

СТАТЬИ

УДК 502.51:504.61

DOI 10.17513/use.38354

**ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ
ГИЛЁВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА ПО СОДЕРЖАНИЮ
РАДИОНУКЛИДОВ И ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ****¹Коровина О.Ю., ¹Сомин В.А., ²Айдарханова А.К.**¹ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет имени И.И. Ползунова,
Барнаул, e-mail: korano@mail.ru, vladimir_somin@mail.ru;²Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» Национального ядерного центра
Республики Казахстан, Курчатов, e-mail: almira@nnc.kz

Целью работы является проведение оценки экологического состояния воды и донных отложений крупнейшего искусственного водоема Алтайского края – Гилёвского водохранилища на содержание искусственных и естественных радионуклидов и тяжелых металлов. Определены концентрации ионов меди, свинца, цинка, никеля, кадмия в пробах донных отложений и воде водохранилища атомно-абсорбционным методом, радиоактивность ²⁴¹Am и ¹³⁷Cs, а также содержание естественных и искусственных радионуклидов. В результате установлено, что мощность дозы гамма-излучения донных отложений Гилёвского водохранилища не превышает нормативных значений и составляет 0,10–0,18 мкЗв/ч. Содержание в донных отложениях естественных радионуклидов (⁴⁰K, ²²⁶Ra, ²³²Th) соответствует природному уровню, при этом искусственные радионуклиды ²⁴¹Am, ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr, ²³⁹⁺²⁴⁰Pu в верхнем бьефе не обнаружены, в то время как в нижней они зафиксированы, что может являться результатом накопления радиоактивности в наиболее узком месте водохранилища в ходе перемещения донных наносов течением. Содержание цинка, свинца, кадмия, никеля и железа не превышает значений, нормируемых для водоемов рыбохозяйственного назначения, в отличие от меди, содержание которой в 3,7 раза превышает этот уровень. Нормативы для питьевой воды не превышены ни по одному из анализируемых показателей.

Ключевые слова: тяжелые металлы, радионуклиды, поверхностные воды, донные отложения**ASSESSMENT OF THE ECOLOGICAL STATE
OF THE GILYOVSKY RESERVOIR BY THE CONTENT
OF RADIONUCLIDES AND HEAVY METALS****¹Korovina O.Yu., ¹Somin V.A., ²Aydarkhanova A.K.**¹Altai State Technical University named after I.I. Polzunov, Barnaul,
e-mail: korano@mail.ru, vladimir_somin@mail.ru;²Institute of Radiation Safety and Ecology, Kurchatov, e-mail: almira@nnc.kz

The aim of the work is to assess the ecological state of water and bottom sediments of the largest artificial reservoir of the Altai Territory – Gilevskoye Reservoir for the content of artificial and natural radionuclides and heavy metals. Concentrations of copper, lead, zinc, nickel, and cadmium ions in sediment samples and reservoir water by atomic absorption method, radioactivity ²⁴¹Am and ¹³⁷Cs, as well as the content of natural and artificial radionuclides were determined. As a result, it was found that the dose rate of gamma radiation from bottom sediments of the Gilevsky reservoir does not exceed the standard values and is 0.10-0.18 mSv/h. The content of natural radionuclides in bottom sediments (⁴⁰K, ²²⁶Ra, ²³²Th) corresponds to the natural level, while artificial radionuclides ²⁴¹Am, ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr, ²³⁹⁺²⁴⁰Pu were not detected in the upper stream, while they were recorded in the lower one, which may be the result of accumulation of radioactivity in the narrowest place of the reservoir during the movement of bottom sediments by the current. The content: zinc, lead, cadmium, nickel and iron does not exceed the values standardized for water bodies for fishery purposes, unlike copper, which is 3.7 times higher than this level. Standards for drinking water are not exceeded for any of the analyzed indicators.

Keywords: heavy metals, radio nuclides, surface waters, bottom sediments**Введение**

Актуальность исследований обусловлена характером техногенного загрязнения территории, сложившегося в ходе исторического освоения земель, а также надземных ядерных испытаний, которые проводились на территории Семипалатинского испытательного полигона с 1949 по 1962 г. В этой связи научный и практический интерес представляют процессы перемещения

загрязняющих веществ, в том числе радионуклидов, в водных объектах, которые обусловлены в основном оседанием попавших в воду частиц и их концентрировании в донных отложениях [1].

