

УДК 628.38  
EDN TEMRSE  
DOI 10.71453/3034-4174-2025-4-14



## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ИЗБЫТОЧНОГО АКТИВНОГО ИЛА ДЛЯ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ОТРАБОТАННЫХ КАРЬЕРОВ

**Колосова Марина Михайловна**, кандидат химических наук, доцент<sup>1</sup>

**Витязь Светлана Николаевна**, кандидат биологических наук, доцент,  
заведующий кафедрой ландшафтной архитектуры<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Кузбасский государственный аграрный университет имени В. Н. Полецкого,  
Кемерово, Россия

### **Аннотация**

Кемеровская область – Кузбасс занимает ведущее место в России по накоплению неутилизованных отходов. В то же время, являясь лидером по добыче полезных ископаемых открытым способом, регион остро нуждается в проведении эффективной рекультивации нарушенных территорий. Использование крупнотоннажных вторичных материальных ресурсов в качестве рекультиванта будет способствовать решению сразу двух острых для области экологических проблем.

Строительство и запуск собственных очистных сооружений крупнейшим переработчиком макулатуры в Кемеровской области – Кузбассе ООО «Кузбасский Скарабей» означают появление многотоннажного отхода – избыточного активного ила, образующегося на этапе биологической очистки сточных вод. Поэтому уже на этапе строительства и запуска очистных сооружений необходима разработка эффективной технологии утилизации данного вида отхода.

В статье представлен анализ информационных источников по проблеме утилизации избыточного активного ила и возможности его применения в качестве вторичного материального ресурса для рекультивации нарушенных земель.

Целью нашего исследования явился поиск наилучшей доступной технологии для ООО «Кузбасский Скарабей» по утилизации избыточного активного ила (ИАИ) с очистных сооружений путем использования его для проведения технического этапа рекультивации отработанных карьеров. Одна

из задач первого этапа (модельного опыта), решаемая в данной статье, – подбор посредством анализа научных публикаций и с учетом нормативных документов компонентного состава субстратов на основе ИАИ для технического этапа рекультивации земель, нарушенных вследствие добычи полезных ископаемых.

Материалом исследования, результаты которого представлены в данной статье, стал ИАИ с очистных сооружений предприятия целлюлозно-бумажной промышленности в составе субстратов с инертными материалами (грунт котлованный (глина) и строительный мусор (лом кирпича и бетона)). Определение оптимального состава субстратов на основе ИАИ и инертных материалов для проведения технического этапа рекультивации нарушенных земель в перспективе позволит достигнуть поставленной общей цели исследования.

Лабораторные исследования образцов избыточного активного ила с очистных сооружений предприятия целлюлозно-бумажной промышленности показали, что образец, отобранный с иловых карт (массовая доля сухого вещества – 44%, рН солевой вытяжки – 5,8) соответствует нормативным показателям, установленным для подобных материалов при использовании на техническом этапе рекультивации, а образец ИАИ после декантерной центрифуги (массовая доля сухого вещества – 14%, рН солевой вытяжки – 6,8) может быть пригоден для поставленной цели только после дополнительной обработки.

**Ключевые слова:** целлюлозно-бумажная промышленность, сточные воды, биологическая очистка, избыточный активный ил, утилизация, вторичный материальный ресурс, отработанный карьер, рекультивация.

## PROSPECTS FOR THE USE OF EXCESS ACTIVATED SLUDGE FOR THE RECLAMATION OF SPENT QUARRIES

**Kolosova Marina M.**, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor<sup>1</sup>

**Vityaz Svetlana N.**, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Kuzbass State Agrarian University, Kemerovo, Russia

### **Abstract**

Kemerovo region – Kuzbass occupies a leading place in Russia in the accumulation of non-recycled waste. At the same time, being a leader in open-pit mining, the region is in dire need of effective reclamation of disturbed areas. The use of large-tonnage secondary material resources as a recultivant will contribute to solving two acute environmental problems at once.

The construction and launch of its own sewage treatment plants by Kuzbass, the largest waste paper processor in the Kemerovo Region, will lead to the formation of a multi-tonnage waste – excess activated sludge generated at the stage of biological wastewater treatment. Therefore, already at the stage of construction and start-up of sewage treatment plants, it is necessary to develop an effective technology for the disposal of this type of waste.

The article presents an analysis of information sources on the problem of disposal of excess activated sludge, ways to bring it to standard indicators and the possibility of using it as a secondary material resource for the reclamation of disturbed lands.

The purpose of our research was to find the best available technology for Kuzbass Scarab LLC for the disposal of excess activated sludge from wastewater treatment plants by using it for the technical stage of reclamation of spent quarries. The object of the study, the results of which are presented in this article, was IAI from the sewage treatment plants of the CBP enterprise (an analog facility) as part of substrates with inert materials (excavation soil (clay) and construction debris (scrap bricks and concrete)). The selection of the optimal composition of substrates based on IAI and inert materials for the technical stage of reclamation of disturbed lands was the subject of research. The result of the analysis of scientific publications and regulatory documents was the selected component composition of substrates based on IAI for the technical stage of land reclamation disturbed by mining.

