УДК 544.723.2

Исследование физико-химических свойств осадков водоподготовки для «зеленой» почвенной утилизации

Рафаил Абдрахманович АПАКАШЕВ* Александр Николаевич МАЛЫШЕВ** Максим Сергеевич ЛЕБЗИН***

Уральский государственный горный университет, Россия

Аннотация

Актуальность работы. Крупные города нуждаются в большом количестве природной воды для хозяйственно-бытовых нужд. Обработка природной воды перед использованием приводит к накоплению значительного количества осадков водоподготовки – техногенного отхода, требующего утилизации. Осадки водоподготовки являются нетоксичным веществом, его можно использовать в качестве компонента почвогрунта. Глинистые минералы, гидроксиды и оксиды металлов придают осадкам водоподготовки адсорбционные свойства, обеспечивающие способность связывать ионы тяжелых металлов.

Цель работы. Исследование физико-химических свойств осадков водоподготовки для их включения в состав сорбентов-мелиорантов, способных к адсорбции ионов тяжелых металлов и улучшению качества грунта. **Методы исследования.** Для изучения были выбраны следующие параметры осадков: гранулометрический, химический и фазовый состав, электропроводность, а также кислотно-основные свойства.

Результаты исследований. Результаты гранулометрических исследований показывают, что осадки водоподготовки представляют собой полидисперсную систему. Преобладающая часть осадков водоподготовки представлена частицами с линейным размером менее 50 мкм (53 %) и частицами размером более 100 мкм (44 %). На частицы с размером от 71 до 100 мкм приходится 2 % от общего числа. При этом визуальное сканирование осадков водоподготовки с помощью электронного микроскопа свидетельствует о преобладании частиц несферической формы. Гранулометрический анализ позволяет заключить, что осадки водоподготовки при контакте с другими веществами характеризуются развитой поверхностью границы раздела. Рентгенограмма обезвоженных осадков водоподготовки имеет вид, характерный для рентгеноаморфного вещества. В осадках фиксируются кварц и высокое содержание органического вещества. Высокое содержание углерода связано с присутствием в осадках большого количества фитопланктона, а существенная доля кремния - со значительным содержанием в фитопланктоне водоисточника диатомовых водорослей. На рентгенограмме прокаленных осадков кроме кварца проявляются соединения алюминия и железа. При изучении кислотно-основных свойств установлено, что осадки водоподготовки при контакте с кислой средой проявляют нейтрализующее действие. Наличие органического вещества, соединений железа, развитой межфазной поверхности, а также нейтральный или щелочной характер среды, обеспечиваемый осадками водоподготовки, создают предпосылки для почвенной иммобилизации тяжелых металлов. Осадки водоподготовки содержат соосажденный сульфат алюминия - электролит, диссоциирующий на ионы алюминия и сульфат-ионы. В этих условиях при наличии ионов тяжелых металлов также возможна их иммобилизация за счет образования труднорастворимых сульфатов.

Выводы. Изучен комплекс физико-химических свойств осадков водоподготовки фильтровальной станции для возможного их повторного «зеленого» применения в составе сорбентов-мелиорантов при рекультивации почв, загрязненных тяжелыми металлами. Результаты проведенных исследований свидетельствуют о перспективности «зеленой» почвенной утилизации осадков водоподготовки. Осадки водоподготовки могут выступать сорбентом-мелиорантом, снижающим подвижность почвенных тяжелых металлов и улучшающим качество грунта.

Ключевые слова: осадки водоподготовки, гранулометрический анализ, рентгенофазовый анализ, электропроводность, электронная микроскопия, сорбент-мелиорант, тяжелые металлы.

Введение

Земли, нарушенные в результате деятельности предприятий горнопромышленного комплекса, требуют проведения мероприятий рекультивации с применением ме-

лиорантов. При этом мелиоранты выступают в качестве субстрата, улучшающего физико-химические свойства почвы и повышающего ее плодородие. В этом направле-

 $^{{\}ensuremath{oxed{\boxtimes}}}$ parknedra@yandex.com

^{**} malyshev.k1b@gmail.com

^{***} az_ma@mail.ru

нии получил развитие перспективный способ ремедиации и рекультивации нарушенных земель, основанный на применении мелиорантов-стабилизаторов тяжелых металлов. Биологическая функция тяжелых металлов проявляется в подавлении активности ферментов в почве в 3–3,5 раза, что существенно снижает ее плодородие [1]. В качестве мелиорантов-стабилизаторов могут быть использованы различные удобрения и сорбционные материалы природного и техногенного происхождения. Одним из наиболее известных приемов устранения избытка тяжелых металлов в почве является, например, внесение негашеной или гашеной извести [2].

