending on the type of microrelief of Yagry Island (Severodvinsk). The research was conducted outside protected areas and did not violate safety norms and regulations. The obtained values can be used for radioecological monitoring in the future.

**Keywords:** soil cover, radioecological situation, radionuclide, cesium

### Введение

Арктические территории подвергались различному активному техногенному воздействию на протяжении последнего века. Наибольшее влияние на экосистемы арктических районов оказали глобальные процессы и проведение в ее широтах различных испытаний вооружения в том числе и ядерного. Таким образом, территория Арктики и по сей день представляет интерес для радиэкологических исследований в условиях изменяющегося климата.

Одним из арктических регионов со значимой антропогенной нагрузкой является Двинской залив Белого моря. В данном районе находится один из исторических центров освоения арктических территорий – город Архангельск. В настоящее время в Архангельской агломерации находятся различные производства, в том числе радиационно опасные объекты в виде предприятий по строительству и обслуживанию подводных лодок с атомными энергетическими установками.

Территория дельты р. Северная Двина представляет собой уникальный природный комплекс, сформированный в месте контакта речных и морских вод. Такое положение определяет формирование особого ландшафта данной местности и сложного гидрологического режима [1].

Дельта р. Северная Двина также является значимой территорией для сохранения биоразнообразия, здесь находятся три ООПТ: Беломорский биологический заказник; Двинской биологический заказник и Сосновый бор острова Ягры.

Ввиду различных исторических причин данный регион является наиболее заселенным и индустриально развитым на побережье Белого моря, что формирует значимую антропогенную нагрузку в виде загрязнителей разнообразного происхождения.

Одним из наиболее важных индустриальных узлов Архангельской агломерации является город Северодвинск – центр атомного судостроения. Предприятия Северодвинска могут являться источником техногенных радионуклидов в окружающей среде даже при нормальной работе [2].

Дельта Северной Двины является геохимическим барьером с повышенной аккумуляционной способностью в зоне смешения речных и морских вод. В процессе аккумуляции участвуют различные компоненты окружающей среды, в том числе почвы. Наличие в дельте радиационно опасных объ-

ектов придает особую значимость исследованиям по оценке текущей радиэкологической обстановки [1, 3].

Из-за географического положения и наличия локальных радиационно опасных объектов отсутствует определенность в доминирующих источниках техногенных радионуклидов в компонентах окружающей среды района исследования [4, 5].

Для определения предрасположенности к изменению радиационной обстановки ввиду деятельности местных радиационно опасных объектов в Двинском заливе Белого моря, а именно в устье дельты р. Северная Двина, требуется изучить радиэкологические параметры объектов окружающей среды, предполагаемо свободных от воздействия локального антропогенного фактора.

Важным источником поступления радионуклидов в компоненты окружающей среды является перенос воздушных масс и атмосферные осадки, выпадающие на землю. Исследования почв, как одного из индикаторов загрязнения атмосферы, предоставит возможность оценить количественно и качественно состав и воздушных масс, и атмосферных выпадений [6, 7].

**Цель исследования** – проведение отбора проб почв на о. Ягры, проведение требуемой пробоподготовки и измерений радиационных параметров грунтов с использованием чувствительного и точного радиометрического и спектрометрического оборудования.

### Материалы и методы исследования

Почвенный покров о. Ягры, расположенного в северо-западной части дельты р. Северная Двина, представлен песчаными засоленными аллювиальными почвами с различным содержанием гумуса, сильно зависящего от микрорельефа (рис. 1) [8].

Для оценки содержания радионуклидов в пробах почв о. Ягры, был произведен отбор грунта (табл. 1) в 6 точках (рис. 2) методом конверта с длиной стороны квадрата 1 м.

В каждой точке пробы отбирались в 7 горизонтальных, с шагом 5 см до глубины 35 см.

Все пробы почв отобраны на микрорельефе морских береговых валов с плоским слабоволнистым или бугристым рельефом. Данные точки были выбраны ввиду их непосредственной близости к радиационно опасным объектам. Территория, на которой они располагаются, не была задействована в хозяйственной деятельности ранее и представляет естественный ландшафт.

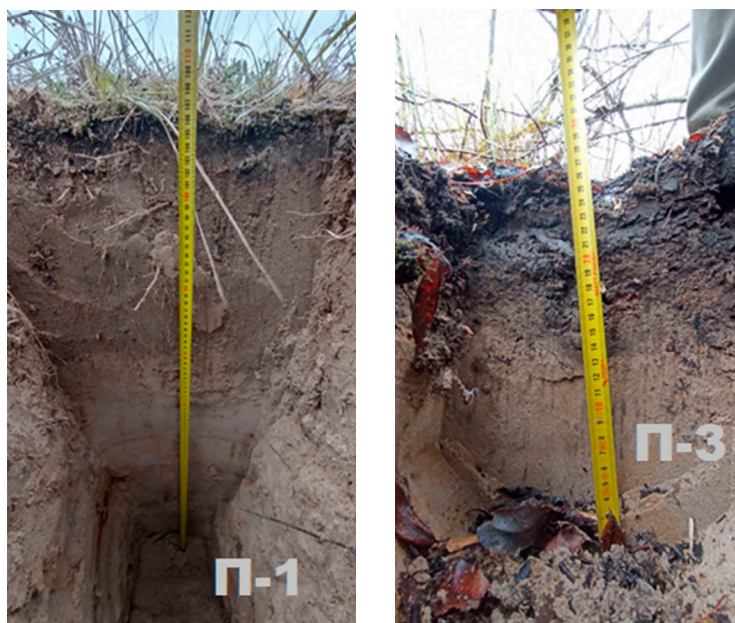


Рис. 1. Почвенные профили в точках отбора проб (П-1 и П-3)

Таблица 1

Список проб

Код пробы	Широта	Долгота	Дата отбора
П-1	64°35'24.46	39°46'57.55	14.10.2023
П-2	64°35'18.77	39°46'49.92	14.10.2023
П-3	64°35'20.48	39°47'09.31	14.10.2023
П-4	64°35'14.28	39°47'00.67	14.10.2023
П-5	64.587233	39.778845	17.10.2023
П-6	64.586104	39.782925	18.10.2023

Пробы грунта транспортировались в лабораторию, сушились при температуре 105 °С и гомогенизировались. Радионуклиды <sup>137</sup>Cs, <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th и <sup>40</sup>K определяли на низкофоновом полупроводниковом гамма-спектрометре ORTEC (США) на базе коаксиального детектора GEM10P4-70 из высокочистого германия (HPGe), с процессором импульсных сигналов SBS-75 и программным обеспечением Gamma Pro. Данный полупроводниковый гамма-спектрометр позволяет определять низкие активности гамма-излучающих радионуклидов, позволяет использовать геометрию Маринелли для измерений, что непосредственно сказывается на минимальной измеряемой активности. Расчет удельной бета-активности определяли с помощью альфа-бета-радиометра РКС-01 «Абелия» (НТЦ «Амплитуда», Россия). Данный альфа-бета-радиометр был использован авторами в данной работе из-за его

доступности и возможности проводить измерения с минимальной пробоподготовкой, также немаловажным фактором является то, что измеряемая проба пригодна и для дальнейших исследований.

