

Раздел 2 ГИДРОЛОГИЯ СУШИ, ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ,
ГИДРОХИМИЯ
Section 2 HYDROLOGY OF LAND, WATER RESOURCES,
HYDROCHEMISTRY

УДК 504.064.2

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОГО
МОНИТОРИНГА ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ
ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ АЛТАЙСКОГО КРАЯ**

О.Ю. Коровина, В.А. Сомин

*Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул,**E-mail: korano@mail.ru, vladimir_somin@mail.ru*

Целью работы является разработка системы эколого-геохимического мониторинга поверхностных водных объектов юго-западной части Алтайского края на основе наблюдений за химическими и радиационными параметрами водной среды и донных отложений. В основу положены данные, полученные на изучаемой территории с 2020 по 2024 гг., по определению концентраций ионов ряда тяжелых металлов в пробах донных отложений и воде, также содержание естественных (^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th) и искусственных (^{241}Am , ^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$) радионуклидов в донных отложениях. В результате предложена схема экологического мониторинга водных объектов юго-западной части Алтайского края, а также даны рекомендации по обеспечению гидроэкологической безопасности территории, экономически эффективного и экологически безопасного водопользования на данной территории.

Ключевые слова: экологический мониторинг; поверхностные воды; донные отложения; тяжелые металлы; радионуклиды.

DOI:10.24412/2410-1192-2025-17702

Дата поступления: 9.03.2025. Принята к печати: 6.06.2025

Геохимический мониторинг является частью эколого-геофизического мониторинга и заключается в наблюдении за распределением химических элементов в ландшафтах под влиянием локальных источников загрязнения. Информация, полученная в ходе таких наблюдений, обладает большой ценностью и может использоваться не только для прогнозирования экологической ситуации, но и для ее коррекции, при принятии мер административного регулирования [Касимов и др., 2023].

Территория юго-западной части Алтайского края в период с 1949 по 1962 гг. подвергалась воздействию Семипалатинского испытательного ядерного полигона, что являлось объектом изучения разных исследовательских групп [Шойхет и др., 1999; Хабаров и др., 2003; Ковригин, 2012; Колядо и др., 2016]. С XIX века на данной территории активно

осуществляются сельскохозяйственная и производственная деятельности, которые также оказывают воздействие на окружающую среду, о чем свидетельствуют результаты исследований таких авторов, как И.Д. Рыбкиной и Н.В. Стоящевой [2014], В.В. Скрипко [2020], Н.И. Зайковой и И.В. Деминой [2020] и многих других исследователей. Большое внимание при изучении водных объектов уделяется рекам, при этом экологическое состояние небольших водоемов и озер остается менее изученным, хотя местным населением они также активно используются в хозяйственных целях и для вылова рыбы.

В этой связи разработка системы мониторинга водных объектов юго-западной части Алтайского края является весьма актуальной и вместе с тем требует комплексного подхода, учитывающего природные особенности региона, источ-

ники загрязнения и современную нормативно-правовую базу. Для оценки воздействия окружающей среды на здоровье людей необходима технологичная и гибкая система мониторинга, координирующая усилия власти, науки и общества.

Целью настоящей работы является разработка системы геохимического мониторинга водных объектов юго-западной части Алтайского края.

Материалы и методы

Основные водные объекты изучаемой территории выбраны с учетом их использования для хозяйственных целей, приведены на рис. 1.

Объектами мониторинга являются вода и донные отложения поверхностных водных объектов, предметом наблюдений является содержание в них радионуклидов и тяжелых металлов.

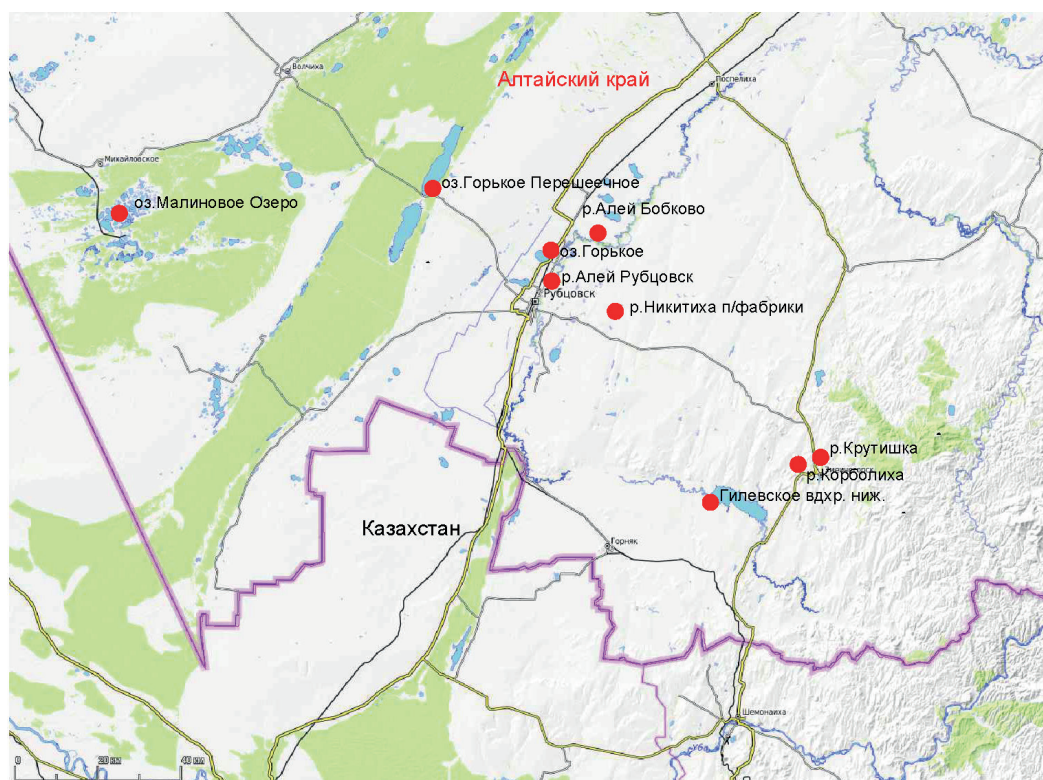


Рис. 1. Карта выбранных для исследования водных объектов с точками пробоотбора

Fig.1. Map of water bodies selected for the study with sampling points

Изучаемые водные объекты, для которых разработана система эколого-геохимического мониторинга:

- озера Горькое-Перешеечное, Горькое, Малиновое Озеро, Большое Угловское,
- реки Алей, Крутишка, Корболиха,
- Гилевское водохранилище.

Для определения загрязненности поверхностных водных объектов тяжелыми металлами и радионуклидами авторами использовались стандартные аналитические методы, регламентированные в нормативных документах Российской Федерации:

- определение удельной активности искусственных (^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{241}Pu , ^{241}Am) и естественных (^{40}K , ^{232}Th , ^{226}Ra) радионуклидов в донных отложениях с использованием альфа-, бета-, гамма-спектрометрических установок;
- определение содержания тяжелых металлов (меди, цинка, свинца, никеля, кадмия) в донных отложениях и воде с использованием атомно-абсорбционного спектрометра.

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). Измерения мощности дозы гамма-излучения, 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 [1980]. Глубина отбора образцов выбрана с учетом данных, полученных Н.Н. Михайловым [1993], который проанализировал результаты исследований НПО «Тайфун» на содержание радионуклидов в донных отложениях некоторых озер Алтайского края, расположенных в равнинной части юго-западной части, 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 седиментация частиц, определенная для равнинных водоемов Алтайского края, равна 0.2–0.4 см/год. Таким образом, в настоящее время в водных объектах изучаемого региона 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. Кроме того, анализу подвергался слой донных отложений с поверхности до глубины 16 см. По результатам исследований в указанном слое содержание радионуклидов не обнаружено.

Отбор образцов осуществлялся с плавсредств в местах отсутствия антропогенного воздействия на донные отложения. Монолит отбирался трубой из нержавеющей стали диаметром 8 см, которая вбивалась в слой донных отложений, а затем на берегу с помощью поршня монолит вынимался из трубы и разделялся на слои: 0–16 см, 16–30 см. Объем каждой пробы составлял ориентировочно 0.7 л, масса пробы составляла около 0.8–1.2 кг в зависимости от плотности донных отложений.

Пробы воды отбирались в той же точке из поверхностного слоя в соответствии с рекомендациями ГОСТ Р 59024-2020 [2020].

Определение содержания тяжелых металлов (меди, свинца, цинка, никеля, кадмия, ртути) 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 [2009], при этом проводили кислотную обработку пробы. 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 «холостую» пробу. Кроме того, использовались стандартные образцы и параллельные измерения серии одной и той же пробы. Погрешность измерений при этом составляла не более 20%.

Подготовка проб донных отложений к гамма-спектрометрическому анализу про-

водилась 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) в соответствии с «Методическими указаниями по определению изотопов плутония в почвах и растениях» [1991] и Методическими рекомендациями МР 2.6.1.0094-14 «Радиохимическое определение удельной активности цезия-137 и стронция-90 в пробах пищевой продукции, почвы, других объектов окружающей среды и биопробах» [2014]. 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 [Бахур и др., 2003].

Исследования выполнялись в период с 2020 по 2024 гг. в полевых и лабораторных условиях. На каждом водном объекте отобрано по одному образцу, кроме р. Никитихи, озер Горькое и Горькое Перешеечное, где образцы отбирались в одном и том же месте два раза (в 2020 и 2021 гг.). Кроме того, проанализированы материалы

производственного экологического мониторинга, выполняемого АО «Сибирь-Полиметаллы» на реках Никитиха [Материалы..., 2011–2016] и Корболиха [Материалы..., 2015–2016].