В большинстве случаев при ремедиации и рекультивации почвы эффективно совместное внесение извести, органического вещества (например, торфа) и фосфатов, способствующее заметному снижению поступления тяжелых металлов в растения. Иммобилизация тяжелых металлов в этом случае обусловлена протеканием химических реакций, ведущих к образованию труднорастворимых карбонатов и фосфатов тяжелых металлов. Достаточно эффективны сорбционные барьеры, образующиеся при внесении органических удобрений, которые подразделяются на биологически активные (навоз) и биологически инертные (торф) [3]. Химические компоненты в составе органических удобрений связывают тяжелые металлы в органоминеральные комплексы с низкой растворимостью и большой прочностью. Благоприятный режим фосфора в почвах снижает токсическое действие тяжелых металлов, образующих нерастворимые фосфаты. Внесение суперфосфата или фосфоритной муки в кислую почву рассматривается как один из методов иммобилизации тяжелых металлов.

Использование глинистых минералов с добавками оксидов, например железа, также может быть эффективным в целях рекультивации. Кроме того, глинистые минералы и оксиды могут быть переработаны и регенерированы для дополнительного рекультивационного использования. Например, сорбент на основе палыгорскита с добавками оксида железа проявляет способность к связыванию свинца и неоднократному использованию [4]. Увеличению количества связываемых ионов тяжелых металлов из загрязненной среды способствует сочетание оксид металла-модифицированная глина [5].

Известны исследования, ориентированные в соответствии со стратегией устойчивого развития на изучение возможности повторного рационального применения компонентов промышленных отходов в качестве мелиорантов-стабилизаторов тяжелых металлов. Авторы исследования [6] провели полевые эксперименты по использованию серпентинсодержащих отходов для ремедиации техногенно загрязненных территорий. Результаты исследования показывают, что предложенный способ ремедиации позволяет снизить экологическую нагрузку на техногенные ландшафты путем использования серпентинсодержащих отходов в качестве мелиоранта-стабилизатора тяжелых металлов.

Многими физическими и химическими свойствами, потенциально предоставляющими возможность повторного использования техногенных отходов, обладают осадки водоподготовки фильтровальных станций [7, 8].

Осадки водоподготовки образуются в результате обработки природной воды, как правило, поверхностного

происхождения, перед подачей в водопроводную сеть. В крупных городах значительная часть бюджета идет на вывоз и депонирование данных осадков, образующихся в большом количестве. Обработка природной воды на сооружениях водопровода заключается в ее очистке от механических примесей, отстаивании, фильтровании и обеззараживании. Отходом предварительного процеживания воды является шлам, содержащий частицы плавающих примесей и планктона. Для удаления мелкодисперсных и коллоидных частиц технологическим процессом очистки воды предусмотрено введение коагулянта. Для ускорения процесса коагуляции примесей воды и интенсификации работы очистных сооружений применяют флокулянт.

Отходы процесса отстаивания (шламы) состоят из взвешенных веществ, содержащихся в обрабатываемой воде, и хлопьеобразных продуктов гидролиза коагулянтов с адсорбированными на них органическими и минеральными соединениями. По мере накопления шламы удаляются из отстойников.

В общем случае осадки водоподготовки по своим физико-химическим свойствам подобны органоминеральным коллоидам, состоящим преимущественно из гумусовых веществ и глинистых минералов, а также осажденных форм гидроксидов железа, алюминия и оксида марганца. Наличие гумусовых веществ в составе осадка водоподготовки обеспечивает возможность применения данного осадка в составе почвогрунта. Одновременно присутствующие глинистые минералы, гидроксиды и оксиды металлов обеспечивают возможность применения осадка водоподготовки в качестве мелиоранта-стабилизатора тяжелых металлов [8]. В общем случае осадок водоподготовки является нетоксичным веществом, и поэтому часто утилизируется в качестве компонента почвогрунта [8].

Стратегия устойчивого развития предполагает правильное управление отходами, способное обеспечить повторное их использование и тем самым снизить экологическую нагрузку на окружающую среду [9, 10]. Рациональное использование осадков водоподготовки в качестве техногенного вторичного сырья позволяет решать две задачи – экологически безопасную утилизацию отходов и восстановление нарушенных земель.

