

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2023, Том 15, № 1 / 2023, Vol. 15, Iss. 1 <https://esj.today/issue-1-2023.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/50SAVN123.pdf>

Ссылка для цитирования этой статьи:

Самодолов, А. П. Эффективность применения хризотила в очистке кислых стоков горных предприятий / А. П. Самодолов, Д. В. Ульрих, Т. М. Лонзингер // Вестник евразийской науки. — 2023. — Т. 15. — № 1. — URL: <https://esj.today/PDF/50SAVN123.pdf>

For citation:

Samodolov A.P., Ulrikh D.V., Lonzinger T.M. Applicability of chrysotile in treating acidic wastewater from mining facilities. *The Eurasian Scientific Journal*. 2023; 15(1): 50SAVN123. Available at: <https://esj.today/PDF/50SAVN123.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.)

Самодолов Александр Павлович

ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)»,
Челябинск, Россия

Аспирант кафедры «Градостроительство, инженерные сети и системы»

E-mail: samodolov@mail.ru

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1123411

Ульрих Дмитрий Владимирович

ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)»,
Челябинск, Россия

Директор архитектурно-строительного института

Доктор технических наук, доцент

E-mail: ulrikhdv@susu.ru

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=562874

Лонзингер Татьяна Модровна

ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)»,
Челябинск, Россия

Доцент, научный сотрудник кафедры «Материаловедение и физико-химия материалов»

Кандидат технических наук

E-mail: lonzinger@tm@susu.ru

Эффективность применения хризотила в очистке кислых стоков горных предприятий

Аннотация. В статье авторами рассмотрена возможность применения хризотила (Орско-Халиловского месторождения) для очистки кислых стоков горных предприятий от различных поллютантов, в частности — тяжелых металлов. Целью данного исследования является разработка и аргументация новых технологий очистки сточных вод от тяжелых металлов. Авторами изучены физико-химические свойства и состав хризотила. Структура и состав поверхности исследуемого материала исследовались с помощью электронного микроскопа с приставкой для микрорентгеноспектрального анализа JEOL JSM-6460 LV, а химический состав сорбата и его изменения в зависимости от условий исследований — на атомно-эмиссионном спектрометре OPTIMA 2100DV с индуктивно связанной плазмой. Электронно-микроскопическим анализом определена волокнистая структура исследуемого образца хризотила. Определена его сорбционная способность в статических условиях при различных температурах. В динамическом режиме получены данные о влиянии на эффективность очистки скорости фильтрования. Установлено, что хризотил по очистке от поллютантов исходного стока показал высокую эффективность очистки как в статических, так и в динамических условиях. Результат эффективности очистки зависит от природы катионов

металлов в стоке, температуры сорбата и скорости фильтрации. Авторами отмечено, что величина водородного показателя при динамическом режиме испытаний повышается от кислых значений до значений близких к нейтральным.

Данная статья является частью диссертационного исследования Самодолова Александра Павловича.

Ключевые слова: техногенные подотвальные воды; хризотил; горно-обогащительное предприятие; сорбция; тяжелые металлы; поллютанты; фильтрующая загрузка

Введение

Добыча полезных ископаемых играет жизненно важную роль в развитии национальных экономик многих стран мира из-за постоянно возрастающего спроса на сырьё. Предприятия горно-добывающей отрасли оказывают крайне нежелательное воздействие на окружающую среду. Экологические проблемы, возникающие в результате работы предприятий горнодобывающего комплекса, включают нарушение естественного рельефа, деградацию и химическое загрязнение земель, загрязнение атмосферы и водных объектов тяжелыми металлами, органическими и неорганическими отходами, что оказывает негативное воздействие на наземные и водные экосистемы. Последствием добычи полезных ископаемых является образование поверхностных и подземных сточных вод в результате осушения кислых шахт, понижение уровня грунтовых вод, оседание грунтов, нарушение гидрологического цикла и выпадение осадков. Кислые стоки горных предприятий, в мировой практике именуемые кислотный дренаж шахт (Acid mine drainage (AMD)) считаются одной из самых серьезных угроз для водных ресурсов в горнодобывающей промышленности. AMD способны оказывать долгосрочное разрушительное воздействие на реки, ручьи и водную флору и фауну [1–7]. Негативное влияние AMD на окружающую среду были описаны исследователями в Азии [8–10], Новой Зеландии [11–12], Европе [13–16], Южной Америке [17–18], Канаде [19–20] и США [21–23] Мадагаскаре, Папуа-Новой Гвинее¹. Эта проблема актуальна для развитых и развивающихся стран во всём мире.

