

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА ЛОЖА БИОЛОГИЧЕСКИХ ПРУДКОВ НА ОЧИСТКУ СТОЧНЫХ ВОД ПРЕДПРИЯТИЙ ГОРНОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

А. В. Собенин¹, Н. Ю. Антонинова¹, А. И. Усманов¹, К. В. Шепель¹

¹ Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук,
Екатеринбург, Россия

Аннотация: Для ремедиации техногенно загрязненных объектов, очистки сточных вод, рекультивации нарушенных земель необходимо проведение исследований по эффективности применения искусственных геохимических барьеров, в качестве материалов для формирования которых возможно использование горных пород, почв, глинистых грунтов, разнообразных промышленных отходов и техногенных грунтов. Поэтому в рамках проведения исследований была рассмотрена возможность использования в качестве сорбента распространенных в регионе Большого Урала промышленных отходов (отходы при разработке месторождения дунитов и золошлаки). С целью оценки возможности применения промышленных отходов для очистки сточных вод, образующихся при отработке медноколчеданных месторождений, в качестве модельных растворов были использованы образцы сточных вод с территории отработанного Дегтярского месторождения медноколчеданных руд. Проведён расчёт статической обменной ёмкости потенциальных сорбентов, выполнена оценка степени извлечения меди из воды. По результатам анализа полученных экспериментальных данных отчетливо просматривается тенденция сорбционного процесса, особенно в опытах с «дунитами». Для данных образцов отмечаются максимальные показатели статической обменной ёмкости и степени извлечения меди (СОЕ – от 23,1 до 30,7 мг/кг и Е – 100,0 %). Кроме того, полученные результаты могут быть использованы для разработки приемов экологической реабилитации нарушенных экосистем в части оценки возможности использования промышленных отходов в качестве ложа биологических прудков, формируемых для очистки сточных вод.

Ключевые слова: медь, адсорбция, сточные воды, защита окружающей среды, сорбция меди, биопрудки, аккумуляция меди, дуниты, золошлаки.

Благодарность: Статья подготовлена в рамках гранта РФФИ № 20–45–660014 «Исследование закономерностей миграции и накопления тяжелых металлов в природных системах, испытывающих локальную техногенную нагрузку предприятий горнометаллургического комплекса с целью разработки эффективных методов их экологической реабилитации» и при финансовой поддержке Правительства Свердловской области.

Для цитирования: Собенин А. В., Антонинова Н. Ю., Усманов А. И., Шепель К. В. Оценка влияния вещественного состава ложа биологических прудков на очистку сточных вод предприятий горнометаллургического комплекса // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 5–2. – С. 273–282. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_52_0_273.

Influence of material composition of biological pond bed on waste water treatment in mining and metallurgy industries

A. V. Sobenin¹, N. Yu. Antoninova¹, A. I. Usmanov¹, K. V. Shepel¹

¹ Institute of Mining Ural branch of Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

Abstract: For the remediation of anthropogenically contaminated objects, for wastewater treatment and reclamation of disturbed lands, it is necessary to investigate effectiveness of artificial geochemical barriers. The latter can be constructed using rocks, soils, clay soils, various industrial waste and manmade soils. To this effect, within the framework of the research, the possibility of using industrial waste (dunite mining waste and ash-and-slag) widespread in the Great Urals region as a sorbent was considered. In order to assess usability of industrial waste for the treatment of wastewater generated during copper-pyrite ore mining, samples taken in the territory of mined-out Degtyarskoe deposit of copper-pyrite ores were used as model solutions. The calculation of the static exchange capacity of potential sorbents has been carried out, and the degree of extraction of the pollutant from water has been assessed. According to the analysis of the obtained experimental data, the tendency of the sorption process is traceable. The test samples exhibited maximal static exchange capacity (SEC) and copper extractability (E): SEC from 23.1 to 30.7 mg/kg and E is 100 %. The data obtained are the basis for the development of methods for the ecological rehabilitation of disturbed ecosystems, in particular, in assessment of usability of industrial waste in construction of beds for biological ponds for the treatment of waste water from mining and metallurgical plants.