Данные методы были подобраны из-за целей исследования, например использование мобильных спектрометров, использование которых могло бы быть проведено прямо на местности, не позволило бы оценить вертикальное распределение радионуклидов по профилям.

**Результаты исследования и их обсуждение**

Полученные значения в работе не превышали установленных нормативов содержания естественных и техногенных радионуклидов. В ходе проведения исследования были получены следующие значения (табл. 2).

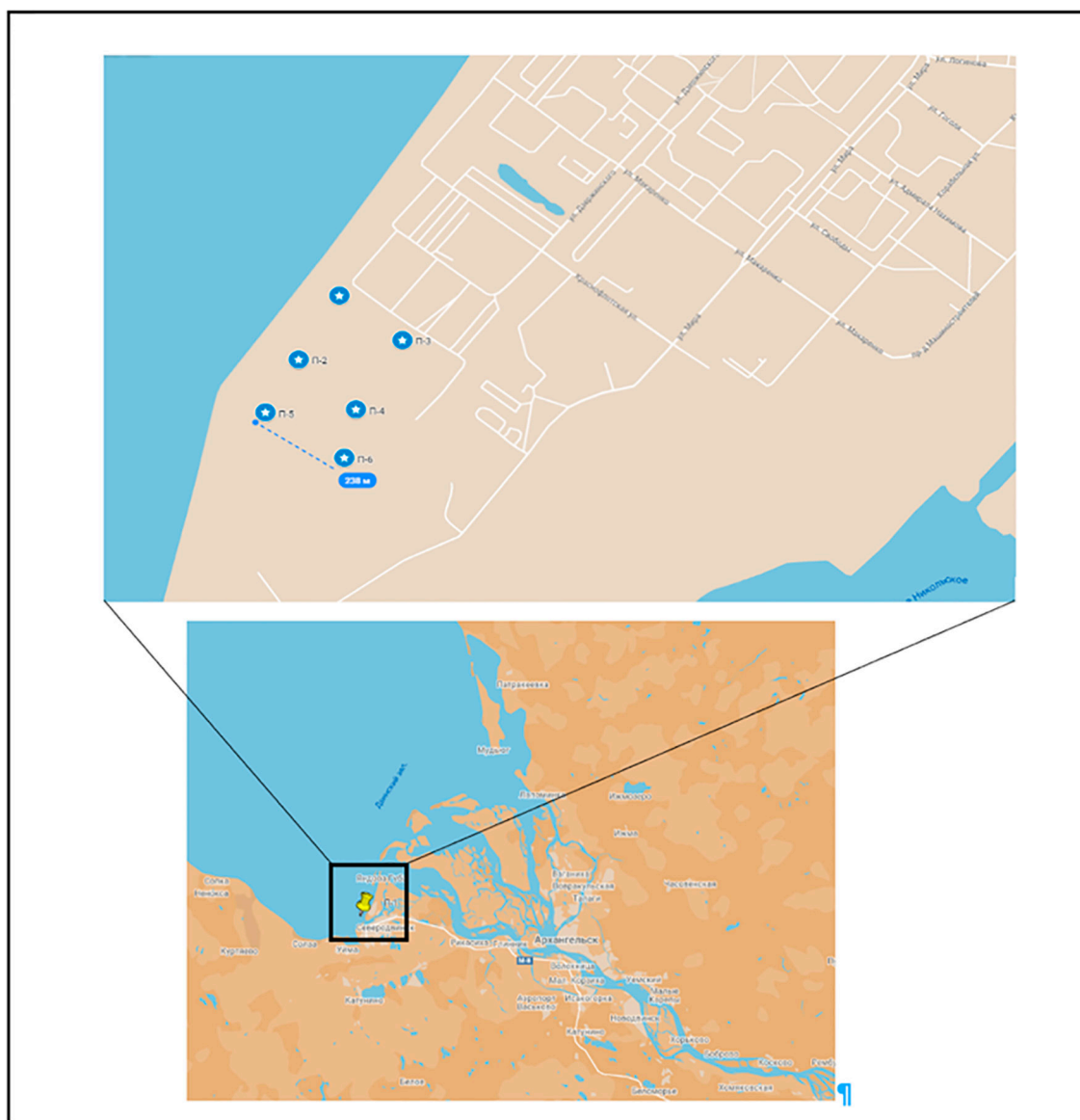


Рис. 2. План-схема отбора почв на о. Ягры в Двинском заливе Белого моря

Бета-активность удельная средняя в исследуемых горизонтах находилась в пределах между 300 и 690 Бк/кг. Содержащиеся естественные радионуклиды в пробах были представлены следующим составом:  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  и  $^{40}\text{K}$  – их средние активности слабо варьировались при вертикальном рассмотрении почвенных профилей и составляли следующие значения соответственно: 6,5; 6,1 и 283 Бк/кг. Исследуемый техногенный радионуклид  $^{137}\text{Cs}$  обладал максимальной активностью (24,1 Бк/кг) в верхних отобранных горизонтах (0–5, 5–10), где предполагается наибольшее содержание органических компонентов, полученные значения сходятся с предыдущими работами [9]. Та-

кое распределение цезия в пробах связано с основным его источником в виде атмосферных выпадений, а также хорошей удерживающей способностью органических веществ. Максимальные значения удельной активности цезия не превышали допустимые удельные активности для неограниченного использования (100 Бк/кг) и являются типичными для района исследования [10]. В данной работе авторы получили значения вертикального распределения естественных и техногенных гамма-излучающих радионуклидов (рис. 3), определили общую удельную активность отобранных грунтов на территории о. Ягры в дельте р. Северная Двина.

Таблица 2

Исследованные параметры в точках отбора

№ п/п	Точка отбора	Горизонт	Радиационные параметры пробы, Бк/кг					
			Ауд., β	Ra-226	Th-232	K-40	Cs-137	Sr-90
1	П-1	0–5	420	6,5	6,5	260	4,2	---
2		5–10	340	7	6,6	281	4,4	---
3		10–15	330	7,3	6,8	270	4,9	---
4		15–20	340	7,6	7,7	310	4,5	---
5		20–25	330	7,1	6,6	300	2,9	---
6		25–30	300	5,2	4,6	264	0,32	---
7		30–35	310	4,8	3,6	290	< 0,8	---
8	П-2	0–5	400	5,9	6,9	230	2,9	---
9		5–10	380	7,5	7,4	290	3,3	---
10		10–15	400	7,4	7,4	300	3,4	---
11		15–20	380	6,9	7,9	320	3,4	---
12		20–25	320	7,5	6,7	290	< 1,2	---
13		25–30	310	7	6,3	300	0,19	---
14		30–35	340	5	4,7	285	< 0,12	---
15	П-3	0–5	690	9,3	12,2	230	16,2	9,1
16		5–10	460	6,5	5,1	270	3,8	---
17		10–15	360	7,6	7,7	260	9	---
18		15–20	330	10,6	9,7	450	1,7	---
19		20–25	320	5,1	5,6	270	<0,54	---
20		25–30	350	7	6,4	310	0,24	---
21		30–35	350	6,6	5,9	283	<0,23	---
22	П-4	0–5	510	5,5	5,5	214	17,9	3,1
23		5–10	370	6,3	5,7	290	24,1	---
24		10–15	340	7	6,5	290	11,4	---
25		15–20	350	7,9	1,9	270	4,8	---
26		20–25	320	6	3,7	250	<3,4	---
27		25–30	300	4,4	5,1	260	<0,8	---
28		30–35	310	4,7	4,1	250	<0,46	---
29	П-5	0–5	360	5,9	5,3	269	0,45	---
30		5–10	330	7	6,6	250	<0,6	---
31		10–15	350	<0,31	<0,12	295	<0,11	---
32		15–20	370	5,6	5,6	282	0,63	---
33		20–25	360	6,3	6,3	280	<0,7	---
34		25–30	390	6,2	6,3	280	<0,7	---
35		30–35	380	6,3	6,2	300	0,14	---
36	П-6	0–5	380	6,5	5,1	270	3,8	1,3
37		5–10	350	5,4	4,3	290	3,3	---
38		10–15	360	6	5,4	290	3,7	---
39		15–20	340	5,3	5,3	290	2,6	---
40		20–25	350	5	4,7	279	0,92	---
41		25–30	310	4,8	4,8	270	<0,5	---
42		30–35	410	7,1	7,8	340	<0,27	---