После проведения испытаний на Семипалатинском ядерном полигоне для многих водных объектов Алтайского края были получены сведения о характере распространения радионуклидов в них. Однако к настоя-

пчему времени они утратили актуальность, в связи с чем важно получить современную оценку состояния водоемов, попавших под след радиоактивных выбросов от испытаний на Семипалатинском полигоне. Изучение донных отложений в настоящее время с ретроспективной оценкой первоначальных данных, полученных в 1990-е гг., позволит оценить степень их современной радиоактивной и химической опасности.

Кроме радионуклидов, опасность для окружающей среды представляют тяжелые металлы, которые могут поступать в водоемы от различных предприятий, в том числе сельскохозяйственных. В этой связи донные отложения являются наиболее информативным источником данных о загрязнении водного объекта [2; 3].

Гилёвское водохранилище образовано насыпной грунтовой плотиной в верховьях р. Алей с целью регулирования сезонного стока вод р. Алей и обеспечения устойчивого источника водоснабжения Рубцовского промузла и тяготеющих к нему населенных пунктов. По материалам литературных источников [4, с. 220; 5] водохранилище не попало под следы радиоактивных выпадений, однако сведения об отсутствии радионуклидов в донных отложениях водоема в научной литературе не найдены. Основным источником возможного загрязнения водохранилища тяжелыми металлами может являться горнодобывающее предприятие, расположенное выше по течению (Корбалихинский рудник), а также сельскохозяйственные объекты.

Целью исследования является оценка экологического состояния воды и донных отложений крупнейшего искусственного водоема Алтайского края – Гилёвского водохранилища на содержание искусственных и естественных радионуклидов и тяжелых металлов.

Материалы и методы исследования

В работе применялись современные аналитические методы, позволяющие получить достоверные данные по содержанию в водных объектах естественных и искусственных радионуклидов и тяжелых металлов. Подготовка образцов и анализ на содержание в воде и донных отложениях тяжелых металлов выполнены в лаборатории Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова (г. Барнаул, Россия). Аналитические исследования проб донных отложений на содержание радионуклидов проведены в лаборатории

филиала «Институт радиационной безопасности и экологии» Национального ядерного центра Республики Казахстан (г. Курчатов, Казахстан). Образцы воды и донных отложений отобраны и проанализированы в 2023 и 2024 гг. Измерения плотности потока альфа- и бета-частиц от поверхности донных отложений проведены в полевых условиях с использованием дозиметра-радиометра МКС-03СА.

Отбор образцов донных отложений выполнен в соответствии с требованиями ГОСТ 17.1.5.01-80. Глубина отбора образцов выбрана с учетом данных, полученных Н.Н. Михайловым [6], который в 1993 г. проанализировал результаты исследований НПО «Тайфун» на содержание радионуклидов в донных отложениях некоторых озер Алтайского края и определил, что основное количество ^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$ на момент исследований содержалось в слое 4–6 см (соответствовало выпадениям 1962 г.) и в слое 12–16 см (идентифицировано как выпадения от испытаний на Семипалатинском полигоне 1949 г.). По сведениям того же автора [6], седиментация частиц, определенная для равнинных водоемов Алтайского края, равна 0,2–0,4 см/год. Таким образом, в настоящее время в водоемах глубина залегания радионуклидов, источником происхождения которых являются взрывы на Семипалатинском испытательном полигоне, преимущественно должна составлять от 16 до 30 см. С учетом данного факта для исследований выбран слой донных отложений на глубине от 16 до 30 см. Отбор образцов осуществлялся с плавсредств в местах отсутствия антропогенного воздействия на донные отложения. Пробы воды отбирались в той же точке из поверхностного слоя в соответствии с рекомендациями ГОСТ Р 59024-2020.

