

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ РЕЧНОЙ ВОДЫ И ПРИБРЕЖНОЙ ПОЧВЫ, БЛИЗЛЕЖАЩИХ К ТЕРРИТОРИИ ХВОСТОХРАНИЛИЩА

Сукиасян А. Р., Киракосян А. А.

HEAVY METAL POLLUTION OF RIVER WATERS AND COASTAL SOILS ADJACENT TO THE TAILING STORAGE FACILITY TERRITORY

Sukiasyan A. R., Kirakosyan A. A.

Аннотация

Введение. Эксплуатация Техутского медно-молибденового предприятия вызвала техногенную нагрузку на окружающую среду по содержанию ряда тяжелых металлов (осень 2016 г.), миграция которых продолжалась после остановки его работ (осень 2018 г.). **Методы.** Исследовались концентрационные изменения Mo, Zn и Cu в образцах воды р. Шнох и прибрежных почв вблизи хвостохранилища предприятия. **Результаты.** Установлено, что в период работы предприятия в пунктах отбора воды 1 и 2 отмечается снижение концентраций данных тяжелых металлов после остановки предприятия. По анализу образцов прибрежной почвы установлено, что в точках 1 и 2 после остановки работ предприятия концентрация Zn снижается на 75 %, меди — на 84 % по сравнению с анализом проб в период ее работы. В образцах прибрежной почвы из пункта отбора 3 и 4 отмечается концентрационный реверс. **Заключение.** Расчет коэффициента геоаккумуляции для исследуемых тяжелых металлов в пунктах отбора образцов почвы из 1 и 2 по сравнению из 3 и 4 свидетельствует о снижении техногенной нагрузки на окружающую среду, вызванной работой комбината.

Ключевые слова: речная вода, хвостохранилище, тяжелые металлы, прибрежная почва, Техутское медно-молибденовое месторождение.

Abstract

Introduction. The operation of the Teghut copper-molybdenum enterprise resulted in the man-made load on the environments in terms of concentrations of some heavy metals (autumn 2016), the migration of which continued even after the plant shutdown (autumn 2018). **Methods.** The authors studied changes in the concentrations of Mo, Zn, and Cu in samples of Shnogh River water and coastal soils near the tailing storage facility territory. **Results.** During enterprise operation, in water sampling points 1 and 2, a decrease in the concentrations of these heavy metals after the plant shutdown was noted. According to the analysis of coastal soil samples, in points 1 and 2, after the plant shutdown, the Zn concentration decreased by 75% and the Cu concentration decreased by 84% compared with the analysis of samples during enterprise operation. In samples of coastal soils from sampling points 3 and 4, a concentration reverse was observed. **Conclusion.** The calculation of the geo-accumulation coefficient for the studied heavy metals in soil sampling points 1 and 2 compared to sampling points 3 and 4 indicates a decrease in the man-made load on the environment, caused by plant operation.

Keywords: river water, tailing storage facility, heavy metals, coastal soil, Teghut copper-molybdenum deposit.

Введение

Побочные продукты процесса извлечения ценных элементов из руд являются источником загрязнения и представляют угрозу для окружающей среды. Хвостохранилища — одна из серьезных экологических проблем, с которой сталкивается общество Республики Армения, где доминирующая отрасль в экономическом развитии — горнодобывающая промышленность (см. <https://www.armstat.am/ru/?nid=586&year=2018>). Среди большого количества рудно-добывающих и об-

рабатывающих предприятий по объему и производству руды до недавнего времени лидирующее место занимал Техутский медно-молибденовый комбинат. Он находится в Лорийском районе на севере Республики Армения около сел Шнох и Техут, вдоль которых протекает река Шнох — правое устье реки Дебет. Запасы медно-молибденовой руды в Техутском месторождении оцениваются более 450 млн тонн, чем и вызвано его интенсивное использование. Это вызывает определенную экологическую нагрузку на био-