С целью оценки опасности для проживающего в регионе населения при использовании водных объектов в хозяйственных целях авторами выполнен расчет возможного содержания загрязняющих веществ в гидробионтах следующих водных объектов: оз. Горькое-Перешеечное, оз. Горькое, р. Никитиха, р. Крутишка, р. Корболиха, р. Алей, оз. Малиновое Озеро, оз. Большое Угловское, Гилёвское водохранилище. Все указанные водные объекты, кроме оз. Малиновое Озеро, используются в хозяйственных целях, в том числе для вылова рыбы. Вода в Малиновом Озере относится к категории рассолов (более 300 г/л), не пригодна для обитания рыб [Колпакова и др., 2015]. Обитающая в пригодных для вылова водных объектах рыба используется местным населением в пищу. Расчет возможного содержания загрязняющих веществ в гидробионтах выполнен с учетом исследований Р.М. Алексахина [1982], Г.А. Тряпицыной [2011], МАГАТЭ [IAEA, 2009], при этом выбран наихудший сценарий, при котором возможно максимальное поступление загрязняющих веществ по пищевой цепочке в мышечную массу рыб. Используются максимальные коэффициенты накопления металлов и радионуклидов гидробионтами, выбранные по результатам анализа литературных источников, без учета видов рыб и минерального состава среды обит-

ания. Оценка содержания радионуклидов в воде выполнена расчетным методом с использованием результатов исследований казахстанских ученых [Айдарханова и др., 2019], а также рекомендаций МАГАТЭ [IAEA, 2009]. В результате анализа материалов исследований указанных выше авторов получены обобщенные данные по коэффициенту накопления различных химических элементов в мышцах рыб. Используемые для расчетов коэффициенты приведены в таблице 1.

Для оценки потенциальной опасности рыбы из исследуемых водных объектов для здоровья человека при употреблении в пищу, были применены следующие нормативы и рекомендации. Согласно требованиям СанПиН 2.3.2.1078-01 [2001] допустимые уровни радионуклидов в рыбе:

- по ^{137}Cs – 130 Бк/кг;
- по ^{90}Sr – 100 Бк/кг.

По рекомендациям МАГАТЭ [2009] для ^{137}Cs руководящий уровень равен 1000 Бк/кг, для ^{90}Sr – 100 Бк/кг.

Нормативы по содержанию изотопов плутония в рыбе в российском законодательстве отсутствуют. Для оценки уровня возможного загрязнения гидробионтов изотопами плутония в настоящей работе приняты нормативы, рекомендуемые Международным агентством по атомной энергии: по $^{239+240}\text{Pu}$ – 10 Бк/кг [МАГАТЭ, 2009].

По требованиям СанПиН 2.3.2.1078-01 [2001] нормативный уровень тяжелых металлов в рыбе установлен для свинца, кадмия и ртути, для цинка и меди – содержание не нормируется.

Таблица 1

Максимальные значения коэффициентов накопления (Кн) металлов и радионуклидов в мышцах рыб [Алексахин, 1982; МАГАТЭ, 2009; Тряпицына, 2011]

Table 1

The maximum values of the accumulation coefficients (Кн) for metals and radionuclides in the muscles of fish [Aleksakhin, 1982; Tryapitsyna, 2011; IAEA, 2009]

Элемент	Мышцы рыб		
	1	2	3
Радионуклиды			
Cs	15	15000	420
Sr	0.1	69	83
Pu	3	50000	–
Ra	130	150	–
Тяжелые металлы			
Cu	1000	720	–
Zn	500	16000	–
Cd	1000	–	–
Pb	–	270	–
Ni	–	44	–

Примечание. 1 – Р.М. Алексахин [1982], 2 – МАГАТЭ [2009], 3 – Г.А. Тряпицына [2011]

Результаты и обсуждение

Результаты исследований содержания радионуклидов в донных отложениях поверхностных водных объектов юго-западной части Алтайского края представлены в таблице 2.

Обнаруженное содержание техногенных радионуклидов в донных отложениях водных объектов юго-западной части Алтайского края не превышает значений фона глобальных выпадений, среднего содержания радионуклидов в почвах и донных отложениях водных объектов согласно данным литературных источников [Рождественская и др., 2019; Орлов и др., 2019; Страховенко и др., 2022] и не может быть однозначно идентифицировано как остатки радиоактивности от следов выпадений Семипалатинского ядерного полигона. Для идентификации источника поступления в окружающую среду радионуклидов выполнены расчеты соотношения $^{137}\text{Cs}/^{239+240}\text{Pu}$, которые согласно данным

архивных материалов [Михайлов, 1993] для глобальных выпадений составляют порядка 80%, для следов выпадений Семипалатинского ядерного полигона – 33–51%. Так как соотношение $^{137}\text{Cs}/^{239+240}\text{Pu}$ в донных отложениях р. Никитихи и озера Горького Перешеечного равно 37–41%, в результате исследований сделан вывод, что радионуклиды являются выпадениями от испытаний на Семипалатинском ядерном полигоне.

В воде водных объектов юго-западной части Алтайского края содержание тяжелых металлов превышает нормативный уровень по меди и цинку, установленный Приказом № 552 [2016] для объектов рыбохозяйственного значения. По остальным тяжелым металлам (кадмию, никелю и свинцу) превышение уровня ПДК не зафиксировано (рис. 2).

Уровни превышения нормируемых величин по содержанию меди и цинка в водных объектах изучаемой территории представлены в таблице 3.

Таблица 2

Результаты исследований донных отложений поверхностных водных объектов
юго-западной части Алтайского края по содержанию радионуклидов

Table 2

The results of studies of bottom sediments in surface water bodies in the south-western
part of Altai Krai regarding radionuclide content

Место отбора	Удельная активность, Бк/кг							A _{эфф} [СанПиН 2.6.1.2523-09]
	искусственные				естественные			
	²⁴¹ Am	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	⁴⁰ K	²²⁶ Ra	²³² Th	
Озеро Горькое-Перешеечное (восточная часть)	<2	2±1	<0.4	4.90± 0.90	650± 65	6±1	9±1	72.1
Озеро Горькое-Перешеечное (западная часть)	<2	<1	<0.4	<0.07	650±65	<1	8±1	64.6
Озеро Горькое (восточная часть)	<2	<1	1.3± 0.8	5.10± 1.10	585±60	24±2	31±3	112.2
Озеро Горькое (западная часть)	<2	<1	<0.4	<0.17	510±50	12±2	30±3	89.1
Озеро Малиновое	<2	3± 0.3	1.0± 0.5	<0.14	600±60	3±1	15±1.5	69.9
Озеро Большое Угловское	<2	<1	<0.4	<0.19	600±60	8±1	20±2	81.5
Река Никитиха (до обогатительной фабрики)	<2	2±1	1.0± 0.6	5.40± 1.30	530±50	23±2	39±4	114.2
Река Никитиха (после обогатительной фабрики)	<2	<1	<0.8	3.90±1	500±50	17±2	32±3	96.8
Река Крутишка	<2	<1	<0.5	4.30±1.3	600±60	33±3	40±4	134.2
Река Корболиха	<2	<1	<0.5	5.80±1.3	550±55	30±3	45±4	131.1
Река Алей (с.Поспелиха)	<2	<1	<0.4	<0.20	650±65	23±2	43±4	128.4
Река Алей (вблизи д.Катково)	<2	<1	<0.2	<0.14	530±55	16±2	27±3	93.0
Река Алей (вблизи д.Бобково)	<2	<1	0.4±0.1	<0.14	670±67	20±2	50±5	133.2
Река Алей (г.Рубцовск)	<2	2±1	<0.3	<0.14	600±60	19±2	40±40	115.9
Гилёвское водохранилище. верхний бьеф	<2	<1	<0.7	<0.3	580±115	26±5	53±10	144
Гилёвское водохранилище. нижний бьеф	<2	19±4	6.2±0.9	3.8±1.2	615±125	28±6	50±10	145
Среднее содержание в почвах АК [Рождественская и др., 2019; Орлов и др., 2019]	—	2–4	6–51	0.36–3.5	372–485	22–53	21–33	370
Фон глобальных выпадений [Марей и др., 1980, Мамихин, Пелевина, 2010]	—	4–29	1–19	2–4	—	—	—	—
Среднее содержание в донных отложениях по данным Страховенко В.Д. и др. [2022]	—	12	—	—	248	26	15	66

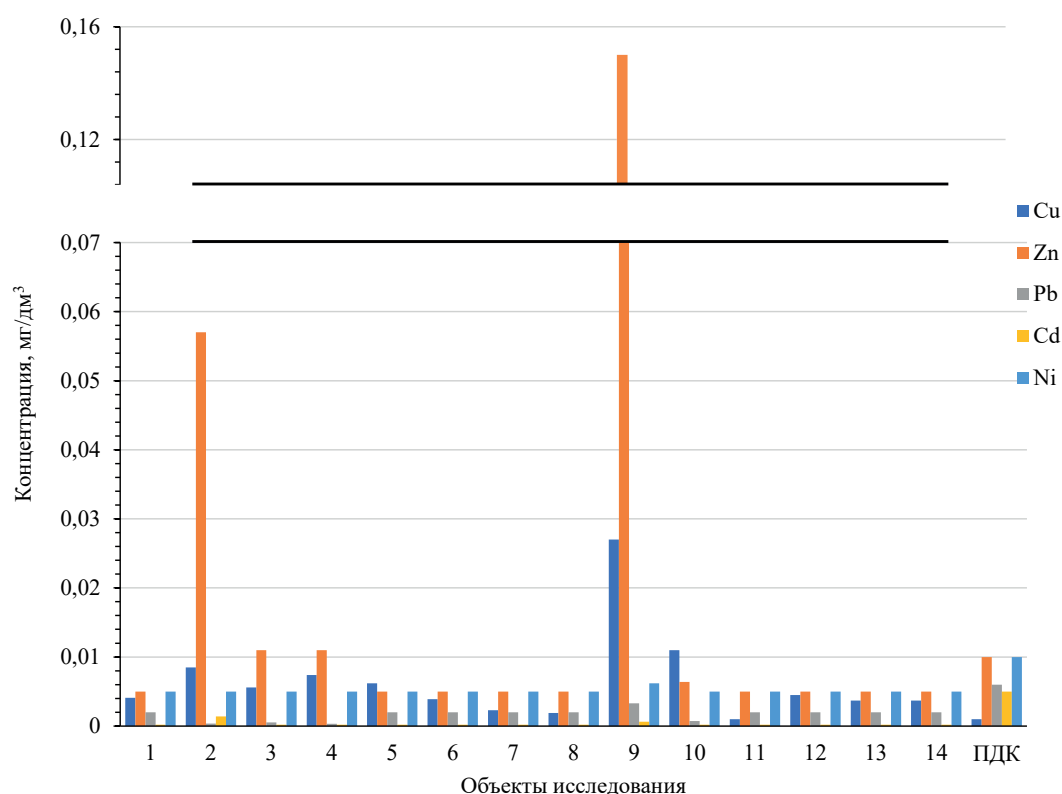


Рис. 2. Концентрация ТМ в воде поверхностных водных объектов Алтайского края.