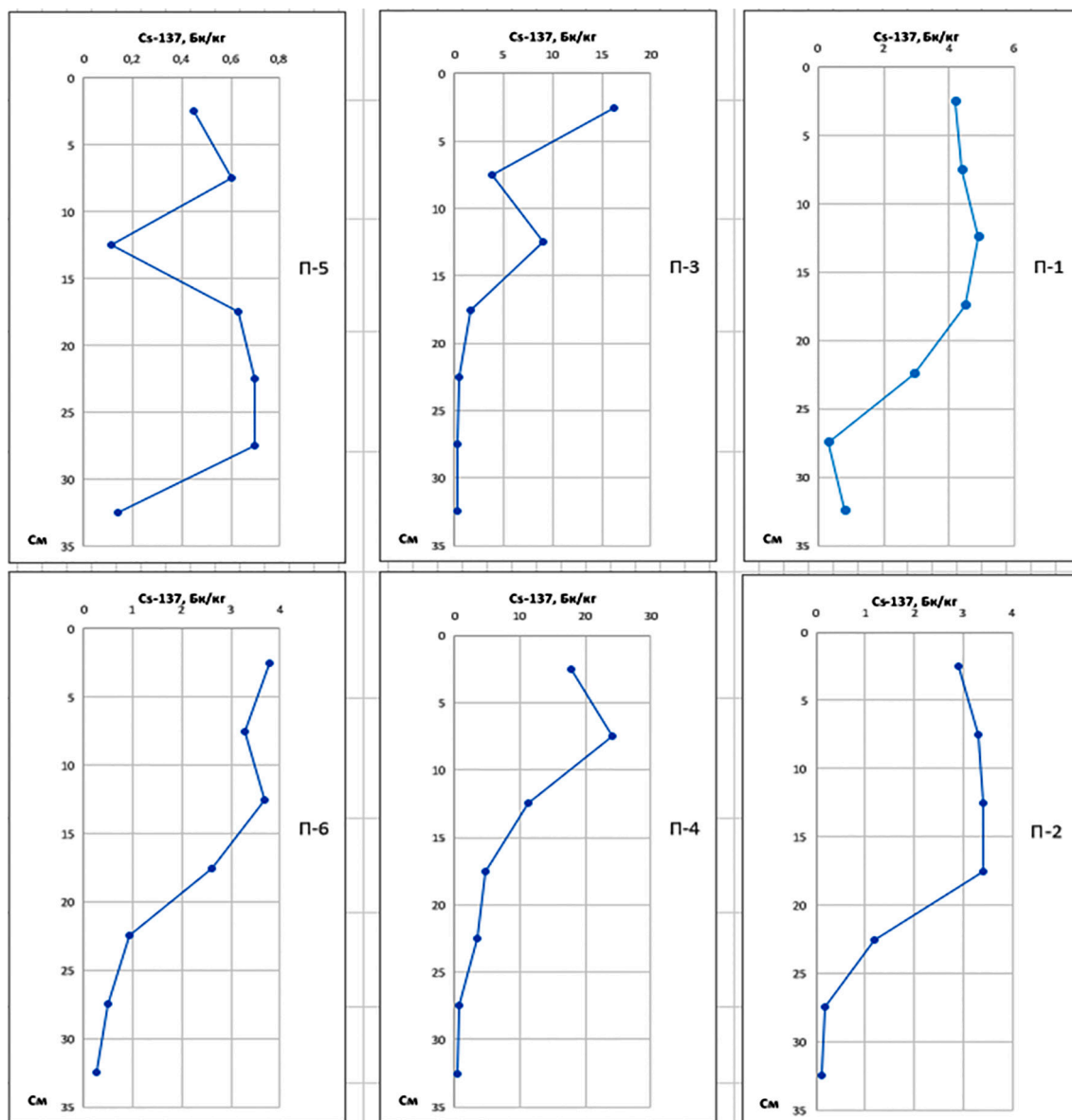


Рис. 3. Вертикальное распределение Cs-137 в пробах почвы

### Заключение

Для более точной оценки и определения существующего воздействия и значимости локальных источников техногенного радиоактивного загрязнения в дельте р. Северная Двина и пробах грунта о. Ягры, необходимо проведение более полного комплекса исследовательских мероприятий с расширенной сеткой отбора проб и учетом дополнительных параметров. На данной территории не обнаружено значительного содержания техногенных радионуклидов, и может в дальнейшем использоваться для проведения исследований связанных с миграцией радионуклидов в условиях данного типа почв.

### Список литературы

1. Ulyantsev A., Ivannikov S., Bratskaya S. Radioactivity of anthropogenic and natural radionuclides in marine sediments of the Chaun Bay, East Siberian Sea // *Marine Pollution Bulletin*. 2023. Vol. 195. P. 115582. URL: [https://www.researchgate.net/publication/374362823\\_Radioactivity\\_of\\_anthropogenic\\_and\\_natural\\_radionuclides\\_in\\_marine\\_sediments\\_of\\_the\\_Chaun\\_Bay\\_East\\_Siberian\\_Sea](https://www.researchgate.net/publication/374362823_Radioactivity_of_anthropogenic_and_natural_radionuclides_in_marine_sediments_of_the_Chaun_Bay_East_Siberian_Sea) (дата обращения: 20.11.2024).
2. Панов А.В., Коржавин А.В., Коржавина Т.Н. Итоги многолетнего радиоэкологического мониторинга водоема-охладителя Белоярской АЭС // *Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика*. 2024. № 2. С. 138–154. DOI: 10.26583/npe.2024.2.12.
3. Бакунов Н.А., Большианов Д.Ю., Аксенов А.О., Марков А.С. К диффузии глобального  $^{137}\text{Cs}$  в донных отложениях северных морей // *Радиохимия*. 2023. Т. 65, № 4. С. 393–400. URL: [https://www.researchgate.net/publication/374061413\\_K\\_diffuzii\\_globalnogo\\_137Cs\\_v\\_donnyh\\_otlozheniah\\_severnyh\\_morej](https://www.researchgate.net/publication/374061413_K_diffuzii_globalnogo_137Cs_v_donnyh_otlozheniah_severnyh_morej) (дата обращения: 20.11.2024).