Key words: heavy metals, adsorption, waste water, environmental protection, sorption of copper, bioponds, copper accumulation, dunite, ash-and-slag.

Acknowledgment: The article was prepared within the framework of the RFBR grant No. 20-45-660014 «Research of migration patterns and accumulation of heavy metals in natural systems experiencing local technogenic load of mining and metallurgical enterprises in order to develop effective methods of their environmental rehabilitation» and with the financial support of the Government of the Sverdlovsk region.

For citation: Sobenin A. V., Antoninova N. Yu., Usmanov A. I., Shepel K. V. Influence of material composition of biological pond bed on waste water treatment in mining and metallurgy industries. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(5–2):273–282. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_52_0_273.

Введение

Прогрессирующая деградация природной среды Урала остается серьезной проблемой в настоящее время, несмотря на то что на современном этапе развития минерально-сырьевого комплекса экологический фактор постепенно становится одним из главных ограничений при выборе и оценке технических и технологических решений [1, 2]. Актуальность проведения мониторинга, контроля и очистки от загрязнения тяжелыми металлами, такими как медь, цинк,

никель, свинец, хром, кобальт не вызывает сомнений, особенно в последние годы. Хотя токсичность этих элементов давно известна, в связи с ужесточением правил контроля загрязнения во многих странах выявлена необходимость поиска решения данной проблемы, так как сброс сточных вод в поверхностные водные объекты либо их повторное использование может представлять определённый риск для живых организмов [14, 15], учитывая наличие тяжелых металлов или токсичных соединений.

В 60-х гг. двадцатого века Александром Ильичом Перельманом [3] впервые выдвигается идея создания искусственных геохимических барьеров с целью защиты природных водных объектов от техногенного загрязнения.

В ходе проводимых мировым научным сообществом исследований оценивается эффективность систем биологической очистки с использованием различного рода сорбентов [4–13]. Исследование Velasco-Garduño O. [6] демонстрирует, что биоразлагаемый биокомпозит на основе хитозана, упакованный в мини-реакторы, успешно удаляет ионы меди из водных растворов. Хитозан получают путем деацетилирования биологического хитина, который извлекается из отходов креветок, путем ферментации молочной кислоты. Полисахарид заделывают в биоразлагаемую матрицу форполимера перед экструзией для получения пористых цилиндрических гранул размером 2×80 мм. Наибольшее удаление ионов меди составляет $62,5 \text{ мг Cu}^{2+}$ на 1 г биоразлагаемого адсорбента. Кроме того, адсорбционная способность материала ниже его насыщения позволяет использовать несколько циклов повторного применения с гидравлическим сокращением времени удерживания на 1 ч .

В исследовании авторов [7] изучалось сорбционное поведение природного (N-торф) и модифицированного соляной кислотой (HCl-торф) торфа в отношении загрязняющих веществ в воде, собранной на руднике в северной Финляндии. Эксперименты по периодической сорбции проводили при комнатной температуре и $5 \text{ }^\circ\text{C}$. Характеристики сорбентов методами FTIR и XPS не выявили существенных изменений функциональных групп торфа в результате кислотной обработки. HCl-торф показал лучшую способность поглощать никель (21 мг

Ni/г), чем N-торф (16 мг Ni/г) из раствора. Это связано с более низким pH в образцах, обработанных HCl-торфом, а также с другим химическим составом воды. При комнатной температуре N-торф удалял As (V) (80 %) и Ni (85 %) при низкой дозировке ($1 - 2 \text{ г/л}$), тогда как HCl-торф демонстрировал хорошее удаление As (V) (80 %) при низкой дозировке (1 г/л), но не удалось добиться удовлетворительного удаления Ni даже при более высокой дозировке (4 г/л). На характеристики обоих сорбентов существенно влияет время контакта. Удаление никеля N-торфом существенно увеличивалось со временем контакта, тогда как удаление, достигаемое HCl-торфом, немного увеличивалось до 60 мин , но значительно снижалось через 24 ч . В отличие от HCl-торфа, N-торф был менее эффективен в экспериментах, проведенных при $5 \text{ }^\circ\text{C}$. В целом для обоих сорбентов мышьяк и никель были наиболее эффективно удаляемыми загрязнителями из загрязненной воды.

