

К вопросу об использовании мелиоративных приемов в целях формирования биогеохимических барьеров

Н.Ю. Антонинова✉, А.И. Усманов, А.В. Собенин, Я.А. Кузнецова, А.А. Горбунов

Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, Российская Федерация
✉ natal78@list.ru

Резюме: В связи с добычей полезных ископаемых возрастает количество земель, подверженных загрязнению ионами тяжелых металлов. Поэтому в настоящее время актуальными являются исследования об использовании различных композиционных сорбентов/мелиорантов, которые в сочетании с многолетними растениями способны выступить в качестве биогеохимического барьера распространению ионов тяжелых металлов в окружающей среде. В системе «грунт – растение» применение торфо-диатомитового мелиоранта гранулированного на участке по направлению техногенного потока показал высокую степень приживаемости костреца безостого (*Brōmus inērmis*) по сравнению с нулевой приживаемостью в контрольном варианте. Динамика накопления тяжелых металлов в биомассе растений показывает увеличение содержания меди и цинка в сравнении с фоном во второй год проведения исследований, на третий год наблюдается уменьшение содержания в биомассе меди с 235 до 40 мг/кг, но увеличение цинка с 473 до 510 мг/кг. Полученные данные подтверждают пределы колебаний металлов в биомассе растений, установленные предыдущими исследователями. На участках применения торфо-диатомитового мелиоранта также наблюдалось увеличение концентрации Cu^{2+} и Zn^{2+} в сравнении с другими точками исследования, что говорит о возможности применения торфо-диатомитового мелиоранта гранулированного в качестве материала для создания сети биогеохимических барьеров перпендикулярно направлению техногенного потока.

Ключевые слова: сорбент, мелиорант, тяжелые металлы, биогеохимический барьер, техногенный поток, торфо-диатомитовый мелиорант, сапрпель, кострец безостый

Благодарности: Статья подготовлена в рамках государственного задания №075-00412-22 ПР. Тема 2 (2022-2024) «Разработка геоинформационных технологий оценки защищенности горнопромышленных территорий и прогноза развития негативных процессов в недропользовании» (FUWE-2022-0002), рег. №1021062010532-7-1.5.1.

Для цитирования: Антонинова Н.Ю., Усманов А.И., Собенин А.В., Кузнецова Я.А., Горбунов А.А. К вопросу об использовании мелиоративных приемов в целях формирования биогеохимических барьеров. *Горная промышленность*. 2024;(1):120–125. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-1-120-125>

On the use of reclamation techniques for the formation of biogeochemical barriers

N.Y. Antoninova✉, A.I. Usmanov, A.V. Sobenin, Ya.A. Kuznetsova, A.A. Gorbunov

Institute of Mining of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russian Federation
✉ natal78@list.ru

Abstract: The amount of lands subject to contamination with heavy metal ions is increasing due to mining of minerals. Therefore, research on the use of various composite sorbents / ameliorants, which in combination with perennial plants can act as a biogeochemical barrier to the spread of heavy metal ions in the environment, is currently relevant. In the “soil-and-plant” system, use of the peat-and-diatomite ameliorant granulated on site in the direction of the man-made flow showed a high degree of survival of the awnless brome grass (*Brōmus inērmis*) compared with zero survival on the reference area. The dynamics of heavy metal accumulation in the plant biomass shows an increase in the content of copper and zinc, in comparison with the background values during the second year of research, while during the third year there is a decrease in the content of copper in the biomass from 235 to 40 mg / kg, with an increase in zinc content from 473 mg / kg to 510 mg / kg. The data obtained confirm the limits of metal fluctuations in the plant biomass established by previous researchers. At the peat-and-diatomite ameliorant sites, an increase in the concentration of Cu^{2+} and Zn^{2+} was also observed in comparison with the other survey locations, which indicates the possibility of using granular peat-and-diatomite ameliorant as a material to create a network of biogeochemical barriers perpendicular to the direction of the man-made flow.

Keywords: sorbent, ameliorant, heavy metals, biogeochemical barrier, man-made flow, peat-and-diatomite ameliorant, sapropel, awnless brome grass

Acknowledgements: The paper was prepared within the framework of the State Contract No.075-00412-22 PR. Topic 2: (2022-2024) "Development of geoinformation technologies to assess the protection of mining territories and forecast the development of adverse processes in subsoil use" (FUWE-2022-0002), Reg. No.1021062010532-7-1.5.1.