4. Yakovlev E.Y., Zykova E.N., Zikov S.B. Heavy metals and radionuclides distribution and environmental risk assessment in soils of the Severodvinsk industrial district // *Environmental Earth Sciences*. 2020. Vol. 79, Is. 10. P. 218. DOI: 10.1007/s12665-020-08967-8.
5. Матишов Г.Г., Ильин Г.В., Усягина И.С., Кириллова Е.Э. Динамика искусственных радионуклидов в экосистемах морей Северного Ледовитого океана на рубеже XX–XXI веков. Ч. 2. Донные отложения // *Наука Юга России*. 2019. Т. 15, № 4. С. 24–35. URL: [https://www.ssc-ras.ru/ckfinder/userfiles/files/15\(4\)%2024-35%20Matishov%20et%20al.pdf](https://www.ssc-ras.ru/ckfinder/userfiles/files/15(4)%2024-35%20Matishov%20et%20al.pdf) (дата обращения: 20.11.2024).
6. Зыков С.Б., Яковлев Е.Ю., Зыкова Е.Н., Дружинин С.В. <sup>137</sup>Cs в торфяных горизонтах верхового болота в окрестностях Северодвинского промышленного района // *Новое в познании процессов рудообразования: Труды молодых учёных, посвящённые 90-летию ИГЕМ РАН*. Москва Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской Академии наук, 2020. С. 41–45.
7. Прожорина Т.И., Нефедова Е.Г. Исследование метеорологических и химических параметров атмосферных осадков в осенне-зимний период как индикатора загрязнения воздуха г. Воронежа // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*. 2013. № 1. С. 145–149.
8. Национальный атлас почв Российской Федерации / Гл. ред. С.А. Шоба. М.: Астрель: АСТ, 2011. 632 с.
9. Kiauciunas V.V., Iglovsky S.A., Bazhenov A.V. <sup>134</sup>Cs, <sup>137</sup>Cs, <sup>40</sup>K, <sup>232</sup>Th, <sup>226</sup>Ra in bottom sediments of the Dvina Bay on the White Sea (the Suhoe Sea Gulf) // *Arctic Environmental Research*. 2018. Vol. 18, Is. 4. P. 148–154. DOI: 10.3897/issn2541-8416.2018.18.4.148.
10. СП 2.6.1.2612-10. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010).

## СТАТЬЯ

УДК 504.5:556:543.421:546.881.4  
DOI 10.17513/use.38370

**НАНОЧАСТИЦЫ ОКСИДА ВАНАДИЯ(IV)  
КАК ПЕРМАНЕНТНЫЙ МОДИФИКАТОР  
В ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКОЙ АТОМНО-АБСОРБЦИОННОЙ  
СПЕКТРОМЕТРИИ ПРИ АНАЛИЗЕ ШАХТНЫХ ВОД:  
ПРЕИМУЩЕСТВА И ОГРАНИЧЕНИЯ**

<sup>1</sup>Алемасова А.С., <sup>2</sup>Шептун И.Г., <sup>2</sup>Заболотный А.А., <sup>2</sup>Грапенко О.Ю., <sup>3</sup>Чебышев К.А.  
<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», Донецк, e-mail: alemasovaa@gmail.com;  
<sup>2</sup>ФГАУ ВО «Южный федеральный университет», Ростов-на-Дону, e-mail: sheptun@sfedu.ru;  
<sup>3</sup>ФГАУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет», Ставрополь,  
e-mail: chebyshev.konst@mail.ru

Целью работы являлась разработка перманентного модификатора для анализа содержания металлов-токсикантов в шахтных водах. Предложен новый перманентный модификатор коллоидный раствор оксида ванадия(IV) для определения таллия методом электротермической атомно-абсорбционной спектроскопии. На основании экспериментальных данных определено, что по способности термостабилизировать аналит коллоидный раствор оксида ванадия(IV) не уступает ванадату аммония в безматричных растворах, однако превосходит его в высокосолевой хлоридной матрице. Установлена эффективность предложенного модификатора для устранения матричных помех при анализе содержания металла-токсиканта таллия в шахтных водах методом электротермической атомно-абсорбционной спектроскопии. Исследованы высокотемпературные процессы превращения перманентного химического модификатора – коллоидного раствора наночастиц оксида ванадия(IV) в графитовой печи. Установлено, что наночастицы ванадия значительно лучше удерживаются в печи до более высоких температур, чем в случае ранее используемого ионного раствора метаванадата аммония. Экспериментально подтверждено, что модификаторы в виде нанокластеров образуют более термостойкое покрытие атомизатора. С помощью метода рентгеновской дифракции установлено, что после обжига образуются нанокластеры из карбида ванадия кубической сингонии с пространственной группой *Fm-3m*, которые и являются футеровкой графитового атомизатора.

**Ключевые слова:** анализ шахтных вод, электротермическая атомная абсорбция, наночастицы ванадия, перманентный модификатор, таллий

*Работа выполнена в рамках государственного задания № 124012400348-9 «Новые аналитические формы при эколого-аналитическом мониторинге металлов-токсикантов» FRRE-2023-0016 Донецкий государственный университет.*

**VANADIUM(IV) OXIDE NANOPARTICLES AS A PERMANENT MODIFIER  
IN ELECTROTHERMAL ATOMIC ABSORPTION SPECTROMETRY  
OF MINE WATER ANALYSIS: ADVANTAGES AND LIMITS**

<sup>1</sup>Alemasova A.S., <sup>2</sup>Sheptun I.G., <sup>2</sup>Zabolotnyi A.A., <sup>2</sup>Grapenko O.Yu.,  
<sup>3</sup>Chebyshev K.A.

<sup>1</sup>Donetsk State University, Donetsk, e-mail: alemasovaa@gmail.com;

<sup>2</sup>Southern Federal University, Rostov-on-Don, e-mail: sheptun@sfedu.ru;

<sup>3</sup>North-Caucasus Federal University, Stavropol, e-mail: chebyshev.konst@mail.ru

The aim of the work is to develop a permanent modifier for the analysis of toxic metals in mine waters. A new permanent modifier, a colloidal solution of vanadium(IV) oxide, is proposed for determining thallium by electrothermal atomic absorption spectrometry. Based on experimental data, it was determined that the ability to thermally stabilize the analyte colloidal solution of vanadium(IV) oxide is not inferior to ammonium vanadate in matrix-free solutions, but is superior to it in a high-salt chloride matrix. The efficiency of the proposed modifier for eliminating matrix interference in the analysis of the toxic metal thallium in mine waters by electrothermal atomic absorption spectrometry was established. High-temperature processes of transformation of a permanent chemical modifier – a colloidal solution of vanadium(IV) oxide nanoparticles in a graphite furnace were studied. It was found that vanadium nanoparticles are retained in the furnace much better at higher temperatures than in the case of the previously used ionic solution ammonium metavanadate. It was experimentally confirmed that modifiers in the form of nanoclusters form a more heat-resistant coating of the atomizer. Using the X-ray diffraction method, it was found that after firing, nanoclusters of vanadium carbide of cubic syngony with the space group *Fm-3m* are formed, which are the lining of the graphite atomizer.