ту в связи с миграцией ряда тяжелых металлов (ТМ). В начале 2018 года работа комбината была приостановлена, но его эксплуатация в течение продолжительного времени все же привела к загрязнению речной воды и примыкающих к ней больших земельных площадей. Хвостохранилище предприятия данного типа вызывает экологическую опасность для биоты, куда попадает суспензионная смесь, содержащая молибден, цинк, медь, а также различные химические вещества, используемые в добыче и переработке руды. Попадание минеральных частиц в почву и их дальнейшее взаимодействие с подземными водами, вызванное продолжительной эксплуатацией многих рудно-добывающих предприятий, вызывают техногенную нагрузку, стимулируя переход ряда опасных ТМ в подвижные формы [4, 5]. Дисперсия отходов хвостохранилища происходит воздушным, механическим и водным направлениями, а последующее выветривание частиц руды способствует увеличению выброса ТМ в окружающую среду [16]. Фактически антропогенное повышение содержания ряда ТМ идет по всей экосистеме, включая места произрастания и обитания находящихся под угрозой исчезновения растений и животных. Но нахождение комбината и его хвостохранилища в зоне с повышенной сейсмоактивностью еще более усложняет экологическую ситуацию на территориях, близлежащих к реке Шнох и ее притокам [11].

Ранее нами исследовалось влияние сточных вод Техутского медно-молибденового комбината на окружающую среду. На основании изучения процессов переноса основных загрязнителей разработанная принципиальная схема формирования наложенных геохимических ареалов на территории хвостохранилища позволила проанализировать качество поступающих туда сточных вод [8]. Особое внимание привлекал тот факт, что при сравнении восточной части хвостохранилища с его западной частью отмечалось увеличение концентрации меди и уменьшение концентрации цинка, а концентрация молибдена в обоих случаях была меньше 10 мг/кг в пробах почв.

Цель представленной работы — экологическая характеристика речной воды и прибрежной почвы, близлежащих к территории хвостохранилища Техутского медно-молибденового предпри-

ятия в период его работы (осень, 2016) и остановки (осень, 2018).

Методы и материалы

Для оценки подвижности исследуемых ТМ в последующих экспериментах был осуществлен отбор проб почвы и воды в близлежащих населенных пунктах (рисунок).

Подготовка образцов почвы. Образцы почвы при сухих погодных условиях отбирались методом конвертирования с глубины произрастания корневой системы исследуемого растения, которая составляла в среднем до 120 см. Отбор точечных проб осуществлялся с помощью инструментов, не содержащих металл. Объединенная проба составлялась путем смешивания точечных проб — не менее пяти точечных проб, взятых из одной пробной площадки. Далее образцы помещались в темные стеклянные контейнеры и транспортировались при температуре +4 °С для лабораторных (инструментальных) измерений в течение 24 ч. После очистки от остатков корневой системы, насекомых и других твердых составляющих почва растиралась в ступке с пестиком и просеивалась через сито с диаметром отверстий не более 1 мм. Измерение концентрации химических элементов осуществляли методом пламенной атомно-абсорбционной спектроскопии согласно [6].

Подготовка образцов воды. Отборы проб речной воды осуществлялись при сухих природных условиях в одно и то же время суток. Отобранные в специальные контейнеры образцы воды транспортировались в холодных условиях (+4 °С) для лабораторных инструментальных измерений в течение 24 часов. В лаборатории взвешивалась чистая пустая стеклянная чашка, затем ее заполняли исследуемым образцом воды и помещали в вытяжной шкаф (до 14 часов при комнатной температуре), доводя до стабильного сухого состояния методом воздушной сушки с последующим образованием сухого остатка в чашке. После чашка вместе с осадком опять взвешивалась и определялась весовая разница между пустой и полной чашкой как вес сухого остатка. В инструментальном измерении использовался полученный сухой остаток. Измерение концентрации химических элементов осуществляли методом пламенной атомно-абсорбционной спектроскопии согласно [13].