В работе Sreedhar I., Reddy N. S. [8] используются смеси адсорбентов для обработки электрохимических стоков в периодическом режиме. Эта работа призвана предоставить ценную информацию о взаимодействии тяжелых металлов с адсорбентами в смесях. Сточные воды электрохимической промышленности обрабатывали смесями кальциевого бентонита, летучей золы и пшеничных отрубей в различных составах для удаления ионов тяжелых металлов (железа, никеля, меди, цинка, кадмия) и мышьяка из раствора. Выбран оптимальный набор условий: pH $5 - 7$; время контакта $60 - 90 \text{ мин}$; скорость перемешивания 200 об/мин ; дозировка адсорбента 1 г/50 мл ; и размером частиц $150 - 300 \text{ мкм}$. Ионы мышьяка, цинка и кадмия были полностью удалены. Процентное удаление

ионов металлов при оптимальных условиях в течение 90 мин было в порядке: железа (96,73 %) > никеля (74,03 %) > меди (70,70 %). Были проведены серийные эксперименты для определения таких факторов, как состав адсорбента, температура, pH, скорость перемешивания, дозировка, время контакта и размер частиц, влияющий на адсорбцию, и было обнаружено, что все эти параметры сильно влияют на адсорбцию.

Цель работы

Оценка влияния вещественного состава ложа биологических прудков при очистке сточных вод и анализ возможностей удаления меди (Cu^{2+}) из водного раствора при контакте с субстратами.

Материалы и методы исследования

В рамках проведения исследований была рассмотрена возможность использования в качестве сорбента распространенных в регионе Большого Урала промышленных отходов (отходы при разработке месторождения дунитов, золошлаки). Дунит — это плутоническая ультраосновная горная порода, на 95 % состоящая из оливина (Mg,Fe) $2[SiO_4]$, то есть породообразующего минерала, магниезально-железистого силиката. Золошлаки, представленные в исследованиях, — промышленные отходы Рефтинской ГРЭС. Низинный торф, добывающийся на месторождении «Чистое» в Свердловской области, характеризуется нейтральной реакцией среды. На основе перечисленных выше материалов были сформированы субстраты, обозначенные как «Дуниты» и «Торф+зола 50/50».

В качестве модельного раствора были использованы сточные воды, отобранные на территории бывшего Дегтярского рудника, основанного в 1914 г.

и обрабатываемого до 2010 г. на территории одноименного города, который расположен в 34 км от Екатеринбурга в долине реки Дегтярки. После затопления горных выработок и в результате окисления сульфидных руд вода с достаточно низким pH (3,2) и высоким содержанием меди (4,61 мг/л, отбор проб 2020 г. табл. 1) представляет потенциальную угрозу окружающей природной среде и, как правило, влияет на качество жизни местного населения.

При биологической очистке сточных вод посредством формирования каскада биопрудков большое значение имеет природа веществ с точки зрения их доступности для микроорганизмов и их концентрация, наличие в сточных водах биогенных элементов (калий, фосфор, азот, кальций, магний и др.). Формирование вещественного состава дна биопрудков как открытой экологической системы должно происходить в искусственных условиях, подбором оптимальных условий жизнедеятельности микрофлоры, так как используемые в вышеуказанных целях грунт, почва — это сложная физико-химическая система, которая формируется на определенных геологических породах.