Путь почвенной утилизации осадков водоподготовки в настоящее время выбирают все большее число стран. При этом в научной литературе присутствует ограниченное число публикаций с информацией о физико-химических свойствах осадков водоподготовки. Знание данных свойств необходимо для обоснования возможных вариантов вторичного использования осадков водоподготовки, в том числе в составе сорбентов-мелиорантов для загрязненных почв.

Целью настоящего исследования является изучение комплекса физико-химических свойств осадков водоподготовки фильтровальной станции для возможного их повторного «зеленого» применения в составе сорбентов-мелиорантов при рекультивации почв, загрязненных тяжелыми металлами.

Материалы и методы

В качестве объекта исследования изучали осадки водоподготовки Западной фильтрационной станции г. Екатеринбурга, отобранные в летний период водозабора. Для анализа были выбраны следующие параметры

Доля фракции от общей массы, %

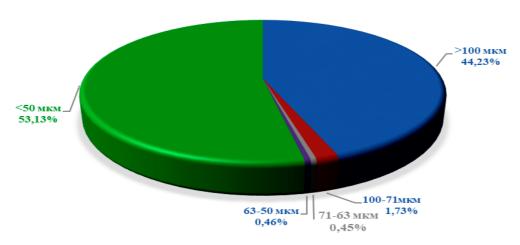


Рисунок 1. Гранулометрический состав осадков водоподготовки. Ситовой метод анализа с промывкой водой Figure 1. Granulometric composition of water treatment residuals. Sieve method of analysis with water washing

осадков: гранулометрический, фазовый и химический состав, электропроводность, а также кислотно-основные свойства.

Осадки водоподготовки перед проведением экспериментов предварительно обезвоживали при 373 K в течение двух суток.

Гранулометрический состав осадков водоподготовки определяли ситовым методом с промывкой водой, а также методом седиментации с использованием торсионных весов. Для проведения анализа гранулометрического состава осадков водоподготовки ситовым методом взвешивали 49 ± 1 г сухого материала. Применяли набор сит с размерами ячеек 0,100; 0,071; 0,063; 0,050 мм. Для промывки сит использовали дистиллированную воду. После просева с каждого сита осуществлялся сбор материала. Собранный материал просушивали при 373 К в течение 8 ч и взвешивали.

Фазовый состав образцов определяли методом рентгеновского фазового анализа с помощью дифрактометра XRD 7000 (Shimadzu). При расшифровке рентгенограмм использовали базу данных ICDD (International Centre for Difraction Date 2012 и ASTM (American Society for Testing and Materials).

Химический состав образцов определяли методом рентгеноспектрального микроанализа EDAX с помощью соответствующей приставки к сканирующему электронному микроскопу Tescan Vega.

Удельную электропроводность системы вода-осадки водоподготовки исследовали мостовым методом. Для измерений использовали мостовую схему, питаемую переменным током. Перед проведением измерений навеску осадков водоподготовки смешивали со 100 мл дистиллированной воды и выдерживали в течение 24 ч.

Исследование кислотно-основных свойств осадков водоподготовки проводили в статических условиях при комнатной температуре. Навеску обезвоженного материала массой 1,5 г (точность взвешивания $\pm 0,01$ г) помещали в стеклянную колбу достаточной емкости. В колбу с помощью мерного цилиндра добавляли 25,0 мл раствора уксусной кислоты с различной концентрацией. По истечению двух часов контакта компонентов раствор из колбы филь-

тровали через бумажный фильтр. Исходную и конечную концентрацию уксусной кислоты определяли титрованием, используя стандартный раствор гидроксида натрия.

Результаты и обсуждение

Результаты гранулометрического анализа осадков водоподготовки ситовым методом представлены на рис. 1.

Из рис. 1 видно, что преобладающая часть осадков водоподготовки представлена частицами с линейным размером менее 50 мкм (53 %) и частицами размером более 100 мкм (44 %). На частицы с размером от 71 до 100 мкм приходится 2 % от общего числа.

Дополнительные гранулометрические исследования осадков водоподготовки были выполнены седиментационным методом, так как ситовой метод и метод седиментации имеют разные диапазоны измерений размера частиц. На рис. 2 представлена соответствующая дифференциальная кривая распределения частиц, имеющих размер менее 50 мкм. Из рис. 2 следует, что среди частиц менее 50 мкм преобладают частицы, размер которых не превышает 10 мкм.