For citation: Antoninova N.Y., Usmanov A.I., Sobenin A.V., Kuznetsova Ya.A., Gorbunov A.A. On the use of reclamation techniques for the formation of biogeochemical barriers. *Russian Mining Industry*. 2024;(1):120–125. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-1-120-125>

Введение

Вопросы изучения процессов, определяющих накопление и миграцию тяжелых металлов в техногенно загрязненных экосистемах в районах функционирования предприятий минерально-сырьевого комплекса, применения биотехнологических приемов детоксикации почв с помощью сорбционных материалов представляют собой интенсивно развивающуюся область исследований. Лабораторией ведутся исследования междисциплинарного характера динамики техногенной трансформации природно-территориальных комплексов в районах функционирования горнодобывающих предприятий с оценкой возможности разработки мероприятий по экологической реабилитации нарушенных экосистем путем формирования биогеохимических барьеров.

К числу основных факторов деградации относятся преобладание ресурсосберегающих и ресурсоемких отраслей, низкая эффективность механизмов природопользования, снижение объемов мелиорации и рекультивации земель, что, собственно, и сопровождается, как правило, функционирование предприятий минерально-сырьевого комплекса [1–3].

Все вышеприведенное указывает на необходимость проведения исследований по оценке эффективности применения комплексных органоминеральных мелиорантов/сорбентов искусственного или природного происхождения в целях экологической реабилитации нарушенных экосистем.

Мелиорант – это вещество, используемое для улучшения качества почвы, которая, в свою очередь, является одной из главных составляющих биосферы. Сорбентом, в свою очередь, является вещество, способное поглощать и удерживать в своем объеме и поверхности различные вещества, в том числе и загрязняющие, из окружающей среды. Следовательно, разработка оптимальных составов мелиорантов/сорбентов будет способствовать повышению эффективности предлагаемых природовосстанавливающих мероприятий, в основе которых заложены мелиоративные работы.

Таким образом, в рамках проведения мероприятий по экологической реабилитации нарушенных экосистем мелиоративные работы направлены на восстановление и улучшение агрохимических и агрофизических свойств почв и грунтов.

В соответствии с ГОСТ Р 58330.2–2018 выделяют следующие виды мелиоративных работ:

- техническая мелиорация земель (техномелиорация);
- земельная мелиорация земель (геомелиорация);
- водная мелиорация земель (гидромелиорация);

- воздушная мелиорация земель (аэромелиорация);
- растительная мелиорация земель (фитомелиорация);
- химическая мелиорация земель (химмелиорация);
- зоологическая мелиорация земель (зоомелиорация).

Химическая мелиорация почв направлена на значительное улучшение качества земельных ресурсов и проводится до внесения минеральных удобрений в целях формирования оптимальной реакции почвенного раствора, улучшения усвоения почвенных элементов питания и удобрений. Основная задача при её проведении – достичь высокой буферной ёмкости почв, обеспечить их устойчивое функционирование при различных внешних воздействиях и нагрузках.

Однако не следует понимать химическую мелиорацию почв слишком упрощенно, лишь как метод нейтрализации чрезмерной кислотности или щелочности. Составляющими химической мелиорации являются также способы обогащения почв биогенными элементами, применение структурных (природных и искусственных) мелиорантов для создания устойчивого органо-минерального почвенного комплекса и другие мероприятия, коренным образом меняющие агрохимическое качество почвы [4].

Существует несколько видов классификаций мелиоративных веществ:

- по составу – органические, минеральные и органоминеральные;
- по воздействию – мелиоранты-сорбенты, удобрения-мелиоранты, мелиоранты-структурообразователи и мелиоранты, оптимизирующие кислотность;
- по происхождению – искусственные, природные и нетрадиционные [5].

Цель – исследовать возможность использования торфо-диатомитового мелиоранта (ТДМ) как элемента биогеохимического барьера.