**Keywords:** mine water analysis, electrothermal atomic absorption, vanadium nanoparticles, permanent modifier, thallium

*The work was carried out within the framework of the state assignment No. 124012400348-9 “New analytical forms in ecological-analytical monitoring of toxic metals” FRRE-2023-0016 Donetsk State University.*

### Введение

Донбасс является маловодным индустриальным регионом. Для водоснабжения региона был построен канал Северский Донец-Донбасс, который из-за боевых действий разрушен, подача воды по каналу остановлена. Сейчас регион снабжается водой из водохранилищ и водовода Дон-Донбасс, но его пропускной способности недостаточно, вода подается по графику [1]. В настоящее время существуют проекты расширения источников водоснабжения за счет использования шахтных вод [2, 3]. Шахтная вода является сложным аналитическим объектом [4, 5], содержит большое количество солей, которые в свою очередь оказывают матричные помехи при определении содержания тяжелых металлов методом электротермической атомно-абсорбционной спектрометрии (ЭТААС) [6, 7]. Использование химических модификаторов в ЭТААС является неотъемлемым компонентом методов минимизации матричных помех [6, 8]. Модификаторы способствуют сохранению аналита до более высоких температур во время стадии пиролиза, позволяющей устранить матричные помехи [9]. Из химических элементов, применяемых в качестве перманентных модификаторов, карбиды тугоплавких металлов менее эффективны, чем металлы платиновой группы, но они позволяют достигать приемлемых пределов обнаружения и их стоимость значительно ниже. Ранее [10, 11], соединения ванадия(V) уже использовались в качестве перманентного модификатора в ЭТААС, модификатор вносили в кювету в виде аммиачного раствора  $\text{NH}_4\text{VO}_3$  и виде водного раствора  $\text{V}_2\text{O}_5$  ( $\text{pH} > 9$ , аммиачный раствор) для определения 25 легко- и среднелетучих элементов, в данных работах была установлена высокая термостабилизационная способность соединений ванадия(V), особенно в смеси с палладием, и указаны широкие возможности применения соединений ванадия в ЭТААС [10, 11]. Ванадий относится к тугоплавким элементам и образует устойчивые тугоплавкие карбиды, но сам ванадий определяется методом ЭТААС довольно редко.

**Целью настоящей работы** является разработка перманентного модификатора для анализа содержания металлов-токсикантов в шахтных водах с помощью метода ЭТААС.

### Материалы и методы исследования

Растворы наночастиц способны образовывать равномерные пленки на поверхности различных изделий, что позволяет устранить проблему неравномерного по-

крытия поверхности [12]. Оксиды ванадия образуют коллоидные растворы, при нанесении которых на поверхность образуются равномерные пленки. Именно это свойство обуславливает эффективность применения наночастиц оксида ванадия в качестве перманентных модификаторов. Раствор для покрытия поверхности атомизатора, содержащий наночастицы оксида ванадия, синтезировался согласно методике, описанной в работе [13]; водный раствор метаванадата аммония 1 г/л готовили из метаванадата аммония (CAS No.: 7803-55-6). Размер синтезированных наночастиц определяли с помощью просвечивающего электронного микроскопа JEM-200A JEOL при ускоряющем напряжении 200 кВ. Данные порошковой рентгенограммы были получены с использованием дифрактометра ДРОН-3М с электронным управлением, с установленным Ni – фильтром для Cu K $\alpha$  излучения. Для фазового анализа использовали программу Match с базой данных PDF-2 (ICCD). Для уточнения структуры методом Ле-Бейла использовали массив данных, полученных путем сканирования образца в диапазоне углов  $10^\circ \leq 2\theta \leq 120^\circ$  со скоростью  $2^\circ (2\theta)/\text{мин}$ . Полученные данные анализировали в программе FULLPROF.2k [14] с использованием графического интерфейса WinPLOTR [15]. В качестве исходных данных для уточнения кристаллической структуры полученных соединений были взяты данные для VC [16]. ЭТААС анализ проводился на спектрофотометре Сатурн 3 с электротермическим атомизатором Графит 2. В качестве источников резонансного излучения использовали лампы с полым катодом типа ЛСП-1 и безэлектродные лампы ВСБ-2, для устранения неселективных помех использовали дейтериевый корректор фона, объем аликвоты 20 мкл. Для определения характеристической массы в мерную колбу вместимостью 10 мл вносили аликвоту стандартного раствора таллия(III) (GSO 6081) с тем, чтобы его итоговая концентрация составила 100 мкг/л, разбавляли до метки водой и тщательно перемешивали. Аликвоту 20 мкл приготовленного раствора дозировали на платформу с пиролитическим покрытием в графитовой печи и проводили измерение аналитического сигнала. Использовали интегральную интенсивность сигналов.

### Результаты исследования и их обсуждение

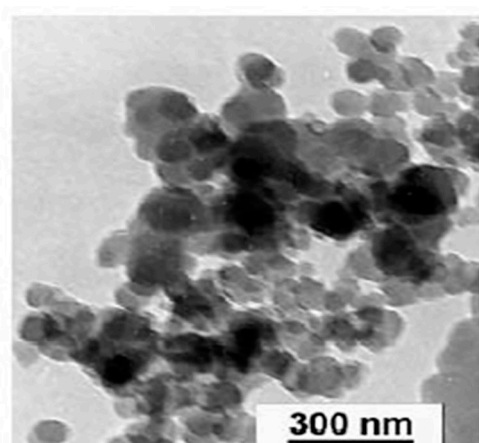
Для определения размера наночастиц в растворе использовали метод просвечива-

ющей электронной микроскопии. Полученные фотографии представлены на рис. 1а, из которых следует, что размер частиц составляет от 20 до 100 нм; растворы показали стабильность в течение 30 дней. Дополнительным фактором, подтверждающим получение именно коллоидного раствора оксида ванадия, является наблюдение образования конуса Тиндала [17] в полученных растворах, данное свойство использовалось в качестве экспресс-метода подтверждения образования наночастиц оксида ванадия. Каждый раз перед проведением измерений раствор помещали в тонкостенный стакан и при пропускании через него сфокусированного светового пучка (использовали лазерную указку) наблюдали светлый конус на темном фоне – конус Тиндала (рис. 1б).

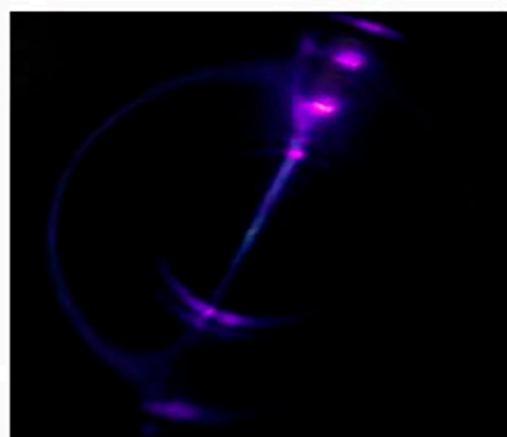
При использовании соединений ванадия в качестве перманентного модификатора покрытие рабочей поверхности графитового атомизатора должно оставаться стабильным на протяжении как можно большего числа циклов измерений. Для установления термической стабильности покрытия провели эксперимент по определению наличия атомного пара ванадия в газовой фазе. В графитовый атомизатор дозировали равные количества ванадия в виде раствора наночастиц  $\text{VO}_2$ , проводили высушивание растворителя при  $150\text{ }^\circ\text{C}$  в течение 30 секунд и пиролиз при  $1100\text{ }^\circ\text{C}$  в течение 1 минуты для образования карбидов, далее печь резко нагревали до температуры атомизации. Такой же эксперимент был выполнен для описанного в литературе [10] истинного раствора  $\text{NH}_4\text{VO}_3$ , на основе чего были

построены кривые атомизации соединений ванадия (зависимость абсорбционности ванадия от температуры) (рис. 2).