1 – р. Никитиха (до обогатительной фабрики), 2 – р. Никитиха (после обогатительной фабрики), 3 – р. Крутишка, 4 – р. Корболиха, 5 – р. Алей (с. Поспелиха), 6 – р. Алей (вблизи д. Катково), 7 – р. Алей (вблизи д.Бобково), 8 – р. Алей (г. Рубцовск), 9 – оз. Горькое-Перешеечное (восточная часть), 10 – оз. Горькое, 11 – оз. Малиное Озеро, 12 – оз. Большое Угловское, 13 – Гилёвское водхр (верх.бьеф), 14 – Гилёвское водхр (ниж.бьеф), ПДК – СанПиН 1.2.3685-21 [2021]

Fig. 2. Content of heavy metal (HM) in the water of surface water bodies in the Altai Krai.

1 – Nikitikh River (above the concentration plant), 2 – Nikitikh River (below the concentration plant), 3 – Krutishka River, 4 – Korbolikh River, 5 – Aley River (near the village of Pospelikha), 6 – Aley River (near the village of Katkovo), 7 – Aley River (near the village of Bobkovo), 8 – Aley River (near the city of Rubtsovsk), 9 – Gorkoe-Pereshechnoe Lake (eastern part), 10 – Gorkoe Lake, 11 – Malinoe Ozero Lake, 12 – Bolshoe Ugolvskoe Lake, 13 – Gilevskoe Reservoir (upper pool), 14 – Gilevskoe Reservoir (lower pool), MPC – SanPiN 1.2.3685-21 [2021]

В воде изучаемых водных объектов также для поверхностных водных объектов превышен уровень ПДК по меди для хозяйственно-питьевого и культурно-объектов рыбохозяйственного значения, бытового водопользования. Содержание по цинку зафиксировано повышенное меди в воде Гилёвского водохранилища содержание в воде р. Никитихи (после незначительно превышает нормативный обогатительной фабрики), р. Крутишке уровень. Однако, учитывая результаты и р. Корболихе, а также в оз. Горьком-архивных материалов [Михайлов, 1993] Перешеечном. Содержание в воде определено, что содержание меди в кадмия, свинца и никеля не превышает воде Гилевского водохранилища на нормативного уровня, принятого для сегодняшний день в 7.3 раза меньше, чем объектов рыбохозяйственного значения, а было в 1993 г.

Таблица 3

Загрязнение медью и цинком воды поверхностных водных объектов
юго-западной части Алтайского края

Table 3

Contamination of copper and zinc of water of surface water bodies
in the southwestern part of the Altai Krai

Место отбора	Кратность превышения ПДК _{рх} ¹⁾		Кратность превышения ПДК ²⁾		Категория водного объекта рыбохозяйственного значения
	Cu	Zn	Cu	Zn	
р. Никитиха (до фабрики)	4.1	0.5	0.004	0.001	первая
р. Никитиха (после фабрики)	8.5	5.7	0.009	0.01	первая
р. Крутишка	5.6	1.1	0.006	0.002	первая
р. Корболиха	7.4	1.1	0.006	0.001	высшая
р. Алей (с. Поспелиха)	6.2	0.5	0.004	0.001	высшая
р. Алей (вблизи д. Катково)	3.9	0.5	0.002	0.001	высшая
р. Алей (вблизи д. Бобково)	2.3	0.5	0.002	0.001	высшая
р. Алей (г. Рубцовск)	1.9	0.5	0.03	0.03	высшая
оз. Горькое-Перешеечное (восточная часть)	27	15	0.01	0.001	вторая
оз. Горькое (Рубцовск)	11.0	0.6	0.001	0.001	не установлена
Озеро Большое Угловское	4.5	0.5	0.005	0.001	не установлена
Гилёвское водохранилище (верхний бьеф)	3.7	0.5	0.004	0.001	высшая
Гилёвское (нижний бьеф)	4.1	0.5	0.004	0.001	высшая

Примечание. Жирным шрифтом выделены значения кратности ПДК, которые выше 1.

1) ПДК в водных объектах рыбохозяйственного значения для меди – 0.001 мг/дм³, для цинка – 0.01 мг/дм³ согласно Приказу Министерства сельского хозяйства №552 [2016]; 2) ПДК в водных объектах хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования для меди – 1 мг/дм³, для цинка – 5 мг/дм³ [СанПиН 1.2.3.685-21, 2021]

Для того, чтобы выяснить являются ли повышенные концентрации меди и цинка характерными для изучаемого региона или это результат техногенной деятельности, был выполнен сравнительный анализ данных по содержанию указанных металлов в воде изучаемых водных объектов и других водных источников по материалам исследований Е.И. Третьяковой и Т.С. Папиной [2004], О.Г. Савичева [2005], Г.А. Леоновой и ее коллег [2007], С.В. Темерева [2008], М.Н. Колпаковой [2015]. Результаты исследований представлены в таблице 4.

В результате анализа данных определено, что в целом содержание меди и цинка в воде исследуемых водных объектов соответствует региональному фону.

Содержание меди в воде солоноватых озер Горькое-Перешеечное и Горькое (Рубцовск), а также содержание цинка в воде оз. Горькое-Перешеечное сопоставимо с концентрацией этих металлов в высокоминерализованном оз. Кулундинское.

Единых стандартов в отношении качества донных отложений и нормативов, регламентирующих содержание наиболее распространенных и токсичных загрязняющих веществ не существует. С точки зрения российского природоохранного законодательства, у загрязненных донных отложений неопределенный правовой статус и обоснованный вывод о загрязнении донных отложений на основе законодательства сделать невозможно [Эйрих, 2024].

Таблица 4

Содержание меди и цинка в поверхностных водных объектах Алтайского края

Table 4

Concentration of copper and zinc in surface water bodies of the Altai Krai

Водный объект	Содержание, мг/дм ³		pH	Примечание
	Cu	Zn		
р. Никитиха	0.0041–0.0085	0–0.057	6.9	Результаты исследований 2020–2024 гг.
р. Крутишка	0.0056	0.011	7.0	Результаты исследований 2020–2024 гг.
р. Корболиха	0.0074	0.011	7.1	Результаты исследований 2020–2024 гг.
р. Алей	0.0019–0.0062	< 0.005	7.0	Результаты исследований 2020–2024 гг.
оз. Горькое-Перешеечное (восточная часть)	0.027	0.151	8.7	Результаты исследований 2020–2024 гг.
оз. Горькое-Перешеечное	–	–	9.6	[Колпакова, 2015]
оз. Горькое (Рубцовск)	0.011	0.0064	9.1	Результаты исследований 2020–2024 гг.
оз. Большое Угловское	0.0045	< 0.005	–	Результаты исследований 2020–2024 гг.
Гилёвское водохранилище	0.0037	< 0.005	7.1	Результаты исследований 2020–2024 гг.
Равнинные средние притоки Оби	0.0038	–	7.01	[Савичев, 2005]
Средняя Обь	0.0018– 0.063	0.024– 0.18	8.1	[Темерев, 2008]
оз. Кулундинское	0.0079– 0.17	0.051– 0.55	7.98–9.06	[Леонова и др., 2007; Третьякова, Папина, 2004]
р. Барнаулка	0.0002–0.0012	0.001–0.024	8.05–9.06	[Третьякова, Папина, 2004]

Примечание. Жирным шрифтом выделены значения содержания тяжелых металлов в донных отложениях изучаемых объектов, превышающие средний региональный фон

Учитывая рекомендации Т.С. Папиной [2001], С.С. Эйрих [2024] и личный опыт, оценка загрязненности донных отложений была выполнена путем сравнения измеренных величин с данными, представленными в научных работах [Леонова, 2005; Эйрих и др., 2009; Страховенко и др., 2016], а также путем сравнения полученных массовых концентраций тяжелых металлов со значением величин кларков литосферы [Папина, 2001] (табл. 5).

Донные отложения изучаемых водных объектов содержат медь, цинк и свинец в концентрациях, которые превышают

значения регионального фона и уровня содержания тяжелых металлов в донных отложениях водных объектов Сибирского региона и в литосфере. При этом повышенное содержание меди характерно для всех изученных водных объектов. Содержание цинка в донных отложениях Алея и Гилевского водохранилища соответствуют региональному уровню, в остальных изученных водных объектах содержание цинка выше, чем в водных объектах Сибирского региона и в литосфере. По свинцу зафиксированы высокие концентрации в воде рек Крутишки, Корболихи и Гилевского водохранилища.

