

АНАЛИЗ ПРОБЛЕМЫ ОБРАЩЕНИЯ С ОТХОДОМ ДОЛОМИТНЫХ КОМБИНАТОВ

Вячеслав Владимирович Маркин¹, Екатерина Леонидовна Головатенко²

^{1,2} Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,
ДНР, Макеевка, Россия, ¹*v.v.markin@donnasa.ru*, ²*golovatenko87@yandex.ru*

Аннотация. В процессе добычи и переработки доломитных пород образуется большое количество отсева с размером зерен менее 5...20 мм. В дальнейшем отсев не используется, а складывается на территории добывающих предприятий, превращаясь в отход, занимает большие площади и загрязняет окружающую среду пылью. Количество отсева составляет 20...40 % от объема добываемого сырья. Отвалы отсева породы занимают до 15...20 % площади предприятий. Для повышения уровня ресурсосбережения и предотвращения загрязнения окружающей среды требуется вовлечение данного отхода в экономический оборот как вторичного ресурса. В данной работе подробно проанализированы последние исследования и разработки в области утилизации отходов доломитных комбинатов: использование как сырья при производстве строительных материалов (бетон, гиперпрессованных изделий, вяжущих), керамики, материала для обработки воды, мелиорации и удобрения почв. На основании проведенного анализа предложен и аргументирован новый способ утилизации отхода – обработка обожженным отсевом осадков городских сточных вод, что позволит провести обеззараживание осадков и получить комплексное органоминеральное удобрение с высоким содержанием органического вещества, азота, фосфора, кальция и магния.

Ключевые слова: доломит, отход, отсев, утилизация, обработка, бетон, цемент, строительные материалы, очистка воды, мелиорация, удобрение, осадки, сточные воды

Для цитирования: Маркин В. В., Головатенко Е. Л. Анализ проблемы обращения с отходом доломитных комбинатов // *Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры*. 2024. Выпуск 2024-5(169) Инженерные системы и техногенная безопасность. С. 41–49. doi: 10.71536/vd.2024.5c169.5. edn: axrsdc.

Original article

ANALYSIS OF THE PROBLEM OF HANDLING WASTE FROM DOLOMITE PLANTS

Vyacheslav V. Markin¹, Ekaterina L. Golovatenko²

^{1,2} Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,
DPR, Makeevka, Russia, ¹*v.v.markin@donnasa.ru*, ²*golovatenko87@yandex.ru*

Abstract. During the extraction and processing of dolomite rocks, a large amount of screenings with a grain size of less than 5...20 mm is formed. The screenings are not subsequently used, but stored on the territory of mining enterprises, turning into waste, occupying large areas and polluting the environment with dust. The amount of screenings is 20...40 % of the volume of mined raw materials. Dumps of rock screenings occupy up to 15...20 % of the area of enterprises. To increase the level of resource conservation and prevent environmental pollution, it is necessary to involve this waste in economic circulation as a secondary resource. This paper provides a detailed analysis of the latest research and developments in the field of recycling dolomite plant waste: use as raw material in the production of building materials (concrete, hyper-pressed products, binders), ceramics, material for water treatment, melioration and fertilization of soils. Based on the analysis, a new method of waste disposal is proposed and substantiated – treatment of municipal wastewater sludge with burnt screenings, which will allow



for the disinfection of sludge and the production of a complex organomineral fertilizer with a high content of organic matter, nitrogen, phosphorus, calcium and magnesium.

Keywords: dolomite, waste, screenings, disposal, processing, concrete, cement, building materials, water purification, melioration, fertilizer, sewage sludge

For citation: Markin V. V., Golovatenko E. L. Analysis of the problem of handling waste from dolomite plants. *Proceeding of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Engineering systems and technological safety*. 2024;5(169):41–49. (In Russ.). doi: 10.71536/vd.2024.5c169.5. edn: axrsdc.

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Карбонатные породы (известняки, доломиты, магнезиты, сидериты и пр.) используются в различных отраслях хозяйственной деятельности: строительстве, металлургической, стекольной и химической промышленности, сельском хозяйстве и др. Наиболее широко применяются известняки (порода, состоящая из карбоната кальция) и доломиты (смесь карбонатов кальция и магния в различном соотношении).

В основном потребность имеется во фракциях карбонатных пород размерами более 5...20 мм. При добыче и переработке карбонатного сырья в отвалы складировается от 20 до 40 % мелкой, образующейся при дроблении невостребованной фракции породы размерами менее 5...20 мм. Согласно федеральному классификационному каталогу отходов отсева дробления карбонатных пород является отходом V класса опасности. Данный отход складировается на территории добывающих и перерабатывающих предприятий в отвалах, занимая большие площади. Ежегодно в России образуется порядка 60...90 млн м³ отсева дробления карбонатных пород. Будучи невостребованными, отсева дробления накапливаются в карьерах и занимают до 15...20 % площади предприятий. Например, по данным [1] в результате производства щебня для дорожного строительства в Ленинградской области скопилось более 70 млн т отсева доломитной породы размером менее 10 мм.