На востоке США более 10 000 км ручьев и более 72 000 га озер и водохранилищ подверглись негативному воздействию AMD до 1990 года [24].

На Мадагаскаре по данным исследований 2019 года в воде ниже по течению от участка добычи Рио-Тинто содержатся высокие концентрации урана и свинца, способных нанести вред местным жителям, которые используют для питья воду из близлежащего озера и реки. Исследование, проведенное по запросу Andrew Lees Trust, подтвердило, что концентрации урана ниже по течению от участка добычи QIT-Madagascar Minerals в 350 раз превышало его концентрации выше по течению, а концентрации свинца — в 9,8 раз. В отчете Колумбийского университета за 2019 год говорится о повышенных концентрациях тяжелых металлов в реках и ручьях возле участка добычи Поргера в Папуа-Новой Гвинее. Участок добычи, управляемый в качестве совместного предприятия Barrick Gold Corp и Zijin, с разрешения правительства сбрасывает хвосты непосредственно в реки. Колумбийское исследование подтвердило, что уровни таких токсинов как кадмий, свинец, никель, мышьяк и цинк, превышают показатели национальных и международных стандартов качества для питьевой воды.

В РФ основной вклад в загрязнение гидросферы вносят предприятия угледобывающей промышленности, чёрной и цветной металлургии, которые сосредоточены в Европейской части, в Сибири и на Урале. Особое внимание уделяется контролю загрязнений водных

¹ Вредное воздействие горной добычи / [Электронный ресурс] // ResponsibleMiningFoundation: [сайт]. — URL: <https://www.responsibleminingfoundation.org/ru/harmful-impacts-of-mining/> (дата обращения: 14.02.2023).

объектов в регионах Сибири, где сосредоточены основные запасы пресной воды (в озере Байкал) на границе Иркутской области и Республики Бурятия. К сожалению, в результате деятельности предприятий горнодобывающей промышленности состояние водных объектов в Бурятии вызывает озабоченность. Например, ОАО «Бурятзолото» за период с 1999 по 2015 гг. без очистки сбросило 25 % сточных вод, недостаточно очищенных — 75 %. Источниками загрязнения поверхностных и подземных вод являются: шахтные воды; оборотные воды из хвостохранилища цехов обогащения; оборотные воды из хвостохранилища цеха гидрометаллургии; поверхностный сток с селитебных территорий и промплощадок [25]. Источниками загрязнения воды являются не только действующие, но и заброшенные шахты. В июне 2017 года из неэксплуатируемой шахты «Западная» в Закаменском районе республики Бурятия наблюдался выход из штольни оранжевых шахтных вод и впадение их в реку Модон-Куль. В пробах воды было установлено превышение нормативных показателей по содержанию кадмия в 99 раз, марганца — в 91 раз, железа — в 78 раз, свинца — в 20 раз [26].

На Урале наиболее высокая степень загрязнения водных объектов зафиксирована в реках, протекающих в районе заповедника «Денежкин Камень» на севере Свердловской области. В них были выявлены высокие содержания тяжелых металлов. Самой грязной рекой оказался Тамшер: в его водах концентрация меди превышает норму в 60 тыс. раз, цинка — в 6 тыс. раз, марганца — в 3 тыс. раз. Сходная ситуация наблюдается и с остальными реками. В ручейках из-под отвалов Шемурского карьера в сто — тысячу раз превышены нормативные показатели. В этом районе зона экологического бедствия с погибшими лесами имеет площадь более 600 квадратных километров².

Когда AMD попадают в поверхностные водные объекты, они оказывают биологическое воздействие на речные и озерные организмы из-за изменения кислотности и химического состава среды обитания, присутствия тяжёлых металлов, ухудшения органолептических свойств водных объектов (повышения показателя мутности и цветности), оранжевого или желтого окрашивания речных отложений, нарушения круговорота питательных веществ. На территориях, прилегающих к горно-добывающим предприятиям, водоемы становятся непригодными для бытовых, сельскохозяйственных и промышленных целей.

Методы

Очистку сточных вод, содержащих AMD, можно осуществлять разными способами, отличающимися по эффективности и экономическим затратам. Многие из них не получили широкого распространения из-за высокой стоимости реагентов, низкой эффективности фильтрующих материалов или сложности аппаратного оформления, поэтому разработка новых методов очистки таких стоков актуальна и по сей день. Для снижения затрат и повышения эффективности очистки кислых стоков в работе предлагается использовать сорбционный метод очистки на основе комбинированной фильтрующей загрузки, где в качестве одного из компонентов применяется волокнистый минерал хризотил.