Схема-карта точек отбора проб речной воды и почвы вблизи хвостохранилища Техутского медно-молибденового комбината: 1 — Шнох 1 (удаленность от хвостохранилища 3,5 км), 2 — Шнох 2 (3 км), 3 — Техут 3 (1 км), 4 — Техут 4 (0,5 км)

Расчет индекса геоаккумуляции. Для количественной оценки степени загрязнения был рассчитан индекс геоаккумуляции (I_{geo}) следующим образом:

$$I_{\text{geo}} = \log_2 (C_n / 1,5 \times B_n),$$

где C_n — концентрация тяжелого металла в образце, мг/кг; B_n — геохимическое фоновое значение (медиана) для каждого типа почв согласно [12], мг/кг.

Степень загрязненности почв оценивали по шкале Мюллера [15], согласно которой I класс — практически незагрязненный фон значения $I_{\text{geo}} \leq 0$; II класс — незагрязненный до умеренного $0 < I_{\text{geo}} < 1$; III класс — умеренно загрязненный $1 \leq I_{\text{geo}} \leq 2$; IV класс — слегка загрязненный до сильного $2 \leq I_{\text{geo}} < 3$; V класс — сильно загрязненный $3 \leq I_{\text{geo}} < 4$; VI класс — сильно загрязненный до экстремального $4 \leq I_{\text{geo}} < 5$; VII класс — очень сильно загрязненный $I_{\text{geo}} \geq 5$.

Статистическая обработка. Все проведенные эксперименты имели до 5 технических повторностей с учетом t -критерия Стьюдента, наблюдаемые различия статистически значимы, так как при уровне значимости $p < 0,05$ рассчитанные значения критерия были больше критического [3].

Результаты исследования и обсуждение

Полученные ранее результаты свидетельствуют о неординарном и многоступенчатом влиянии

отходов горнодобывающего предприятия на окружающую среду, вызывая трансформационные изменения всех составляющих биоты [8, 9]. При этом ситуация усугубляется из-за накопленных в специально ограниченных объектах — хвостохранилищах — отходов производства, которые продолжают оставаться потенциально опасными для биоты по характерным геохимическим особенностям, отражая специфику добываемого сырья [10, 14].

Исходя из этого мы задались целью продолжить начатые эксперименты по оценке влияния отходов Техутского комбината и после остановки его работы (январь 2018 г.). Первый отбор проб речной воды и почвы был осуществлен осенью 2016 года в период работы предприятия, а второй — осенью 2018 года в период его полной остановки. Анализ проб речной воды на содержание некоторых ТМ (табл. 1) показывает, что в пункте отбора Шнох 2 отмечаются схожие концентрационные значения для тех же ТМ в образцах воды.

В период интенсивных работ (осень 2016 г.) предприятия в пробах речной воды в приближенном к хвостохранилищу пункте отбора Техут 3 отмечалось увеличение концентрации молибдена почти на два порядка, а меди — почти втрое. На этом фоне установлено снижение содержания цинка в пробах речной воды из пункта отбора

Техут 3 по сравнению с пунктом отбора Шнох 1 в два раза. Данная тенденция концентрационных изменений для молибдена, цинка и меди в образцах речной воды сохраняется для образцов из пункта отбора Техут 4.

В последующих исследованиях был осуществлен анализ образцов почвы из прибрежных территорий реки Шнох, результаты которого представлены в табл. 1. В образцах почвы из пункта отбора Шнох 1 после остановки работ предприятия отмечается резкое снижение концентраций цинка на 75 %, меди — на 84 % по сравнению с анализом проб в период его работы. Количественно аналогичные результаты получены для проб почвы из пункта Шнох 2 в период осени 2018 года. При сравнении результатов измерений концентрации данных ТМ в образцах почвы из пункта отбора Техут 3 отмечается концентрационный реверс исследуемых ТМ, выраженный в увеличении концентрации молибдена и меди в среднем в 3,6 раза, а цинка — на 47 %. Похожая картина при накоплении исследуемых ТМ сохраняется в образцах почвы из пункта отбора Техут 4.

