

УДК 556.114(6+679)

DOI: 10.46698/VNC.2024.37.37.017

Оригинальная статья

Влияет ли добыча полезных ископаемых открытым способом на загрязнение речных экосистем тяжелыми металлами и природным радионуклидом Po-210 (исследования на примере реки Фатала, Гвинейская Республика)?

Н.Ю. Мирзоева¹, В.Ю. Проскурнин¹, И. Кейта², А.И.П. Диалло²,
Р.В. Горбунов¹, А.А. Коротков¹, Т.Ю. Горбунова¹, М.О. Вахрушев¹,
Н.Н. Терещенко¹

¹ Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН,
Россия, 299011, г. Севастополь, пр. Нахимова, 2,
e-mail: gorbunovaty@ibss-ras.ru;

² Центр морских и прибрежных исследований Гвинеи,
Гвинейская Республика, г. Конакри

Статья поступила: 12.10.2024, доработана: 31.10.2024, принята к публикации: 03.11.2024

Резюме: Актуальность работы. Оценка влияния добычи бокситовых руд открытым способом в Гвинейской Республике на уровень загрязнения тяжелыми металлами и природным радионуклидом ²¹⁰Po экосистемы реки Фатала проводится впервые, что определяет актуальность выполняемых исследований. **Цель работы.** Оценка загрязнения тяжелыми металлами и ²¹⁰Po компонентов экосистемы реки Фатала (Гвинейская Республика) в качестве примера для определения влияния добычи полезных ископаемых открытым способом на экологическое состояние рек добывающих стран. **Методы и методология исследования.** Определяли концентрации 16 элементов (Be, Al, V, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Mo, Ag, Cd, Sb, Tl, Pb) методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС) в соответствии с ГОСТ Р 56219-2014 на масс-спектрометре Plasma Quant MSeLite (AnalytikJena) на базе центра коллективного пользования «Спектрометрия и хроматография» ФИЦ ИнБЮМ. Для выделения ²¹⁰Po из отобранных образцов применяли радиохимические методы. Счетные образцы ²¹⁰Po измеряли с помощью α -спектрометрического комплекса «ALPHADuo» ORTEC-Ametek (США). Химический выход полония составлял 80–90 %. Погрешность измерения не превышала 15 %. **Результаты работы.** Впервые получены данные по загрязнению реки Фатала (Гвинейская Республика) тяжелыми металлами и природным радионуклидом ²¹⁰Po. Определено, что в воде реки Фатала из всех исследуемых элементов превышение ПДК для воды хозяйственно-питьевого назначения в отношении ТМ наблюдалось только для Cd. При этом удельная активность ²¹⁰Po в воде реки была на три порядка ниже уровня вмешательства (УВ=0,11 Бк/кг) для питьевой воды, рекомендованного Нормами радиационной безопасности РФ. Используя эти исследования в качестве примера для определения влияния добычи полезных ископаемых открытым способом на экологическое состояние рек добывающих стран получено, что данные виды загрязнителей (ТМ и ²¹⁰Po) не являются ключевыми, влияющими на качество вод в реках, протекающих по территории с открытым способом добычи полезных ископаемых.

Ключевые слова: тяжелые металлы, полоний-210, загрязнение, река Фатала, Гвинейская Республика, добыча полезных ископаемых открытым способом.

Благодарности: Авторы сердечно благодарят сотрудников CEREMAC-G (г. Конакри, Гвинейская Республика) Абдула Ибрагим Камара и Бобукар Байло в бесценной помощи по отбору проб вдоль русла реки Фатала (Гвинейская Республика). Исследования проведены при финансировании Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Гранта в области науки № 075-15-2023-592 «Разработка технологии оценки антропогенного воздействия на бассейновые экосистемы тропической зоны для выработки рекомендаций по их охране и оптимизации природопользования на примере бассейна реки Фатала (Гвинейская Республика)».

Для цитирования: Мирзоева Н.Ю., Проскурнин В.Ю., Кейта И., Диалло А.И.П., Горбунов Р.В., Коротков А.А., Горбунова Т.Ю., Вахрушев М.О., Терещенко Н.Н. Влияет ли добыча полезных ископаемых открытым способом на загрязнение речных экосистем тяжелыми металлами и природным радионуклидом Po-210 (исследования на примере реки Фатала, Гвинейская Республика)? *Геология и геофизика Юга России*. 2024. 14(4): 206-217. DOI: 10.46698/VNC.2024.37.37.017

GEOECOLOGY

DOI: 10.46698/VNC.2024.37.37.017

Original paper

Does open-pit mining affect the pollution of river ecosystems with heavy metals and the natural radionuclide Po-210 (case study of the Fatala River, Republic of Guinea)?

N.Yu. Mirzoeva¹, V.Yu. Proskurnin¹, I. Keita², A.I.P. Diallo²,
R.V. Gorbunov¹, A.A. Korotkov¹, T.Yu. Gorbunova¹, M.O. Vakhrushev¹,
N.N. Tereshchenko¹

¹ A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas, Russian Academy of Sciences,
2 Nakhimov Ave., Sevastopol 299011, Russian Federation,
e-mail: gorbunovatyu@ibss-ras.ru;

² Marine and Coastal Research Center of Guinea (CEREMAC-G),
Conakry, Republic of Guinea