Определение содержания тяжелых металлов (меди, свинца, цинка, никеля, кадмия) в пробах донных отложений и воды выполнено атомно-абсорбционным методом на спектрометре «МГА-1000». Подготовка пробы воды к анализу выполнялась в соответствии с требованиями ПНД Ф 14.1:2.253-09, при этом проводили кислотную обработку пробы с использованием микроволнового разложения. Пробы донных отложений подвергались кислотному выщелачиванию и микроволновому разложению, при этом определялось валовое содержание в пробах тяжелых металлов. Для контроля качества выполняемых исследований с каждой партией проб запускали одну «холостую» пробу.

Подготовка проб донных отложений к гамма-спектрометрическому анализу проводилась путем высушивания образца, его измельчения и гомогенизации. Оценка активности в пробах донных отложений ^{241}Am и ^{137}Cs выполнена с помощью гамма-спектрометра ORTEC GEM25P4-70. Подготовка проб донных отложений к альфа- и бета-спектрометрическому анализу выполнялась путем кислотного выщелачивания радионуклидов при полном разложении исследуемого образца и извлечении определяемого компонента для оценки его валового содержания (удельной активности). Содержание в пробе ^{90}Sr определено по дочернему ^{90}Y после радиохимического выделения с помощью бета-спектрометра TRI-CARB 3110TR PerkinElmer. Изотопы $^{239+240}\text{Pu}$ измерены с помощью альфа-спектрометра Alpha Analyst A1200-32AM CANBERRA после приготовления счетного образца методом экстракционно-хроматографического выделения и электролитического осаждения [7].

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты полевых исследований проб донных отложений Гилёвского водохранилища на мощность гамма-излучения представлены в табл. 1.

Точка 1 отбора проб находится в верхнем бьефе водохранилища, точка 2 – в нижнем.

Допустимые значения указаны согласно Основным санитарным правилам обеспечения радиационной безопасности от 26 апреля 2010 г. [8] и Методике измерений параметров радиоактивного загрязнения производственных помещений, элементов производственного оборудования, средств индивидуальной защиты и кожных покровов работника для целей специальной оценки условий труда, утвержденной 06.12.2018 г. [9], Нормам радиационной безопасности НРБ-99/2009, утвержденным 07.07.2009 г. [10].

По данным полевых исследований, мощность дозы гамма-излучения донных отложений Гилёвского водохранилища составила 0,10–0,18 мкЗв/ч. После высушивания образцов донных отложений была проведена оценка плотности потока бета-частиц от поверхности донных отложений, которая составила от 0,5 до 0,7 бета-частиц/см²мин.

В результате экспрессных исследований донных отложений превышения радиоактивных показателей (мощности дозы и потока бета-частиц) зафиксировано не было.

Для получения количественных и качественных данных о радионуклидном составе донных отложений изучаемого водного объекта был проведен лабораторный спектрометрический анализ подготовленных образцов, результаты приведены в табл. 2.

Таблица 1

Результаты полевых исследований донных отложений

Точка отбора проб	Мощность дозы гамма-излучения, мкЗв/ч	Поток, бета-частиц/см ² мин
1	0,10–0,17	0,5
2	0,12–0,18	0,7
Предельно допустимый уровень [5]	0,30	0,4 Бк/см ² (~10 бета-частиц/см ² мин)
Фоновое значение для почвенного покрова Алтайского края	0,09–0,12	менее 0,5

Таблица 2

Содержание радионуклидов в пробах донных отложений

Точка отбора пробы	Глубина отбора образца, м	Содержание радионуклидов, Бк/кг						
		искусственные				естественные		
		^{241}Am	^{137}Cs	^{90}Sr	$^{239+240}\text{Pu}$	^{40}K	^{226}Ra	^{232}Th
1	0,3	<	<	<	<	580	26	53
2	0,3	<	19	6,2	3,8	615	28	50
Среднее содержание в почвах Алтайского края		–	2–4	6–51	0,36–3,5	372–485	22–53	21–33
Фон глобальных выпадений		–	4–29	1–19	2–4	–	–	–

В результате анализа проб было определено, что содержание в донных отложениях естественных радионуклидов (^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th) соответствует природному уровню, нормируемый показатель радиоактивности по естественным радионуклидам (удельная эффективная активность для исследуемых образцов) составил 144–145 Бк/кг, что не превышает нормативного уровня в 370 Бк/кг [10]. Полученные величины хорошо согласуются с литературными данными по содержанию естественных радионуклидов в донных отложениях Западной Сибири [11].