Известно, что миграционные особенности ТМ, обусловленные степенью загрязненности близлежащих территорий, напрямую зависят от накопительных и барьерных особенностей самой почвы [2]. При этом, адсорбируясь, ТМ могут мигрировать на достаточно дальние расстояния, а горные экосистемы очень чувствительны из-за отсутствия защитных механизмов при антропогенном воздействии [1].

В целях классификации образцов почв по степени загрязненности ТМ на основании полу-

ченных экспериментальных результатов был рассчитан коэффициент геоаккумуляции (табл. 2). В период работы предприятия образцы почв из Шнох 1 и 2 были сильно загрязнены по молибдену, а по цинку и меди — очень сильно загрязнены. После остановки эксплуатации рудно-молибденового месторождения по концентрации меди образцы почв имели классификацию сильной загрязненности, а по цинку ситуация не изменилась. Анализ пробы почв из наиболее близко расположенных к хвостохранилищу пунктов отбора Техут 3 и 4 показал наличие остаточных накоплений после остановки работ предприятия по концентрациям молибдена и меди, наряду с небольшим уменьшением содержания цинка.

Фактически хвостохранилище может иметь потенциальную опасность и после прекращения работы рудно-добывающего предприятия как из-за продолжительных во времени интенсивных процессов окисления при циклическом характере увлажнения и высыхания [14], так и из-за миграционных особенностей ряда ТМ в структурах почвы, обусловленных избирательной активностью данного типа почв [7].

Заключение

1. Накопительный потенциал ряда ТМ в образцах речной воды и прибрежной почвы отличается друг от друга. В пробах воды обнаружено снижение концентраций меди, молибдена и цинка, которое может быть вызвано остановкой работ комбината (январь 2018 г.). Но после прекращения эксплуатации рудно-молибденового месторождения хвостохранилище предприятия является пролонгированным источником опасности экологического загрязнения биоты.

Таблица 1

Содержание тяжелых металлов в образцах речной воды (мг/л) и почвы (мг/кг) до (осень 2016 г.) и после (осень 2018 г.) остановки работ Техутского медно-молибденового комбината

Химический элемент в образцах	Пункт отбора проб (удаленность от хвостохранилища, км)						
	Шнох 1 (3,5)		Шнох 2 (3)	Техут 3 (1)		Техут 4 (0,5)	
	осень, 2016 г.	осень, 2018 г.	осень, 2018 г.	осень, 2016 г.	осень, 2018 г.	осень, 2018 г.	
Mo	почва, мг/кг	4,293±0,052	н/о	н/о	3,195±0,057	5,059±0,052	5,837±0,059
	вода, мг/л	0,035±0,007	0,043±0,003	0,045±0,002	2,421±0,121	0,230±0,012	0,022±0,001
Zn	почва, мг/кг	8,593±0,042	6,577±0,032	6,789±0,042	6,363±0,023	6,921±0,031	4,290±0,027
	вода, мг/л	0,837±0,025	н/о	н/о	0,384±0,013	0,0027±0,0002	0,0006±0,00003
Cu	почва, мг/кг	5,806±0,028	3,181±0,018	3,263±0,027	2,105±0,019	3,909±0,079	6,432±0,042
	вода, мг/л	0,255±0,015	0,079±0,004	0,077±0,003	0,684±0,034	Следы	0,160±0,006

Примечание: н/о — концентрация химического элемента в пробе не определена.