В «ГОСТ 12871-2013. ХРИЗОТИЛ. Общие технические условия» приведены следующие данные, характеризующие хризотил — это «волокнистый минерал класса силиката, группы серпентина, имеющий химический состав близкий к $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$ ».

Хризотил-асбест или «белый асбест» представляет собой гидросиликат магнезия, встречающийся в природе в виде кристалла, состоящего из полых трубочек-фибрилл диаметром $2,6 \cdot 10^{-5}$ мм и длиной до 2...3 см. Минерал способен расщепляться на тончайшие

² Бодров В. Как УГМК губит уральские реки. Вода, отвалы, колчедан / Бодров В. [Электронный ресурс] // ФедералПресс: [сайт]. — URL: <https://fedpress.ru/article/2614512> (дата обращения: 14.02.2023).

хризотилловые волокна, толщиной до 0,5 мкм. Хризотилловые волокна обладают плотностью на разрыв более 3 000 Мпа, щелочестойкостью от 9,1 до 10,3 рН, плотностью от 2,4 до 2,6 г/см³, удельной поверхностью в 20 м²/г и адсорбционной способностью.

Хризотилловый асбест обладает некоторыми исключительными свойствами, которых не имеют никакие другие минералы или синтетические волокна: он прочнее стали, не поддается коррозии, огнестойкий (теплоизоляционный) и непроводящий; намного дешевле синтетических волокон, таких как поливинилацетат (ПВА); требует меньше энергии при производстве³.

Состав и свойства материала зависят от месторождения, где он добывается. Широко используемый в строительстве асбест имеет канцерогенные свойства. Фиброгенность и канцерогенность волокон разных видов асбеста различна. В большой степени опасны виды асбеста, традиционно добываемые и используемые в Европе. Однако длинноволокнистый хризотил-асбест, производимый в России, имеет существенно более низкие показатели токсичности (в десятки раз ниже). Он относится к IV классу по степени негативного экологического воздействия на окружающую среду (малоопасные).

Для установления более подробного компонентного состава в процентном соотношении необходимо руководствоваться результатами химического анализа используемого материала, в соответствии с ПОТ РМ-010-2000 «Межотраслевые правила по охране труда при производстве асбеста и асбестосодержащих материалов и изделий». Для изучения структуры и состава поверхности материала электронный микроскоп с приставкой для микрорентгеноспектрального анализа JEOL JSM-6460 LV. Химический состав сорбата и его изменения в зависимости от условий испытаний исследовали на атомно-эмиссионный спектрометр OPTIMA 2100DV с индуктивно связанной плазмой.

В работе использован хризотил Орско-Халиловского месторождения. Данная статья является частью диссертационного исследования Самодолова Александра Павловича.

Результаты и обсуждение

Результаты электронно-микроскопического анализа хризотила представлены на рисунке 1. На микрофотографии отчетливо видна волокнистая структура исследуемого образца хризотила. Показан размер волокон: длина 2–3,5 мм, диаметр волокон — 0,06–0,08 мкм.

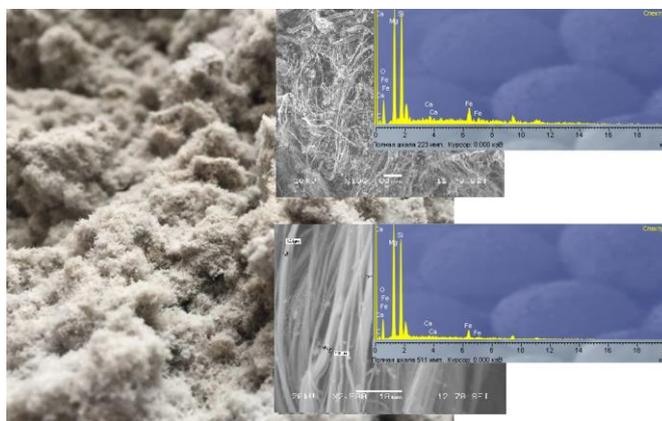


Рисунок 1. Микрофотография поверхности хризотила и результаты микрорентгеноспектрального анализа (фото авторов)

³ Что такое хризотил? / [Электронный ресурс] // Хризотилловая ассоциация: [сайт]. — URL: <https://chrysotile.ru/page/what-is-chrysotile/> (дата обращения: 14.02.2023).