Таблица 5

Содержание тяжелых металлов в донных отложениях поверхностных
водных объектов Алтайского края

Table 5

Concentration of heavy metals in bottom sediments of surface
water bodies of the Altai Krai

Водный объект	Содержание, мг/кг					Примечание
	Cu	Zn	Cd	Ni	Pb	
р. Никитиха	62– 645	11– 826	< 0.04	38–48	0.28–2.5	Результаты исследований 2020–2024 гг.
р. Крутишка	130	145	< 0.04	43	130	Результаты исследований 2020–2024 гг.
р. Корболиха	140	218	< 0.04	46	110	Результаты исследований 2020–2024 гг.
р. Алей	67– 460	40–41	< 0.04	17–19	0.66	Результаты исследований 2020–2024 гг.
оз. Горькое-Перешеечное (восточная часть)	52– 259	159–185	< 0.04	36	< 0.2	Результаты исследований 2020–2024 гг.
оз. Горькое (Рубцовск)	41– 207	204–206	< 0.04	34–43	< 0.2	Результаты исследований 2020–2024 гг.
Озеро Большое Угловское	57	< 0.005	< 0.04	< 0.005	< 0.2	Результаты исследований 2020–2024 гг.
Гилёвское водохранилище	355–940	72.5	< 0.04	38.5	7– 175	Результаты исследований 2020–2024 гг.
Кларки литосферы по Виноградову	47	83	0.13	58	16	[Папина, 2001]
оз. Ракиты (пресноводное лесостепной зоны)	27	49	0.17	26	25	[Леонова, 2005]
оз. Колыванское (пресноводное предгорной зоны)	30	98	0.13	34	25	[Леонова, 2005]
оз. Горькое (солончатое-водное)	10	50	0.06	11	16	[Леонова, 2005]
оз. Кулундинское (соляное)	20	80	0.08	40	11	[Леонова, 2005]
р. Обь в районе г. Барнаул	14.6–30.7	46.6–70.9	0.09–0.24	41.0–47.0	6.99–11.1	[Эйрих и др., 2009]
Озера Сибири (усредненный состав)	22±10	52±32	0.14±0.09	32±12	18±8	[Страховенко и др., 2016]

Примечание. Жирным шрифтом выделены значения содержания тяжелых металлов в воде изучаемых объектов, превышающие нормативный уровень

По результатам лабораторных исследований проб воды и донных отложений выполнена оценка возможного содержания тяжелых металлов и радионуклидов в гидробионтах с использованием коэффициентов накопления. Для расчетов были учтены наихудшие возможные сценарии, включая предположение о свободном переходе радиоактивных веществ из донных отложений в воду. В реальных природных условиях радионуклиды сосредоточены в слое на глубине 16–30 см, который изолирован сверху чистым слоем грунта и ила, что предотвращает их миграцию в воду. Переход радионуклидов возможен лишь при механическом воздействии на донные отложения, например, в результате антропогенного вмешательства в экосистему водного объекта.

Концентрации радионуклидов в гидробионтах оз. Большое Угловское, р. Алей (в районе Поспелихи и Катково) и Гилёвского водохранилища (в районе верхнего бьефа) не рассчитывались, поскольку в донных отложениях этих водных объектов ^{137}Cs , ^{90}Sr и $^{239+240}\text{Pu}$ не обнаружены. Однако, в следующих водных объектах юго-западной части Алтайского края возможно накопление гидробионтами радионуклидов в концентрациях, превышающих нормативы РФ и рекомендации МАГАТЭ:

- оз. Горькое-Перешеечное ($^{239+240}\text{Pu}$ – 1.2 ПДК);
- оз. Горькое ($^{239+240}\text{Pu}$ – 1.2 ПДК);
- р. Никитиха ($^{239+240}\text{Pu}$ – 1.3 ПДК);
- р. Крутишка ($^{239+240}\text{Pu}$ – 1.02 ПДК);
- р. Корболиха ($^{239+240}\text{Pu}$ – 1.4 ПДК);

- Гилёвское водохранилище в нижнем бьефе (^{137}Cs – 5.9 ПДК).

Анализ полученных данных показывает, что превышение предельного уровня по тяжелым металлам в рыбе возможно ожидать:

- на озере Горьком Перешеечном (Cu – 2.7 ПДК, Zn – 60 ПДК, Cd – 3 ПДК);
- на озере Горьком (Cu – 1.1 ПДК, Zn – 2.6 ПДК);
- на реке Никитихе ниже обогатительной фабрики (Zn – 23 ПДК, Cd – 7 ПДК);
- на реке Крутишке (Zn – 4.4 ПДК);
- на реке Корболихе (Zn – 4.4 ПДК).

Таким образом, вода и донные отложения водных объектов юго-западной части Алтайского края не представляют радиационной и химической опасности при их использовании в рыбохозяйственных целях. Риск представляют рыбы, способные накапливать вредные химические и радиоактивные вещества, которые по пищевой цепи могут попасть к человеку.

Из изученных водных объектов представляют химическую опасность для человека рыбы озер Горького-Перешеечного, Горького, реки Никитихи. Остальные, изученные в рамках настоящей работы водные объекты юго-западной части Алтайского края, в экологическом плане являются благоприятными, загрязнение их тяжелыми металлами и радионуклидами не обнаружено.

На основании данных, полученных в ходе исследований, водные объекты юго-западной части Алтайского края были разделены на три категории по типу потенциального загрязнения: объекты с радиационным, химическим и комбинированным загрязнением.

С учетом разнообразия характера загрязнения водоемов на изучаемой территории, экологический мониторинг озер, рек и водохранилищ юго-западной части Алтайского края рекомендуется организовать по двум направлениям:

- радиоэкологический мониторинг;

- комбинированный мониторинг.

Места для наблюдений были определены с учетом расположения источников загрязнения, выявленных в ходе текущих исследований. Рекомендуемые пункты наблюдений и виды мониторинга представлены в таблице 6.

Таблица 6

Пункты наблюдений и виды мониторинга

Table 6

Observation points and types of monitoring

Водный объект	Тип загрязнения	Вид мониторинга	Контролируемые параметры	Периодичность и срок отбора	Способ определения загрязняющих веществ
оз. Горькое-Перешеечное (восточная часть)	комбинированное	комбинированный	$^{239+240}\text{Pu}$ (основное)	1 раз в год (август-сентябрь)	радиохимическое выделение и альфа-спектрометрия
			^{137}Cs (потенциальное)	1 раз в год (август-сентябрь)	гамма-спектрометрия
			Cu, Zn, Cd	1 раз в год (август-сентябрь)	атомно-абсорбционный анализ / масс-спектрометрия
оз. Горькое (Рубцовск)	комбинированное	комбинированный	$^{239+240}\text{Pu}$ (основное)	1 раз в год (август-сентябрь)	радиохимическое выделение и альфа-спектрометрия
			^{90}Sr (потенциальное)	1 раз в год (август-сентябрь)	радиохимическое выделение и бета-спектрометрия
			Cu, Zn	1 раз в год (август-сентябрь)	атомно-абсорбционный анализ / масс-спектрометрия
р. Никитиха (до фабрики)	радиационное	радиоэкологический	$^{239+240}\text{Pu}$ (основное)	1 раз в год (июль-сентябрь)	радиохимическое выделение и альфа-спектрометрия
			^{137}Cs (потенциальное)	1 раз в год (июль-сентябрь)	гамма-спектрометрия
			^{90}Sr (потенциальное)	1 раз в год (июль-сентябрь)	радиохимическое выделение и бета-спектрометрия
р. Никитиха (после фабрики)	комбинированное	комбинированный	$^{239+240}\text{Pu}$ (основное)	1 раз в год (июль-сентябрь)	радиохимическое выделение и альфа-спектрометрия
			Zn, Cd	1 раз в год (июль-сентябрь)	атомно-абсорбционный анализ / масс-спектрометрия
р. Крутишка	комбинированное	комбинированный	$^{239+240}\text{Pu}$ (основное)	1 раз в год (июль-сентябрь)	радиохимическое выделение и альфа-спектрометрия
			Zn	1 раз в год (июль-сентябрь)	атомно-абсорбционный анализ / масс-спектрометрия

Водный объект	Тип загрязнения	Вид мониторинга	Контролируемые параметры	Периодичность и срок отбора	Способ определения загрязняющих веществ
р. Корболиха	комбинированное	комбинированный	$^{239+240}\text{Pu}$ (основное)	1 раз в год (июль-сентябрь)	радиохимическое выделение и альфа-спектрометрия
			Zn	1 раз в год (июль-сентябрь)	атомно-абсорбционный анализ / масс-спектрометрия
оз. Малиновое Озеро	радиационное	радиоэкологический	^{137}Cs (потенциальное)	1 раз в 5 лет (август-сентябрь)	гамма-спектрометрия
			^{90}Sr (потенциальное)	1 раз в 5 лет (август-сентябрь)	радиохимическое выделение и бета-спектрометрия
р. Алей (с. Бобково)	радиационное	радиоэкологический	^{90}Sr (потенциальное)	1 раз в год (июль-сентябрь)	радиохимическое выделение и бета-спектрометрия
р. Алей (г. Рубцовск)	радиационное	радиоэкологический	^{137}Cs (потенциальное)	1 раз в год (июль-сентябрь)	гамма-спектрометрия
р. Алей (Поспелиха)	комбинированное	комбинированный	Cu, Zn, Cd	1 раз в 5 лет (июль-сентябрь)	атомно-абсорбционный анализ / масс-спектрометрия
			альфа-, бета-, гамма-излучение	1 раз в 5 лет (июль-сентябрь)	альфа-, бета-, гамма-спектрометрия
оз. Большое Угловское	комбинированное	комбинированный	Cu, Zn, Cd	1 раз в 5 лет (август-сентябрь)	атомно-абсорбционный анализ / масс-спектрометрия
			альфа-, бета-, гамма-излучение	1 раз в 5 лет (август-сентябрь)	альфа-, бета-, гамма-спектрометрия
Гилёвского водохранилища (нижний бьеф)	радиационное	радиоэкологический	^{137}Cs (основное)	1 раз в год (июль-сентябрь)	гамма-спектрометрия
			$^{239+240}\text{Pu}$ (потенциальное)	1 раз в год (июль-сентябрь)	радиохимическое выделение и альфа-спектрометрия
			^{90}Sr (потенциальное)	1 раз в год (июль-сентябрь)	радиохимическое выделение и бета-спектрометрия