Таблица 2

Значения коэффициента геоаккумуляции ($I_{\text{гéo}}$) и категории загрязненности (КЗ) почвы до (осень 2016 г.) и после (осень 2018 г.) остановки работ Техутского медно-молибденового предприятия

Расчетные величины		Пункт отбора проб (удаленность от хвостохранилища, км)					
		Шнох 1 (3, 5)		Шнох 2 (3)	Техут 1 (1)		Техут 2 (0, 5)
		осень, 2016 г.	осень, 2018 г.	осень, 2018 г.	осень, 2016 г.	осень, 2018 г.	осень, 2018 г.
Mo	$I_{\text{гéo}}$	4,3	–	–	3,2	5,1	5,8
	КЗ	VI	–	–	V	VII	VII
Zn	$I_{\text{гéo}}$	8,6	6,6	6,8	6,4	6,9	4,3
	КЗ	VII	VII	VII	VII	VII	VI
Cu	$I_{\text{гéo}}$	5,8	3,2	3,3	2,1	3,9	6,4
	КЗ	VII	V	V	IV	V	VII

2. Сравнение достоверного снижения коэффициента геоаккумуляции при исследовании ТМ образцов почв Шнох 1 и 2 и Техут 3 и 4 свидетельствует об уменьшении техногенной нагрузки на окружающую среду, вызванной работой комбината.

Авторы выражают благодарность А. Л. Товмасыану в содействии при осуществлении сбора образцов.

Литература

1. Головин, В. Г., Зволинский, В. П. и Черных, Н. А. (2005). Перспективы и проблемы промышленного освоения Северного Каспия. Вестник Российского университета дружбы народов. Серия Экология и безопасность жизнедеятельности, № 2, сс. 71–72.

2. Зверева, В. П. (2008). Экологические проблемы оловорудной промышленности Дальнего Востока. Горный журнал, № 2, сс. 82–85.

3. Коросов, А. В. и Горбач, В. В. (2017). Компьютерная обработка биологических данных. Петрозаводск: Издательство ПетрГУ, 97 с.

4. Лащук, В. В., Мельник, Н. А., Нестеров, Д. П., Нестерова А. А. и Усачева, Т. Т. (2007). Комплексная геоэкологическая характеристика отходов обогащения апатит-нефелиновых руд Хибинских месторождений. В: Макаров, Д. В., Суворов, О. В. (ред.) Геоэкологические проблемы переработки природного и техногенного сырья: сборник научных трудов. Апатиты: Вектор, сс. 78–94.

5. Маслобоев, В. А., Максимова, В. В., Макаров, Д. В., Горбачева Т. Т., Мазухина, С. И. и Нестеров, Д. П. (2012). Исследование взаимодействия минералов хвостов обогащения апатито-нефелиновых руд с почвенными водами. В: Материалы Международного совещания «Современные методы технологической минералогии в процессах комплексной и глубокой переработки минерального сырья» («Плакинский чтения – 2012»), 10–14 сентября 2012 г. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, сс. 333–335.

6. ООО «Мониторинг» (2008). М-МВИ-80-2008. Методика выполнения измерений массовой доли элементов в пробах почв, грунтов и донных отложениях методами атомно-эмиссионной и атомно-абсорбционной спектроскопии. [online] Доступно по ссылке: [https://](https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293824/4293824289.htm)

files.stroyinf.ru/Data2/1/4293824/4293824289.htm [Дата обращения: 07.08.2020].

7. Перельман, А. И. и Касимов, Н. С. (1999). Геохимия ландшафта. М.: Астрель, 2000, 768 с.

8. Сафарян, А. А., Хлопузан, Р. Г. и Товмасыан, А. Л. (2017). Влияние сточных вод горнодобывающих предприятий на окружающую среду. Вестник НПУА. Химические и природоохранные технологии, № 2, сс. 37–45.

9. Сукиасян, А. Р. (2018). Влияние содержания тяжёлых металлов в воде малых рек, используемой для полива кукурузы армянской популяции. Теоретическая и прикладная экология, № 4, сс. 40–45. DOI: 10.25750/1995-4301-2018-4-040-045.