Результаты микрорентгеноспектрального анализа поверхности хризотила представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты микрорентгеноспектрального анализа хризотила

Элемент	C	O	Mg	Si	Ca	Fe
Содержание элемента, мас. %	11,9	43,9	21,8	17,5	0,5	4,4

Как видно из таблицы, основными химическими элементами в составе хризотила являются кислород, магний, кремний, углерод, железо и кальций.

Оценку эффективности сорбции хризотилом тяжёлых металлов проводили используя в качестве сорбата смесь подотвальных вод Ново-Шемурского и Шемурского месторождений полиметаллических руд на Северном Урале. Сток является сильноокислым. Величина водородного показателя равна 2,38, поэтому одновременно с очисткой от загрязнителей возникает проблема нейтрализации подотвальных вод. Состав сорбата представлен в таблице 2.

Таблица 2

Химический состав сорбата

Элемент	Al	Co	Cu	Fe	Pb	Zn
Содержание, мг/л	216,29	2,43	59,95	614,41	0,98	106,7

Как видно из таблицы основными загрязнителями в исходной воде являются алюминий, кобальт, медь, железо, свинец и цинк. Взаимодействие сорбента (хризотила) с сорбатом исследовали статистическим и динамическим методами.

Эффективность очистки исходного стока хризотилом в статических условиях в зависимости от температуры и времени представлена на рисунке 2.

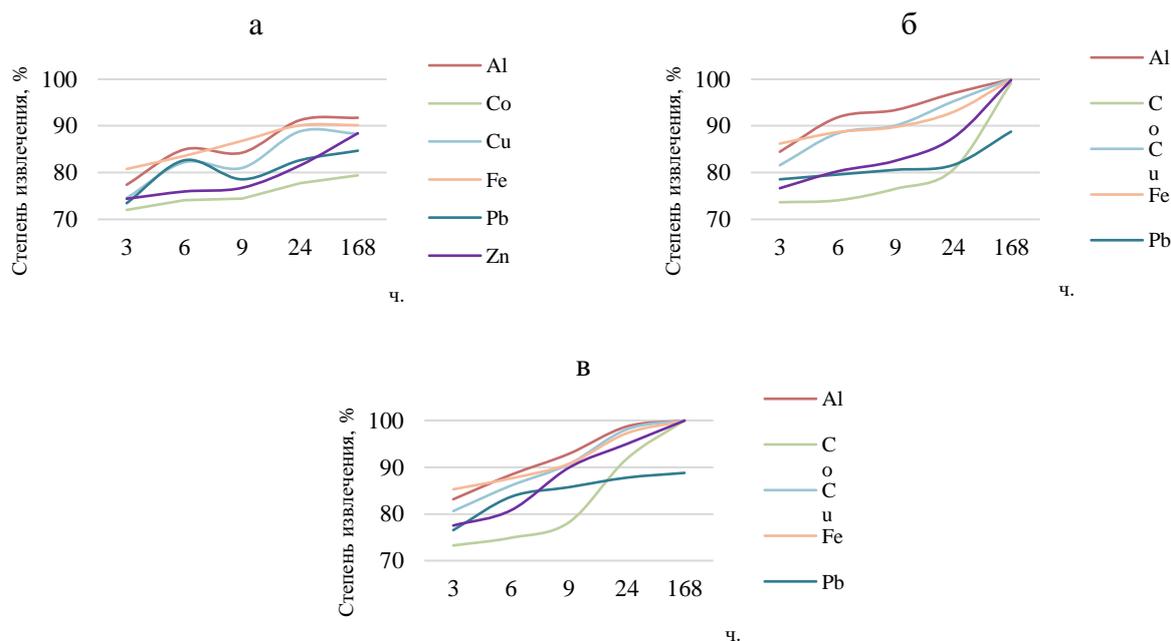


Рисунок 2. Эффективность очистки поллютантов хризотилом в статических условиях в зависимости от температуры и времени: а — 0°C; б — 10°C; в — 20°C (данные авторов)

Как видно из графиков, после очистки исходного стока хризотилом, концентрация поллютантов сократилась в среднем на 85–90 %, причём стоит отметить, что с увеличением температуры до 10–20°C — эффективность очистки увеличилась. При температурах 10–20°C

удалось снизить содержание в стоке таких металлов, как алюминий, кобальт, медь, железо и цинк почти до нуля, а эффективность очистки соответственно составила почти 100 %.