Измерение активности ^{137}Cs показало значительно меньшее значение относительно определенных авторами [12], которые в 1993–1995 гг. фиксировали в донных отложениях озер Алтайского края на уровне 200–250 Бк/кг.

В донных отложениях в верхнем бьефе Гилёвского водохранилища искусственные радионуклиды ^{241}Am , ^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$ не обнаружены, в отличие от нижней части, что может являться результатом накопления радиоактивности в наиболее узком месте водохранилища в ходе перемещения донных наносов течением.

Накопление ^{137}Cs в донных отложениях водоемов предгорной части Алтайского края также отмечали авторы [13]. В частности, для Колыванского озера, попавшего

под след взрывов на Семипалатинском испытательном полигоне, было зафиксировано превышение уровня глобального фона в три раза. Наличие искусственных радионуклидов в донных отложениях Гилёвского водохранилища может свидетельствовать об их переносе с водой и донными наносами с участков, попавших под след радиоактивных выпадений. Также источником искусственных радионуклидов в донных отложениях водохранилища могут являться глобальные выпадения с атмосферы, что отмечали авторы [14–16] по результатам исследования озер Крымского полуострова.

Результаты исследований донных отложений и воды Гилёвского водохранилища на содержание тяжелых металлов приведены в табл. 3 и 4.

Результаты лабораторных исследований показали, что в настоящее время содержание в воде Гилёвского водохранилища кадмия, цинка, свинца и никеля не превышает нормативного уровня, в то время как медь присутствует в количествах больше нормативного значения, установленного для объектов рыбохозяйственного значения. Однако, учитывая результаты ранее проведенных исследований [6], определено, что содержание меди в воде на период измерений (июнь 2024 г.) в 7,3 раза меньше, чем в 1993 г., что свидетельствует об улучшении экологического состояния водного объекта.

Таблица 3

Содержание тяжелых металлов в пробах воды

Точка отбора	Содержание тяжелых металлов, мг/л					
	Cu	Zn	Pb	Cd	Ni	Fe
1	$3,7 \cdot 10^{-3}$	<	<	<	<	$9,9 \cdot 10^{-4}$
2	$3,7 \cdot 10^{-3}$	<	<	<	<	$2,9 \cdot 10^{-3}$
ПДК [17]	1,0	5,0	$1 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-3}$	0,02	0,3
ПДК [18]	$1 \cdot 10^{-3}$	0,01	$6 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	0,01	0,1
Результаты исследований 1993 г. [19]	$2,7 \cdot 10^{-2}$	$3,4 \cdot 10^{-2}$	$7,7 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$1,96 \cdot 10^{-3}$	–

Таблица 4

Содержание тяжелых металлов в пробах донных отложений

Точка отбора	Характеристика образца	Содержание тяжелых металлов, мг/кг				
		Cu	Zn	Pb	Cd	Ni
1	Суглинок светло-коричневый	0,36	<	0,007	<	<
2	Суглинок темно-серый	0,94	0,073	0,18	<	0,039
ПДК [20]	Для песчаных почв	33	55	32	0,5	20
	Для суглинистых почв	132	220	130	2	80

Генезис тяжелых металлов в воде и донных отложениях, вероятно, связан с геохимическими аномалиями, присущими данному региону. Кроме того, по результатам исследований донных отложений определено, что содержание тяжелых металлов, так же как и радионуклидов, в нижней части водохранилища выше, чем в верхнем бьефе, что подтверждает сделанное выше предположение о накоплении загрязняющих веществ в наиболее узком месте водохранилища в ходе перемещения донных наносов течением.

Заключение

Содержание искусственных и естественных радионуклидов в донных отложениях Гилёвского водохранилища не превышает нормативного уровня. Содержание тяжелых металлов в воде и донных отложениях в пределах нормы, за исключением меди, по которой ПДК для водоемов рыбохозяйственного значения превышено в 3,7 раза.

Основываясь на результатах проведенных исследований, выполнена оценка риска для населения при использовании водных объектов в хозяйственных целях. Вода и донные отложения водных объектов юго-западной части Алтайского края не представляют радиационной и химической опасности при их использовании в хозяйственных и рекреационных целях. Однако риск представляют гидробионты, способные накапливать вредные химические и радиоактивные вещества, которые по пищевой цепочке могут попасть к человеку. По результатам исследований донных отложений Гилёвского водохранилища определено, что существует вероятность накопления гидробионтами радионуклидов и тяжелых металлов.