Материалы и методы исследования

В представленном блоке исследований в качестве мелиоранта/сорбента рассматривается торфо-диатомитовый мелиорант/сорбент (гранулы) и его составляющие: торф, диатомит, сапропель [6]. Характеристики приведены в табл. 1.

Таблица 1
Характеристики торфо-диатомитового мелиоранта

Table 1
Indicators of the peat-and-diatomite ameliorant

| Мелиорант | Форма | pH | Содержание элементов, мг/кг | | | Насыпная плотность, кг/м ³ |
|-----------|-----------|---------|-----------------------------|----------|------|---------------------------------------|
| | | | К | Mg | Cu | |
| ТДМ | Валовая | 6,0–6,5 | 2269 | 3147,15 | 2,75 | 680–700 |
| | Подвижная | | 115,69 | 263,7475 | 0 | |

Торф представляет собой систему, состоящую из органической, минеральной частей и воды. Химический состав торфа характеризуется химическим составом растений-торфообразователей. Растения-торфообразователи состоят из двух основных частей: органической и минеральной. На долю органической части приходится в среднем 95%, а на долю минеральной – 5% [7].

Проведенные в 2018 г. И.А. Кузнецовой и Н.С. Ларионовым исследования подтвердили, что сорбция тяжелых металлов торфом – самопроизвольный эндотермический процесс. Сорбционная способность торфа обеспечивается карбоксильными и фенольными гидроксильными группами компонентов торфа и является совокупностью физической, химической сорбции и ионного обмена [8].

Диатомиты представляют собой осадочные, очень легкие породы, состоящие из цельных створок диатомовых водорослей и их обломков. С агрономической точки зрения они обладают рядом важных свойств. Во-первых, это сорбенты с высокой адсорбционной (удельная поверхность 20–50 м²/кг) и ионообменной способностью (0,8–0,12 г-экв/кг), в связи с чем при внесении в почву могут удерживать влагу и элементы питания от выноса за пределы корнеобитаемого слоя; впоследствии влага и элементы питания постепенно высвобождаются и используются растениями. Во-вторых, диатомиты (как и другие высококремнистые породы) содержат в своем составе до 1–2% (в зависимости от месторождений) калия и серы, а также ряд микроэлементов. Кроме того, диатомит является кремниевым удобрением, содержащим до 85% окиси кремния, в том числе аморфного 50% и более [9].

Однако в ряде работ [10–12] доказано, что диатомит не всегда имеет высокую способность адсорбции тяжелых металлов (ТМ), в связи с этим не устраняет в полной мере их отрицательное воздействие и требует модификации для улучшения адсорбционной способности. В исследованиях [10] сорбционная способность повышается при содержании в диатомите органического вещества.

Сапропель – органоминеральное донное отложение, образовано скоплением на дне пресноводных водоёмов остатков растительных и животных организмов, подвергшихся неполному разложению под воздействием минеральных и органических кислот, бактерий и других микроорганизмов. Сапропели обладают высокой адсорбционной способностью и используются для очистки сточных вод и промышленных отходов [13].

Методы исследования

Временные пробные площадки заложены по направлению техногенного потока подотвальных вод в границах болотной экосистемы в санитарно-защитной зоне предприятия, обрабатывающего медно-колчеданное месторождение. Подотвальные воды характеризуются кислым рН – от 3 до 3,5 и высоким содержанием растворенных солей тяжелых металлов. На временных пробных площадках высаживали семена костреча безостого (*Bromus inermis*). Применение костреча в качестве тест-объекта обусловлено неприхотливостью, развитой корневой системой, распространённостью на территории проведения эксперимента (рис. 1).

Эксперимент проводился на трех участках, на каждом из которых были заложены по две опытные площадки площадью 1 м², 1-я площадка – техногенный грунт + ТДМ гранулированный (400 г/м²), 2-я площадка – техногенный грунт. Далее в грунт, представленный на сформированных пло-

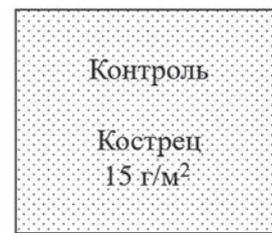
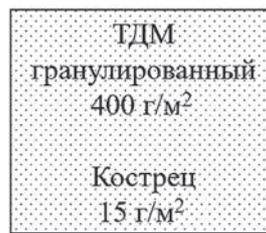


Рис. 1
Схема полевых исследований

Fig. 1
A schematic map of field studies

щадках, были высажены семена костреча, массой по 15 г на одну площадку (см. рис. 1). ТДМ вносился на глубину 2–5 см вместе с семенами костреча (рис. 2). Площадки расположены перпендикулярно направлению техногенного потока.