Для исследованных в рамках настоящей работы водных объектов выбран регулярный мониторинг поверхностных вод с периодичностью:

- один раз в год для водных объектов, где имеется превышение по нормируемым показателям и существует риск загрязнения гидробионтов (р. Никитиха, р. Крутишка, р. Корболиха, оз. Горькое, оз. Горькое-Перешеечное, Гилёвское водохранилище в нижнем бьефе);

- один раз в пять лет для водных объектов, в которых не обнаружено

загрязнение (оз. Малиновое Озеро, оз. Большое Угловское, р. Алей).

Согласно методическим указаниям по осуществлению государственного мониторинга водных объектов [Приказ..., 2014], отбор образцов донных отложений в водоемах рекомендуется выполнять при наиболее низком (меженном) уровне в летне-осенний период, в водотоках – на спаде половодья, до наступления ледостава.

В случае нарушения экологической стабильности или возникновения чрезвычайной ситуации необходимо проведение внепланового мониторинга.

В результате анализа полученных данных предложена схема эколого-геохимического мониторинга водных объектов юго-западной части Алтайского края, которая представлена на рисунке 3.

Предложенная схема эколого-геохимического мониторинга может быть интегрирована в существующую систему государственного экологического мониторинга водных объектов Алтайского края, либо использована предприятиями при проведении локального экологического мониторинга на водных объектах, используемых в производственных целях.

Выводы

1. Содержание техногенных радионуклидов (^{241}Am , ^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$) в донных отложениях водных объектов

юго-западной части Алтайского края не превышает фоновых значений глобальных выпадений. Соотношение $^{137}\text{Cs}/^{239+240}\text{Pu}$ в донных отложениях р. Никитихи и оз. Горького Перешеечного (37–41%) указывает на возможное влияние выпадений от испытаний на Семипалатинском ядерном полигоне. В воде радионуклиды в концентрациях, представляющих опасность для человека, согласно расчетным данным, отсутствуют.

2. В воде изучаемых водных объектов превышен уровень ПДК по меди для объектов рыбохозяйственного значения, по цинку зафиксировано повышенное содержание в воде р. Никитихи (после обоганительной фабрики), р. Крутишке и р. Корболихе, а также в оз. Горьком-Перешеечном.

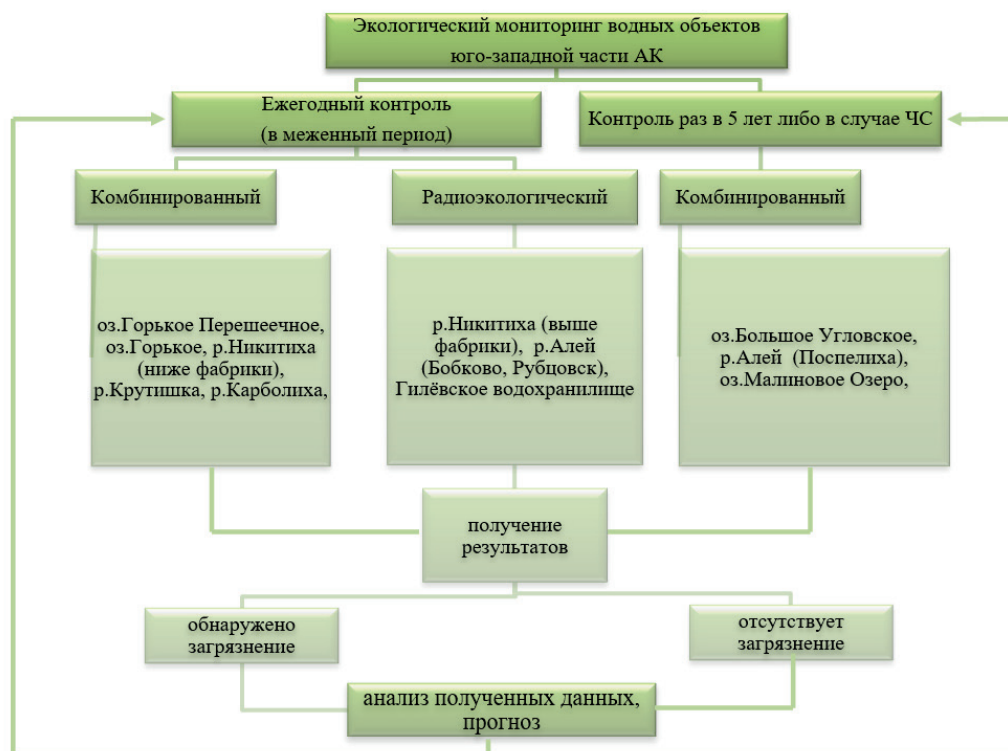


Рис. 3. Схема эколого-геохимического мониторинга водных объектов юго-западной части Алтайского края

Fig. 3. The scheme of environmental monitoring of water bodies in the southwestern part of the Altai Krai

Содержание в воде кадмия, свинца и никеля не превышает нормативного уровня, принятого для объектов рыбохозяйственного значения, а также для поверхностных водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. Содержание меди в воде солоноватых озер Горькое-Перешеечное и Горькое (Рубцовск), а также содержание цинка в воде оз. Горькое-Перешеечное сопоставимо с концентрацией в высокоминерализованном оз. Кулундинское.

3. Донные отложения изучаемых водных объектов содержат медь в концентрациях, которые превышают значения регионального фона и уровня содержания тяжелых металлов в донных отложениях водных объектов Сибирского региона и в литосфере. Содержание цинка в донных отложениях Алея и Гилевского водохранилища соответствуют региональному уровню, в остальных изученных водных объектах содержание цинка выше, чем в водных объектах Сибирского региона и в литосфере. По свинцу зафиксированы высокие концентрации в воде р. Крутишки, р. Корболихи и Гилевского водохранилища.

4. Выполненные расчеты показали возможность накопления радионуклидов и тяжелых металлов в гидробионтах в существующих условиях. Содержание радионуклидов в гидробионтах оз. Большого Угловского, р. Алей

(в районе Поспелихи и Катково), Гилевского водохранилища (в районе верхнего бьефа) не ожидается в количествах, превышающих установленные нормативные уровни. В гидробионтах оз. Горького-Перешеечного, оз. Горького, р. Никитихи, р. Крутишки, р. Корболихи могут накапливаться изотопы Рn в концентрациях, превышающих руководящий уровень МАГАТЭ до 1.4 раза. В гидробионтах Гилевского водохранилища в нижнем бьефе возможно накопление ^{137}Cs , ожидаемое превышение нормативного уровня РФ ориентировочно может составить 5.9 ПДК.

5. Эколого-геохимический мониторинг рекомендуется проводить с периодичностью 1 раз в год для р. Никитиха, р. Крутишка, р. Корболиха, оз. Горькое, оз. Горькое-Перешеечное, Гилевского водохранилища в нижнем бьефе, 1 раз в 5 лет для оз. Малиновое Озеро, оз. Большое Угловское, р. Алей. При этом определен вид мониторинга, зависящий от типа загрязнения, выявленного в ходе настоящих исследований. Комбинированный экологический мониторинг рекомендован для оз. Горькое-Перешеечное (восточная часть), оз. Горькое (Рубцовск), р. Никитиха (после фабрики), р. Крутишка, р. Корболиха. Радиоэкологический мониторинг рекомендуется осуществлять на р. Никитиха (до фабрики), оз. Малиновое Озеро, р. Алей (с. Бобково), р. Алей (г. Рубцовск), Гилевского водохранилища (нижний бьеф).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interests

Список литературы

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: Сб. докл. Междунар. молодежн. конф. (3–4 октября 2019 г., Россия). Обнинск: Изд-во ВНИИРАЭ, 2019. С. 114–117.

Алексахин Р.М. Ядерная энергия и биосфера. М.: Энергоиздат, 1982. 216 с.

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.

ГОСТ 17.1.5.01-80. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязненность. Утв. 01.01.1982.

ГОСТ Р 59024-2020. Вода. Общие требования к отбору проб. Утв. 01.01.2023.

Зайкова Н.И., Демина И.В. Оценка экологического состояния некоторых водных объектов Алтайского края // Аграрная наука – сельскому хозяйству: Мат. XV Международной научно-практической конференции (12–13 марта 2020 г., Россия). Кн. 1. Барнаул: АГАУ, 2020. С. 361–364.

Касимов Н.С., Кошелева Н.Е., Поповичева О.Б., Власов Д.В., Шинкарева Г.Л., Ерина О.Н., Чалов С.Р., Чичаева М.А., Ковач Р.Г., Завгородняя Ю.А., Лычагин М.Ю. Загрязнение Московского мегаполиса: мониторинг химического состава микрочастиц в системе «атмосфера – снег – дорожная пыль – почвы – поверхностные воды» Метеорология и гидрология. 2023. № 5. С. 5–19. doi:10.52002/0130-2906-2023-5-5-19

Ковригин А.О. Отдаленные последствия первого ядерного испытания на Семипалатинском полигоне для населения Алтайского края // Радиоэкология XXI века: Материалы Международной научно-практической конференции (14–16 мая 2012 г., Россия). Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2012. С. 135–140.