Следует учитывать, что в случае нарушения равновесия в системе вода – донные отложения риск загрязнения водохранилища и его обитателей тяжелыми металлами и радионуклидами может быть высоким и воздействие на человека будет иметь негативные последствия.

Для более точных сведений о содержании тяжелых металлов и радионуклидов в гидробионтах изучаемого водоема требуются дополнительные исследования с привлечением гидробиологов. В рамках настоящей работы такая задача не ставилась, и полученные данные достаточны для оценки уровня риска для населения при пользовании водным объектом.

Авторы выражают благодарность директору Института радиационной

безопасности и экологии Национального ядерного центра Республики Казахстан А.О. Айдарханову, заместителю директора Е.В. Мустафиной и сотрудникам Л.В. Тимоновой, Г.А. Коваленко, Г.Б. Досмамбетовой за сотрудничество и профессионализм при выполнении аналитических исследований.

Список литературы

1. Коровина О.Ю., Сомин В.А., Коровин В.А. Оценка загрязнения тяжелыми металлами и радионуклидами поверхностных водных объектов юго-западной части Алтайского края // Сб. трудов X межд. конф. «Семипалатинский испытательный полигон: наследие и перспективы развития научно-технического потенциала». Курчатова, 2023. С. 85.
2. Zakrutkin V.E., Reshetnyak V.N., Reshetnyak O.S. Assessment of the heavy metal pollution level of the river sediments in the east Donbass (Rostov region, Russia) // Water and ecology. 2020. № 3. P. 32–40. URL: <http://wemag.ru/arhiv-zhurnal/32-40.pdf> (дата обращения: 15.10.2024). DOI: 10.23968/2305-3488.2020.25.3.32-40.
3. Корженевский Б.И., Толкачев Г.Ю., Коломийцев Н.В. Основные критерии оценок содержания тяжелых металлов в донных отложениях водных объектов // Мелиорация и водное хозяйство. 2020. № 4. С. 34–40.
4. Батырбеков Э.Г., Айдарханов А.О., Витюк В.А., Ларионова Н.В., Умаров М.А. Комплексное радиоэкологическое обследование Семипалатинского испытательного полигона. Монография. Курчатова: Институт радиационной безопасности и экологии РГП НИЦ РК. 2021. 340 с.
5. Айдарханова А.К., Ларионова Н.В., Мамырбаева А.С., Светачева Ю.В., Кумисханова С.Б. Современные уровни радионуклидного загрязнения природных озер территории Семипалатинского испытательного полигона // Современные проблемы радиобиологии, радиоэкологии и агроэкологии: сборник докладов Международной молодежной конференции (Обнинск, 3–4 октября 2019 г.). Обнинск: Изд-во ВНИИРАЭ. 2019. С. 114–117. URL: https://conf.rirae.ru/images/Documents/4_10_sekciya_radioecologiya_7_Aydarhanova_Vodnie_ob_4_10.pdf (дата обращения: 15.10.2024).
6. Михайлов Н.Н. Загрязнение донных осадков некоторых озер Алтайского края // Ядерные испытания. Окружающая среда и здоровье населения Алтайского края: материалы научных исследований. Том II. Книга 2. Барнаул, 1993. С. 28–44.
7. Бахур А.Е., Мануилова Л.И., Зуев Д.М., Иванова Т.М., Трухина Т.П. Методы определения изотопов плутония в радиоэкологии // АНРИ. 2003. № 2 (33). С. 2–8.
8. Об утверждении СП 2.6.1.2612-10 «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010)»: постановление главного государственного санитарного врача РФ № 40 от 26.04.2010 [Электронный ресурс]. URL: <https://base.garant.ru/12177986/53f89421bbdaf741eb2d1ecc4ddb4c33/> (дата обращения: 15.10.2024).
9. Методика измерений параметров радиоактивного загрязнения производственных помещений, элементов производственного оборудования, средств индивидуальной защиты и кожных покровов работника для целей специальной оценки условий труда. М., 2018. Утв. 06.12.2018 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.normacs.ru/Doclist/doc/129T7.html> (дата обращения: 15.10.2024).
10. Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009: санитарные правила и нормы СанПиН 2.6.1.2523-09. Утв. 07.07.2009 [Электронный ресурс]. URL: <https://ivo.garant.ru/#/document/4188851/paragraph/12/doclist/1571/1/0/0/Нормы%20радиационной%20безопасности%20НРБ-99%7C2009:%20санитарные%20правила%20и%20нормативы%20СанПиН%202.6.1.2523-09.%20Утв.%2007.07.2009:1> (дата обращения: 15.10.2024).