В состав отсева входит значительная часть мелких пылевидных фракций размером менее 0,16 мм, которая разносится ветром, вымывается осадками и приводит к загрязнению прилегающих территорий. Таким образом отвалы отсева дробления не только отчуждают большие площади, но и являются источниками загрязнения окружающей среды пылью.

Доломитные породы отличаются от известняков более высокой механической прочностью, твердостью, влаго- и морозостойкостью. Благодаря этим свойствам доломитовый щебень используется как наполнитель при изготовлении сборного и монолитного железобетона, бетона, подушек дорожного полотна и др. Доломит также незаменим в качестве флюсов в металлургическом производстве. Введение флюсов в доменную печь необходимо для понижения температуры плавления пустой породы железной руды и золы кокса, а также для перевода их в легкоплавкий жидкий шлак. Доломит для доменной плавки должен быть кусковатым (крупность 25...40 мм), прочным, не образовать мелочи, поэтому на флюсо-доломитных комбинатах также остается большое количество отсева породы.

Несмотря на низкую опасность отсева доломитных комбинатов, его большое количество и высокий процент образования отходов, не вовлекаемых в экономический оборот, указывают на низкий уровень ресурсосбережения в данной отрасли производства, не соответствующий установленному государственному курсу на повышение уровня использования отходов, являющихся потенциальным сырьем. Таким образом, существует экологическая проблема природопользования и загрязнения окружающей среды, требующая решения.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ПУБЛИКАЦИЙ

Исследованием направлений использования отсева доломитных пород занимались такие авторы как В. Д. Черепов, А. И. Иванец, И. В. Салаев, А. В. Литвинович, С. В. Леонтьев, В. Н. Шишканова, В. И. Голик, А. Е. Бурученко, А. И. Фоменко, О. Н. Калинин, С. Е. Гулько, Д. В. Мачикина и многие другие. В поиске решения проблемы учеными были разработаны направления использования отсева доломитных комбинатов: для производства строительных материалов (бетонов, тротуарной плитки, асфальто-бетонных смесей), а также керамики; в качестве сорбента для очистки природных и сточных вод; для мелиорации и удобрения почв. В работах авторов подробно описаны физико-химические характеристики отходов доломита, приведены данные качественного и количественного состава, полученные экспериментальным путем, а также изучена эффективность применения данного отхода как вторичного ресурса.

Целью работы является анализ существующих направлений использования отсева доломитных пород и теоретическое обоснование нового способа его утилизации.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

В настоящее время разработаны следующие направления использования отсева доломитных комбинатов: в производстве строительных материалов (бетонов, тротуарной плитки, асфальтобетонных смесей), а также керамики; в качестве сорбента для очистки природных и сточных вод; для мелиорации и удобрения почв.

По использованию отсева в производстве строительных материалов имеется большое количество исследований. Так, в работе [2] в лабораторных условиях изучалась возможность применения отсева Докучаевского флюсо-доломитного комбината (ДФДК) для производства тротуарных плит. Отсев смешивался в различных пропорциях с гранулированным доменным шлаком, смесь затворялась водой с добавлением раствора бишофита (1 % от массы наполнителей) и подвергалась прессованию. Формы выдерживались 24 часа в нормальных условиях, после чего подвергались сушке в пропарочной камере при температуре 80 °С. В результате установлено, что наилучшими характеристиками обладает образец с составом: 40 % отсева, 10 % гранулированного шлака, 50 % тонкомолотого гранулированного шлака, имеющий показатели: прочность при сжатии – 22,5 МПа, истираемость – 0,1 г/см², водостойкость – 12 %, морозостойкость – 20 циклов.

В Донбасской национальной академии строительства и архитектуры разработаны составы эффективных органоминеральных модификаторов на основе микрокремнезема и отсева дробления доломита ДФДК для частичной замены портландцемента в составах бетонов. Отсевом заменяли вяжущее в количестве 10, 15 и 20 % от массы цемента. Разработанные составы вяжущего обеспечивают получение цементного камня с пределом прочности при сжатии в проектном возрасте не менее 60 МПа [3].

В. Д. Череповым разработана технология получения атмосферостойкого прессованного искусственного стенового каменного материала с прочностью при сжатии до 25 МПа, коэффициентом водостойкости не ниже 0,9 и морозостойкостью F50, изготовленного с использованием отсева дробления карбонатных пород и модификатора Пенетрон [4].

В Белорусском государственном технологическом университете исследована возможность использования отсева доломита при изготовлении автоклавного ячеистого бетона. Установлено, что добавка отсева взамен 15...25 % от массовой доли цемента повышает прочностные характеристики и коэффициент качества бетона в 1,15–1,4 раз [5].

Бетоны повышенной прочности (прочность при сжатии – 58...75 МПа) с использованием отсева карбонатных пород в качестве мелкого заполнителя (до 50 % от массы мелкого заполнителя) и с применением гиперпластификатора STACHEMENT 2280 были получены в исследовании [6].