Суть экспериментальных исследований заключалась в добавлении субстратов («дуниты», «торф+зола 50/50»)



Рис. 1. Образцы субстратов с модельным раствором

Fig. 1. Samples of substrates with a model solution

Таблица 1
 Результаты экспериментальных исследований (мг/л)
 Experimental research results (mg / l)

| № | ШИФР | Навеска, г | Время, мин | TDS, ppm | pH | ОВП, mV | t, С° | Cu, мг/л |
|----|-------------------|------------|------------|----------|------|---------|-------|----------|
| 1 | Дуниты | 10 | 5 | 2100 | 3,3 | 381 | 22,4 | 3,564 |
| 2 | Дуниты | 10 | 10 | 2680 | 4,37 | 261 | 22,4 | 1,704 |
| 3 | Дуниты | 10 | 15 | 2450 | 4,4 | 251 | 22,4 | 1,232 |
| 4 | Дуниты | 15 | 5 | 2460 | 4,98 | 194 | 22,4 | 0 |
| 5 | Дуниты | 15 | 10 | 2350 | 5,11 | 163 | 22,4 | 0 |
| 6 | Дуниты | 15 | 15 | 2350 | 5,28 | 169 | 22,4 | 0 |
| 7 | Дуниты | 20 | 5 | 2350 | 4,77 | 215 | 22,4 | 0,01 |
| 8 | Дуниты | 20 | 10 | 2450 | 5,6 | 164 | 22,4 | 0 |
| 9 | Дуниты | 20 | 15 | 2340 | 5,96 | 229 | 22,4 | 0 |
| 10 | Торф+Зола (50/50) | 10 | 5 | 2540 | 3,69 | 337 | 22,4 | 1,809 |
| 11 | Торф+Зола (50/50) | 10 | 10 | 2350 | 3,92 | 292 | 22,4 | 1,927 |
| 12 | Торф+Зола (50/50) | 10 | 15 | 2540 | 3,99 | 289 | 22,4 | 2,488 |
| 13 | Торф+Зола (50/50) | 15 | 5 | 2540 | 4,17 | 260 | 22,4 | 0,934 |
| 14 | Торф+Зола (50/50) | 15 | 10 | 2340 | 4,28 | 266 | 22,4 | 1,017 |
| 15 | Торф+Зола (50/50) | 15 | 15 | 2340 | 4,24 | 268 | 22,4 | 1,351 |
| 16 | Торф+Зола (50/50) | 20 | 5 | 2370 | 4,35 | 238 | 22,4 | 0,689 |
| 17 | Торф+Зола (50/50) | 20 | 10 | 2370 | 4,5 | 250 | 22,4 | 0,439 |
| 18 | Торф+Зола (50/50) | 20 | 15 | 2260 | 4,71 | 215 | 22,4 | 0,358 |
| 19 | Модельный раствор | | | >10000 | 3.2 | 415 | 22,4 | 4,61 |

в модельный раствор. Время контакта варьировалось от 5 мин до 24 ч, навеска субстратов от 10 до 20 г, исходная концентрация меди (Cu^{2+} , мг/л) – 4.61.

Навески образцов субстратов (10, 15 и 20 г) были помещены в колбы объёмом 250 мл, к ним добавлен модельный раствор с известной концентрацией загрязняющего вещества (табл. 1), (рис. 1). Также в исследуемых образцах были определены физико-химиче-

ские параметры (температура, окислительно-восстановительный потенциал, минерализация и pH) с помощью следующих приборов: ph-meter hanna HI 99121, ORP-200 HM Digital, TDS-3 meter. Полученные в результате взаимодействия модельного раствора с субстратами водные вытяжки были отфильтрованы и отправлены на химический анализ. Концентрацию ионов меди в растворе определяли с помо-

щью атомно-абсорбционной спектрометрии (SpectrAA 240 FS, Varian) с дейтериевой лампой для коррекции фона и с распылением пламенем (Marck 7, Varian) (табл. 1).