Спустя год после начала полевых исследований проводился анализ зарастания техногенных участков в результате применения ТДМ и без него, а также химический анализ содержания Cu²⁺ и Zn²⁺ в грунте и биомассе растений.



Рис. 2
Процесс внесения торфо-диатомитового мелиоранта и семян костреча

Fig. 2
The process of introducing the peat-and-diatomite ameliorant and seeds of the awnless brome grass

Результаты и обсуждения

ТДМ исследовался в гранулированном виде, это объясняется спецификой местности, где применялся мелиорант. Поскольку временные пробные площадки заложены по направлению техногенного потока подотвальных вод в границах болотной экосистемы, важным фактором здесь также является насыпная плотность применяемых материалов (см. табл. 1).

Мелиоранты с высокой насыпной плотностью имеют ряд преимуществ при использовании в полевых условиях: 1 – большая концентрация полезных элементов, необходимых растениям, на единицу объема, таких как NPK, гумус, кремний и др.; 2 – меньше подвержены или вообще не подвержены ветровой и водной эрозии, в результате чего могут использоваться как материалы для барьеров [14]; 3 – пролонгированное действие за счет высокой плотности, что позволяет дозированно улучшать агрохимические показатели техногенного грунта.

Учитывая перечисленные преимущества, применение гранулированных мелиорантов на пути техногенного потока позволит создать сеть биогеохимических барьеров



Рис. 4
Карта-схема исследований и анализ содержания Cu^{2+} и Zn^{2+} в грунте и биомассе растений, мг/кг

Fig. 4
A schematic survey map and analysis of Cu^{2+} and Zn^{2+} content in soil and plant biomass, mg/kg

с дерновым слоем, способных значительно снизить или остановить распространение тяжелых металлов по направлению техногенного потока. Кроме того, растения, прорастающие на участке исследований, способны выступить аккумуляторами ТМ из техногенного грунта.

Спустя год после начала эксперимента кострец безостый взшел только на участках с применением ТДМ (рис. 3). Это связано с повышением органического вещества в техногенном грунте, а также улучшением агрохимических показателей.

Что касается динамики миграции в результате применения ТДМ, то по карте-схеме (рис. 4) мы можем наблюдать увеличение в экспериментальной точке 1, содержания меди и цинка. Так, если среднее содержание по четырем точкам в 2022 г. составило по меди 947 мг/кг, по цинку 507 мг/кг, то на участке применения ТДМ концентрация меди 1351 мг/кг, а цинка 755 мг/кг.

В 2023 г. средняя концентрация меди уменьшилась до 730 мг/кг, а цинка осталась примерно на уровне 2022 г. – 545 мг/кг, зато на участках с применением ТДМ концентрация возрастает и составила по меди 1544 мг/кг и 2512 мг/кг по цинку, что на 50% выше средней по всем участкам по меди и на 80% по цинку.

Большое значение в накоплении и миграции тяжелых металлов играют геохимические барьеры, а применяя био-

логические растительные ресурсы, мы формируем биогеохимические барьеры, которые способствуют в том числе и формированию устойчивого травянистого покрова в зоне техногенного воздействия [6; 15].

Рядом с техногенной территорией фоновая концентрация меди и цинка в биомассе костреца составила 5 и 12,5 мг/кг соответственно, что согласно результатам проводимых исследований [16] не превышает пределов колебаний металлов в биомассе растений, где нормальная концентрация меди варьируется в пределах от 2 до 30 мг/кг, а цинка до 100 мг/кг. Кострец на техногенных (контрольных) участках проанализировать не удалось из-за нулевой всхожести. А на участках применения ТДМ в 2022 г. было высокое содержание меди – 235 мг/кг, в 2023 г. уменьшилось до 40 мг/кг. Содержание цинка, наоборот, увеличилось с 473 до 510 мг/кг. Для понимания процессов накопления Cu и Zn необходимы дальнейшие наблюдения за исследуемыми участками.