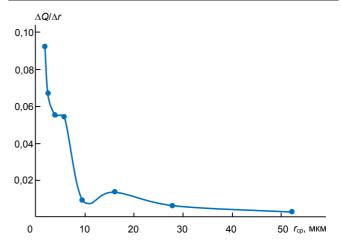


Рисунок 2. Кривая распределения весового количества фракций. Метод седиментации: ΔQ — вес фракции, усл. ед.; $r_{\rm cp}$ — средний распус частиц фракции, мкм

Figure 2. The distribution curve of the weight fractions. Sedimentation method: ΔQ – fraction weight, c. u.; $r_{\rm av}$ is the average particle radius of the fraction, $\mu {\rm m}$

Результаты гранулометрических исследований показывают, что осадки водоподготовки представляют собой полидисперсную систему. При этом визуальное сканирование осадков водоподготовки с помощью электронного микроскопа свидетельствует о преобладании частиц несферической формы. Отметим, что угловатые частицы имеют более развитую поверхность, чем округлые частицы. Шар имеет минимальную площадь поверхности на единицу объема по сравнению с другими геометрическими формами. В отношении величины площади поверхности также важен размер частиц: мелкие частицы имеют большую поверхность, чем такое же количество по массе крупных частиц. Следовательно, гранулометрический анализ позволяет заключить, что осадки водоподготовки при контакте с другими веществами характеризуются развитой поверхностью границы раздела. Данный факт имеет значение для процесса адсорбции, протекающего на границе раздела фаз.

Рентгенограмма осадков водоподготовки, обезвоженных нагреванием при 373 К, имеет вид характерный для рентгеноаморфного вещества. По рентгенограмме идентифицируются только кварц SiO₂ и аморфная фаза. Рентгенограмма становится информативной после прокаливания осадков водоподготовки при более высокой температуре. Это влияет на минеральный состав осадка. В летний период наблюдается «цветение» воды, вызванное массовым размножением сине-зеленых водорослей и цианобактерий. Поэтому в осадках высокое содержание органического вещества. Нагрев осадков водоподготовки до высокой температуры обеспечивает выгорание органических соединений и удаление летучих веществ. На рентгенограмме осадков водоподготовки, прокаленных при 723 К в течение 20 мин, кроме кварца фиксируются соединения алюминия: алуноген $(Al(H_2O)_6)_2(SO_4)_3(H_2O)_5$, альбит NaAlSi₃O₈, гиббсит Al(OH)₃, а также железо в составе графтонита $Fe_3(PO_4)$, и аморфная фаза.

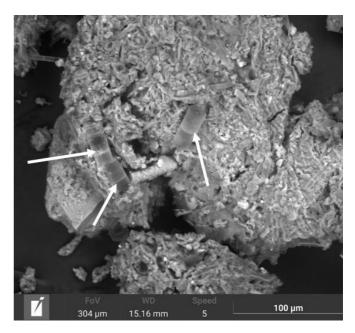


Рисунок 3. Осадки водоподготовки. Стрелками отмечены наиболее крупные диатомовые водоросли Figure 3. Water treatment residuals. Arrows indicate the largest diatoms

Результаты электронной микроскопии свидетельствуют о том, что высокое содержание углерода связано с присутствием в осадках большого количества фитопланктона, а существенная доля кремния – со значительным содержанием в фитопланктоне водоисточника диатомовых водорослей. На рис. 3 представлена фотография частицы осадков водоподготовки, полученная с помощью электронного микроскопа. Из рис. 3 видно, что частица осадка сформирована из водорослей различных видов. Наиболее простым классом для идентификации являются

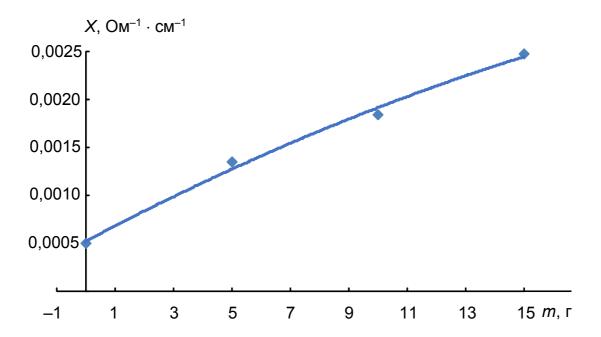


Рисунок 4. Зависимость удельной электропроводности X, $\mathsf{Om}^{-1} \cdot \mathsf{cm}^{-1}$, раствора от массы m, r , внесенного осадка водоподготовки

Figure 4. Dependence of the specific electrical conductivity X, Ohm⁻¹ · cm⁻¹, of the solution on the mass m, g, of the introduced water treatment residuals