Изучена возможность получения клинкера и цемента путем обжига отсева Докучаевского флюсо-доломитного комбината во вращающейся печи. Установлено, что из отхода можно получить цемент марки М300 и выше. При этом расход топлива и суммарные выбросы CO₂ снижаются в два раза по сравнению с портландцементным клинкером [7].

В работе [8] показана возможность использования предварительно обожженного отсева карбонатной породы в керамическом производстве в количестве 10 % от массы исходных материалов с обеспечением требуемых характеристик получаемого материала.

Проведенный литературный обзор выявил большое количество разноплановых исследований также по использованию отсева доломита для обработки воды.

Так, на кафедре техносферной безопасности ФГБОУ ВО «ДонНАСА» исследована возможность использования отсева доломита ДФДК для умягчения воды. Исследования выполнялись в лабораторных условиях. Отходы были размолоты и отобрана фракция размером 2...3 мм. Часть отходов подвергнута термическому разложению в муфельной печи при температуре 900 °С в течение 2 часов. Обожженными и необожженными отходами в статических условиях обрабатывалась питьевая вода централизованного водопровода г. Донецка с исходной общей жесткостью 6,25 мг-экв./дм³. Установлено, что необожженный доломит практически не смягчает воду, а при использовании термически обработанного продукта жесткость снижается на 26 %. На основании полученных результатов автором предложено использование отсева для предварительного умягчения воды в системах теплоснабжения перед умягчением на Na-катионитовых фильтрах [9].

В работе [10] исследована сорбционная способность обожженного при 700 °С в течение 1 часа и размолотого до крупности не более 0,25 мм доломита по отношению к фосфатам в сточной воде. Установлено, что доломит обладает высокой сорбционной способностью по фосфатам, максимальная сорбционная

емкость составляет $70,8 \text{ мгPO}_4^{3-}/\text{г}$. При использовании обожженного доломита для очистки возвратных потоков сточных вод канализационных очистных сооружений г. Минска от фосфатов в лабораторных условиях при начальной концентрации фосфатов $60...350 \text{ мг}/\text{дм}^3$ была достигнута эффективность очистки 95 %.

Доломит обладает высокой сорбционной способностью по отношению также к ионам цинка и железа. В лабораторных стационарных условиях обожженный при температуре $400...900 \text{ }^\circ\text{C}$ доломит из отвалов Мадаевского месторождения показал эффект очистки воды от цинка – 71 %, железа – 64 % [11].

А. И. Иванцом разработан метод термической активации, кислотного и бескислотного фосфатирования доломита, в результате чего получается продукт, обладающий высокой эффективностью очистки воды от тяжелых металлов, Fe, Mn, радионуклидов Co и Sr [12].

Приведенный обзор составляет лишь небольшую часть исследований и разработок по использованию отсева доломита для очистки воды.

Третьим направлением использования отхода доломита является мелиорация и удобрение почв. В России имеются обширные территории с почвами повышенной кислотности. Даже при внесении достаточного количества минеральных или органических удобрений кислые почвы не способны обеспечить высокую урожайность культур. Основным методом снижения кислотности почв является нейтрализация известняком или доломитом. Эффективность известкования почвы зависит от исходной реакции почвенной среды. Наибольший эффект получают на сильно- и среднекислых почвах ($\text{pH} < 5,0$). При известковании почв с $\text{pH} > 5,6$ (близкая к нейтральной) эффект практически отсутствует. В России более 50 млн га пахотных угодий представляют почвы с избыточной кислотностью. Кислотность почв постепенно повышается при непрерывном выращивании культур и за счет выпадения осадков. С 1991 г. практика известкования почв практически «сошла на нет», что связано с большими затратами на приобретение заводских мелиорантов. Соответственно, использование отхода производств с небольшой стоимостью делает данное мероприятие более доступным и выгодным для крупных сельхозпредприятий и мелких фермеров.

Удобрительная ценность доломитовых отходов заключается в содержании в них большого количества кальция и магния, которые необходимы для растений.

Кальций входит в состав ядра, митохондрий, рибосом, пластид, цитоплазмы, мембран клеток и необходим для поддержания их структуры. Он играет важную роль в фотосинтезе, трансформации азота и передвижении углеводов, ускоряет обмен веществ, распад запасных белков семян при прорастании, активирует ферменты и ферментативные системы клетки. Растения потребляют Ca в течение всего периода вегетации. По содержанию минеральных элементов в золе растений он находится на 3 месте после Si и K. Ca участвует в регулировании реакции почвенного раствора, формировании структуры почвы и деятельности микроорганизмов [13].

Магний играет важнейшую роль в фотосинтезе растений, активизирует около 80 ферментов, принимает активное участие в углеводном обмене, трансформации фосфорных соединений. Mg положительно влияет на размножение клубеньковых бактерий и, следовательно, на связывание N бобовыми. По содержанию в золе растений Mg занимает 4 место [14]. При содержании в почве $\text{MgO} < 40 \text{ мг}/\text{кг}$ за 4–6 лет возделывания сельхозкультур запас подвижных соединений этого элемента в почвах может быть полностью исчерпан и без внесения магниевых удобрений земледелие станет невозможным. В России площадь земель, нуждающихся во внесении Mg, составляет около 7 млн га [15].