Received: 12.10.2024, revised: 31.10.2024, accepted: 03.11.2024

Abstract: Relevance. The impact of open-pit bauxite mining in the Republic of Guinea on the level of pollution by heavy metals and the natural radionuclide ²¹⁰Po of the Fatala River ecosystem was assessed for the first time, which determines the relevance of the studies. **Aim.** Assessment of pollution by heavy metals and ²¹⁰Po of the components of the Fatala River ecosystem (Republic of Guinea) as an example for determining the impact of open-pit mining on the ecological state of the rivers of the producing countries. **Research methods and methodology.** Concentrations of 16 elements (Be, Al, V, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Mo, Ag, Cd, Sb, Tl, Pb) were determined by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) in accordance with GOST R 56219-2014 on a Plasma Quant MSElite mass spectrometer (AnalytikJena) at the Shared Use Center "Spectrometry and Chromatography" of the IBSS. Radiochemical methods were used to determine ²¹⁰Po from the selected samples. Measurement of ²¹⁰Po specific activity in the samples were with using the α -spectrometric complex "ALPHADuo" ORTEC-Ametek (USA). The chemical yield of polonium was 80–90%. The measurement error did not exceed 15%. **Results.** For the first time, these results were obtained on the contamination of the Fatala River

(Republic of Guinea) with heavy metals and the natural radionuclide ^{210}Po . It was determined that in the water of the Fatale River, of all the elements studied, the excess of the MAC for household and drinking water in relation to HM was observed only for Cd. At the same time, the specific activity of ^{210}Po in the river water was three orders of magnitude lower than the intervention level ($IL = 0.11 \text{ Bq/kg}$) for drinking water recommended by the Radiation Safety Standards of the Russian Federation. Using these studies as an example to determine the impact of open-pit mining on the ecological state of the rivers of the producing countries, it was found that these types of pollutants (HM and ^{210}Po) are not major pollutants, affecting the quality of water in the rivers flowing through the territory with open-pit mining.

Keywords: heavy metals, polonium-210, pollution, the Fatale River, Republic of Guinea, open-pit mining.

Acknowledgments: *The authors sincerely thank the staff of CEREMAC-G (Conakry, Republic of Guinea), Abdula Ibrahim Camara and Boboukhar Baylo for their invaluable assistance in collecting samples along the Fatale River (Republic of Guinea). The research was carried out with funding from the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of the Grant in the field of science 075-15-2023-592 "Development of a technology for assessing the anthropogenic impact on tropical basin ecosystems to develop recommendations for their protection and optimization of nature management using the example of the Fatale River basin (Republic of Guinea)".*

For citation: Mirzoeva N.Yu., Proskurnin V.Yu., Keita I., Diallo A.I.P., Gorbunov R.V., Korotkov A.A., Gorbunova T.Yu., Vakhrushev M.O., Tereshchenko N.N. Does open-pit mining affect the pollution of river ecosystems with heavy metals and the natural radionuclide Po-210 (case study of the Fatale River, Republic of Guinea)? *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.). 2024. 14(4): 206-217. DOI: 10.46698/VNC.2024.37.37.017

Введение

Для жизнедеятельности и существования человеческого общества на нашей планете добыча полезных ископаемых является одной из важнейших отраслей промышленности. Несмотря на интенсивное развитие технологий, одним из наиболее распространенных способов извлечения полезных ископаемых из недр Земли остается их добыча открытым способом, преимущественно с помощью карьеров [Рерих, 2019]. В сравнении с шахтным способом открытая добыча полезных ископаемых имеет ряд преимуществ: более низкая стоимость, более короткий срок выполнения работ, более безопасные условия труда, высокая эффективность работ (возможность использования тяжелой техники). Все это способствует применению в современный период открытого способа добычи полезных ископаемых горнодобывающими предприятиями различных стран, включая Российскую Федерацию (РФ). Так, в 2023 г. с учётом горно-геологических и горнотехнических условий залегания рудных зон специалисты предложили открытый способ разработки золотосодержащего месторождения имени Б.К. Михайлова в Кабардино-Балкарии (URL: <https://rg.ru/gazeta/skfo/2023/06/15.html>). Однако среди всех методов добычи полезных ископаемых именно открытый способ наносит самый большой ущерб окружающей среде, поднимая проблему «геологической деятельности» человека [Вернадский, 2012; Рерих, 2019; Kolie et al., 2019; Chen et al., 2022; Diallo, 2022].

Для принятия мер по предотвращению экологических проблем при открытой добыче полезных ископаемых и обеспечения устойчивого развития территорий РФ следует учитывать опыт других стран, например, Гвинейской Республики (Африка), где добыча полезных ископаемых составляет от 12 до 15% ВВП [Traoré et al., 2014; Oshionebo, 2020; Камара, Петровская, 2017]. Гвинейская Республика является самой богатой в мире по запасам бокситов (более 40 млрд т). Поскольку залежи руды в месторождениях Гвинеи находятся близко к поверхно-

сти, добыча бокситов ведется открытым способом [Diallo, 2019; Widder et al., 2019; Mamedov et al., 2020; Wilhelm, Maconachie, 2020; Kolie et al., 2021; Sanoh et al., 2022]. Оценка влияния добычи бокситовых руд открытым способом в Гвинейской Республике на уровень загрязнения тяжелыми металлами и природным радионуклидом ^{210}Po экосистемы реки Фатала, воды которой на всем ее протяжении имеют питьевое и хозяйственное назначение для местного населения Гвинеи, проводится впервые, что определяет безусловную актуальность выполняемой работы. Все вышесказанное определило цель данной научной работы.

Цель исследований заключалась в использовании оценки загрязнения тяжелыми металлами и ^{210}Po компонентов экосистемы реки Фатала (Гвинейская Республика) в качестве примера для определения влияния добычи полезных ископаемых открытым способом на экологическое состояние рек добывающих стран.