120 Р. А. Апакашев и др. Исследование физико-химических свойств осадков водоподготовки для «зеленой» почвенной утилизации//Известия УГГУ. 2022. Вып. 3 (67). С. 117—124. DOI 10.21440/2307-2091-2022-3-117-124

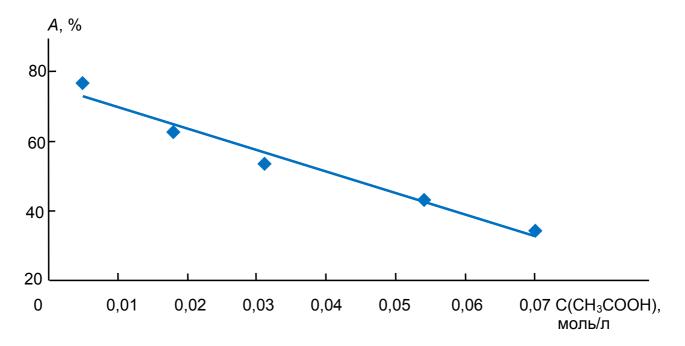


Рисунок 5. Зависимость доли А, %, нейтрализованной осадками водоподготовки уксусной кислоты от ее исходной концентрации С(СН,СООН), моль/л Figure 5. Dependence of the proportion A, %, neutralized by acetic acid water treatment residuals, on its initial concentration C(CH,COOH), mol/l

диатомовые водоросли Diatomeae, имеющие гладкий, геометрически ровный трубчатый панцирь. Панцирь диатомовых водорослей образован диоксидом кремния SiO₂, что подтверждается результатами выполненного рентгеноспектрального микроанализа.

Дополнительная информация о свойствах осадков водоподготовки была получена при изучении их удельной электропроводности. На рис. 4 представлена зависимость данного параметра от массы осадков водоподготовки в фиксированном объеме воды.

Из рис. 4 следует, что удельная электропроводность линейно возрастает с увеличением исходной массы осадков водоподготовки в воде. По технологии водоподготовки в качестве коагулянта используется сульфат алюминия. Введение коагулянта приводит к агрегации и осаждению взвешенных частиц. При этом происходит соосаждение сульфата алюминия, в отсутствие других осадков не осаждающегося. По результатам рентгенофазового анализа, осадки водоподготовки содержат сульфат алюминия в форме минерала алуногена. Алуноген растворим в воде. При растворении он диссоциирует на ионы алюминия и сульфат-ионы, обеспечивающие электрическую проводимость раствора. Поэтому повышение содержания осадков водоподготовки в фиксированном объеме воды влечет рост концентрации заряженных частиц в растворе и рост его электропроводности. В этих условиях при наличии ионов тяжелых металлов возможна их иммобилизация за счет образования труднорастворимых сульфатов.

При исследовании влияния осадков водоподготовки на кислотность среды отмечено следующее. В результате проведенных экспериментов установлено, что осадки водоподготовки при контакте с кислой средой проявляют нейтрализующее действие, связывая часть кислоты (рис. 5). Нейтрализация кислоты смещает значение водородного показателя в сторону нейтральной и щелочной среды. Отметим, что щелочная среда способствует почвенной иммобилизации ионов тяжелых металлов [11–15].

Заключение

Исследованы физико-химические параметры осадков водоподготовки. Установлено, что осадки водоподготовки представляют собой полидисперсную систему, характеризующуюся развитой поверхностью. Рентгенограмма обезвоженных осадков водоподготовки имеет вид, характерный для рентгеноаморфного вещества. В осадках фиксируются кварц и высокое содержание органического вещества. На рентгенограмме прокаленных осадков кроме кварца проявляются соединения алюминия и железа. Наличие органического вещества, соединений железа, а также развитой межфазной поверхности имеет значение для почвенной иммобилизации тяжелых металлов. Тяжелые металлы, попадая в почву, активно связываются с глинистыми и органическими частицами, гидроксидами и оксидами марганца и железа. В результате токсичность тяжелых металлов заметно снижается.

Осадки водоподготовки содержат соосажденный сульфат алюминия – электролит, диссоциирующий на ионы алюминия и сульфат-ионы. В этих условиях при наличии ионов тяжелых металлов возможна их иммобилизация за счет образования труднорастворимых сульфатов.