Колпакова М.Н., Борзенко С.В., Исупов В.П., Шацкая С.С., Шварцев С.Л. Гидрохимия и геохимическая типизация соленых озер степной части Алтайского края // Вода: химия и экология. 2015. № 1 (79). С. 11–16.

Колядо И.Б. Плугин С.В., Коновалов Б.Ю. Последствия ядерных испытаний на Семипалатинском полигоне и новое в работе Алтайского медико-дозиметрического регистра // Аграрная наука – сельскому хозяйству: сб. статей. Барнаул: Изд-во АГАУ, 2016. В 3 кн. Т. 2. С. 296–297.

Леонова Г.А., Богущ А.А., Бобров В.А., Бычинский В.А., Трофимова Л.Б., Маликов Ю.И. Эколого-геохимическая оценка соляных озер Алтайского края // География и природные ресурсы. 2007. № 1. С. 51–59.

Леонова Г. А. Оценка современного экологического состояния озер Алтайского края по биогеохимическим критериям // Электронный журнал Исследовано в России. 2005. С. 954–972.

Мамахин С.В., Пелевина И.И. Левина С.Г., Аксеев А.В. Современная радиоэкологическая характеристика озерных экосистем Восточно-Уральского радиоактивного следа. М.: Изд-во «РАДЭКОН»; Изд-во Челябинского гос. пед. ун-та, 2010. 238 с. // Радиационная биология. Радиоэкология. 2010. Т. 50, № 5. С. 599.

Марей А.Н., Бархударов Р.М., Книжников В.А., Борисов Б.К., Петухова Э.В., Новикова Н.Я. Глобальные выпадения продуктов ядерных взрывов как фактор облучения человека. М.: Атомиздат, 1980. 186 с.

Материалы экологического мониторинга ОАО «Сибирь-Полиметаллы» за 2011–2016 гг. Рубцовская обогатительная фабрика.

Материалы экологического мониторинга ОАО «Сибирь-Полиметаллы» за 2015–2016 гг. Корбалихинский полиметаллический рудник.

Методические указания по определению изотопов плутония в почвах и растениях. М: Союзсельхозхимия, 1991. 156 с.

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.

МР 2.6.1.0094-14. Радиохимическое определение удельной активности цезия-137 и стронция-90 в пробах пищевой продукции, почвы, других объектов окружающей среды и биопробах. М: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2014. 43 с.

Орлов П.М., Сычев В.Г., Аканова Н.И. Радиационный режим почв сельскохозяйственных угодий Сибири в условиях различной интенсивности внесения удобрений и длительного последствия химической мелиорации // Инновации и продовольственная безопасность. 2019. № 2(24). С. 112–118.

Папина Т.С. Транспорт и особенности распределения тяжелых металлов в ряду: вода – взвешенное вещество – донные отложения речных экосистем. Аналитический обзор. Новосибирск, 2001. 58 с.

ПНД Ф 14.1:2.253-09 Методика измерений массовой концентрации алюминия, бария, бериллия, ванадия, железа, кадмия, кобальта, лития, марганца, меди, молибдена, мышьяка, никеля, свинца, селена, серебра, стронция, титана, хрома, цинка в пробах природных и сточных вод атомно-абсорбционным методом с электротермической атомизацией с использованием атомно-абсорбционного спектрометра модификаций МГА-915, МГА-915М, МГА-915МД. Утв. 02.12.2013.

Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 24.02.2014 г. №112 «Об утверждении Методических указаний по осуществлению государственного мониторинга водных объектов в части организации и проведения наблюдений за содержанием загрязняющих веществ в донных отложениях водных объектов».

Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации 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».

Рождественская Т.А., Пузанов А.В., Трошкова И.А., Горбачев И.В., Кирста Ю.Б., Ельчианинова О.А., Пеленева М.П. Естественные и искусственные радионуклиды в почвах, растениях и сельскохозяйственной продукции Алтайского края // Известия Алтайского отделения Русского географического общества. 2019. № 3(54). С. 126–133.

Рыбкина И.Д., Стоящева Н.В. Обоснование экологической реабилитации водных объектов Алтайского края // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2014. № 2(74). С. 4–12.

СанПиН 2.3.2.1078-01. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. Утв. 06.11.2001.

СанПиН 2.6.1.2523-09. Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009: Утв. 07.07.2009.

СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. Утв. 28.01.2021.

Савичев О.Г. Гидрохимический сток рек бассейна Средней Оби и его природно-антропогенная трансформация: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора географических наук. Барнаул, 2005. 45 с.

Скрипко В.В., Платонова С.Г. Эколого-геоморфологическое состояние речных бассейнов третьего порядка Приобского плато (западная Сибирь) // Известия Алтайского отделения Русского географического общества. 2020. № 2(57). С. 21–32. doi: 10.24411/2410-1192-2020-15702

Страховенко В.Д., Щербов Б.Л., Маликова И.Н. Сравнительный анализ распределения концентраций экологически опасных элементов в компонентах окружающей среды разных ландшафтов Сибири // Экологический мониторинг окружающей среды: Мат. Межд. школы молодых ученых (3–6 октября 2016 г., Россия). Выпуск 1. Новосибирск: Издательский центр НГАУ «Золотой колос», 2016. С. 123–140.

Страховенко В.Д., Белкина Н.А., Субетто Д.А., Орлова А.В., Овдина Е.А., Малов В.И., Малов Г.И. Уровни концентраций элементов и современные скорости осадконакопления в сапропелевых залежах малых озер таежной зоны, территориально расположенных в разных районах Сибири и на юго-восточной окраине Балтийского щита // Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии: Мат. IV Всероссийской научной конференции с международным участием (29 августа – 03 сентября 2022 г., Россия). Т. 2. Барнаул: ООО «Пять плюс», 2022. С. 140–148.

Темерев С.В. Эколого-химическая оценка состояния водных систем бассейна Оби: Автореф. дис.... док. хим. наук. Москва, 2008. 50 с.

Третьякова Е.И., Папина Т.С. Особенности распределения тяжелых металлов по различным компонентам водных экосистем бассейна Оби в зависимости от типа минерализации // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2004. Т. 6, № 2. С. 97–104.

Тряпицына Г.А. Реакции биоценозов водных экосистем на хроническое радиационное воздействие: диссертация на соискание ученой степени доктора биологических наук. М., 2011. 225 с.

Хабаров А.С., Дергачев В.С., Шойхет Я.Н., Гришина Л.В., Сенникова Ю.А., Козлов В.А., Сенников С.В. Иммунорегуляторные цитокины у потомков второго поколения лиц, подвергшихся радиационному воздействию на следе ядерного взрыва Семипалатинского полигона, страдающих иммуноиндикаторными болезнями ЛОР-органов // Бюллетень Сибирского отделения Российской академии медицинских наук. 2003. Т. 23, № 3. С. 97–101.

Шойхет Я.Н., Киселев В.И., Лоборев В.М. Радиационное воздействие на население Алтайского края ядерных испытаний на Семипалатинском полигоне. Барнаул: Изд-во НИИ РМЭП, 1999. 346 с.

Эйрих А.Н., Третьякова Е.И., Папина Т.С. Аналитический контроль тяжелых металлов в донных отложениях речных экосистем (на примере реки Обь) // Мир науки, культуры, образования. 2009. № 5(17). С. 11–13.

Эйрих С.С. Ртуть в воде и донных отложениях реки Иртыш: проблемы и достоверность ее определения и оценок загрязнения // Известия Алтайского отделения Русского географического общества. 2024. № 3(74). С. 71–99. doi: 10.24412/2410-1192-2024-17406.

International Atomic Energy Agency, Quantification of Radionuclide Transfers in Terrestrial and Freshwater Environments for Radiological Assessments, IAEA-TECDOC-1616. IAEA, Vienna (2009).

References

Ajdarhanova A.K., Larionova N.V., Mamyrbaeva A.S., Svetaceva U.V., Kumishanova S.B. Sovremennye urovni radionuklidnogo zagrâzneniâ prirodnyh ozer territorii Semipalatinskogo ispytatel'nogo poligona [Modern levels of radionuclide contamination of natural lakes of the territory of the Semipalatinsk test ground (Okt. 3–4, 2019)]. Obninsk: VNIIRAE Publishing House, 2019. P. 114–117. (in Russian).

Aleksakhin R.M. Yadernaya energiya i biosfera [Nuclear energy and the biosphere]. M.: Energoizdat, 1982, 216 p. (in Russian).

Bahur A.E., Manuilova L.I., Zuev D.M., Ivanova T.M., Truhina T.P. Metody opredeleniâ izotopov plutoniâ v radioékológii [Methods for the Determination of Plutonium Isotopes in Radioecology] // ASRI. 2003. No. 2(33). P. 2–8. (in Russian).

GOST 17.1.5.01-80. Nature Protection. Hydrosphere. General Requirements for Sampling Bottom Sediments of Water Bodies for Pollution Analysis. Approved 01.01.1982. (in Russian).

GOST R 59024-2020. Water. General Requirements for Sampling. Approved 01.01.2023. (in Russian).

Zaykova N.I., Demina I.V. Otsenka ekologicheskogo sostoyaniya nekotorykh vodnykh ob'yektov Altayskogo kraya [Assessment of the ecological state of some water bodies in the Altai Krai]. Agrarian Science for Agriculture: Proceedings of the XV International Scientific-Practical

Conference (March 12–13, 2020). Books 1. Barnaul: Altai State Agrarian University, 2020. P. 361–364. (in Russian).