Полученные зависимости позволяют определить механизм сорбции катионов тяжёлых металлов хризотилом. Высокая удельная поверхность хризотила должна обеспечить протекание сорбционного процесса по типу физической адсорбции. Но физическая адсорбция экзотермический процесс, который протекает самопроизвольно. Сорбируемые ионы стремятся занять всю поверхность адсорбента, этому препятствует процесс, противоположный адсорбции — десорбция (эндотермический процесс). Поэтому, чем выше температура, тем меньше должна быть физическая адсорбция. Возрастание с повышением температуры эффективности сорбции хризотилом катионов тяжёлых металлов позволяет предположить, что процесс идёт не только по механизму физической адсорбции, но присутствуют и химические процессы, поэтому поллютанты при использовании хризотила будут прочно удерживаться на поверхности. При данном механизме исключается опасность залпового выброса загрязнителей в сорбат после достижения предела насыщения поверхностных центров хризотила.

Эффективность очистки исходного стока хризотилом в динамических условиях в зависимости от скорости фильтрования представлена на рисунке 3.

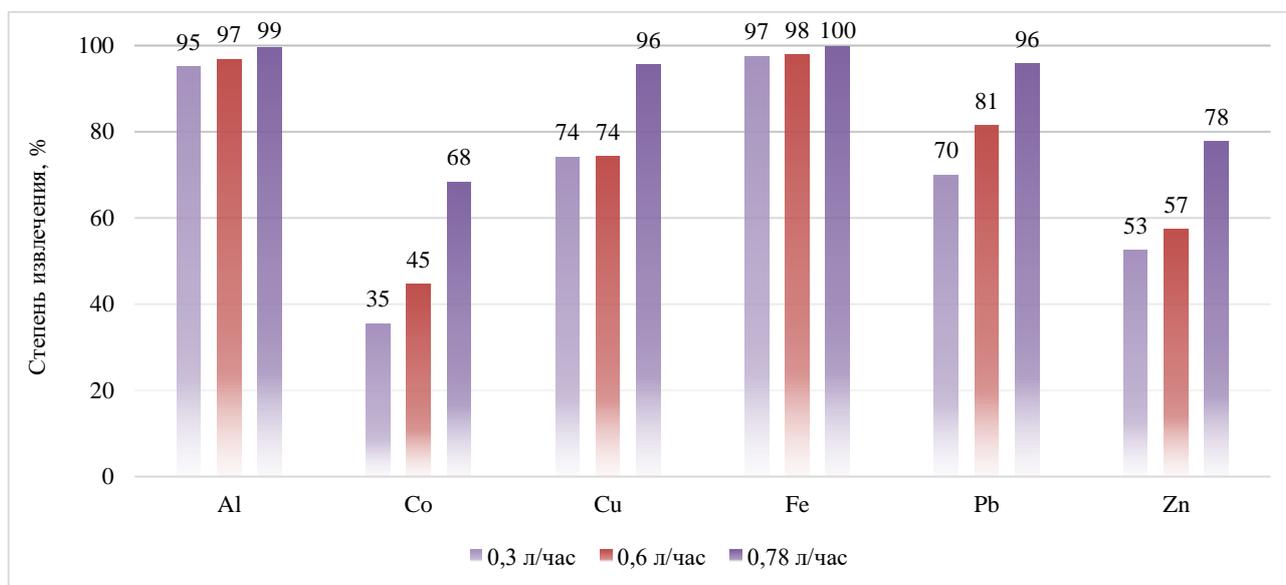


Рисунок 3. Эффективность очистки поллютантов хризотилом в динамических условиях (данные авторов)

Как видно из представленных графиков, после фильтрования исходного стока хризотилом, концентрация поллютантов сократилась в среднем на 70–80 %. Наиболее значительный эффект наблюдается при очистке стоков от алюминия, меди, железа, свинца (96–100 %), концентрации которых отличаются в 3–650 раз. Поэтому хризотил можно использовать для сорбции тяжёлых металлов из стоков сложного химического состава, где загрязнители присутствуют в очень высоких и низких концентрациях. Замечено, что эффективность очистки в динамических условиях повышается по мере увеличения скорости фильтрования. При максимальной достигнутой скорости фильтрования 0,78 л/час удалось снизить содержание в воде таких металлов, как алюминий, медь, железо и свинец почти до нуля, а эффективность очистки соответственно составила почти 100 %. Это отличает хризотил от других известных сорбентов, для которых увеличение скорости фильтрации приводит к снижению сорбционной способности. По-видимому, эффект связан с уплотнением фильтрующей загрузки под воздействием потока воды, подаваемого с большей скоростью. В более плотной загрузке увеличивается количество центров сорбента, взаимодействующих с