В соответствии с ГОСТ 14050-93 к заводской доломитовой муке (ДМ) марки А, применяемой для мелиорации, предъявляются следующие требования по крупности частиц: зерен крупнее 1 мм должно быть не более 25 %, крупнее 3 мм – не более 3 %, зерна крупнее 5 мм должны отсутствовать. Данные требования связаны с тем, что еще во времена СССР доказывалось, что наиболее активной частью ДМ являются фракции размером до 1 мм. Согласно [16] эффективность частиц от 1 до 3 мм равна в среднем 50 % эффективности фракции менее 1 мм. Действие частиц размером 3...5 мм слабое, но положительное (их эффективность в 3,2 раза меньше, чем частиц размером 1...3 мм). Фракции более 5 мм существенного влияния на урожай не оказывают [16]. Однако, к настоящему времени получены иные данные.

В работе [17] изучалась эффективность мелиорации кислой почвы ($\text{pH}_{\text{KCl}} = 4,1$, гидролитическая кислотность Нг = $5,6 \text{ ммоль-экв}/100 \text{ г}$) отсевом доломита фракциями – $< 0,25$, $0,25...1$, $1...3$ и $3...5 \text{ мм}$ в дозе, рассчитанной по гидролитической кислотности (Нг). Опыты проводились на дерново-подзолистой почве с 2011 по 2017 гг. Выращивали последовательно: рапс, вику и горчицу, бобы и горчицу, ячмень с подсевом тимopheевки. Контролем служил вариант без известкования и вариант с внесением ДМ в дозе 1 Нг. Во всех вариантах также вносилось NPK-удобрение. В результате опытов было установлено, что в почвах, известкованных доломитом всех фракций в дозе 1 Нг, даже спустя 13 вегетационных периодов гидролитическая кислотность в верхних слоях (0...20 мм) была ниже, чем в контроле – $2,58...3,51 \text{ ммоль-экв.}/100 \text{ г}$

почвы. Применение смеси частиц мелиоранта в дозах, соответствующих 3, 4, 5 и 6 Нг, способствовало более значительному снижению гидролитической кислотности в верхнем слое – 1,19...1,58 ммоль-экв./100 г. При этом доказано, что внесение доломита не приводит к существенному снижению гумуса в почве, зато повышает концентрацию обменных Са и Mg на протяжении не менее 8-10 лет. По повышению урожайности за все время эксперимента отсев доломита размерами < 0,25, 0,25...1, 1...3 мм в дозах 1, 3, 4, 6 Нг находился на уровне варианта с ДМ. При этом продуктивность растений с добавлением доломита крупностью 3...5 мм дозой 1 Нг ниже и составляет 68 % от варианта с ДМ. Однако увеличенная доза доломита фракции 3...5 мм – 5 Нг – обеспечивает практически такое же повышение урожайности, как и в варианте с ДМ [18].

Опыты, проведенные в Беларуси в 2019–2021 гг., показали высокую рентабельность мелиорации почвы отсевом доломита крупностью менее 5 мм – 59,9 %, в то время как использование ДМ обеспечило рентабельность лишь 7,5 %, в связи с ее более высокой стоимостью [19].

И. В. Салаев под руководством А. В. Литвиновича исследовал удобрительную ценность и мелиоративные свойства частиц отсева сырого доломита размером 5...7 и 7...10 мм на дерново-подзолистой почве [1]. Опыты проводились на опытных делянках в течение 3 лет. Выращивались горох и горчица. Исследовалась эффективность различных доз внесения доломита фракциями 5...7, 7...10 мм и естественная смесь фракций отсева. Дозы составляли 1, 3, 5 Нг. Во всех вариантах почва удобрялась также NPK. В качестве контроля использовались участки, удобренные только NPK, а также NPK и ДМ (1 Нг). По итогам исследования получены следующие результаты. На контрольных (фоновых) участках (только NPK) pH за 3 года снизился с 4,6 до 3,8, на контроле с ДМ с 5,7 до 5,6, на опытных участках с разными дозами доломитового отсева – изменение с 5,0–6,3 до 4,3–6,4 (чем выше доза отсева, тем выше исходное и конечное pH). Установлено, что известкование почвы отсевом привело к увеличению содержания обменного Са и Mg в почве. Также определено, что вымывание Са и Mg из почвы с отсевом крупностью 5...7 мм, 7...10 мм в дозах 3 и 5 Нг не превышает вымывания из почвы с доломитовой мукой, внесенной в дозе 1 Нг, что связано с постепенным растворением крупных фракций доломита до более мелких и пролонгированным действием мелиоранта. Внесение отсева доломита увеличило содержание Са и Mg в растениях. Наибольшая прибавка урожая за 3 года получена в варианте с ДМ – 29 %, а из вариантов с отсевом доломита – 5...7 мм 1 Нг и 7...10 мм 3 Нг по 26 %, наименьшая – в варианте с отсевом доломита размером 7...10 мм – 12 %. Расчет экономической эффективности показал, что наиболее выгодным является применение отсева крупностью 5...7 мм (1 Нг) и 7...10 мм (3 Нг): рентабельность – 232 и 260 % соответственно. Вариант с ДМ оказался с отрицательной рентабельностью, что связано с ее более высокой стоимостью. Рентабельность определялась по разнице чистого дохода за весь период действия мелиоранта и затрат на известкование. По итогам исследования доказано, что крупные фракции отсева 5...7 и 7...10 мм являются мелиорантом пролонгированного действия, много превышающего действие ДМ. Растворение доломита размером 7...10 мм может длиться от 18 до 98 лет [1]. Пролонгированность действия является фактором, повышающим рентабельность использования фракций доломита 5...10 мм для мелиорации почв.