Так как сорбция в статических условиях осуществляется путем интенсивного перемешивания обрабатываемой воды с субстратом в течение определенного времени при однократном

Таблица 2

Показатели степени извлечения загрязнителя из модельного раствора
Indicators of the degree of extraction of the pollutant from the model solution

| № | ШИФР | Навеска, г | Время, мин | С _и , мг/л | СОЕ, мг/кг | Е, % |
|----|-------------------|------------|------------|-----------------------|------------|-------|
| 1 | Дуниты | 10 | 5 | 3,564 | 10,5 | 22,7 |
| 2 | Дуниты | 10 | 10 | 1,704 | 29,1 | 63,0 |
| 3 | Дуниты | 10 | 15 | 1,232 | 33,8 | 73,3 |
| 4 | Дуниты | 15 | 5 | 0 | 30,7 | 100,0 |
| 5 | Дуниты | 15 | 10 | 0 | 30,7 | 100,0 |
| 6 | Дуниты | 15 | 15 | 0 | 30,7 | 100,0 |
| 7 | Дуниты | 20 | 5 | 0,01 | 23,0 | 99,8 |
| 8 | Дуниты | 20 | 10 | 0 | 23,1 | 100,0 |
| 9 | Дуниты | 20 | 15 | 0 | 23,1 | 100,0 |
| 10 | Торф+Зола (50/50) | 10 | 5 | 1,809 | 28,0 | 60,8 |
| 11 | Торф+Зола (50/50) | 10 | 10 | 1,927 | 26,8 | 58,2 |
| 12 | Торф+Зола (50/50) | 10 | 15 | 2,488 | 21,2 | 46,0 |
| 13 | Торф+Зола (50/50) | 15 | 5 | 0,934 | 24,5 | 79,7 |
| 14 | Торф+Зола (50/50) | 15 | 10 | 1,017 | 24,0 | 77,9 |
| 15 | Торф+Зола (50/50) | 15 | 15 | 1,351 | 21,7 | 70,7 |
| 16 | Торф+Зола (50/50) | 20 | 5 | 0,689 | 19,6 | 85,1 |
| 17 | Торф+Зола (50/50) | 20 | 10 | 0,439 | 20,9 | 90,5 |
| 18 | Торф+Зола (50/50) | 20 | 15 | 0,358 | 21,3 | 92,2 |
| 19 | Дуниты | 10 | 24 | 1,487 | 31,2 | 67,7 |
| 20 | Дуниты | 15 | 24 часа | 0,926 | 24,6 | 79,9 |
| 21 | Дуниты | 20 | 24 часа | 0,207 | 22,0 | 95,5 |
| 22 | Торф+Зола (50/50) | 10 | 24 часа | 1,933 | 26,8 | 58,1 |
| 23 | Торф+Зола (50/50) | 15 | 24 часа | 1,09 | 23,5 | 76,4 |
| 24 | Торф+Зола (50/50) | 20 | 24 часа | 0,622 | 19,9 | 86,5 |

введении субстрата на определенный объем обрабатываемой воды, исходным расчетным уравнением является уравнение баланса.

Статическая обменная емкость при заданных рабочих условиях эксперимента выводится из уравнения баланса:

$$COE = \frac{(C_{исх} - C_{равн}) \times V}{g}, \quad (1)$$

где COE — статическая обменная емкость, мг/г; g — масса сухой навески субстрата, г; V — объем приливаемого к сорбенту модельного раствора, л; $C_{исх}$ — исходная концентрация ионов меди в растворе, мг/л; $C_{равн}$ — равновесная (остаточная) концентрация ионов меди в фильтрате, устанавливающаяся в воде после перемешивания воды и субстрата, мг/л.

Степень извлечения загрязнителя из раствора, %,

$$E = \frac{C_{исх} - C_{равн}}{C_{исх}} \times 100, \quad (2)$$

Результаты расчета показателей степени извлечения загрязнителей из раствора приведены в табл. 2.