ионами поллютантов, соответственно возрастает и эффективность очистки. В процессе сорбции хризотилом тяжёлых металлов происходит нейтрализация стока. Это ещё один положительный эффект от применения материала. Величина водородного показателя при динамическом режиме испытаний повышается от 2,38 до значений 4,11–4,20 при скоростях фильтрации 0,3–0,6 л/час и до величины 5,84 при скорости фильтрования 0,78 л/час.

Результата исследований, представленные в данной статье, указывают на то, что хризотил позволяет эффективно удалить из подотвального стока значительную часть загрязнений как в статических, так и динамических условиях при одновременной нейтрализации.

Выводы

1. Исследована возможность применения хризотила для очистки кислых подотвальных стоков рудников Северного Урала от тяжелых металлов.
2. Изучены состав и структура хризотила.
3. Определена сорбционная способность хризотила в статических условиях в зависимости от температуры и вида поллютанта. Концентрация поллютантов (алюминий, кобальт, медь, железо и цинк) в процессе сорбции сократилась в среднем на 85–90 %. С увеличением температуры до 10–20⁰С эффективность очистки увеличилась до 100 %.
4. При динамическом режиме после фильтрования исходного стока хризотилом, концентрация поллютантов сократилась в среднем на 70–80 %. Наиболее значительный эффект наблюдается при очистке стоков от алюминия, меди, железа, свинца (96–100 %), концентрации которых отличаются в 3–650 раз. Поэтому хризотил можно использовать для сорбции тяжёлых металлов из стоков сложного химического состава, где загрязнители присутствуют в очень высоких и низких концентрациях.
5. Отмечен эффект увеличения сорбции ионов тяжёлых металлов в динамических условиях по мере увеличения скорости фильтрования. При максимальной достигнутой скорости фильтрования 0,78 л/час удалось снизить содержание в воде таких металлов, как алюминий, медь, железо и свинец почти до нуля, а эффективность очистки соответственно составила почти 100 %. Это отличает хризотил от других известных сорбентов, для которых увеличение скорости фильтрации приводит к снижению сорбционной способности. По-видимому, эффект связан с уплотнением фильтрующей загрузки под воздействием потока воды, подаваемого с большей скоростью.
6. Результаты исследований, представленные в данной статье, указывают на то, что хризотил позволяет эффективно удалить из подотвального стока значительную часть загрязнений как в статических, так и динамических условиях при одновременной нейтрализации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ugya, A.Y., Ajibade, F.O., Ajibade, T.F. Water pollution resulting from mining activity: an overview. [Текст] / Ugya A.Y., Ajibade F.O., Ajibade T.F. // In Proceedings of the 2018 annual conference of the school of engineering & engineering technology (SEET), The Federal University of Technology, Akure, Nigeria. — 2018, July. — P. 17–19.