Материалы и методы исследований

Пробы на реке Фатала (Гвинейская Республика) отбирались во время совместной международной экспедиции ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН» (ФИЦ ИнБЮМ), и Научно-исследовательского центра CEREMAC-G, Гвинейская Республика, г. Конакри в период сухого сезона с 29.10.2023 г. по 30.11.2023 г. На рисунке 1 представлены станции отбора проб на реке Фатала (Гвинейская Республика).

Для определения **микроэлементов и тяжелых металлов (ТМ)** обработку проб воды проводили в лабораторных условиях в соответствии с РД 52.10.243-92 (Руководство по химическому анализу морских вод. Дата введения: 1993-07-01). Отдельно определяли растворенные и взвешенные формы элементов, для этого их разделяли методом ультрафильтрации через мембранные фильтры (ФМНЦ-0,45). В фильтрате определяли растворенные формы элементов после их экстракционного концентрирования четырёххлористым углеродом в виде диэтилдитиокарбаматов. Из проб взвесей и донных отложений получали кислотные вытяжки в соответствии с ПНД Ф 16.2.2:2.3.71-2011.

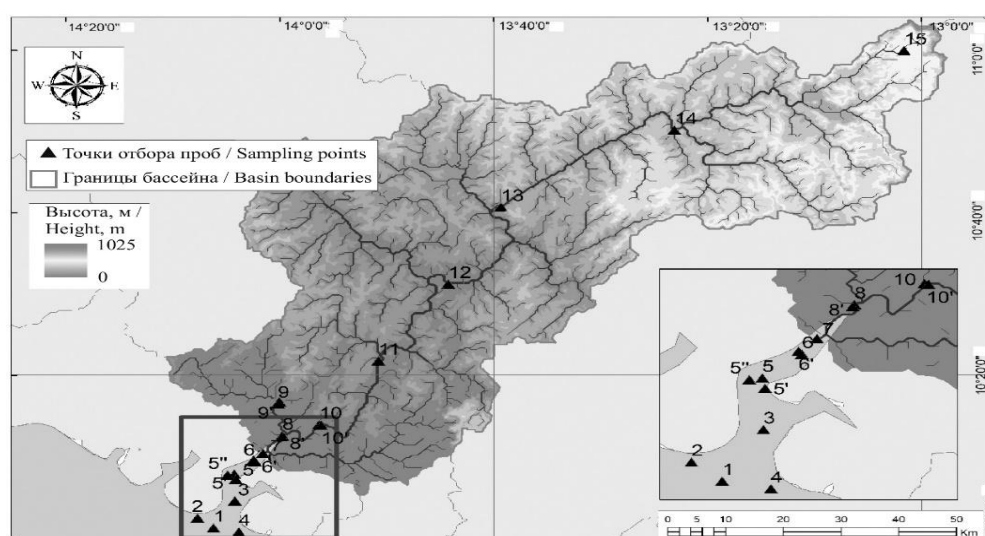


Рис. 1. Карта-схема и станции отбора проб на реке Фатала (Гвинейская Республика), экспедиция 29.10.2023–30.11.2023 гг. /

Fig. 1. Schematic map and sampling stations on the Fouta River (Republic of Guinea), expedition 29.10.2023–30.11.2023

В полученных после пробоподготовки кислотных растворах определяли концентрации 16 элементов (Be, Al, V, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Mo, Ag, Cd, Sb, Tl, Pb) методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС), (ГОСТ Р 56219-2014, 2015) на масс-спектрометре Plasma Quant MSELite (AnalytikJena) на базе научно-образовательного центра коллективного пользования «Спектрометрия и хроматография» ФИЦ ИнБЮМ (Plasma Quant. User's Manual. Analytik Jena AG, 2014. 143 p.).

Ввиду отсутствия локального природоохранного и санитарного законодательства в Гвинейской Республике качество вод р. Фатала оценивали по нормативам, установленным в РФ: как водного объекта хозяйственно-питьевого назначения по величинам ПДК_{хоз-пит} (СанПиН-1.2.3685-21), как объекта рыбохозяйственного значения по ПДК_{р-хоз} (Приказ Минсельхоза РФ N 552 от 13.12.2016).

Для выделения ^{210}Po применяли радиохимические методы [Chen et al., 1998; Mirzoeva et al., 2020]. ^{210}Po , находившийся в растворенной фазе, извлекали соосаждением с Co-APDC (пирролидин-дитиокарбамат аммония) и последующей фильтрацией. Осадки, как и другие пробы, отобранные для анализа, обрабатывали концентрированными кислотами (HCl, HNO₃) и 30% H₂O₂ при нагревании в течение необходимого для вскрытия пробы времени (от 1,5 до 5 часов). Раствор выпаривали, затем переводили в разбавленный солянокислый раствор (0,3–0,5 моль/л HCl). Присутствующие в растворе ионы Fe³⁺, мешающие спонтанному осаждению полония переводили в Fe²⁺, добавлением гидроксилamina гидрохлорида (NH₂OH·HCl) при нагревании. Затем проводили спонтанное осаждение полония на серебряный диск в течение 3,5–4 часов при температуре 85–90°C. Химический выход полония составлял 80–90 %. Изготовленные счетные образцы измеряли с помощью α -спектрометрического комплекса «ALPHADuo» ORTEC-Ametek (США). Удельную активность ^{210}Po в пробах и погрешность определения (SD) рассчитывали в соответствии с [Chen et al., 1998], результаты выражали в Бк/кг сухой массы для донных отложений и взвеси, в мБк/л – для растворенной части. Погрешность измерения не превышала 15%.