При исследовании влияния на кислотность среды выявлена кондиционирующая способность осадков водоподготовки. Осадки водоподготовки при контакте с кислой средой проявляют нейтрализующее действие. Нейтрализация кислоты смещает значение водородного показателя в сторону нейтральной и щелочной среды. Отметим, что щелочная среда способствует почвенной иммобилизации ионов тяжелых металлов.

Результаты проведенных исследований свидетельствуют о перспективности «зеленой» почвенной утилизации осадков водоподготовки в качестве компонента почвогрунта. В этом случае осадки водоподготовки могут выступать сорбентом-мелиорантом, улучшающим качество грунта и обеспечивающим снижение биологической доступности тяжелых металлов.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-24-20102, https://rscf.ru/project/22-24-20102/ при финансовой поддержке Правительства Свердловской области.

ПИТЕРАТУРА

- 1. Aponte H., Meli P., Butler B., Paolini J., Matus F., Merino K., Kornejo P., Kuzyakov Ya. Meta-analysis of heavy metal effects on soil enzyme activities // Science of The Total Environment. 2020. Vol. 737. Article number 139744. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139744
- 2. Karalić K., Lončarić Z., Popović B., Zebec V., Kerovec D. Liming effect on soil heavy metals availability // Poljoprivreda. 2013. Vol. 19 (1).
- 3. Hecl J., Tóth Š. Effect of fertilizers and sorbents applied to the soil on heavy metal transfer from the soil // Electronic Journal of Polish Agricultural Universities. 2009. Vol. 12. Issue 2. P. 7–17. URL: http://www.ejpau.media.pl/volume12/issue2/art-17.html
- 4. Rusmin R., Sarkar B., Tsuzuki T., Kawashima N., Naidu R. Removal of lead from aqueous solution using superparamagnetic palygorskite nanocomposite: Material characterization and regeneratilon studies // Chemosphere. 2017. Vol. 186. P. 1006-1015. https://doi.org/10.1016/j. chemosphere.2017.08.036
- 5. Xu Y., Liang X., Xu Y., Qin X., Huang Q., Wang L., Sun Yu. Remediation of heavy metal-polluted agricultural soils using clay minerals: A review // Pedosphere. 2017. Vol. 27. Issue 2. P. 193-204. http://dx.doi.org/10.1016/S1002-0160(17)60310-2
- 6. Слуковская М. В., Кременецкая И. П., Мосендз И. А., Дрогобужская С. В., Иванова Л. А. Ремедиация антропогенно нарушенных территорий с использованием серпентинсодержащих отходов // Труды Кольского научного центра РАН. 2018. № 6. С. 45–51. URL: https:// cyberleninka.ru/article/n/remediatsiya-antropogenno-narushennyh-territoriy-s-ispolzovaniem-serpentinsoderzhaschih-othodov
- 7. Apakashev R. A., Guman O. M., Valiev N. G. Reclamation of disturbed lands by means of technogenic water treatment sludge // Sustainable development of mountain territories. 2020. Vol. 12. No. 2(44). P. 229–236. https://doi.org/10.21177/1998-4502-2020-12-2-229-236
- 8. Turner T., Wheeler R., Stone A., Oliver I. Potential Alternative Reuse Pathways for Water Treatment Residuals: Remaining Barriers and Questions - a Review // Water, Air, & Soil Pollution. 2019. Vol. 230. Issue 9. P. 1-30. Article number 227. http://dx.doi.org/10.1007/s11270-019-
- 9. Golik V. I., Razorenov Yu. I., Karginov K. G. Mining industry the basis for sustainable development of north Ossetia Alania // Sustainable development of mountain territories. 2017. Vol. 9. No. 2(32). P. 163–172. https://doi.org/10.21177/1998-4502-2017-9-2-163-171
- 10. Yun H.-S., Jang M., Shin W.-S., Choi J. Remediation of arsenic-contaminated soils via waste-reclaimed treatment agents: Batch and field
- studies // Minerals Engineering. 2018. Vol. 127. P. 90–97. https://doi.org/10.1016/j.mineng.2018.07.015
 11. Lukman S., Essa M. H., Nuthu D., Mu'azu N., Bukhari A., Basheer C. Adsorption and desorption of heavy metals onto natural clay material: Influence of initial pH // Journal of Environmental Science and Technology. 2013. Vol. 6. No. 1. P. 1–15. https://doi.org/10.3923/jest.2013.1.15
- 12. Balashov A. M., Fedorovskaya L. A. Neutralization of sewage sludge and water treatment sludge is a significant reduction in the environmental burden on biogeocenoses // Rostov scientific journal. 2017. No. 8. S. 92-98.
- 13. Бойко Т. В. Возможность применения мембранных технологий для обезвоживания осадков станций водоподготовки. Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2019. № 4 (41). С. 125–133. https://doi.org/10.24866/2227-6858/2019-4-13
- 14. Bartczak P, Norman M, Klapiszewski Ł et al (2018) Removal of nickel(II) and lead(II) ions from aqueous solution using peat as a low-cost adsorbent: a kinetic and equilibrium study. Arab J Chem 11:1209-1222.
- 15. Николаенко Е. В., Белканова М. Ю., Репников Н. Е. Технологические аспекты обработки осадка сооружений водоподготовки