2. Akabzaa, T.M., Banoeng-Yakubo, B.K., Seyire, J.S. Impact of Mining Activities on Water Resources in the Vicinity of the Obuasi mine. [Текст] / Akabzaa T.M., Banoeng-Yakubo B.K., Seyire J.S. // West African Journal of Applied Ecology. — 2009.
3. Bench, Dan & Sc., B. & Eng, Min PCBs, Mining, and Water Pollution. [Текст] / Bench, Dan & Sc., B. & Eng, Min // Mine Design, Operations & Closure Conference, Polson, Montana. — April 27-May 1. — 2003.
4. Vorobyev, A.V. 2002 Evaluation of the Environmental Impact of Mining Industry Enterprises / A.V. Vorobyev, K.G. Karginov, S.A. Ananikyan and E.S. Odintsova // Ekologicheskaya ekspertiza (Environmental Expert Review). — № 3. — P. 96–104.
5. Akcil, A., Koldas, S. Acid Mine Drainage (AMD): causes, treatment and case studies. [Текст] / Akcil A., Koldas S. // Journal of Cleaner Production.. — 2006. — № 14. — P. 1139–1145.
6. Skousen, J., Ziemkiewicz, P., McDonald, L. Acid mine drainage formation, control and treatment: Approaches and strategies. [Текст] / Skousen J., Ziemkiewicz P., McDonald L. // The Extractive Industries and Society. — 2018. — № 6.
7. Skousen, J. Overview of acid mine drainage treatment with chemicals. [Текст] / Skousen, J. // Acid Mine Drainage, Rock Drainage, and Acid Sulfate Soils: Causes, Assessment, Prediction, Prevention, and Remediation. — 2014. — № 29.
8. David, C.P. Establishing the impact of acid mine drainage through metal bioaccumulation and taxa richness of benthic insects in a tropical Asian stream (The Philippines). [Текст] / David C.P. // Environmental toxicology and chemistry. — 2003. — № 22(12). — P. 2952–2959.
9. Wei, T.T., Yu, Y., Hu, Z.Q., Cao, Y.B., Gao, Y., Yang, Y.Q., Wang, X.J., Wang, P.J. Research Progress of Acid Mine Drainage Treatment Technology in China. [Текст] / Wei T.T., Yu Y., Hu Z.Q., Cao Y.B., Gao Y., Yang Y.Q., Wang X.J., Wang P.J. // Applied Mechanics and Materials. — 2013. — № 409–410. — P. 214–220.
10. Yang, J.E., Kim, H.J., Ok, Y.S. et al. Treatment of abandoned coal mine discharged waters using lime wastes. [Текст] / Yang J.E., Kim H.J., Ok Y.S. et al. // Geosciences Journal. — 2007. — № 11(2). — P. 111–114.
11. Uster, B., Trumm, D., Pope, J., Weber, P., O'Sullivan, A., Weisener, C., Diloreto, Z. Waste Mussel Shells to Treat Acid Mine Drainage: A New Zealand Initiative [Текст] / Uster B., Trumm D., Pope J., Weber P., O'Sullivan A., Weisener C., Diloreto Z. // American society of mining and reclamation. — 2014. — P. 23–27.
12. Winterbourn, M., McDiffett, W., Eppley, S. Aluminium and iron burdens of aquatic biota in New Zealand streams contaminated by acid mine drainage: effects of trophic level [Текст] / Winterbourn M., McDiffett W., Eppley S. // Science of The Total Environment. — 24 May 2000. — Volume 254, Issue 1. — P. 45–54.
13. Antivachis, D., Chatzitheodoridis, E., Skarpelis, N, Komnitsas, K. Secondary sulphate minerals in a Cyprus- type ore deposit, Apliki, Cyprus: Mineralogy and its implications regarding the chemistry of pit lake water. [Текст] / Antivachis D., Chatzitheodoridis E., Skarpelis N, Komnitsas K. // Mine Water Environ. — 2016. — № 36. — P. 226–238.
14. Balci, N., Demirel, C. Prediction of acid mine drainage (AMD) and metal release sources at the Kure Copper Mine Site, NW Turkey. [Текст] / Balci N., Demirel C. // Mine Water Env. — 2018. — № 37. — P. 56–73.