Высокая эффективность мелиорации и удобрения почв отсевом доломита крупностью 5...7 и 7...10 мм была получена в также в исследовании [20]. Опыты проводились в течении 6 лет на кислой почве ($pH_{KCl} = 4,6$, Нг = 4,9 ммоль-экв./100 г). Выращивались горох и горчица. Дозы доломита в различных вариантах опыта составляли от 1 до 3 Нг. Контролем служил вариант без известкования и вариант с внесением ДМ в дозе 1 Нг. Во всех вариантах также вносилось NPK-удобрение. Общий прирост урожайности в вариантах с отсевом доломита был несколько ниже, чем с ДМ, но также существенным – 87...97,8 % от варианта с ДМ.

Рассмотренные исследования показывают возможность эффективного использования для мелиорации почв как мелких, так и крупных фракций отсева доломита – 5...10 мм, что очень важно, так как позволяет использовать всю массу отсева в отвалах без необходимости их помола.

Таким образом, выполненный литературный обзор показал, что к настоящему времени в лабораторных и полупромышленных условиях разработано большое количество способов и технологий утилизации отсева доломитных пород. Несмотря на это, вовлечение данного отхода в производство минимально, что, по-видимому, связано с недостаточной информированностью потенциальных потребителей о возможностях и экономической выгоде использования отсева. Подобная ситуация характерна и для многих других видов техногенных отходов. В РФ принят ряд нормативных документов, предписывающих переход на малоотходные и безотходные технологии, однако, подробности механизма перехода до конца непонятны. Вероятно, постепенно законодательно будут созданы механизмы «стимулирования-принуждения» производителей отходов к их обработке и самостоятельной реализации потребителю. В этом случае ответственность полностью возлагается на производителей отходов, а самостоятельный поиск ими потребителя может быть затруднительным. Помочь в данной ситуации может создание государственного каталога

отходов, в который будут внесены данные по количеству, составу, месту образования различных техногенных отходов, перечню разработанных методов утилизации с указанием экономических преимуществ. Пользуясь таким каталогом, потенциальные потребители смогут выбрать подходящий для них вид отхода, а государство выполнит роль связующего звена и координатора между источником и потребителем отходов.

Однако, необходимо также продолжать разработку новых способов утилизации отсева доломита. В настоящей работе авторами предлагается использование обожженного отсева для обработки (обеззараживания) другого вида отходов – осадков городских сточных вод (ОГСВ), что позволит получить комплексное органоминеральное удобрение.

ОГСВ образуются на муниципальных канализационных очистных сооружениях (КОС) в процессе очистки сточных вод. Обычно к ОГСВ причисляется суммарное количество сырого осадка первичных отстойников и избыточного активного ила аэротенков. Влажность сырого осадка составляет 93...96 %, избыточного ила – 99,0...99,7 %. Суммарное их количество при естественной влажности оценивается в 0,5...1 % от объема очищаемых стоков. Большое количество данного отхода обуславливает необходимость его обработки и использования. Исконным направлением утилизации ОГСВ является их применение в качестве удобрений, что связано с высоким содержанием в сухом веществе органики, азота, фосфора и калия. По концентрации биогенных элементов и удобрительной ценности ОГСВ сравниваются с навозом КРС. Описание эффективности применения ОГСВ в качестве удобрений при выращивании различных видов с/х культур можно посмотреть, например, в работе [21]. Однако, использованию ОГСВ в качестве удобрений препятствует наличие в них тяжелых металлов, а также патогенной и паразитарной микрофлоры. Особенно усложняет задачу наличие тяжелых металлов. До 2014 г. концентрация тяжелых металлов в ОГСВ промышленных городов Донбасса (Донецка, Макеевки, Горловки и т. п.) не позволяла использовать их в качестве удобрений [21]. В настоящее время, в связи с падением промышленного производства, по данным мониторинговых исследований ЦКИПИВЛ ГУП ДНР «Вода Донбасса» установлено, что по наличию тяжелых металлов ОГСВ ДНР соответствуют требованиям ГОСТ Р 54651-2011 для удобрений I или II группы [22]. Однако, проблема остается в наличии патогенной и паразитарной микрофлоры.