По результатам проведенных анализов можно утверждать, что временные пробные площадки с ТДМ склонны к накоплению ТМ и что данный материал возможно использовать в качестве биогеохимического барьера перпендикулярно техногенному потоку с высадкой семян многолетних трав, а дозировка ТДМ и площадь биогеохимических барьеров с его применением являются задачей дальнейших исследований.

Выводы

1. Мелиорант на основе торфа, диатомита и сапропели повышает содержание органического вещества в техногенном грунте, что, в свою очередь, способствует приживаемости семян костреца безостого.

2. ТДМ гранулированный имеет высокую насыпную плотность – до 700 кг/м³, что способствует его закрепляемости в заболоченной местности, на пути техногенного потока.

3. Высаживаемый на техногенной территории кострец безостый (*Vilmsia inermis*) в сочетании с ТДМ способен к высокой степени приживаемости на участке с высокой концентрацией ТМ, в то время как на контрольных участках приживаемость равна нулю.

4. В биомассе растений наблюдается повышение содержания меди и цинка в сравнении с фоном во второй год проведения исследований, на третий год наблюдается кратное уменьшение содержания в биомассе меди – с 235 до 40 мг/кг, что почти не выходит за пределы колебаний металлов в биомассе растений, установленные предыдущими исследователями, в отличие от цинка, содержание которого увеличилось в сравнении со вторым годом эксперимента с 473 до 510 мг/кг.

Список литературы / References

1. Kornilov S.V. Mineral resources strategy and scientific-based management. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2022;991:012021. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/991/1/012021>
2. Цыпин Е.Ф., Овчинникова Т.Ю. Преимущества и производственные риски использования рудосортировочных комплексов. *Известия высших учебных заведений. Горный журнал*. 2015;(5):117–122. Tsyurin E.F., Ovchinnikova T.Iu. Advantages and industrial risks of ore grading complexes. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Gornyi Zhurnal*. 2015;(5):117–122. (In Russ.)