Данные, представленные на рисунке 2, свидетельствуют о том, что для каждой заданной температуры атомизации значения абсорбционности ванадия больше для покрытия из метаванадата аммония, чем из раствора оксида ванадия(IV). Следовательно, соединения ванадия, образованные на графитовой поверхности атомизатора из раствора оксида ванадия(IV), удаляются из печи значительно хуже. Именно это требование (стойкость покрытия) является определяющим для перманентных модификаторов. Если принять, что в результате обжига химический состав покрытия графитовой поверхности идентичен, то наблюдаемый факт можно объяснить кинетикой процесса испарения, различием в структуре модифицирующего покрытия и состоянием поверхности платформы графитового атомизатора. Следует также учесть взаимодействия ванадия с углеродом [18]. В случае, когда раствор, используемый для получения модифицирующего покрытия, представляет собой раствор ионов, тогда вещество образует монослой. В случае раствора наночастиц после удаления растворителя образуются нанокластеры. При испарении соединений модификатора из нанокластеров, образовавшихся на стенке печи/платформы, энергия активации больше, чем при испарении атомов из монослоя, поскольку для разрушения связей между атомами нанокластера требуется дополнительная энергия [19].



а



б

Рис. 1. Микрофотографии частиц коллоидного оксида ванадия (IV) (а);  
Конус Тиндала в полученном растворе на темном фоне (б)

Источник: составлено авторами

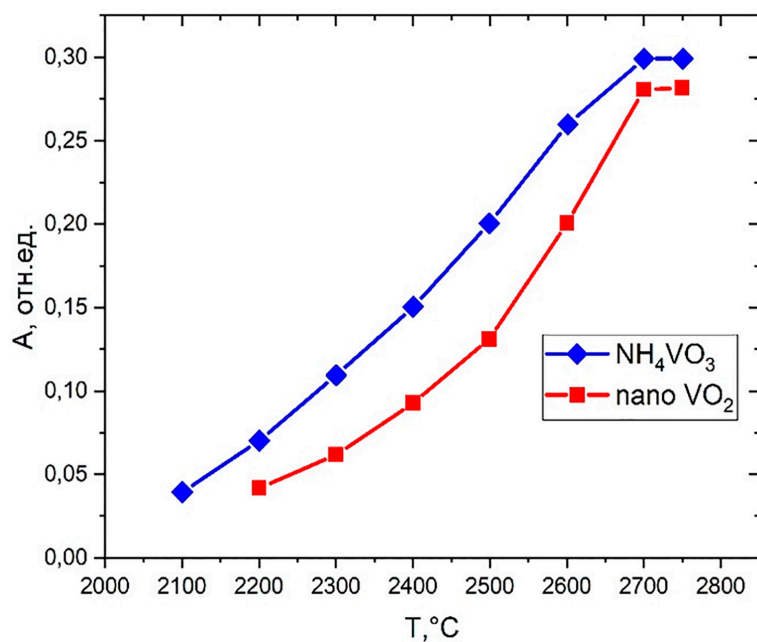


Рис. 2. Кривые атомизации соединений ванадия: модификатор на основе коллоидного раствора оксида ванадия(IV) (красная кривая); модификатор метаванадат аммония (синяя кривая)  
 Источник: составлено авторами

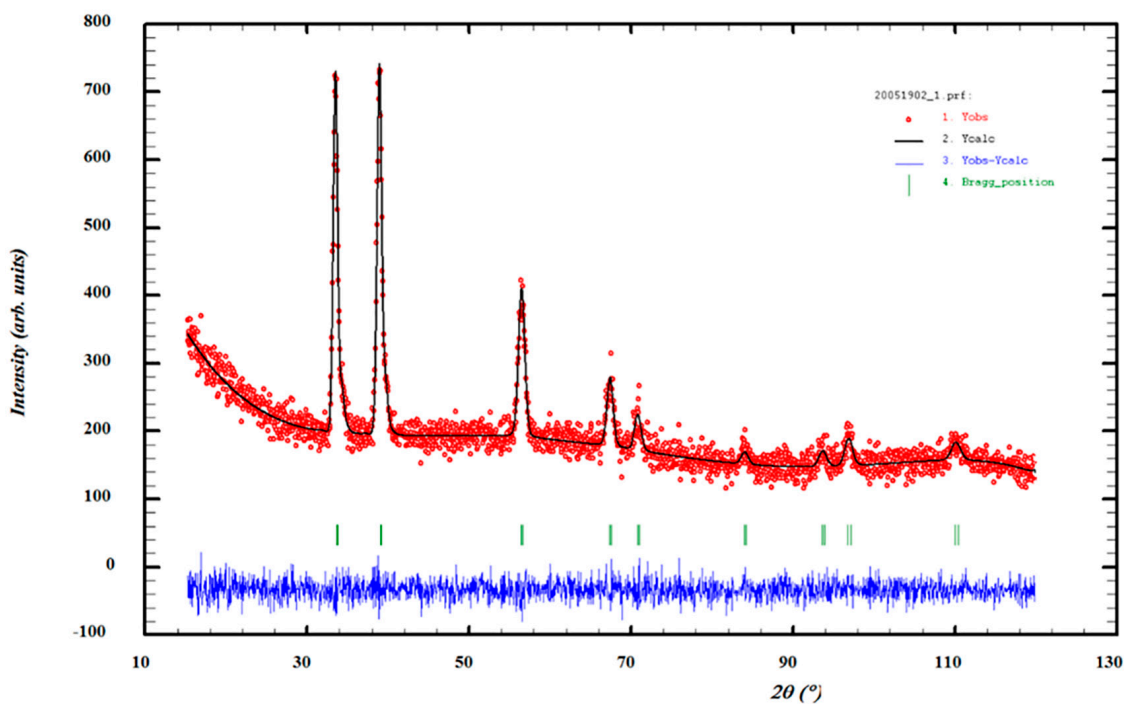


Рис. 3. Данные рентгеновской дифракции (красные точки) и рассчитанная дифракционная модель по методу Ле-Бейла (черная линия) для нанопорошка модифицирующего покрытия  
 Источник: составлено авторами

Для понимания термохимического превращения, происходящего в атомизаторе с модифицирующим покрытием на основе наночастиц оксида ванадия(IV), были смоделированы термохимические превращения, протекающие при получении такого покрытия. В графитовый атомизатор внеслись равные количества ванадия в виде

делированы термохимические превращения, протекающие при получении такого покрытия. В графитовый атомизатор внеслись равные количества ванадия в виде

раствора наночастиц  $\text{VO}_2$ , проводили высушивание растворителя при  $150^\circ\text{C}$  в течение 30 секунд и пиролиз при  $1100^\circ\text{C}$  в течение 1 минуты для образования карбидов, далее печь резко нагревали до температуры  $1500^\circ\text{C}$  с целью удаления примесей, что ниже температуры образования атомного пара ванадия, после чего атомизатор охлаждали, извлекали платформу и покрытие счищали шпателем. Данную операцию повторяли до получения достаточного количества порошка, необходимого для проведения рентген-дифракционных исследований.