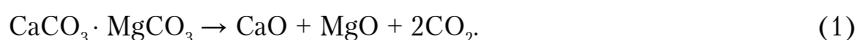
Из большого количества методов обработки ОГСВ на очистных станциях в ДНР повсеместно используется только обезвоживание на иловых площадках, и еще кое-где работают аэробные стабилизаторы. Иловые площадки могут обеспечить обеззараживание осадков только при условии длительной выдержки в течение 2–3 лет, что для большинства КОС ДНР невозможно. Нерешенность вопроса обеззараживания, а также ряд второстепенных проблем приводят к тому, что ОГСВ ДНР не используются ни в качестве удобрений, ни в других направлениях, а на постоянной основе хранятся на иловых площадках, что приводит к химическому и биологическому загрязнению окружающей среды и отчуждению больших площадей (например, территория под иловыми прудами на КОС г. Макеевки сопоставима с площадью всего остального комплекса КОС). В РФ в целом по данным Российской ассоциации водоснабжения и водоотведения около 80 % осадков утилизируются. Однако, такая статистика вызывает сомнения, поскольку вывоз и размещение ОСГВ на полигонах ТКО является захоронением, а не утилизацией. Статистика обращения с ОГСВ в ЕС показывает, что в большинстве стран предпочтение отдается почвенной утилизации (удобрение и производство почвогрунтов), а в некоторых странах – сжиганию и захоронению.

В Донбасской национальной академии строительства и архитектура на кафедре водоснабжения и водоотведения разработана технология обеззараживания избыточного активного ила путем аэробной стабилизации и обработки негашеной известью [23, 24]. Данная технология позволяет достичь требований ГОСТ Р 17.4.3.07-2001 по наличию в избыточном иле бактериального загрязнения. Учитывая результаты этой работы, предлагается использовать для обеззараживания ОГСВ обожженный отсев доломитных комбинатов. С помощью извести, содержащейся в обожженном отсеве, можно обеспечить обеззараживание осадка, а Са и Mg отсева обогатят полученную смесь дополнительными питательными элементами.

Однако, область применения нового способа должна быть расширена: он должен позволять обеззараживать не только избыточный ил, но и сырой осадок, и не только от бактериальной микрофлоры, но и от паразитарной (прежде всего инактивировать яйца гельминтов), которой очень много в сыром осадке и которая не исключается также и в избыточном иле. Аэробная стабилизация не воздействует на гельминтов, в аэробных условиях они чувствуют себя хорошо. Негашеная известь проявляет обеззараживающий эффект за счет 2 факторов: повышения рН и повышения температуры при гашении. Зашелачивание не оказывает угнетающего воздействия на яйца гельминтов, но их можно инактивировать повышением температуры до 50...60 °С. Таким образом, при обработке осадков обожженным отсевом доломита технически требуется обеспечить повышение температуры до указанных пределов в заданном промежутке времени.

Определим расчетным путем состав полученного продукта при обработке ОГСВ КОС г. Макеевки обожженным отсевом Докучаевского флюсо-доломитного комбината.

При нагреве до температуры свыше 850 °С доломит разлагается на оксиды магния, кальция и углекислый газ по реакции



В соответствии с данными [9] в отсеве ДФДК содержится 24,7 % Ca и 7,68 % Mg, потери при прокаливании – 46 %. Тогда после обжига в полученный продукт будут входить 64 % CaO и 24 % MgO, их общая концентрация (активность) – 88 %. По этим показателям продукт соответствует ГОСТ 9179-2018 к негашеной доломитовой извести 1 сорта.

Состав осадка сточных вод КОС г. Макеевки по данным ЦКИПИВЛ ГУП ДНР «Вода Донбасса» приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Состав осадка сточных вод КОС г. Макеевки

N общ., %	P общ. по P ₂ O ₅ , %	Органика, %	Cu вал., мг/кг	Ni вал., мг/кг	Pb вал., мг/кг	Cr вал., мг/кг
2,1	7,5	65	113	28	52	104

По данным [23] доза CaO для обеззараживания избыточного ила КОС г. Макеевки должна составлять 10 % по массе от массы сухого вещества ила. Так как концентрация CaO в обожженном доломите 64 %, то его доза должна быть равна 15,6 %. С учетом этого определены концентрации компонентов в полученном продукте и занесены в таблицу 2.

Таблица 2 – Состав комплексного органоминерального удобрения из осадка сточных вод КОС г. Макеевки и термически обработанного отсева ДФДК

Показатель	N общ., %	P общ. по P ₂ O ₅ , %	Органика, %	Ca, %	Mg, %	Cu вал., мг/кг*	Ni вал., мг/кг*	Pb вал., мг/кг*	Cr вал., мг/кг*
Расчетное содержание в продукте	1,8	6,5	56	6	2	98	24	45	90
Требования ГОСТ Р 54651-2011	0,6	0,7	30	–	–	132	80	130	90

Примечание: * – для удобрений I группы

Таким образом при обработке ОГСВ КОС г. Макеевки обожженным отходом ДФДК будет произведено обеззараживание осадков и получено комплексное органоминеральное удобрение, соответствующее по составу требованиям ГОСТ Р 54651-2011 «Удобрения органические на основе осадков сточных вод», и, кроме того, дополнительно обогащенное Ca и Mg. Такое удобрение подходит для использования на кислых почвах.