15. Casiot, C., Egal, M., Elbaz-Poulichet, F., Bruneel, O., Bancon-Montigny, C., Cordier, M., Gomez, E., Aliaume, C. Hydrological and geochemical control of metals and arsenic in a Mediterranean river contaminated by acid mine drainage: preliminary assessment of impact on fish (*Leuciscus cephalus*). [Текст] / Casiot C., Egal M., Elbaz-Poulichet F., Bruneel O., Bancon-Montigny C., Cordier M., Gomez E., Aliaume C. // *Appl. Geochem.* — 2009. — № 24. — P. 787–799.
16. Gray, N., Delaney, E. Comparison of benthic macroinvertebrate indices for the assessment of the impact of acid mine drainage on an Irish river below an abandoned Cu-S mine. [Текст] / Gray N., Delaney E. // *Environ. Poll.* — 2008. — № 155. — P. 31–40.
17. Strosnider, W., Llanos Lopez, F., Nairn, R. Acid mine drainage at Cerro Rico de Potosi II: severe degradation of the Upper Rio Pilcomayo Watershed. [Текст] / Strosnider W., Llanos Lopez F., Nairn R. // *Environ. Earth Sci.* — 2011. — № 64. — P. 911–923.
18. Strosnider, W., Llanos Lopez, F., Nairn, R. Acid mine drainage at Cerro Rico de Potosi I: unabated high- strength discharges reflect a five-century legacy of mining. [Текст] / Strosnider W., Llanos Lopez F., Nairn R. // *Environ. Earth Sci.* — 2011. — № 64. — P. 899–910.
19. Neculita, C., Zagury, G.J., Bussiere, B. Passive treatment of acid mine drainage in bioreactors using sulfate-reducing bacteria. [Текст] / Neculita C., Zagury G.J., Bussiere B. // *J. Env. Qual.* — 2007. — № 36. — P. 1–16.
20. Sracek, O., Choquette, M., Gelinac, P., Lefebvre, R., Nicholson, R.V. Geochemical Characterization of acid mine drainage from a waste rock pile, Mine Doyon, Quebec, Canada. [Текст] / Sracek O., Choquette M., Gelinac P., Lefebvre R., Nicholson R.V. // *Journal of Contaminant Hydrology.* — 2004. — Volume 69, Issues 1–2. — P. 45–71.
21. Cherry, D., Currie, R., Soucek, D., Latimer, D., Grent, G. An integrative assessment of a watershed impacted by abandoned mined land discharges. [Текст] / Cherry D., Currie R., Soucek D., Latimer D., Grent G. // *Environ. Pollut.* — 2001. — № 111. — P. 377–388.
22. Kleinmann, R. Acid mine drainage. [Текст] / Kleinmann R. // *Eng. Mining J.* — 1989. — № 190. — P. 161–168.
23. Soucek, D., Cherry, D., Currie, R., Latimer, H., Trent, G. Laboratory to field validation in an integrative assessment of an acid mine drainage—impacted watershed. [Текст] / Soucek D., Cherry D., Currie R., Latimer H., Trent G. // *Environ. Tox. Chem.* — 2000. — № 19. — P. 1036–1043.
24. Herlihy, A., Kaufmann, P., Mitch, M., Brown, D. Regional estimates of acid mine drainage impact on streams in the mid-Atlantic and southeastern United States. [Текст] / Herlihy A., Kaufmann P., Mitch M., Brown D. // *Water Air Soil Poll.* — 1990. — № 50. — P. 91–107.
25. Базарова, С.Б. Воздействие горнодобывающих предприятий на экосистему региона и оценка эффективности их экологической деятельности / С.Б. Базарова [Электронный ресурс] // Региональная экономика и управление: электронный научный журнал: [сайт]. — URL: <https://eee-region.ru/article/1008/> (дата обращения: 14.02.2023).

26. Астраханцева А.Ю., Тимофеева С.С. Горнодобывающие предприятия Республики Бурятия: воздействие на атмосферный воздух и экологические риски. [Текст] / Астраханцева А.Ю., Тимофеева С.С. // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2022. — № 5—2. — С. 198–208.

Samodolov Aleksandr Pavlovich

South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, Russia
E-mail: samodolov@mail.ru
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1123411

Ulrikh Dmitrii Vladimirovich

South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, Russia
E-mail: ulrikhdv@susu.ru
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=562874

Lonzinger Tatiana Moprovna

South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, Russia
E-mail: lonzingertm@susu.ru

Applicability of chrysotile in treating acidic wastewater from mining facilities

Abstract. The article examines the use of chrysotile (sourced from the Orsk-Khalilovsk deposit) in the treatment of acidic wastewater from mining facilities to remove various pollutants, heavy metals in particular. The goal of this study was to develop and justify new methods of removing heavy metals from wastewater. We studied the physical and chemical properties and composition of chrysotile. The structure and composition of chrysotile surface was examined on a JEOL JSM-6460 LV electron microscope with an attachment for X-ray microspectroscopy. The chemical composition of the sorbate and changes occurring in different experimental conditions were studied on an OPTIMA 2100DV atomic emission spectrometer with inductively coupled plasma. Analysis on the electron microscope showed that the chrysotile sample consists of fibers. We determined the sorption capacity of chrysotile in static conditions with varying temperatures and received data on the relationship between filtration speed and treatment efficiency in dynamic conditions. We established that chrysotile is highly efficient for treatment of the source wastewater from pollutants both in static conditions and in dynamic conditions. The results of the treatment efficiency depend on the nature of the cations of the metals in the wastewater, the temperature of the sorbate, and filtration speed. In the dynamic testing mode, the hydrogen index raises from acidic values to values that are close to neutral ones.

This article is part of the dissertation by Aleksandr P. Samodolov.

Keywords: mining-influenced water; chrysotile; mining operations; sorption; heavy metals; pollutants; filter medium