3. Khater H.M., Ghareib M. Utilization of alkaline Aluminosilicate activation in heavy metals immobilization and producing dense hybrid composites. *Arabian Journal for Science and Engineering*. 2021;46:6333–6348. <https://doi.org/10.1007/s13369-020-05065-6>
4. Медербеков А.Н., Деменкова Л.Г. Химическая мелиорация почв: значение, способы, перспективы. В кн.: *Экология и безопасность в техносфере: современные проблемы и пути решения: сб. тр. Всерос. науч.-практ. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов, Юрга, 22–24 нояб. 2018 г.* Юрга: Томский политехнический университет; 2018. С. 137–139.
Mederbekov A.N., Demenkova L.G. Chemical amelioration of soils: significance, methods, prospects. In: *Ecology and safety in technosphere: modern challenges and ways of their solution, Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference of Young Scientists, Yurga, November 22-24, 2018*. Yurga, Tomsk Polytechnic University, 2018, pp. 137-139. (In Russ.).
5. Петрова Т.А., Рудзিশ Э. Виды мелиорантов для рекультивации техногенно нарушенных территорий горной промышленности. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2021;(4):100–112. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2021_4_0_100
Petrova T.A., Rudzish E. Types of soil improvers for reclamation of mining-disturbed lands. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2021;(4):100–112. (In Russ.) https://doi.org/10.25018/0236_1493_2021_4_0_100
6. Антонинова Н.Ю., Усманов А.И., Собенин А.В., Горбунов А.А. Исследование влияния торфо-диатомитового мелиоранта на формирование устойчивого травяного покрова при рекультивации нарушенных земель. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2022;(5):131–141. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_5_0_131
Antoninova N.Yu., Usmanov A.I., Sobenin A.V., Gorbunov A.A. Effect of peat-diatomite ameliorant on grass cover persistency in disturbed land reclamation. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2022;(5):131–141. (In Russ.) https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_5_0_131
7. Голубина, О.А. *Физикохимия и биология торфа: использование торфа в сельском хозяйстве*. Томск: Изд-во Томского ЦНТИ, 2011. 45 с.
Golubina O.A. *Physicochemistry and biology of peat: utilization of peat in agriculture*. Tomsk, Tomsk CNTI Publishing House, 2011, 45 p. (In Russ.).
8. Кузнецова И.А., Ларионов Н.С. Химический состав и сорбционные свойства торфа – основа ресурсного потенциала типичных верховых болот северо-запада России. *Успехи современного естествознания*. 2018;(7):165–170. Режим доступа: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=36820> (дата обращения: 04.01.2024).
Kuznetsova I.A., Larionov N.S. The resource basis of north-west Russia representative oligotrophic bogs: chemical composition and binding properties. *Advances in Current Natural Sciences*. 2018;(7):165–170. (In Russ.) Available at: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=36820> (accessed: 04.01.2024).
9. Куликова А.Х., Яшин Е.А., Данилова Е.В. Эффективность диатомита и минеральных удобрений в технологии возделывания озимой пшеницы. *Агрехимический вестник*. 2007;(5):18–19.
Kulikova A.Kh., Yashin E.A., Danilova E.V. The effectiveness of diatomite and mineral fertilizers in the technology of winter wheat cultivation. *Agrokhimicheskii vestnik*. 2007;(5):18–19. (In Russ.)
10. Кременецкая И.П., Васильева Т.Н., Корытная О.П., Скамницкая Л.С., Бубнова Т.П. Особенности состава и сорбционных свойств диатомитов Карело-Кольского региона. В кн.: *Технологическая минералогия, методы переработки минерального сырья и новые материалы*. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН; 2010. С. 120–127.
Kremenetskaya I.P., Vasilieva T.N., Korytnaya O.P., Skamnitckaya L.S., Bubnova T.P. Specific features of composition and sorption properties of diatomites from the Karelian-Kola region. In: *Technological mineralogy, mineral processing methods and new materials*. Petrozavodsk, Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 2010, p. 120-127. (In Russ.).
11. Кизиллов О.А., Байкин Ю.Л., Овчинников П.Ю. Применение минеральных сорбентов при загрязнении почв тяжелыми металлами. *Вестник биотехнологии*. 2017;(1):16. Режим доступа: http://bio.urgau.ru/images/01_2017/Kizilov_OA.pdf (дата обращения: 06.01.2024).
Kizilov O.A., Baikin Yu.L., Ovchinnikov P.Yu. The use of mineral sorbents in soil contamination with heavy metals. *Bulletin of Biotechnology*. 2017;(1):16. (In Russ.) Available at: http://bio.urgau.ru/images/01_2017/Kizilov_OA.pdf (accessed: 06.01.2024).
12. Бочарникова Е.А., Матыченков В.В., Матыченков И.В. Кремниевые удобрения и мелиоранты: история изучения, теория и практика применения. *Агрехимия*. 2011;(7):84–96.
Bocharnikova E.A., Matychenkov V.V., Matychenkov I.V. Silicon fertilizers and ameliorants: the history of study and the theory and practice of application. *Agrohimia*. 2011;(7):84–96. (In Russ.)
13. Усманов А.И., Антонинова Н.Ю., Собенин А.В., Семин А.Н., Дедков О.В., Нелогова Е.А. *Торфо-диатомитовый мелиорант для рекультивации земель, загрязненных нефтью и нефтепродуктами*. Патент №RU2766361C1 Российская Федерация, МПК В09С 1/08. №20211106690; заявл. 15.03.2021; опубл. 15.03.2022. Режим доступа: <https://patenton.ru/patent/RU2766361C1> (дата обращения: 05.01.2024).
Usmanov A.I., Antoninova N.Yu., Sobenin A.V., Semin A.N., Dedkov O.V., Nelogova E.A. *Peat-and-diatomite ameliorant for reclamation of lands polluted with oil and oil products*. Patent No.RU2766361C1 Russian Federation, International Patent Classification: В09С 1/08. No.20211106690; claim 15.03.2021; publ. 15.03.2022. Available at: <https://patenton.ru/patent/RU2766361C1> (accessed: 05.01.2024).