Kasimov N.S., Kosheleva N.Ye., Popovicheva O.B., Vlasov D.V., Shinkareva G.L., Yerina O.N., Chalov S.R., Chichayeva M.A., Kovach R.G., Zavgorodnyaya Yu.A., Lychagin M.Yu. Zagryazneniye Moskovskogo megapolisa: monitoring khimicheskogo sostava mikrochastits v sisteme «atmosfera – sneg – dorozhnaya pyl' – pochvy – poverkhnostnyye vody» [Pollution of the Moscow metropolis: monitoring the chemical composition of microparticles in the system “atmosphere – snow – road dust – soils – surface waters”] // *Meteorologiya i gidrologiya* [Meteorology and Hydrology]. 2023. No 5. P. 5–19. (in Russian). doi: 10.52002/0130-2906-2023-5-5-19

Kovrigin A.O. Otdalennyye posledstviya pervogo yadernogo ispytaniya na Semipalatinskoy poligona dlya naseleniya Altayskogo kraya [Remote consequences of the first nuclear test at the Semipalatinsk test site for the population of the Altai Krai] // *Radioekologiya XXI veka: Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Radioecology of the 21st century: Mat. of the International scientific and practical conference (May 14–16, 2012)]. Krasnoyarsk: Siberian Federal University, 2012. P. 135–140. (in Russian).

Kolpakova M.N., Borzenko S.V., Isupov V.P., Shatskaya S.S., Shvartsev S.L. Gidrokhiimiya i geokhimicheskaya tipizatsiya solenikh ozer stepnoy chasti Altayskogo kraya [Hydrochemistry and Geochemical Typification of Salt Lakes in the Steppe Part of the Altai Krai]. Voda: khimiya i ekologiya [Water: Chemistry and Ecology]. 2015. No. 1 (79). P. 11–16. (in Russian).

Kolyado I.B., Plugin S.V., Konovalov B.Yu. Posledstviya yadernykh ispytaniy na Semipalatinskoy poligone i novoye v rabote Altayskogo mediko-dozimetriceskogo registra [Consequences of nuclear tests at the Semipalatinsk test site and new developments in the work of the Altai Medical and Dosimetric Registry] // *Agrarian science – for agriculture: collection of articles*. Barnaul: AGAU Publishing House, 2016. In 3 books. Vol. 2. P. 296–297. (in Russian).

Leonova G.A., Bogus A.A., Bobrov V.A., Bycinskij V.A., Trofimova L.B., Malikov U.I. Ekologo-geohimicheskaya ocenka sol'nykh ozer Altayskogo kraia [Ecological and Geochemical Assessment of Salt Lakes in the Altai Krai] // *Geografiya i prirodnyye resursy* [Geography and Natural Resources]. 2007. No. 1. P. 51–59. (in Russian).

Leonova G.A. Otsenka sovremennogo ekologicheskogo sostoyaniya ozer Altayskogo kraia po biogeokhimicheskim kriteriyam [Assessment of the Current Ecological State of lakes in the Altai Krai based on biogeochemical criteria] // *Elektronnyy zhurnal Issledovano v Rossii* [Electronic Journal Investigated in Russia]. 2005. P. 954–972. (in Russian).

Maminhin S.V., Pelevina I.I., Levina S.G., Akleev A.V. Sovremennaya radioekologicheskaya xarakteristika ozernykh ekosistem Vostochno-Ural'skogo radioaktivnogo sleda. M.: Izd-vo «Radecon»; Izd-vo Chelyabinskogo gos. ped. un-ta, 2010. 238 s. [Modern Radioecological Characteristics of Lake Ecosystems in the East Ural Radioactive Trace. Moscow: Publishing House «Radecon»; Publishing House of the Chelyabinsk State Pedagogical University, 2010. 238 p.] // *Radiacionnaya biologiya. Radioekologiya* [Radiation Biology. Radioecology]. 2010. Vol. 50, no. 5. P. 599. (in Russian).

Marey A.N., Barkhudarov R.M., Knizhnikov V.A., Borisov B.K., Petukhova E.V., Novikova N.Ya Global'nyye vypadeniya produktov yadernykh vzryvov kak faktor oblucheniya cheloveka [Global fallout of nuclear explosion products as a factor in human irradiation]. Moscow: Atomizdat, 1980. 186 p. (in Russian).

Environmental Monitoring Materials of OJSC «Sibir-Polimetaly» for 2011–2016. Rubtsovsk Concentration Plant. (in Russian).

Environmental Monitoring Materials of OJSC «Sibir-Polimetaly» for 2015–2016. Korbakhi Polymetallic Mine. (in Russian).

Metodicheskie ukazaniya po opredeleniyu izotopov plutoniya v pochvah i rasteniyah [Methodological Guidelines for Determination of Plutonium Isotopes in Soils and Plants]. Moscow: Soyuzselchozhimiya, 1991. 156 p. (in Russian).

Mikhaylov N.N. Zagryazneniye donnykh osadkov nekotorykh ozer Altayskogo kraya // Yadernyye ispytaniya. Okruzhayushchaya sreda i zdorov'ye naseleniya Altayskogo kraya: materialy nauchnykh issledovaniy [Environment and health of the population of the Altai Krai: materials of scientific research]. Volume II. Book 2. Barnaul: 1993. P. 28–44. (in Russian).

MR 2.6.1.0094-14. Radiohimicheskoe opredelenie udel'noj aktivnosti ceziya-137 i stronciya-90 v probah pishchevoj produkcii, pochvy, drugih ob'ektov okruzhayushchej sredy i bioprobah [Radiochemical determination of the specific activity of cesium-137 and strontium-90 in food products, soil, other environmental samples, and biological samples]. Moscow: Federal Center for Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor, 2014. 43 p. (in Russian).

Orlov P.M., Sychev V.G., Akanova N.I. Radiatsionnyy rezhim pochv sel'skokhozyaystvennykh ugodiy Sibiri v usloviyakh razlichnoy intensivnosti vneseniya udobreniy i dlitel'nogo posledeystviya khimicheskoy melioratsii [Radiation regime of soils of agricultural lands in Siberia under conditions of different intensity of fertilizer application and long-term aftereffects of chemical melioration] // Innovatsii i prodovol'stvennaya bezopasnost' [Innovations and food security]. 2019. No. 2 (24). P. 112–118. (in Russian).

Papina T.S. Transport i osobennosti raspredeleniya tyazhelykh metallov v ryadu: voda – vzveshennoe veshchestvo – donny'e otlozheniya rechnykh ekosistem. Analiticheskix obzor [Transport and distribution of heavy metals in the water-suspended matter-bottom sediments of river ecosystems. Analytical review]. Novosibirsk, 2001. No. 62. P. 1–58. (in Russian).

PND F 14.1:2.253-09. Metodika izmerenij massovoj koncentracii alyuminiya, bariya, berilliya, vanadiya, zheleza, kadmiya, kobal'ta, litiya, marganca, medi, molibdena, mysh'yaka, nikelya, svinca, seleny, serebra, stronciya, titana, hroma, cinka v probah prirodnykh i stochnykh vod atomno-absorbtsionnym metodom s elektrotermicheskoy atomizatsiej s ispol'zovaniem atomno-absorbtsionnogo spektrometra modifikacij MGA-915, MGA-915M, MGA-915MD [Measurement Procedure for Mass Concentration of Aluminum, Barium, Beryllium, Vanadium, Iron, Cadmium, Cobalt, Lithium, Manganese, Copper, Molybdenum, Arsenic, Nickel, Lead, Selenium, Silver, Strontium, Titanium, Chromium, Zinc in Samples of Natural and Waste Waters by Atomic Absorption Spectrometry with Electrothermal Atomization Using Atomic

Absorption Spectrometer Modifications MGA-915, MGA-915M, MGA-915MD]. Approved 02.12.2013. (in Russian).

Prikaz Ministerstva prirodnih resursov i ekologii Rossijskoj Federacii ot 24.02.2014 g. №112 «Ob utverzhdenii Metodicheskikh ukazaniy po osushchestvleniyu gosudarstvennogo monitoringa vodnyh ob'ektov v chasti organizacii i provedeniya nablyudenij za soderzhaniiem zagryaznyayushchih veshchestv v donnyh otlozheniyah vodnyh ob'ektov» [Order of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation dated February 24, 2014 No. 112 «On Approval of Methodological Guidelines for the Implementation of State Monitoring of Water Bodies Regarding the Organization and Conduct of Observations on the Content of Pollutants in Bottom Sediments of Water Bodies»]. (in Russian).

Prikaz Ministerstva sel'skogo hozyajstva Rossijskoj Federacii ot 13 dekabrya 2016 goda № 552 «Ob utverzhdenii normativov kachestva vody vodnyh ob'ektov rybohozyajstvennogo znacheniya, v tom chisle normativov predel'no dopustimyh koncentracij vrednyh veshchestv v vodah vodnyh ob'ektov rybohozyajstvennogo znacheniya» [Order of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation of December 13, 2016 N 552 «On approval of water quality standards for water bodies of fishery importance, including standards for maximum permissible concentrations of harmful substances in the waters of water bodies of fishery importance»]. (in Russian).

Rozhdestvenskaya T.A., Puzanov A.V., Troshkova I.A., Gorbachev I.V., Kirsta Yu.B., Yel'chinina O.A., Peleneva M.P. Yestestvennyye i iskusstvennyye radionuklidy v pochvakh, rasteniyakh i sel'skokhozyaystvennoy produkcii Altayskogo kraya [Natural and artificial radionuclides in soils, plants and agricultural products of the Altai Krai] // Izvestiya Altayskogo otdeleniya Russkogo geograficheskogo obshchestva [Bulletin of the Altai Branch of the Russian Geographical Society]. 2019. No. 3 (54). P. 126–133. (in Russian).