Было отобрано 15 объемов воды по 1 л для определения тяжелых металлов, 9 объемов по 10 л для определения радионуклида ^{210}Po . 15 проб воды для определения ТМ и 12 проб воды для определения ^{210}Po было обработано для определения содержания исследуемых элементов во взвешенном веществе (ВВ). Также было отобрано 20 проб донных отложений.

Результаты и обсуждение

Сводные данные о качестве вод, в отношении содержания в них растворенных форм ТМ, р. Фатала как объекта хозяйственно-питьевого назначения и рыбохозяйственного значения приведены соответственно на рисунках 2 и 3.

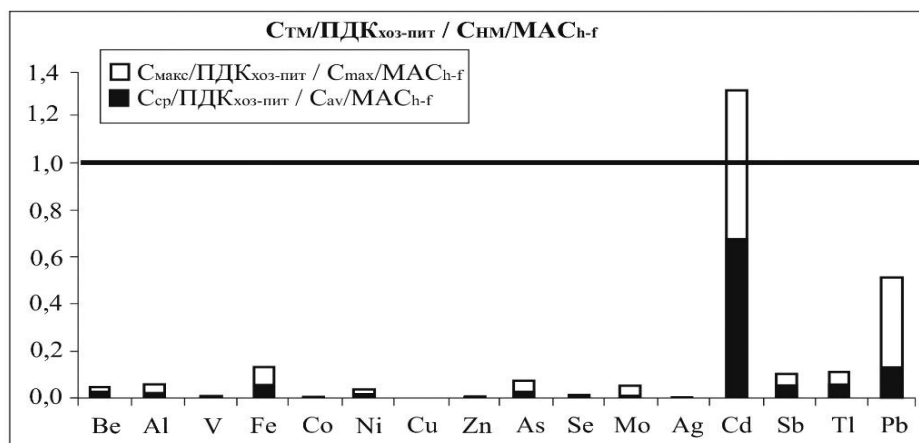


Рис. 2. Средние и максимальные концентрации определявшихся ТМ в воде р. Фатала, нормированные по ПДК_{хо3-пит} (СанПиН-1.2.3685-21) /

Fig. 2. Average and maximum concentrations of determined HM in the water of the Fatala River; standardized according to the MAC of household and food (SanRul&In-1.2.3685-21)

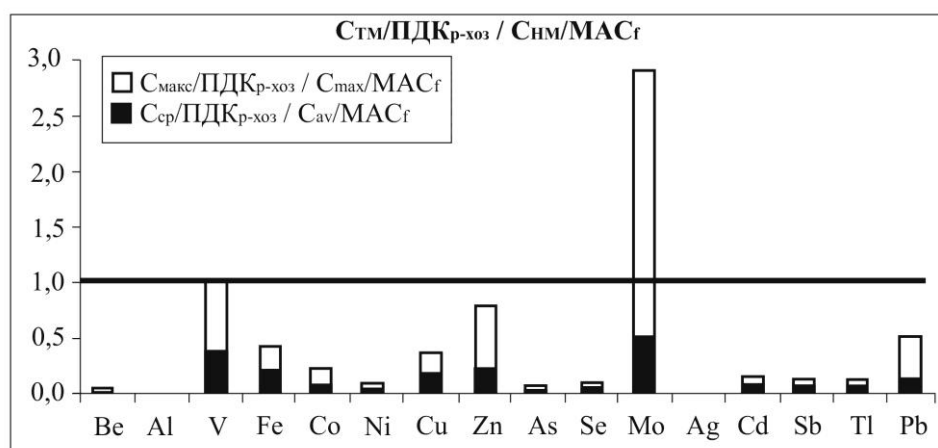


Рис. 3. Средние и максимальные концентрации определявшихся ТМ в воде р. Фатала, нормированные по ПДК_{р-хо3} (Приказ Минсельхоза РФ N 552 от 13.12.2016) /

Fig. 3. Average and maximum concentrations of determined HM in the water of the Fatala River; standardized according to the MAC of fishery (Order of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation No. 552 dated 13.12.2016)

В целом, ситуация в отношении изученных ТМ в водах р. Фатала была благоприятной. Исключение составили только концентрации Cd в воде реки, которые на 4 из 15 станций превышали ПДК_{хо3-пит} (Cd) на 10 ÷ 33 %. Географически станции с повышенными концентрациями Cd были сосредоточены в двух районах. Первый был приурочен к относительно крупному г. Боффа, в 2 км выше которого по течению реки расположен грузовой порт и наиболее вероятным источником повышенного содержания Cd является деятельность порта, связанная, прежде всего, с перевалкой бокситов и движением крупнотоннажных судов. Второй район находится в центральной части реки, где отсутствует интенсивная антропогенная деятельность, поэтому источник повышенных концентраций Cd здесь не очевиден.

Превышение величины ПДК_{р-хо3} в отношении Mo (рис. 3) фактически наблюдалось только на океанических станциях отбора, что, наиболее вероятно, отражает повышенный геохимический фон по этому элементу в морских водах по сравнению

с пресными, а национальные нормы РФ для водоемов рыбохозяйственного значения предназначены, прежде всего, для пресноводных акваторий. Вместе с тем, выявлена достаточно сильная прямая корреляционная связь между концентрациями растворенных форм Mo ($R^2 = 0,63$), V ($R^2 = 0,77$), Se ($R^2 = 0,71$), и соленостью воды. Таким образом, содержания Mo, V и Se можно рассматривать как маркеры осолонения вод устья реки и интенсивности водообмена низовья реки с океаном.