В дальнейшем планируется проведение исследований по разработке нового способа обработки ОГСВ ДНР обожженным отходом ДФДК, а именно:

- отбор отхода на предприятии и определение его физических свойств, химического и гранулометрического состава;
- лабораторные исследования по определению оптимальных параметров термической обработки отсева ДФДК;
- лабораторные исследования по разработке технологии обработки ОГСВ обожженным отходом ДФДК;
- экономическое обоснование способа.

ВЫВОДЫ

Подробно изучены современные способы утилизации отсева доломитных комбинатов. Предложен и обоснован новый способ утилизации данного отхода: его термическая обработка и использование для обеззараживания осадка городских сточных вод с целью получения комплексного органоминерального удобрения с высоким содержанием органического вещества, азота, фосфора, кальция и магния. Составлен план исследований по разработке предложенного способа.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Салаев, И. В. Мелиоративные свойства и удобрительная ценность крупных фракций отсева сыромолотого доломита : специальность 4.1.5 «Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика» : диссертация на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук / И. В. Салаев. – Санкт-Петербург, 2024. – 160 с. – Текст : непосредственный.
2. Калинин, О. Н. Использование флюсо-доломитных отходов в производстве строительных материалов / О. Н. Калинин. – Текст : непосредственный // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2020. – № 4(40). – С. 17–28.
3. Модифицированные цементы с применением отходов промышленности Донбасса / С. В. Лахтарина, Н. М. Зайченко, Е. В. Егорова [и др.]. – Текст : электронный // Современное промышленное и гражданское строительство. – 2023. – Том 19, № 2. – С. 51–60. – URL: https://donnasa.ru/publish_house/journals/spgs/2023-2/st_02_lakhtarina_zaicchenko_yegorova.pdf (дата обращения: 02.09.2024).
4. Черепов, В. Д. Искусственный каменный материал на основе отсевов дробления карбонатных пород : специальность 05.23.05 «Строительные материалы и изделия» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / В. Д. Черепов. – Иваново, 2015. – 22 с. – Текст : непосредственный.
5. Использование добавки доломита в технологии автоклавного ячеистого бетона / Е. И. Барановская, А. А. Мечай, А. Т. Волочко, С. Гусаров. – Текст : непосредственный // Труды БГТУ. Серия 2 : Химические технологии, биотехнология, геоэкология. – 2022. – № 2(259). – С. 94–99.
6. Леонтьев, С. В. Использование отсевов дробления карбонатных горных пород для производства гиперпрессованных изделий / С. В. Леонтьев, В. А. Шаманов, А. Д. Курзанов. – Текст : непосредственный // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. – 2018. – Том 2. – С. 286–293.
7. Получение цемента из отходов доломита / А. Н. Рязанов, В. И. Винниченко, С. В. Щерблякин [и др.]. – Текст : непосредственный // Экология и промышленность. – 2013. – № 2(35). – С. 111–114.
8. Бурученко, А. Е. Использование отсевов дробления известковых пород в керамическом производстве / А. Е. Бурученко, Г. Н. Харук, А. А. Сергеев. – Текст : непосредственный // Строительные материалы. – 2019. – № 9. – С. 22–27.
9. Гулько, С. Е. Умягчение воды производственными отходами флюсо-доломитного комбината / С. Е. Гулько, Д. В. Мачикина. – Текст : непосредственный // Научно-практический журнал Строитель Донбасса. – 2022. – № 4(21). – С. 16–20. – ISSN 2617-1848.
10. Сапон, Е. Г. Исследование очистки сточных вод от фосфатов материалами, полученными из природного сырья и отходов / Е. Г. Сапон, В. Н. Марцуль. – Текст : непосредственный // Труды БГТУ. Химия и технология неорганических веществ. – 2015. – № 3(176). – С. 20–28.
11. Исследование адсорбционных свойств природных сорбентов для очистки сточных вод / Ф. М. Латыпова, Л. Х. Арасланова, И. И. Лукманов [и др.]. – Текст : непосредственный // Булатовские чтения. – 2018. – Том 5. – С. 155–158.
12. Иванец, А. И. Сорбционные и каталитически активные материалы на основе природного доломита : Получение, свойства, применение / А. И. Иванец. – Минск : Белорусская наука, 2016. – 213 с. – ISBN 978-985-08-2066-2. – Текст : непосредственный.
13. Кальций в растительных клетках / В. В. Швартау, П. А. Вирыч, Т. И. Маковейчук [и др.]. – Текст : непосредственный // Вестник Днепропетровского университета. Биология, экология. – 2014. – № 22-1. – С. 19–32.
14. Аканова, Н. И. Роль магния в системе питания растений / Н. И. Аканова, А. В. Козлова, М. Т. Мухина. – Текст : непосредственный // Агрехимический вестник. – 2021. – № 6. – С. 66–72.
15. Резерв химических мелиорантов и их агроэкологическая эффективность / Н. А. Зеленов, И. А. Шильников, Н. И. Аканова [и др.]. – Текст : непосредственный // Современные проблемы и перспективы известкования кислых почв : материалы научной конференции, посвященной 75-летию со дня рождения доктора с.-х. наук, профессора А. Н. Небольсина, Санкт-Петербург, 22 апреля 2010 года. – Санкт-Петербург : Инновационный центр защиты растений, 2010. – С. 30–34.
16. Небольсин, А. Н. Теоретические основы известкования почв / А. Н. Небольсин, З. П. Небольсина. – Санкт-Петербург : Ленинградский НИИСХ, 2005. – 252 с. – Текст : непосредственный.
17. Манакова, Ю. С. Влияние известкования дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы разными фракциями доломитовой крошки на изменение гидролитической кислотности по профилю / Ю. С. Манакова, П. С. Манаков. – Текст : непосредственный // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2022. – № 4(69). – С. 75–83.
18. Мелиоративные свойства, удобрительная ценность и скорость растворения в почвах различных по размеру фракций отсева доломита, используемого для дорожного строительства / А. В. Литвинович, О. Ю. Павлова, А. В. Лаврищев [и др.]. – Текст : непосредственный // Агрехимия. – 2016. – № 2. – С. 31–41.
19. Пироговская, Г. В. Эффективность сыромолотого доломита в действии и последствии на дерново-подзолистых супесчаных и легкосуглинистых почвах / Г. В. Пироговская, В. И. Сороко, С. С. Хмелевский. – Текст : непосредственный // Почвоведение и агрохимия. – № 2(67). – 2021. – С. 64–78.
20. Содержание и распределение обменных катионов Са и Mg в профиле дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы, мелиорированной возрастающими дозами доломитовых частиц крупного размера / А. В. Литвинович, И. В. Салаев, П. С. Манаков [и др.]. – Текст : непосредственный // Агрехимия. – 2021. – № 4. – С. 9–21.