10. Сукиасян, А. Р. (2018). Новый подход определения фактора экологического риска по биогеохимическим коэффициентам тяжелых металлов. Юг России: экология, развитие, Т. 13, № 4, сс. 108–118. DOI: 10.18470/1992-1098-2018-4-108-118.

11. Сукиасян, А. Р. и Пирумян, Г. П. (2018). Влияние содержания тяжелых металлов в воде и почве на экологический стресс растений в различных климатических зонах Республики Армения. Вода и экология: проблемы и решения, № 2 (74), сс. 87–94. DOI: 10.23968/2305-3488.2018.20.2.87-94.

12. Унанян, С. А. (2010). Агромониторинг экосистемы техногенных зон Республики Армении и разработка мероприятий по восстановлению плодородия почв. Автореферат диссертации на соискание степени доктора сельскохозяйственных наук. Ереван: Государственный аграрный университет Армении.

13. Федеральная служба по надзору в сфере природопользования (2006). ПНД Ф 14.1:2.4.214–06. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации железа, кадмия, кобальта, марганца, никеля, меди, цинка, хрома и свинца в пробах природных и сточных вод методом плазменной атомно-абсорбционной спектроскопии. [online] Доступно по ссылке: <https://meganorm.ru/Index2/1/4293818/4293818418.htm> [Дата обращения: 07.08.2020].

14. Чантурия, В. А., Макаров, Д. В., Маслобоев, В. А., Мазухина, С. И., Нестерова, А. А., Васильева, Т. Н., Нестеров, Д. П. и Лащук, В. В. (2007). Геоэкологическое обоснование переработки сульфидсодержащих отходов горнопромышленного комплекса. В: Макаров, Д. В., Суворов, О. В. (ред.). Геоэкологические проблемы

переработки природного и техногенного сырья: сборник научных трудов. Апатиты: Вектор, сс. 20–32.

15. Förstner, U. and Müller, G. (1981). Concentrations of heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons in river sediments: geochemical background, man's influence and environmental impact. *GeoJournal*. Vol. 5, Issue 5, pp. 417–432. DOI: 10.1007/BF02484715.

16. Ritcey, G. M. (1989). Tailings management: problems and solutions in the mining industry. Amsterdam: Elsevier Science Publishers BV, 991 p.

References

1. Golovin, V. G., Zvolinskiy, V. P. and Chernykh, N. A. (2005). Prospects and problems of industrial development of the Northern Caspian. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*, No. 2, pp. 71–72.

2. Zvereva, V. P. (2008). Ecological problems of tin ore industry in the Far East region. *Gornyi Zhurnal*, No. 2, pp. 82–85.

3. Korosov, A. V. and Gorbach, V. V. (2017). Computer processing of biological data. Petrozavodsk: Publishing Office of Petrozavodsk State University, 97 p.

4. Lashchuk, V. V., Melnik, N. A., Nesterov, D. P., Nesterova A. A. and Usacheva, T. T. (2007). Comprehensive geoecological characteristics of waste from the beneficiation of apatite-nepheline ores from the Khibiny deposits. In: Makrov, D. V., Suvorov, O. V. (eds) Geoecological problems of processing natural and technogenic minerals: collection of scientific papers. Apatity: Vektor, pp. 78–94.

5. Masloboev, V. A., Maksimova, V. V., Makarov, D. V., Gorbacheva, T. T., Mazukhina, S. I. and Nesterov, D. P. (2012). Study of the interaction of minerals from tailings of the beneficiation of apatite-nepheline ores with soil waters. In: Proceedings of International Conference “Modern methods of technological mineralogy in complex and deep processing of minerals” (Plaksinsky readings – 2012), September 10–14, 2012. Petrozavodsk: Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences, pp. 333–335.