Одним из основных механизмов самоочищения вод водных объектов от консервативных загрязнителей (к которым относятся и ТМ) является их сорбционное связывание с взвешенными в воде веществами, последующим седиментационным депонированием в донные отложения. Интенсивность такого самоочищения определяется, с одной стороны, накопительной способностью ВВ в отношении элиминируемых веществ, а с другой – интенсивностью оборота ВВ в водном объекте. Аккумуляционная способность объектов водных экосистем, в т.ч. ВВ, количественно описывается величиной коэффициента накопления (K_n). При этом чем выше величины K_n в отношении отдельного элемента, тем более эффективно седиментационное самоочищение от него водной толщи, а чем K_n ниже, тем проще происходит ремобилизация этого элемента в более геохимически подвижную растворенную форму [Tereshchenko et al., 2024]. Результаты расчетов K_n взвесями вод р. Фатала представлены на рисунке 4. Максимальные K_n определены для Al ($n \cdot 10^8$) и Fe ($n \cdot 10^7$), минимальные для Sb, Se, Zn и Cd ($n \cdot 10^4$). Отмечено, что наибольший размах значений K_n был характерен для Ag, Mo, Sb и Cd, что наиболее вероятно определяется различием их биогеохимического поведения в соленых и пресных водах. Такие высокие величины K_n в отношении Al и Fe в водах р. Фатала, очевидно, связаны не только с их биогеохимическим поведением и установившимся физико-химическим сорбционным равновесием, но и наличием в составе взвесей бокситной пыли.

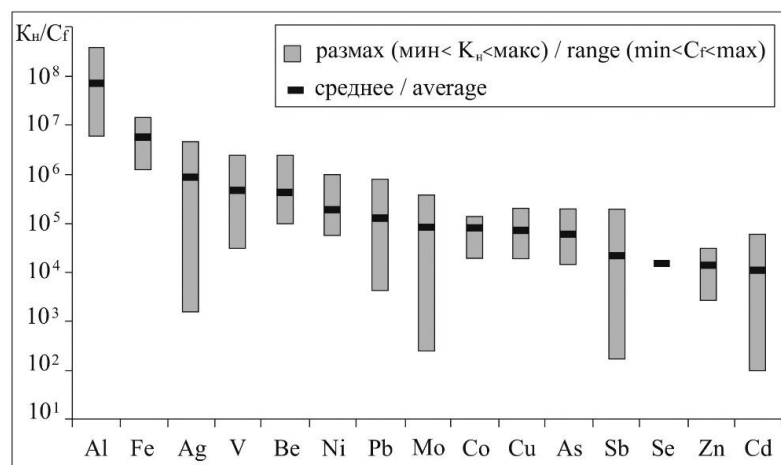


Рис. 4. Коэффициенты накопления (K_n) ТМ взвешенным веществом вод реки Фатала /

Fig. 4. Accumulation coefficients (AC) of HM by suspended matter in the waters of the Fatala River

Последняя представляет собой смесь труднорастворимых оксидов алюминия и железа. Также значительные K_n определяют быстрое удаление этих элементов на ВВ в донные отложения, поэтому, вопреки ожиданиям, повышенные концентрации Al в воде реки Фатала не отмечаются.

^{210}Po в экосистеме реки Фатала. Как известно, поступление основного до-
зобразующего природного радионуклида ^{210}Po (который также по своей атомной

массе является тяжелым элементом) в речные системы из местных техногенных источников (включая места открытой добычи полезных ископаемых) может заметно влиять на повышение его концентрации (активности) в различных компонентах этих систем [Carvalho et al., 2017]. В водной среде ^{210}Po присутствует в растворенной и взвешенной формах, причем взвешенное органическое вещество может аккумулировать до 99 % этого природного радионуклида. Наибольшие значения удельной активности ($A_{\text{уд}}$) растворенной формы ^{210}Po были получены для приустьевых акваторий Атлантического океана (рис. 5).

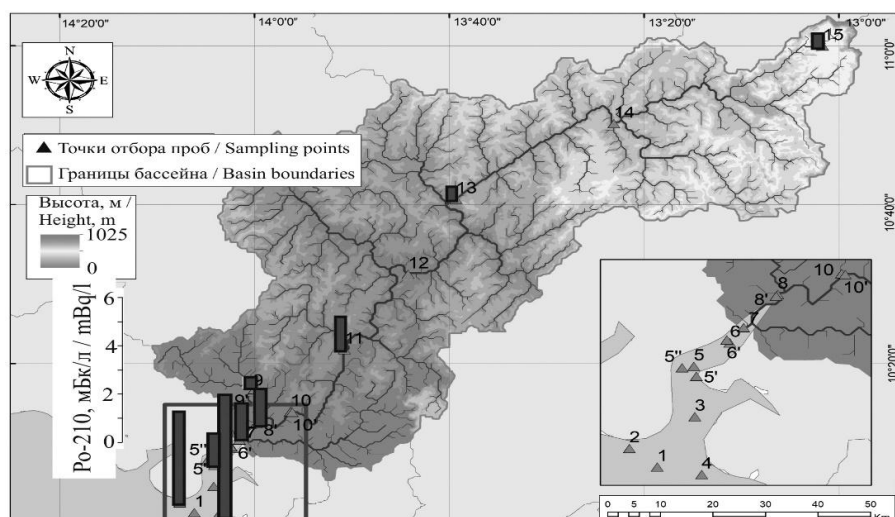


Рис. 5. Удельная активность ^{210}Po в воде (растворенной фазе) реки Фатала /
Fig. 5. Activity concentration of ^{210}Po in water (dissolved phase) of the Fátala River

Повышенные уровни $A_{\text{уд}}^{210}\text{Po}$ в донных отложениях также отмечались в устьевой зоне реки Фатала (рис. 6).