Ионы меди не были обнаружены в фильтратах, обозначенных как «Дуниты» (за исключением раствора навеской 20 г и временем контакта 5 мин, Cu — 0,01 мг/л) навеской массой 15 и 20 г, для данных образцов также отмечаются максимальные показатели COE — от 23,1 до 30,7 мг/кг и E — 100,0 %.

Максимальное содержание меди (3,564 мг/л) зафиксировано в фильтратах «Дуниты» с навеской 10 г.

В субстратах, обозначенных как «Торф+Зола 50/50» содержание ионов

меди в фильтратах варьирует от 0,934 до 2,488 мг/л. Показатели степени извлечения загрязнителей для данного типа сорбентов составляют COE — от 21,2 до 28,0 мг/кг и E — от 46,0 до 79,7 %.

Таким образом, результаты экспериментальных исследований показали наличие тенденции сорбционного процесса.

Выводы

По результатам анализа полученных экспериментальных данных отчетливо просматривается тенденция сорбционного процесса с одновременным увеличением pH при использовании в качестве сорбента отходов при добыче дунитов, а также смеси «торф+зола 50/50» только при 20 % соотношении к объёму модельного раствора. В колбах же с навеской 5 и 10 г смеси «торф+зола 50/50» сорбционные процессы наблюдаются только при пятиминутном перемешивании, далее наблюдается процесс десорбции.

Полученные данные являются основой для разработки приемов экологической реабилитации нарушенных экосистем в части оценки возможности использования в качестве ложа биологических прудков промышленных отходов (вскрышных пород), образуемых при отработке месторождений полезных ископаемых. Введение в вещественный состав ложа прудков дунитов, состоящих как правило на 90 % из оливина $(Mg,Fe)_2[SiO_4]$, одного из самых распространённых минералов, позволит интенсифицировать процесс биологической очистки сточных вод, образующихся при отработке медноколчеданных месторождений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хохряков А. В. и др. Системный подход к обеспечению экологической безопасности в горной промышленности // ГИАБ. — 2020. — №. 3—1. — С. 501. DOI: 10.25018/0236—1493—2020—31—0-501—517.

2. Рыбникова Л. С., Рыбников П. А. Проблемы самореабилитации гидросферы и очистки шахтных вод на постэксплуатационном этапе (на примере Левихинского рудника, Средний Урал) // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). DOI: 10.25018/0236–1493–2020–31–0-488–500. – 2020. – №. 3–1. – С. 488–500.

3. Перельман А. И. Геохимия ландшафта. М.: Высш. шк., 1961. 341 с.

4. Антонинова Н. Ю., Собенин А. В., Шубина Л. А. Оценка возможности использования промышленных отходов при формировании геохимических барьеров // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). DOI: 10.25018/0236–1493–2020–12–0-78–88.– 2020. – №. 12. – С. 78–88.

5. Assessment of the sorption potential of the plant *L. Sativum* L. In the process of formation of the biogeochemical barrier Kornilkov S., Antoninova N., Sobenin A. В сборнике: E3S WEB OF CONFERENCES. VIII International Scientific Conference “Problems of Complex Development of Georesources” (PCDG 2020). 2020. С. 04020. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202019204020>.

6. Velasco-Garduño O. et al. Copper removal from wastewater by a chitosan-based biodegradable composite // Environmental Science and Pollution Research. – 2020. – С. 1–9. <https://doi.org/10.1007/s11356–019–07560–2>

7. Gogoi, H., Leiviskä, T., Heiderscheidt, E., Postila, H., & Tanskanen, J. (2018). The Effectiveness of Metal and Metalloid Sorption from Mining Influenced Waters by Natural and Modified Peat. Mine Water and the Environment. doi:10.1007/s10230–018–0525–1

8. Sreedhar I., Reddy N. S. Heavy metal removal from industrial effluent using bio-sorbent blends // SN Applied Sciences. – 2019. – Т. 1. – №. 9. – С. 1–15. <https://doi.org/10.1007/s42452–019–1057–4>.