6. ООО Monitoring (2008). M-MVI-80-2008. Methods for measuring the mass fraction of elements in samples of soils and grounds, bottom sediments using atomic emission and atomic absorption spectrometry. [online] Available at: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293824/4293824289.htm> [Date accessed: 07.08.2020].

7. Perelman, A. I. and Kasimov, N. S. (1999). Geochemistry of the landscape. Moscow: Astreya-2000, 768 p.

8. Safaryan, A. A., Khlopuzyan, R. G. and Tovmasyan, A. L. (2017). Impact of wastewater of mining enterprises on the environment. *Proceedings of National Polytechnic University of Armenia. Chemical and Environmental Technologies*, No. 2, pp. 37–45.

9. Sukiasyan, A. R. (2018). Influence of heavy metals content in water of small rivers used for irrigation of maize of Armenian population. *Theoretical and Applied Ecology*, No. 4, pp. 40–45. DOI: 10.25750/1995-4301-2018-4-040-045.

10. Sukiasyan, A. R. (2018). New approach to determining the environmental risk factor by the biogeochemical coefficients of heavy metals. *South of Russia: Ecology, Development*, Vol. 13, No. 4, pp. 108–118. DOI: 10.18470/1992-1098-2018-4-108-118.

11. Sukiasyan, A. R. and Pirumyan, G. P. (2018). Impact of heavy metals content in water and soil on the ecological stress of plants in different climatic zones of the Republic of Armenia. *Water and Ecology*, No. 2, pp. 87–94. DOI: 10.23968/2305–3488.2018.20.2.87–94.

12. Unanyan, S. A. (2010). Agromonitoring of ecosystems in technogenic zones of the Republic of Armenia and development of measures to restore soil fertility. Author's Abstract of the DSc Thesis in Agriculture. Yerevan: Armenian National Agrarian University.

13. Federal Service for Supervision of Natural Resources (2006). Environmental Regulatory Document PND F 14.1:2:4.214-06. Quantitative chemical analysis of water. Methods for measuring the mass concentration of iron, cadmium, cobalt, manganese, nickel, copper, zinc, chromium and lead in samples of natural and waste waters using plasma atomic-absorption spectrophotometry. [online] Available at: <https://meganorm.ru/Index2/1/4293818/4293818418.htm> [Date accessed: 07.08.2020].

14. Chanturiya, V. A., Makarov, D. V., Masloboev, V. A., Mazukhina, S. I., Nesterova, A. A., Vasilyeva, T. N., Nesterov, D. P. and Lashchuk, V. V. (2007). Geoecological substantiation for the processing of sulfide-containing wastes of the mining industry. In: Makarov, D. V., Suvorov, O. V. (eds) Geoecological problems of processing natural and technogenic minerals: collection of scientific papers. Apatity: Vektor, pp. 20–32.

15. Förstner, U. and Müller, G. (1981). Concentrations of heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons in river sediments: geochemical background, man's influence and environmental impact. *GeoJournal*. Vol. 5, Issue 5, pp. 417–432. DOI: 10.1007/BF02484715.

16. Ritcey, G. M. (1989). Tailings management: problems and solutions in the mining industry. Amsterdam: Elsevier Science Publishers BV, 991 p.

Авторы

Сукьясян Астгик Рафиковна, канд. биол. наук, доцент
Национальный политехнический университет Армении,
г. Ереван, Армения

E-mail: sukiasyan.astghik@gmail.com

Киракосян Армен Андреевич, канд. техн. наук, доцент
Национальный политехнический университет Армении,
г. Ереван, Армения

E-mail: arm.kirakosyan71@gmail.com

Authors

Sukiasyan Astghik Rafikovna, PhD in Biology, Associate Professor

National Polytechnic University of Armenia, Yerevan, Armenia

E-mail: sukiasyan.astghik@gmail.com

Kirakosyan Armen Andreevich, PhD in Engineering, Associate Professor

National Polytechnic University of Armenia, Yerevan, Armenia

E-mail: arm.kirakosyan71@gmail.com