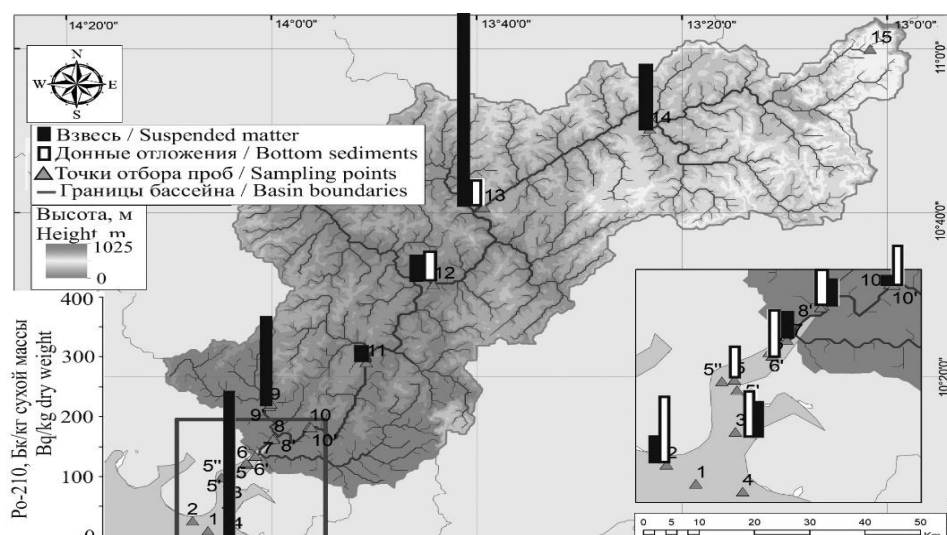


Рис. 6. Удельная активность ^{210}Po во взвеси и донных отложениях реки Фатала /
Fig. 6. Activity concentration of ^{210}Po in suspended matter and bottom sediments of the Fátala River

Оседающая взвесь, как и в случае с ТМ, способствует переносу ^{210}Po из водной толщи в донные отложения [Carvalho et al., 2017]. Это было подтверждено результа-

тами определения удельной активности ^{210}Po в растворенной и взвешенной фазах, а также донных отложениях реки Фатала (рис. 5, 6). При этом, $A_{\text{уд}}^{210}\text{Po}$ в илах с высоким содержанием органики была значительно выше, чем в песках (рис. 7).

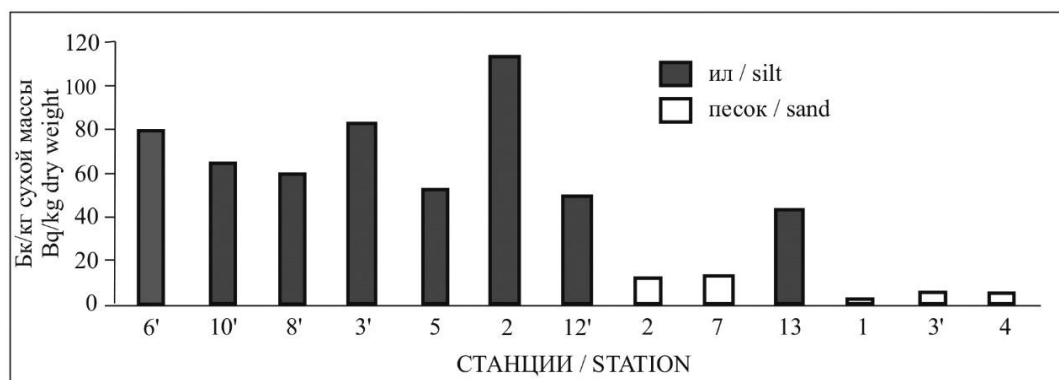


Рис. 7. Удельная активность ^{210}Po в илистых и песчаных донных отложениях /

Fig. 7. Activity concentration of ^{210}Po in silt and sand bottom sediments

Показана зависимость между $A_{\text{уд}}^{210}\text{Po}$ в растворенной фазе и соленостью воды (рис. 8).

Величины общей $A_{\text{уд}}^{210}\text{Po}$ в воде реки Фатала были значительно ниже (на три порядка) уровня вмешательства (УВ=0,11 Бк/кг) для питьевой воды, рекомендованного Нормами радиационной безопасности РФ (СанПиН 2.6.1.2523-09, 2009).

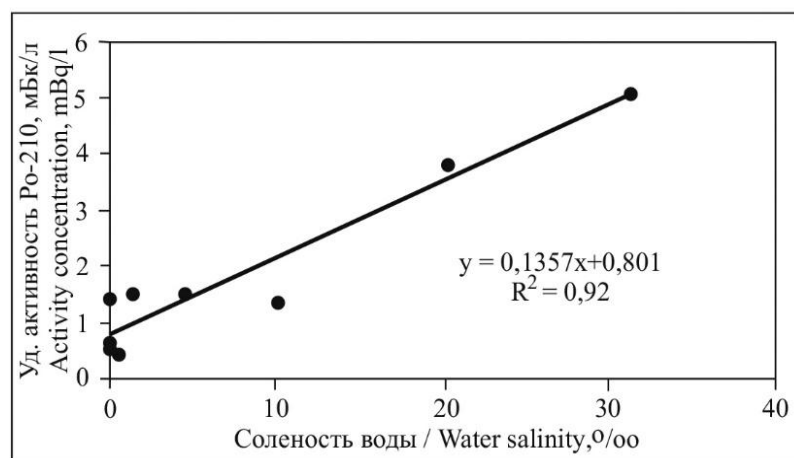


Рис. 8. Соотношение между удельной активностью ^{210}Po в растворенной фазе и соленостью воды (р. Фатала, Атлантический океан) /