На рисунке 3 показана рентгеновская дифрактограмма порошка модифицирующего покрытия.

На основании результатов фазового анализа установлено, что наблюдаемые отражения соответствуют фазе карбида ванадия  $\text{VC}$  [16]. Решение структурной модели было выполнено с использованием алгоритма Ле-Бейла. Установлено, что данная фаза кристаллизуется по типу  $\text{NaCl}$  в кубической сингонии с пространственной группой  $Fm-3m(225)$ . Параметр кубической элементарной ячейки равен  $a = 4.182(5) \text{ \AA}$ . Сильный фоновый шум, как видно из рисунка 3, а также слабая интенсивность линий рефлексов указывают на низкую кристалличность фазы, что косвенно свидетельствует об образовании именно наночастиц карбида

ванадия  $\text{VC}$ . Кроме того, асимметрия рефлексов и их уширение связано с размерной неоднородностью карбида ванадия  $\text{VC}$ , что хорошо согласуется с данными просвечивающей электронной микроскопии (рис. 1а).

Эффективность нового модификатора оценивали на примере атомно-абсорбционного определения таллия, суперэтоксиканта минерализованных шахтных вод, который относится к легколетучим элементам в ЭТААС. Экологическая опасность таллия в шахтных водах, обусловлена его токсичностью для животных и человека в крайне малых дозах. Таллий является одним из микроэлементов токсикантов в углях, его содержание в углях в среднем принимают  $0,1-0,5 \text{ г/т}$  [20].

Одной из важных метрологических характеристик химического модификатора является его термостабилизирующая способность. Высокая термостабилизирующая способность модификатора позволяет увеличить температуру пиролиза без потерь аналита, что способствует более полному удалению матрицы. Термостабилизирующую способность принято характеризовать максимально допустимой температурой пиролиза, которую экспериментально определяют из кривых пиролиза. Экспериментально были измерены и построены кривые пиролиза, которые приведены на рисунке 4.

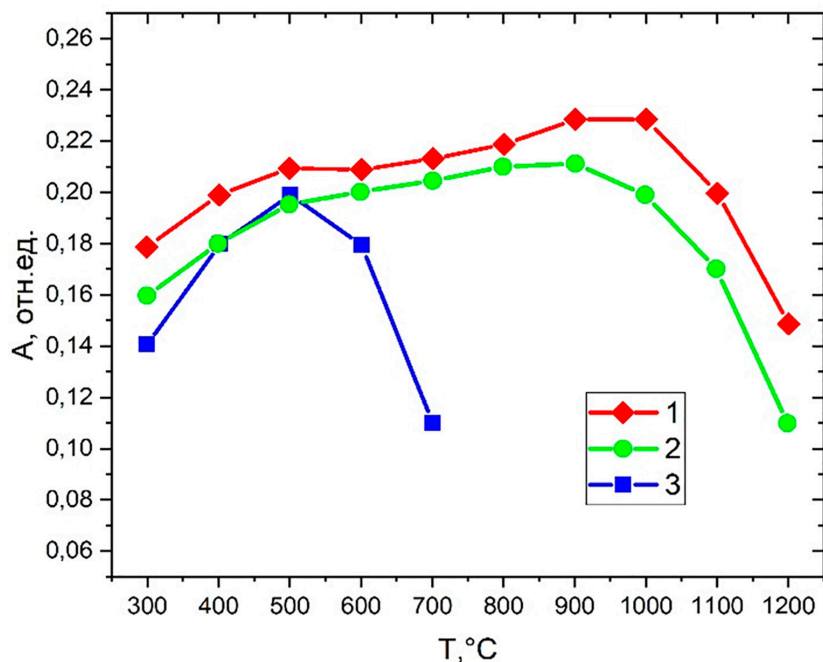


Рис. 4. Кривые пиролиза соединений таллия: 1 – с модификатором коллоидным раствором оксида ванадия(IV); 2 – с модификатором  $\text{NH}_4\text{VO}_3$ ; 3 – без модификатора  
Источник: составлено авторами

Исходя из кривых пиролиза, можно утверждать, что предложенный модификатор более эффективно термически стабилизирует таллий, чем метаванадат аммония и позволяет увеличить допустимую температуру на стадии пиролиза на 400 °С. Исследуемый модификатор оказывает значительное влияние на чувствительность атомно-абсорбционного определения. Основным параметром, описывающим данное влияние, является характеристическая масса элемента. Рассчитанные значение характеристической массы  $m_{\text{хар}}$  и относительное стандартное отклонение результатов измерения абсорбционности  $S_r$  представлены в таблице 1.

**Таблица 1**

Влияние химического модификатора на чувствительность и сходимость ЭТААС определения таллия в безматричных растворах

Химический модификатор	$m_{\text{хар}}$ , пг	$S_r$
Без модификатора	20	0,03
Раствор $\text{NH}_4\text{VO}_3$	22	0,03
Коллоидный раствор оксида ванадия(IV)	13	0,03

**Таблица 2**

Влияние химических модификаторов на чувствительность и сходимость результатов ЭТААС определения таллия в хлоридной матрице (50 мкг в 20 мкл)

Химический модификатор	$m_{\text{хар}}$ , пг	$S_r$
Без модификатора	95	0,06
Раствор $\text{NH}_4\text{VO}_3$	19	0,05
Коллоидный раствор нано оксида ванадия(IV)	17	0,07

Полученные значения характеристической массы для таллия примерно в два раза хуже, чем теоретически рассчитанное значение 10,2 пг [21]. Однако экспериментально эти значения характеристической массы не достигаются даже на современных приборах с полной оптимизацией всех параметров. Так, в работе [22] приводится значение характеристической массы таллия 19 пг, которое примерно в 2 раза больше теоретически возможного.

Аналогичные исследования были проведены для выяснения толерантности мо-

дификаторов на основе соединений ванадия к хлоридной матрице NaCl. Полученные результаты представлены в таблице 2.

Из данных таблицы 2 следует, что коллоидный раствор наноксида ванадия(IV) демонстрирует высокую способность к подавлению мешающего влияния высокосолевого хлоридной матрицы. Таким образом, предложенный новый перманентный химический модификатор – коллоидный раствор наночастиц оксида ванадия(IV) – превосходит метаванадат аммония по способности термически стабилизировать легколетучий таллий, соизмерим с ним по сходимости результатов и по чувствительности определения.