9. Ferronato C. et al. Vermiculite bio-barriers for Cu and Zn remediation: an eco-friendly approach for freshwater and sediments protection // International journal of environmental science and technology. – 2016. – Т. 13. – №. 5. – С. 1219–1228. <https://doi.org/10.1007/s13762–016–0957–8>

10. Khosravi A. et al. Removal of heavy metals by *Escherichia coli* (E. coli) biofilm placed on zeolite from aqueous solutions (case study: the wastewater of Kerman Bahonar Copper Complex) // Applied Water Science. – 2020. – Т. 10. – №. 7. – С. 1–8. <https://doi.org/10.1007/s13201–020–01257–5>

11. Tamjidi S., Ameri A. A review of the application of sea material shells as low cost and effective bio-adsorbent for removal of heavy metals from wastewater // Environmental Science and Pollution Research. – 2020. – Т. 27. – №. 25. – С. 31105–31119. <https://doi.org/10.1007/s11356–020–09655–7>

12. Kim B. S. et al. Removal of Cu 2+ by biochars derived from green macroalgae // Environmental Science and Pollution Research. – 2016. – Т. 23. – №. 2. – С. 985–994. <https://doi.org/10.1007/s11356–015–4368-z>

13. Saber, M., Takahashi, F., & Yoshikawa, K. (2018). Characterization and application of microalgae hydrochar as a low-cost adsorbent for Cu (II) ion removal from aqueous solutions. Environmental Science and Pollution Research. doi:10.1007/s11356–018–3106–8

14. Вишневецкий В. Ю., Попружный В. М. Оценка влияния содержания меди в природной воде в районе водозаборов города Таганрога и Таганрогском заливе Азовского моря на здоровье человека // ИВД. 2017. №4 (47). 43.

15. Иванищев В. В. Биоаккумуляция, гомеостаз и токсичность меди в растениях // Известия Тульского государственного университета. Естественные науки. – 2020. – №. 1. С.33–41. **ИТАЭ**

REFERENCES:

1. Khokhryakov AV et al. A systematic approach to ensuring environmental safety in the mining industry. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020. no. 3–1. p. 501. DOI: 10.25018 / 0236–1493–2020–31–0-501–517. [In Russ]
2. Rybnikova L.S., Rybnikov P. A. Problems of self-rehabilitation of the hydrosphere and purification of mining water at the post-operating stage (on the example of the Levikhinsky mine, Sredny Ural). *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020. no. 3–1. pp. 488–500. DOI: 10.25018 / 0236–1493–2020–31–0-488–500. [In Russ]
3. Perelman A. I. *Geohimiya landshafta* [Landscape geochemistry]. Moscow: Higher. shk., 1961. [In Russ]
4. Antoninova N. Yu., Sobenin AV, Shubina la assessment of the possibility of using industrial waste in formation of geochemical barriers. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020. no. 12. S. 78–88. DOI: 10.25018 / 0236–1493–2020–12–0-78–88. [In Russ]
5. Kornilkov S., Antoninova N., Sobenin A. Assessment of the sorption potential of the plant *I. Sativum* l. In the process of formation of the biogeochemical barrier. VIII International Scientific Conference “Problems of Complex Development of Georesources” (PCDG 2020). 2020. C. 04020. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202019204020>.
6. Velasco-Garduño O. et al. Copper removal from wastewater by a chitosan-based biodegradable composite. *Environmental Science and Pollution Research.* 2020. pp. 1–9. <https://doi.org/10.1007/s11356–019–07560–2>.
7. Gogoi, H., Leiviskä, T., Heiderscheidt, E., Postila, H., & Tanskanen, J. (2018). The Effectiveness of Metal and Metalloid Sorption from Mining Influenced Waters by Natural and Modified Peat. *Mine Water and the Environment.* doi:10.1007/s10230–018–0525–1.
8. Sreedhar I., Reddy N. S. Heavy metal removal from industrial effluent using bio-sorbent blends. *SN Applied Sciences.* 2019. T. 1. no. 9. pp. 1–15. <https://doi.org/10.1007/s42452–019–1057–4>.
9. Ferronato C. et al. Vermiculite bio-barriers for Cu and Zn remediation: an eco-friendly approach for freshwater and sediments protection. *International journal of environmental science and technology.* 2016. T. 13. no. 5. pp. 1219–1228. <https://doi.org/10.1007/s13762–016–0957–8>.
10. Khosravi A. et al. Removal of heavy metals by *Escherichia coli* (E. coli) biofilm placed on zeolite from aqueous solutions (case study: the wastewater of Kerman Bahonar Copper Complex). *Applied Water Science.* 2020. T. 10. no. 7. pp. 1–8. <https://doi.org/10.1007/s13201–020–01257–5>.
11. Tamjidi S., Ameri A. A review of the application of sea material shells as low cost and effective bio-adsorbent for removal of heavy metals from wastewater. *Environmental Science and Pollution Research.* 2020. T. 27. no. 25. pp. 31105–31119. <https://doi.org/10.1007/s11356–020–09655–7>.
12. Kim B. S. et al. Removal of Cu 2+ by biochars derived from green macroalgae. *Environmental Science and Pollution Research.* 2016. T. 23. no. 2. pp. 985–994. <https://doi.org/10.1007/s11356–015–4368-z>.
13. Saber, M., Takahashi, F., & Yoshikawa, K. (2018). Characterization and application of microalgae hydrochar as a low-cost adsorbent for Cu (II) ion removal from aqueous solutions. *Environmental Science and Pollution Research.* doi:10.1007/s11356–018–3106–8.
14. Vishnevetsky V.Yu., Popruzhny V. M. *Ocenka vliyaniya sodержaniya medi v prirodnoj vode v rajone vodozaborov goroda Taganroga i Taganrogskom zalive Azovskogo morya na zdorov'e cheloveka* [Assessment of the impact of copper content in natural water in the area of water intakes of the city of Taganrog and the Taganrog Bay of the Azov Sea on human health]. IVD. 2017. no. 4 (47). p. 43. [In Russ]

15. Ivanishchev V.V. *Bioakkumulyaciya, gomeostaz i toksichnost' medi v rasteniyah* [Bioaccumulation, homeostasis and toxicity of copper in plants]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Estestvennye nauki*. 2020. no. 1. pp. 33 – 41. [In Russ]

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Собенин Артем Вячеславович*¹ — младший научный сотрудник лаборатории экологии горного производства;

*Антонинова Наталья Юрьевна*¹ — канд. техн. наук, заведующая лабораторией экологии горного производства, e-mail: natal78@list.ru;

*Усманов Альберт Исмагилович*¹ — младший научный сотрудник лаборатории экологии горного производства;

*Шепель Ксения Викторовна*¹ — младший научный сотрудник лаборатории экологии горного производства;

¹ Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*Sobenin A. V.*¹, Junior Research at the Mining Ecology Laboratory, arsob@yandex.ru;

*Antoninova N. Yu.*¹, Cand. Sci. (Eng.), Head of the Mining Ecology Laboratory, natal78@list.ru;

*Usmanov A. I.*¹, Junior Research at the Mining Ecology Laboratory;

*Shepel K. V.*¹, Junior Research at the Mining Ecology Laboratory;

¹ Institute of Mining, Ural Branch, Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

Получена редакцией 27.01.2021; получена после рецензии 26.03.2021; принята к печати 10.04.2021.

Received by the editors 27.01.2021; received after the review 26.03.2021; accepted for printing 10.04.2021.