Статья поступила в редакцию 15 июня 2022 года

УДК 544.723.2

http://doi.org/10.21440/2307-2091-2022-3-117-124

Study of the physicochemical properties of water treatment residuals for "green" soil utilization

Rafail Abdrakhmanovich APAKASHEV* Aleksandr Nikolaevich MALYSHEV** Maksim Sergeevich LEBZIN***

Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia

Abstract

Relevance of the work. Large cities need a large amount of natural water for household needs. Treatment of natural water before use leads to the accumulation of a significant amount of water treatment residuals - man-made waste that requires utilization. Water treatment residuals are a non-toxic substance, it can be used as a soil component. Clay minerals, metal hydroxides and oxides impart adsorption properties to water treatment residuals, providing the ability to bind heavy metal ions.

Purpose of the work. Investigation of the physicochemical properties of water treatment residuals for their inclusion in the composition of sorbents-ameliorants capable of adsorbing heavy metal ions and improving soil quality.

Research methodology. The following residuals parameters were chosen for study: particle size distribution, chemical and phase composition, electrical conductivity, and acid-base properties.

Results. The results of granulometric studies show that the water treatment residuals are a polydisperse system. The predominant part of water treatment residuals is represented by particles with a linear size of less than 50 µm (53%) and particles larger than 100 µm (44%). Particles with a size of 71 to 100 µm account for 2% of the total. At the same time, visual scanning of water treatment sediments using an electron microscope indicates the predominance of non-spherical particles. Granulometric analysis allows us to conclude that water treatment residuals in contact with other substances are characterized by a developed interface surface. The X-ray diffraction pattern of dehydrated water treatment residuals has a form characteristic of an X-ray amorphous substance. Residuals contain quartz and a high content of organic matter. The high carbon content is associated with the presence of a large amount of phytoplankton in the residuals, and a significant proportion of silicon is associated with a significant content of diatoms in the phytoplankton of the water source. In addition to quartz, compounds of aluminum and iron appear on the X-ray diffraction pattern of calcined residuals. When studying the acid-base properties, it was found that water treatment residuals, when in contact with an acidic environment, exhibit a neutralizing effect. The presence of organic matter, iron compounds, a developed interfacial surface, as well as the neutral or alkaline nature of the medium provided by the water treatment residuals, create prerequisites for soil immobilization of heavy metals. Water treatment residuals contain co-precipitated aluminum sulfate - an electrolyte that dissociates into aluminum ions and sulfate ions. Under these conditions, in the presence of heavy metal ions, their immobilization is also possible due to the formation of sparingly soluble sulfates.

Conclusions. A complex of physicochemical properties of water treatment residuals of a filtering station was studied for their possible repeated "green" use as part of ameliorant sorbents in the reclamation of soils contaminated with heavy metals. The results of the studies carried out testify to the prospects of the "green" soil utilization of water treatment residuals. Water treatment residuals can act as a sorbent-ameliorant that reduces the mobility of soil heavy metals and improves soil quality.

Keywords: water treatment residuals, granulometric analysis, X-ray phase analysis, electrical conductivity, electron microscopy, ameliorant sorbent, heavy metals.

CREDITS

The study was carried out on account of the Russian Science Foundation Grant No. 22-24-20102, https://rscf.ru/project/22-24-20102/ with the financial support of the Government of the Sverdlovsk region.

REFERENCES

- 1. Aponte H., Meli P., Butler B., Paolini J., Matus F., Merino K., Kornejo P., Kuzyakov Ya. 2020, Meta-analysis of heavy metal effects on soil enzyme activities. Science of The Total Environment, vol. 737, №. 139744. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139744
- 2. Karalić K., Lončarić Z., Popović B., Zebec V., Kerovec D. 2013, Liming effect on soil heavy metals availability. Poljoprivreda, vol. 19 (1), pp. 59-64.