Rybkina I.D., Stoyashcheva N.V. Obosnovaniye ekologicheskoy reabilitatsii vodnykh ob'ektov Altayskogo kraya [Substantiation of ecological rehabilitation of water bodies in the Altai Krai] // Vodoочистка. Vodopodgotovka. Vodosnabzheniye. [Water Treatment. Water Preparation. Water Supply]. 2014. No. 2(74). P. 4–12. (in Russian).

SanPiN 2.3.2.1078-01. Gigienicheskie trebovaniya bezopasnosti i pishchevoj cennosti pishchevyh produktov [Hygienic Safety and Nutritional Value Requirements for Food Products]. Approved 06.11.2001. (in Russian).

SanPiN 2.6.1.2523-09. Normy radiacionnoj bezopasnosti NRB-99/2009 [Radiation safety standards NRB-99/2009: sanitary rules and regulations]. Approved. 07.07.2009. (in Russian).

SanPiN 1.2.3685-21. Gigienicheskie normativy i trebovaniya k obespecheniyu bezopasnosti i (ili) bezvrednosti dlya cheloveka faktorov sredy obitaniya [Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of environmental factors for humans]. Approved. 01/28/2021. (in Russian).

Savichev O.G. Gidrokhimicheskiy stok rek basseyna Sredney Obi i yego prirodno-antropogennaya transformatsiya [Hydrochemical Runoff of Rivers in the Middle Ob Basin

and Its Natural-Anthropogenic Transformation: specialty]: Summary of DSc (Dr. of Geogr.). Barnaul, 2005. 45 p. (in Russian).

Skripko V.V., Platonova S.G. Ekologo-geomorfologicheskoye sostoyaniye rechnykh basseynov tret'yego poryadka Priobskogo plato (zapadnaya Sibir') [Proceedings of the Altai Branch of the Russian Geographical Society] // Izvestiya Altayskogo otdeleniya Russkogo geograficheskogo obshchestva [Bulletin of the Altai Branch of the Russian Geographical Society]. 2020. No. 2 (57). P. 21–32. (in Russian). doi: 10.24411/2410-1192-2020-15702

Strakhovenko V.D., Shcherbov B.L., Malikova I.N. Sravnitel'nyy analiz raspredeleniya kontsentratsiy ekologicheskikh opasnykh elementov v komponentakh okruzhayushchey sredy raznykh landshaftov Sibiri [Comparative Analysis of the Distribution of Concentrations of Environmentally Hazardous Elements in Environmental Components of Different Landscapes in Siberia] // Ekologicheskij monitoring okruzhayushchey sredy: Mat. Mezhdunar. konf. shkoly molodykh uchenykh (3–6 okt. 2003 g.) [Environmental Monitoring: Proceed. int. conf. School for Young Scientists (Oct. 3–6, 2016)]. Iss. 1. Novosibirsk: Publishing Center of NSAU «Zolotoy Kolos», 2016. P. 123–140. (in Russian).

Strakhovenko V.D. Urovni koncentraciy elementov i sovremennyye skorosti osadkonakopleniya v sapropelevykh zalezhash malykh ozer taezhnoy zony, territorial'no raspolozhennykh v raznykh rajonakh Sibiri i na yugo-vostochnoy okraine Baltijskogo shhita [Concentration levels of elements and modern sedimentation rates in sapropel deposits of small lakes in the taiga zone, located in different regions of Siberia and on the southeastern edge of the Baltic Shield] // Vodny'e i ekologicheskie problemy Sibiri i Central'noj Azii: Mat. IV Vseross. konf. (29 avg.–3 sent. 2022 g.) [Water and Environmental Issues in Siberia and Central Asia: Proceed. IV Int-Russian conf. (Aug. 29– Sept. 3, 2022)]. Vol. 2. Barnaul: Five Plus LLC, 2022. P. 140–148. (in Russian).

Temerev S.V. Ekologo-khimicheskaya otsenka sostoyaniya vodnykh sistem basseyna Obi [Ecological and Chemical Assessment of the State of Water Systems in the Ob Basin]: Summary of DSc (Dr. of Chem.). Moscow, 2008. 50 p. (in Russian).

Tretyakova E.I., Papina T.S. Osobennosti raspredeleniya tyazhelykh metallov po razlichnym komponentam vodnykh ekosistem basseyna Obi v zavisimosti ot tipa mineralizatsii [Features of Heavy Metal Distribution Among Various Components of Aquatic Ecosystems in the Ob Basin Depending on Mineralization Type] // Vodnoye khozyaystvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravleniye [Water Management of Russia: Problems, Technologies, Management]. 2004. Vol. 6, no. 2. P. 97–104. (in Russian).

Tryapitsyna G.A. Reaktsii biotsenozov vodnykh ekosistem na khronicheskoye radiatsionnoye vozdeystviye [Reactions of biocenoses of aquatic ecosystems to chronic radiation exposure]: DSc (Dr. of Biol.) thesis. Moscow, 2011. 225 p. (in Russian).

Khabarov A.S., Dergachev V.S., Shoykhet YA.N., Grishina L.V., Sennikova Yu.A., Kozlov V.A., Sennikov S.V. Immunoregulyatornyye tsitokiny u potomkov vtorogo pokoleniya lits, podvergnutyykh radiatsionnomu vozdeystviyu na slede yadernogo vzryva

Semipalatinskogo poligona, stradayushchikh immunoindikatornymi boleznyami LOR-organov [Immunoregulatory cytokines in the second generation descendants of persons exposed to radiation in the wake of the nuclear explosion at the Semipalatinsk test site, suffering from immunoindicator diseases of the ENT organs] // Byulleten' Sibirskogo otdeleniya Rossijskoj akademii medicinskih nauk [Bulletin of the Siberian Branch of the Russian Academy of Medical Sciences]. 2003. Vol. 23, no 3. P. 97–101. (in Russian).

Shoykhet Y.N., Kiselev V.I., Loborev V.M. Radiatsionnoye vozdeystviye na naseleniye Altayskogo kraia yadernykh ispytaniy na Semipalatinskom poligone [Radiation impact on the population of the Altai Krai of nuclear tests at the Semipalatinsk test site]. Barnaul: Publishing house of the Research Institute of the Russian Medical Institute, 1999. 346 p.

Eyrikh A.N., Tretyakova E.I., Papina T.S. Analiticheskiy kontrol' tyazhelykh metallov v donnykh otlozheniyakh rechnykh ekosistem (na primere reki Ob') [Analytical Control of Heavy Metals in Bottom Sediments of River Ecosystems (Exemplified by the Ob River)] // Mir nauki, kul'tury, obrazovaniya [The world of science, culture and education]. 2009. No. 5(17). P. 11–13. (in Russian).

Eyrikh S.S. Rtut' v vode i donnykh otlozheniyakh reki Irtysh: problemy i dostovernost' yeye opredeleniya i otsenok zagryazneniya [Mercury in Water and Bottom Sediments of the Irtysh River: Problems and Reliability of Its Determination and Pollution Assessment] // Izvestiya Altayskogo Otdeleniya Russkogo Geograficheskogo Obshchestva [Bulletin of the Altai Branch of the Russian Geographical Society]. 2024. No. 3(74). P. 71–99. (in Russian). doi: 10.24412/2410-1192-2024-17406

International Atomic Energy Agency, Quantification of Radionuclide Transfers in Terrestrial and Freshwater Environments for Radiological Assessments, IAEA-TECDOC-1616, IAEA, Vienna (2009).

DEVELOPMENT OF A SYSTEM OF ECOLOGICAL AND GEOCHEMICAL MONITORING OF WATER BODIES IN THE SOUTH-WESTERN PART OF ALTAI KRAI

O.Yu. Korovina, V.A. Somin

Polzunov Altai State Technical University, Barnaul,

E-mail: korano@mail.ru, vladimir_somin@mail.ru

The aim of the work is to develop a system of geochemical monitoring of surface water bodies in the south-western part of Altai Krai based on observations of chemical and radiation parameters of the aquatic environment and bottom sediments. It is based on the data obtained in the study area from 2020 to 2024 to determine the concentrations of ions of a number of heavy metals in bottom sediments and water samples, as well as the content of natural (^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th) and artificial (^{241}Am , ^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$) radionuclides in bottom sediments. As a result, the scheme of ecological monitoring of water bodies in the south-western part of

Altai Krai is proposed, and recommendations are given to ensure hydroecological safety of the territory, economically efficient and environmentally safe water use in this territory.

Keywords: environmental monitoring; surface waters; bottom sediments; heavy metals; radionuclides.

Received March 9, 2025. Accepted: June 6, 2025

Сведения об авторах

Коровина Оксана Юрьевна – аспирант Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова. Россия, 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, д. 46. ORCID: 0000-0003-1822-0987. E-mail: korano@mail.ru.

Сомин Владимир Александрович – доктор технических наук, доцент Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, заведующий международной кафедрой ЮНЕСКО «Инженерная экология». Россия, 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, д. 46. ORCID: 0000-0003-3276-5174. E-mail: vladimir_somin@mail.ru.

Information about authors

Korovina Oksana Yuryevna – postgraduate student of the Polzunov Altai State Technical University. 46, prospect Lenina, 656038 Barnaul, Russia. ORCID: 0000-0003-1822-0987. E-mail: korano@mail.ru.

Somin Vladimir Aleksandrovich – Dr Sc. in Technical, Associate Professor, Head of UNESCO International Department of Environmental Engineering of the Polzunov Altai State Technical University. ORCID: 0000-0003-3276-5174. E-mail: vladimir_somin@mail.ru.