11. Страховенко В.Д., Маликова И.Н., Овдина Е.А., Денисенко А.А. Распределение естественных радионуклидов в донных отложениях озер различных ландшафтных зон Западной Сибири // *Материалы V Международной конференции. Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека*. Томск: ООО «СТТ», 2016. С. 614–619.
12. Щербов Б.Л., Страховенко В.Д., Маликова И.Н., Осипова Л.П., Сухоруков Ф.В., Степин А.С. Сравнительная характеристика современного радиоактивного загрязнения территории Западной Сибири, прилегающих к Семипалатинскому и Новоземельскому полигонам (на примере Алтая и Пур-Тазовского междуречья) // *Сибирский экологический журнал*. 2000. № 1. С. 51–60. URL: <https://www.sibran.ru/upload/iblock/ffa/ffa4df352b4052cb3d01265162824ebd.PDF> (дата обращения: 15.10.2024).
13. Страховенко В.Д., Щербов Б.Л., Маликова И.Н., Восьель Ю.С. Закономерности распределения радионуклидов и редкоземельных элементов в донных отложениях озер Сибири // *Геология и геофизика*. 2010. Т. 51, № 11. С. 1501–1514. URL: <https://www.sibran.ru/upload/iblock/36a/36ac3db233fa9be162b39b1a1fc4cb90.pdf> (дата обращения: 15.10.2024).
14. Параскив А.А., Терещенко Н.Н., Трапезников А.В., Проскурнин В.Ю., Платаев А.П., Чужикова-Проскурнина О.Д. Распределение радионуклидов плутония в донных отложениях соленых озер Крыма в 2016–2018 гг. // *Озера Евразии: проблемы и пути их решения: материалы II Международной конференции*. Казань: Изд-во АН РТ, 2019. Ч. 2. С. 151–156.
15. Терещенко Н.Н., Трапезников А.В., Параскив А.А., Проскурнин В.Ю., Платаев А.П., Чужикова-Проскурнина О.Д. Современное состояние распределения техногенных радионуклидов плутония ^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{240}Pu в соленых озерах Крыма // *Радиохемозология: успехи и перспективы: материалы чтений памяти акад. Г.Г. Поликарпова*. Севастополь: Изд-во ФИЦ ИнБИОМ, 2019. С. 44.
16. Терещенко Н.Н., Трапезников А.В., Параскив А.А., Проскурнин В.Ю., Платаев А.П. Современные уровни долгоживущих радионуклидов плутония в донных отложениях соленых озер Крыма // *Радиационная биология. Радиоэкология*. 2020. Т. 60, № 2. С. 211–221. DOI: 10.31857/S0869803120020113.
17. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания СанПиН 1.2.3685-21. Утв. 28.01.2021. [Электронный ресурс]. URL: <https://ivo.garant.ru/#/document/400274954/paragraph/134/doclist/1577/1/0/0/СанПиН%201.2.3685-21:3> (дата обращения: 15.10.2024).
18. Приказ Министерства сельского хозяйства РФ от 13 декабря 2016 года № 552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения» [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/420389120> (дата обращения: 15.10.2024).
19. Винокуров Ю.И., Миронов В.Л., Оскорбин Н.М. Анализ экологической обстановки на территории Алтайского края, подвергшейся воздействию ядерных испытаний. Т. II. Книга 1. Приоритетные токсиканты в компонентах природной среды. Барнаул: Алтайский государственный университет, 1993. 201 с.
20. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания СанПиН 1.2.3685-21. Утв. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (дата обращения: 15.10.2024).