### Выводы

1. Исследованы высокотемпературные процессы превращения перманентного химического модификатора – коллоидного раствора наночастиц оксида ванадия(IV) в графитовой печи. Соединения наночастиц ванадия значительно лучше удерживаются в печи до более высоких температур, чем в случае ранее используемого  $\text{NH}_4\text{VO}_3$ , образуя более термостойкое покрытие. Рентгенограмма покрытия платформы позволяет утверждать, что после обжига образуются нанокластеры из карбида ванадия VC кубической сингонии с пространственной группой  $Fm-3m(225)$ .

2. Предложен новый перманентный модификатор коллоидный раствор оксида V(IV) для ЭТААС определения Tl. По способности термически стабилизировать аналит новый модификатор превосходит  $\text{NH}_4\text{VO}_3$ ; по чувствительности и сходимости результатов измерения аналитического сигнала коллоидный раствор оксида V(IV) не уступает ванадату аммония в безматричных растворах, однако превосходит его в высокосолевого хлоридной матрице.

3. Новый модификатор может быть применен при прямом определении содержания суперэкоотоксиканта таллия, методом ЭТААС в высокосолевого шахтной воде, что является актуальной задачей для обеспечения гидроэкологической безопасности водопользования и водопотребления, планирования хозяйственной деятельности на территории Донбасса при поиске альтернативных источников водоснабжения вододефицитного региона.

### Список литературы

1. Актуальный поадресный график подачи воды в Донецке от 25.12.2024 // Донецкое Агентство Новостей

- [Электронный ресурс]. URL: <https://dan-news.ru/official/aktualnyj-roadresnyj-grafik-podachi-vody-v-donecke/> (дата обращения: 18.12.2024).
2. Дрозд Г.Я. О шахтных водах Донбасса как альтернативном источнике водоснабжения // Вестник Луганского национального университета имени Владимира Даля. 2020. № 12. С. 57-67.
  3. Фаткулина А.В. Создание экологически чистых технологий очистки шахтных вод // Экология промышленного производства. 2019. № 1. С. 24-27.
  4. Liu Y., Wang P., Gojenko B., Yu J., Wei L., Luo D., Xiao T., A review of water pollution arising from agriculture and mining activities in Central Asia: Facts, causes and effects // *Environmental Pollution*. 2021. Vol. 291. P. 118209. DOI: 10.1016/j.envpol.2021.118209.
  5. Zhang C., Wang F., Bai Q., Underground space utilization of coalmines in China: A review of underground water reservoir construction // *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2021. Vol. 107. P. 103657. DOI: 10.1016/j.tust.2020.103657.
  6. Мещанинова Н.В., Алемасова А.С. Химическая модификация концентратов в электротермической атомно-абсорбционной спектроскопии // *Аналитика и контроль*. 2006. № 1. С. 3-16.
  7. Jiang C., Zhao Q., Zheng L., Chen X., Li C., Ren M., Distribution, source and health risk assessment based on the Monte Carlo method of heavy metals in shallow groundwater in an area affected by mining activities, China // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2021. Vol. 224. P. 112679. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2021.112679.
  8. Acar O., The use of chemical modifiers in electrothermal atomic absorption spectrometry // *Applied Spectroscopy Reviews*. 2024. Vol. 59, Is. 3. P. 340-354. DOI: 10.1080/05704928.2022.2147537.
  9. Ruiz F., Benzo Z., Garaboto Á., Salas J., Brito J.L., XPS characterization of vanadium carbide species formed during the atomization process in electrothermal atomic absorption spectroscopy // *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*. 2022. Vol. 37. Is. 3. P. 668-676. DOI: 10.1039/D1JA00323B.
  10. Tsalev D.L., Dimitrov T.A., Mandjukov P.B., Study of vanadium(V) as a chemical modifier in electrothermal atomisation atomic absorption spectrometry // *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*. 1990. Vol. 5, Is. 3. P. 189-194. DOI: 10.1039/JA9900500189.
  11. Алемасова А.С., Шептун И.Г. Перманентный модификатор на основе коллоидного раствора оксида ванадия (IV)-преимущества и ограничения // *Донецкие чтения 2020: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности*. 2020. С. 11-13.
  12. Volynsky A.B. Graphite atomizers modified with high-melting carbides for electrothermal atomic absorption spectrometry. II. Practical aspects // *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*. 1998. Vol. 53, Is. 12. P. 1607-1644. DOI: 10.1016/S0584-8547(98)00221-3.
  13. Шептун И.Г., Дмитрук Н.П. Определение размеров наночастиц методом электротермической атомно-абсорбционной спектроскопии // Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. 2016. № 3. С. 71-75.
  14. Arcelus O., Rodríguez-Carvajal J., Katcho N.A., Reynaud M., Black A.P., Chatzogiannakis D., Frontera C., Serrano-Sevillano J., Ismail M., Carrasco J., Fauth F., Palacin M.R., Casas-Cabanas M., FullProfAPP: a graphical user interface for the streamlined automation of powder diffraction data analysis // *Applied Crystallography*. 2024. Vol. 57. Is. 5. P. 1676-1690. DOI: 10.1107/S1600576724006885.
  15. Flores-Cano D.A., Chino-Quispe A.R., Rueda-Vellamin R., Ocampo-Anticona J.A., González J.C., Ramos-Guivar J.A., Fifty years of Rietveld refinement: Methodology and guidelines in superconductors and functional magnetic nanoadsorbents // *Revista de Investigación de Física*. 2021. Vol. 24. P. 39-48. DOI: 10.15381/rif.v24i3.21028.
  16. Kurlov A.S., Gusev A.I., Gerasimov E.Yu., Bobrikov I.A., Balagurov A.M., Rempel A.A., Nanocrystalline ordered vanadium carbide: Superlattice and nanostructure // *Superlattices and Microstructures*. 2016. Vol. 90. P. 148-164. DOI: 10.1016/j.spmi.2015.12.006.
  17. Беляцкая А.В., Елагина А.О., Краснюк И.И., Краснюк И.И., Степанова О.И. Изучение механизмов повышения растворимости фуразолидона из твердой дисперсии с поливинилпирролидоном // *Современные достижения фармацевтической науки и практики*. 2019. С. 136-139.
  18. Tsalev D.L., Slaveykova V.I. Chemical modification in electrothermal atomic absorption spectrometry. Organization and classification of data by multivariate methods. Invited lecture // *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*. 1992. Vol. 7, Is. 2. P. 147-153. DOI: 10.1039/JA9920700147.
  19. Butcher D.J. Innovations and developments in graphite furnace atomic absorption spectrometry (GFAAS) // *Applied Spectroscopy Reviews*. 2023. Vol. 58. Is. 1. P. 65-82. DOI: 10.1080/05704928.2021.1919896.
  20. Жаров Ю.Н. Изучение и оценка токсичных микроэлементов в товарных энергетических углях России // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 1995. № 5. С. 54-56.
  21. Львов Б.В. Теоретический расчет чувствительности измерений в атомно-абсорбционной спектроскопии с температурно-стабилизированной печью с платформой // *Журнал аналитической химии*. 1989. Т. 4, № 5. С. 802-809.
  22. Welz B., Schlemmer G., Mudakavi J.R. Palladium nitrate-magnesium nitrate modifier for electrothermal atomic absorption spectrometry. Part 5. Performance for the determination of 21 elements // *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*. 1992. Vol. 7, Is. 8. P. 1257-1271. DOI: 10.1039/JA9920701257.