21. Дрозд, Г. Я. Техничко-экологические записки по проблеме утилизации осадков городских и промышленных сточных вод / Г. Я. Дрозд, Н. И. Зотов, В. Н. Маслак. – Донецк : ИЭП НАН Украины, 2001. – 340 с. – Текст : непосредственный.
22. Маркин, В. В. Исследование возможности утилизации осадков городских сточных вод Донбасса в качестве удобрений / В. В. Маркин. – Текст : электронный // Охрана биоразнообразия и экологические проблемы природопользования : сборник статей III Всероссийской (Национальной) научно-практической конференции. – Пенза : Пензенский государственный аграрный университет, 2022. – С. 105–107. – URL: https://mnic.pgau.ru/file/doc/konferencii/2022/Сборник_ВК-22-22.pdf (дата обращения: 01.09.2024).
23. Могукало, А. В. Комплексная обработка избыточного активного ила от патогенной обсеменённости : специальность 2.1.4 «Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / А. В. Могукало. – Макеевка, 2023. – 125 с. – Текст : непосредственный.
24. Аспекты обезвреживания осадков сточных вод, содержащих ионы тяжелых металлов / В. И. Нездойминов, В. Н. Чернышев, В. Ф. Кижаяев [и др.]. – Текст : электронный // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2018. – Выпуск 2024-5(133). – С. 79–83. – URL: [https://donna.ru/publish_house/journals/vestnik/2018/2018-5\(133\)/st_13_nezdoyminov_chernishev_kigaev_mogukalo.pdf](https://donna.ru/publish_house/journals/vestnik/2018/2018-5(133)/st_13_nezdoyminov_chernishev_kigaev_mogukalo.pdf) (дата обращения: 01.09.2024).

Информация об авторе

Маркин Вячеслав Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры техносферной безопасности Донбасской национальной академии строительства и архитектуры, ДНР, Макеевка, Россия. Научные интересы: очистка городских сточных вод, обработка и утилизация осадков городских сточных вод.

Головатенко Екатерина Леонидовна – старший преподаватель кафедры техносферной безопасности Донбасской национальной академии строительства и архитектуры, ДНР, Макеевка, Россия. Научные интересы: повышение уровня экологической безопасности в технологических циклах оборотного водоснабжения; снижение негативного воздействия на водные объекты путем совершенствования технологии обработки сточных вод.

Information about the author

Markin Vyacheslav V. – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Technosphere Safety Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, DPR, Makeevka, Russia. Scientific interests: municipal wastewater treatment, treatment and disposal of municipal wastewater sludge.

Golovatenko Ekaterina L. – Senior lecturer, Technosphere Safety Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, DPR, Makeevka, Russia. Scientific interests: increasing the level of environmental safety in the technological cycles of circulating water supply; reducing the negative impact on water bodies by improving wastewater treatment technology.

Статья поступила в редакцию 24.09.2024; одобрена после рецензирования 18.10.2024; принята к публикации 25.10.2024.

The article was submitted 24.09.2024; approved after reviewing 18.10.2024; accepted for publication 25.10.2024.