Fig. 8. The relationship between the activity concentration of ^{210}Po in the dissolved phase and the salinity of the water (the Fatala River and the Atlantic Ocean)

Выводы

Впервые получены результаты по загрязнению реки Фатала (Гвинейская Республика) тяжелыми металлами и природным радионуклидом ^{210}Po . В воде реки из всех исследуемых элементов превышение ПДК для воды хозяйственно-питьевого назначения в отношении ТМ наблюдалось только для Cd. Это требует дополнительных исследований. Величины общей $A_{\text{уд}}^{210}\text{Po}$ в воде изучаемого района были на три

порядка ниже уровня вмешательства ($УВ=0,11$ Бк/кг) для питьевой воды, рекомендованного Нормами радиационной безопасности РФ. Используя эти исследования в качестве примера для определения влияния добычи полезных ископаемых открытым способом на экологическое состояние рек добывающих стран, получено, что воды реки Фатала являются, в целом, благоприятными в отношении загрязнения ТМ и природным радионуклидом ^{210}Po . Учитывая, что открытый способ добычи полезных ископаемых наносит самый большой ущерб окружающей среде, нашими результатами показано, что такие виды загрязнителей как ТМ и ^{210}Po не являются ключевыми, влияющими на качество вод в реках, протекающих по территории с открытым способом добычи полезных ископаемых. Проводимые исследования направлены на решение задач приоритетных направлений научно-технического развития Российской Федерации (Указ Президента Российской Федерации «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации». М., Кремль. 1 декабря 2016 г. № 642, а именно: обеспечение возможности эффективного ответа российского общества на большие вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий; создание безопасных и качественных, в том числе функциональных, продуктов питания.

Литература

1. Вернадский В.И. Биосфера и ноосфера. М.: Айрис-пресс, 2012. – 576 с.
2. Камара Н.Ф., Петровская М.В. Горнодобывающая промышленность Республики Гвинея: особенности и перспективы развития. // Наукоедение. – 2017. – Т. 9. № 6. – С. 1–12.
3. Рерих В.А. Горнодобывающая промышленность и ее влияние на экологию. // Наука и образование сегодня. – 2019. – № 3. – С. 112–113.
4. Carvalho F., Fernandes S., Fesenko S., Holm E., Howard B., Martin P., Phaneuf M., Porcelli D., Pröhl G., Twining J. The Environmental Behaviour of Polonium. Technical report series No. 484. Vienna: IAEA, 2017. – 255 p.
5. Chen Q., Dahlgaard H., Nielsen S.P., Aarkrog A. Determination of ^{210}Po and ^{210}Pb in mussels, fish, sediments and petroleum. // RISØ National Laboratory (Roskilde. Denmark). – 1998. – 10 p.
6. Chen X., Li X., Wu P., Xuefang Z., Yabin L., Tao W., Wenrui R. The development and utilization of bauxite resources in the Guizhou Province and relevant challenges to the ecology and the environment. // Mineral Resources Management. – 2022. – Vol. 38. No. 2. – pp. 5–30. DOI: 10.24425/gsm.2022.141667.
7. Diallo A.M., Konaté A.A., Oularé F., Zaheer M. Vulnerability of groundwater to pollution at the Dabiss bauxite mining area. Boké Prefecture. Republic of Guinea. // Geology Ecology and Landscapes. – 2022. – pp. 1–20.
8. Diallo P. Regime Stability. Social Insecurity and Bauxite Mining in Guinea. London: Routledge, 2019. – 142 p. DOI: 10.4324/9780429286544.
9. Kolie B., Jun Y., Sunahara G., Camara M. Characterization of the rock blasting process impacts in Lefa gold mine. Republic of Guinea. // Environmental Earth Sciences. – 2021. – Vol. 80. – Art. No. 175. – pp. 1–17.
10. Kolie B., Yao J., Sunahara G., Duonamou L. Environmental impact of Lefa gold mining on its local population. Republic of Guinea. // Natural Resources. – 2019. – Vol. 10. – pp. 305–323. DOI: 10.4236/nr.2019.108020.
11. Mamedov V.I., Chausov A.A., Okonov E.A., Makarova M.A., Boeva N.M. The World's largest Fouta Djallon–Mandingo bauxite province (West Africa): Part I. Background. // Geology of Ore Deposits. – 2020. – Vol. 62. – pp. 163–176. DOI: 10.1134/S1075701520020026.

12. Mirzoeva N.Yu., Korotkov A.A., Cogan S., Trapeznikov A.V., Lazorenko G.E. ²¹⁰Poin Crimeansaltlakes. // *Journal of Environmental Radioactivity*. – 2020. – Vol. 219. – Art. No. 106270. – pp. 1–11 p. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2020.106270.
13. Oshionebo E. *Mineral Mining in Africa. Legal and Fiscal Regimes*. 1st Edition. London: Routledge, 2020. – 378 p. DOI: 10.4324/9781351055543.
14. Sanoh O., Zhang Q., Wang D. Aurélien N. Guinea's bauxite resources evaluation and forecasting using elasticity dem and method. // *Open Journal of Social Sciences*. – 2022. – Vol. 10. – pp. 400–418. DOI: 10.4236/jss.2022.104029.
15. Tereshchenko N.N., Proskurnin V.Yu., Chuzhikova-Proskurnina O.D., Hiep N.T. Dissolved and particulate metals and metalloids in the eastern Mekong Delta, Vietnam. // *Marine Pollution Bulletin*. – 2024. – Vol. 206. – Art. No. 116679. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2024.116679.
16. Traoré D.L., Traoré S., Diakité S. Bauxite industry in Guinea and value opportunities of the resulting red mud as residue for chemical and civil engineering purposes. // *Journal of Civil Engineering Research*. – 2014. – Vol. 4. Issue 1. – pp. 14–24. DOI: 10.5923/j.jce.20140401.03.
17. Widder L., Pacioni T.D., Bocoum O. Sustainably growing Guinea's bauxite-aluminum industry. // Chapter in Book *Regional development in Africa*. / Ed. by N. Edomath, 2019. – 260 p. DOI: 10.5772/intechopen.78853.
18. Wilhelm C., Maconachie R. Exploring local content in Guinea's bauxite sector: Obstacles, opportunities and future trajectories. // *Resources Policy*. – 2020. – Vol. 71. Issue 3. – Art. No. 101935. DOI: 10.1016/j.resourpol.2020.101935.