14. Михайлов Г.Г., Морозова А.Г., Лонзингер Т.М., Лонзингер А.В., Пашкеев И.Ю. Особенности необратимой сорбции катионов тяжелых металлов гранулированным сорбентом на основе силикатов и алюмосиликатов кальция. *Вестник Южно-Уральского государственного университета*. Серия: Химия. 2011;(12):46–53. Режим доступа: <https://dspace.susu.ru/xmlui/bitstream/handle/0001.74/2022/9.pdf> (дата обращения: 05.01.2024).
Mikhailov G.G., Morozova A.G., Lonzinger T.M., Lonzinger A.V., Pashkeev I.Yu. Features of irreversible sorption of heavy metal cations with granulated sorbents based on silicates and calcium aluminosilicates. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Chemistry*. 2011;(12):46–53. (In Russ.) Available at: <https://dspace.susu.ru/xmlui/bitstream/handle/0001.74/2022/9.pdf> (accessed: 05.01.2024).
15. Дайнеко Н.М., Тимофеев С.Ф. Содержание тяжелых металлов в почвенно-растительном покрове луговых экосистем поймы р. Сож Ветковского района. *Мелиорация*. 2018;(4):63–71. Режим доступа: <https://melio.belal.by/jour/article/view/888> (дата обращения: 05.01.2024).
Dajneko N.M., Timofeev S.F. Content of heavy metals in the soil-vegetation cover of the floodplain meadow ecosystems of Sozh river, Vetka district. *Land Reclamation*. 2018;(4):63–71. (In Russ.) Available at: <https://melio.belal.by/jour/article/view/888> (accessed: 05.01.2024).
16. Позняк С.С. Содержание некоторых тяжелых металлов в растительности полевых и луговых агрофитоценозов в условиях техногенного загрязнения почвенного покрова. *Вестник Томского государственного университета. Биология*. 2011;(1):123–137. Режим доступа: https://journals.tsu.ru/biology/&journal_page=archive&id=753&article_id=15958 (дата обращения: 05.01.2024).
Pozniak S.S. Heavy metals concentration in plants of field and poic agrophytocenoses in conditions of anthropogenic contamination of soil cover. *Tomsk State University Journal of Biology*. 2011;(1):123–137. (In Russ.) Available at: https://journals.tsu.ru/biology/&journal_page=archive&id=753&article_id=15958 (accessed: 05.01.2024).

Информация об авторах

Антонинова Наталья Юрьевна – кандидат технических наук, заведующий лабораторией экологии горного производства, Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-8503-639X>; e-mail: natal78@list.ru

Усманов Альберт Исмагилович – научный сотрудник лаборатории экологии горного производства, Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-3650-0467>; e-mail: albert3179@mail.ru

Собенин Артем Вячеславович – научный сотрудник лаборатории экологии горного производства, Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0001-5513-5680>; e-mail: arsob@yandex.ru

Кузнецова Ярослава Артемовна – младший научный сотрудник лаборатории экологии горного производства, Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, Российская Федерация; e-mail: yaroslava.brusnitsyna@mail.ru

Горбунов Алексей Александрович – младший научный сотрудник лаборатории экологии горного производства, Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-9057-0896>; e-mail: alex021297@mail.ru

Information about the authors

Natalya Yu. Antoninova – Cand. Sci. (Eng.), Head of the Laboratory of Mining Ecology of the Institute of Mining of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-8503-639X>; e-mail: natal78@list.ru

Albert I. Usmanov – Researcher at the Laboratory of Mining Ecology of the Institute of Mining of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-3650-0467>; e-mail: albert3179@mail.ru

Artem V. Sobenin – Researcher at the Laboratory of Mining Ecology of the Institute of Mining of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0001-5513-5680>; e-mail: arsob@yandex.ru

Yaroslava A. Kuznetsova – Junior Researcher at the Laboratory of Mining Ecology of the Institute of Mining of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russian Federation; e-mail: yaroslavl.brusnitsyna@mail.ru

Alexey A. Gorbunov – Junior Researcher at the Laboratory of Mining Ecology of the Institute of Mining of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-9057-0896>; e-mail: alex021297@mail.ru

Article info

Received: 02.12.2023

Revised: 10.01.2024

Accepted: 11.01.2024

Информация о статье

Поступила в редакцию: 02.12.2023

Поступила после рецензирования: 10.01.2024

Принята к публикации: 11.01.2024