[⊠]parknedra@yandex.com

^{**} malyshev.k1b@gmail.com

^{***} az_ma@mail.ru

- 3. Hecl J., Tóth Š. 2009, Effect of fertilizers and sorbents applied to the soil on heavy metal transfer from the soil. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities*, vol. 12, issue 2, pp. 7–17. URL: http://www.ejpau.media.pl/volume12/issue2/art-17.html
- 4. Rusmin R., Sarkar B., Tsuzuki T., Kawashima N., Naidu R. 2017, Removal of lead from aqueous solution using superparamagnetic palygorskite nanocomposite: Material characterization and regeneration studies. *Chemosphere*, vol. 186, pp. 1006–1015. https://doi.org/10.1016/j. chemosphere.2017.08.036
- 5. Xu Y., Liang X., Xu Y., Qin X., Huang Q., Wang L., Sun Yu. 2017, Remediation of heavy metal-polluted agricultural soils using clay minerals: A review. *Pedosphere*, vol. 27, issue 2, pp. 193–204. http://dx.doi.org/10.1016/S1002-0160(17)60310-2
- 6. Slukovskaya M. V., Kremenetskaya I. P., Mosendz I. A., Drogobuzhskaya S. V., Ivanova L. A. 2018, Remediation of man-made disrupted areas using serpentine-containing mining wastes. *Trudy Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN* [Proceedings of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], no. 6, pp. 45–51. (*In Russ.*) URL: https://cyberleninka.ru/article/n/remediatsiya-antropogenno-narushennyh-territoriy-s-ispolzovaniem-serpentinsoderzhaschih-othodov
- 7. Apakashev R. A., Guman O. M., Valiev N. G. 2020, Reclamation of disturbed lands by means of technogenic water treatment sludge. *Sustainable development of mountain territories*, vol. 12, no. 2 (44), pp. 229–236. https://doi.org/10.21177/1998-4502-2020-12-2-229-236
- 8. Turner T., Wheeler R., Stone A., Oliver I. 2019, Potential alternative reuse pathways for water treatment residuals: Remaining barriers and questions a review. *Water, Air, & Soil Pollution*, vol. 230, issue 9, pp. 1–30, №. 227. http://dx.doi.org/10.1007/s11270-019-4272-0
- 9. Golik V. I., Razorenov Yu. I., Karginov K. G. 2017, Mining industry the basis for sustainable development of north Ossetia Alania. Sustainable development of mountain territories, vol. 9, no. 2 (32), pp. 163–172. https://doi.org/10.21177/1998-4502-2017-9-2-163-171
- 10. Yun H.-S., Jang M., Shin W.-S., Choi J. 2018, Remediation of arsenic-contaminated soils via waste-reclaimed treatment agents: Batch and field studies. *Minerals Engineering*, vol. 127, pp. 90–97. https://doi.org/10.1016/j.mineng.2018.07.015
- 11. Lukman S., Essa M. H., Nuthu D., Mu'azu N., Bukhari A., Basheer C. 2013, Adsorption and desorption of heavy metals onto natural clay material: Influence of initial pH. *Journal of Environmental Science and Technology*, vol. 6, no. 1, pp. 1–15. https://doi.org/10.3923/jest.2013.1.15 12. Balashov A. M., Fedorovskaya L. A. 2017, Neutralization of sewage sludge and water treatment sludge is a significant reduction in the environmental burden on biogeocenoses. *Rostov scientific journal*, no. 8, pp. 92 98.
- 13. Boyko T. V. 2019, Possibility of using membrane technology for dewatering sludge from water treatment plants. *Vestnik Inzhenernoy shkoly Dal'nevostochnogo federal'nogo universiteta* [Bulletin of the Engineering School of the Far Eastern Federal University], no. 4 (41), pp. 125 133. (*In Russ.*) https://doi.org/10.24866/2227-6858/2019-4-13
- 14. Bartczak P., Norman M., Klapiszewski Ł. [et al.]. 2018, Removal of nickel (II) and lead (II) ions from aqueous solution using peat as a low-cost adsorbent: A kinetic and equilibrium study. *Arab J Chem*, vol. 11, pp. 1209–1222.
- 15. Nikolaenko E. V., Belkanova M. Yu., Repnikov N. E. 2016, Technological aspects of sludge treatment in water treatment facilities. *Perspektivy razvitiya stroitel'nogo kompleksa* [Prospects for the development of the construction complex], no. 1, pp. 80 86. (*In Russ.*)

The article was received on June 15, 2022