References

1. Vernadsky V.I. *Biosphere and noosphere*. Moscow. Iris-press. 2012. 576 p. (In Russ.)
2. Kamara N.F., Petrovskaya M.V. Mining industry of the Republic of Guinea: features and prospects of development. *Naukovedenie*. 2017. Vol. 9. No. 6. pp. 1–12.
3. Roerich V.A. Mining industry and its impact on ecology. *Science and education today*. 2019. No. 3. pp. 112–113. (In Russ.)
4. Carvalho F., Fernandes S., Fesenko S., Holm E., Howard B., Martin P., Phaneuf M., Porcelli D., Pröhl G., Twining J. *The Environmental Behaviour of Polonium*. Technical report series No. 484. Vienna. IAEA. 2017. 255 p.
5. Chen Q., Dahlgaard H., Nielsen S.P., Aarkrog A. Determination of ²¹⁰Po and ²¹⁰Pb in mussels, fish, sediments and petroleum. *RISØ National Laboratory (Roskilde, Denmark)*. 1998. 10 p.
6. Chen X., Li X., Wu P., Xuefang Z., Yabin L., Tao W., Wenrui R. The development and utilization of bauxite resources in the Guizhou Province and relevant challenges to the ecology and the environment. *Mineral Resources Management*. 2022. Vol. 38. No. 2. pp. 5–30. DOI: 10.24425/gsm.2022.141667.
7. Diallo A.M., Konaté A.A., Oularé F., Zaheer M. Vulnerability of groundwater to pollution at the Dabiss bauxite mining area. Boké Prefecture. Republic of Guinea. *Geology Ecology and Landscapes*. 2022. pp. 1–20.
8. Diallo P. *Regime Stability. Social Insecurity and Bauxite Mining in Guinea*. London. Routledge. 2019. 142 p. DOI: 10.4324/9780429286544.
9. Kolie B., Jun Y., Sunahara G., Camara M. Characterization of the rock blasting process impacts in Lefa gold mine. Republic of Guinea. *Environmental Earth Sciences*. 2021. Vol. 80. Art. No. 175. pp. 1–17.
10. Kolie B., Yao J., Sunahara G., Duonamou L. Environmental impact of Lefa gold mining on its local population. Republic of Guinea. *Natural Resources*. 2019. Vol. 10. pp. 305–323. DOI: 10.4236/nr.2019.108020.
11. Mamedov V.I., Chausov A.A., Okonov E.A., Makarova M.A., Boeva N.M. The World's largest Fouta Djallon–Mandingo bauxite province (West Africa): Part I. Background. *Geology of Ore Deposits*. 2020. Vol. 62. pp. 163–176. DOI: 10.1134/S1075701520020026.

12. Mirzoeva N.Yu., Korotkov A.A., Cogan S., Trapeznikov A.V., Lazorenko G.E. ²¹⁰Poin Crimeansaltlakes. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2020. Vol. 219. Art. No. 106270. pp. 1–11 p. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2020.106270.
13. Oshionebo E. *Mineral Mining in Africa. Legal and Fiscal Regimes*. 1st Edition. London. Routledge. 2020. 378 p. DOI: 10.4324/9781351055543.
14. Sanoh O., Zhang Q., Wang D. Aurélien N. Guinea's bauxite resources evaluation and forecasting using elasticity dem and method. *Open Journal of Social Sciences*. 2022. Vol. 10. pp. 400–418. DOI: 10.4236/jss.2022.104029.
15. Tereshchenko N.N., Proskurnin V.Yu., Chuzhikova-Proskurnina O.D., Hiep N.T. Dissolved and particulate metals and metalloids in the eastern Mekong Delta, Vietnam. *Marine Pollution Bulletin*. 2024. Vol. 206. Art. No. 116679. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2024.116679.
16. Traoré D.L., Traoré S., Diakité S. Bauxite industry in Guinea and value opportunities of the resulting red mud as residue for chemical and civil engineering purposes. *Journal of Civil Engineering Research*. 2014. Vol. 4. Issue 1. pp. 14–24. DOI: 10.5923/j.jce.20140401.03.
17. Widder L., Pacioni T.D., Bocoum O. Sustainably growing Guinea's bauxite-aluminum industry. Chapter in *Book Regional development in Africa*. Ed. by N. Edomath. 2019. 260 p. DOI: 10.5772/intechopen.78853.
18. Wilhelm C., Maconachie R. Exploring local content in Guinea's bauxite sector: Obstacles. opportunities and future trajectories. *Resources Policy*. 2020. Vol. 71. Issue 3. Art. No. 101935. DOI: 10.1016/j.resourpol.2020.101935.