Laboratory studies of samples of excess activated sludge from the sewage treatment plants of the CBP enterprise (analog facilities) have shown that the

sample taken from sludge maps (mass fraction of dry matter 44%, pH of salt extract 5.8) according to these indicators meets the regulatory indicators established for such materials when used at the technical stage of reclamation, and the IAI sample after decanter centrifuge (mass fraction of dry matter 14%, pH of salt extract 6.8) – may be suitable for the intended purpose only after additional treatment.

**Keywords:** pulp and paper industry, waste water, biological treatment, excess activated sludge, recycling, secondary material resource, spent quarry, reclamation.

### **Введение**

Целлюлозно-бумажная промышленность (ЦБП) является важной составляющей экономики нашей страны, но ее производственные процессы на современном уровне технологического развития порождают ряд серьезных экологических проблем, наиболее значимые из которых высокий уровень водопотребления и, как следствие, образование соответствующих объемов сточных вод, содержащих широкий спектр загрязняющих веществ, а также образование крупнотоннажных твердых отходов [1–3]. Поиск эффективных способов утилизации отходов данной и других отраслей, где образуются отходы после биологической очистки сточных вод, ведется десятилетиями, но универсального способа пока не найдено [4–8].

ООО «Кузбасский Скарабей» с 2006 г. производит бумагу и картон, используя в качестве сырья макулатуру. Предприятие планомерно увеличивает объемы производимой продукции, вследствие чего возрастают объемы жидких и твердых отходов, повышается актуальность поиска эффективных решений нарастающих экологических проблем. Запуск собственных очистных сооружений в 2026 г. позволит решить одну из важнейших проблем – очистку своих производственных сточных вод, которые до настоящего времени предприятие передает (не безвозмездно) сторонней организации. При этом уже прогнозируется образование нового вида отходов – избыточного активного ила – на этапе биологической очистки и ведется поиск возможностей его применения для рекультивации нарушенных земель [9].

Целью нашего исследования явился поиск наилучшей доступной технологии для ООО «Кузбасский Скарабей» по утилизации избыточного активного ила (ИАИ) с очистных сооружений путем использования его для проведения технического этапа рекультивации отработанных карьеров.

Основными задачами, которые необходимо решить на первом этапе исследования, стали: 1) определение технологии использования ИАИ на техническом этапе рекультивации, основанной на принципах наилучших доступных технологий (НДТ) и на результатах анализа информационных источников; 2) проведение лабораторных исследований ИАИ с очистных сооружений предприятия ЦБП (объект-аналог) для установления его соответствия нормативным показателями для подобных материалов при использовании на техническом этапе рекультивации.

Для Кемеровской области – Кузбасса, который является регионом-лидером по добыче полезных ископаемых (рудных и нерудных, каменного и бурого угля), проблемы эффективной рекультивации нарушенных территорий с использованием крупнотоннажных вторичных материальных ресурсов (ВМР) – вскрышные породы, грунт котлованный, строительный мусор – являются особенно актуальными.

Согласно ГОСТу Р 57446-2017, рекультивация нарушенных земель и земельных участков – это комплекс мероприятий, направленных на восстановление утраченного качественного состояния земель, для их использования в соответствии с целевым назначением и требованиями к таким землям [10].

Технический этап рекультивации нарушенных земель и земельных участков (техническая рекультивация земель и земельных участков) – этап, включающий мероприятия по подготовке поверхности для проведения биологического этапа с учетом выбранного направления рекультивации земель и для последующего целевого использования. Современные нормативные документы, в отличие от ранее действующих, расширяют перечень материалов для проведения рекультивации. При соблюдении определенных требований некоторые виды отходов могут быть переведены в категорию вторичных материальных ресурсов и использоваться в рекультивации карьерных выработок (технический и биологический этапы).

С 2011 года вступил в силу ГОСТ Р 54534, действие которого распространяется на осадки сточных вод (ОСВ), обработанные с применением различных методов, обеспечивающих их глубокое обезвоживание, стабилизацию, минерализацию и обеззараживание, соответствующих по своему составу и свойствам отходам IV и V классов опасности для окружающей среды, в том числе осадки первичных отстойников, избыточный активный ил, осадки от водоподготовки и продукты их переработки

(компосты, почвогрунты, зола от сжигания осадков и т. п.), которые могут быть использованы в качестве материала для технической рекультивации нарушенных земель и в качестве почвогрунтов для биологической рекультивации [11].

Утвержденный в 2017-м ГОСТ Р 57446 допускает «использование для технической рекультивации нарушенных земель осадков сточных вод и продуктов их утилизации...», ссылаясь на требования ГОСТа Р 54534–2011» [10].

В последнее время возрастает интерес к ОСВ, прошедшим стадию биологической очистки (промышленные предприятия, коммунальное хозяйство). Их количество ежегодно возрастает, а хранение требует значительных земельных ресурсов и, как правило, приводит к загрязнению поверхностных и подземных вод, почв, растительности. В то же время, согласно ГОСТу Р 59748-2021, при соответствующей подготовке и определенных показателях осадки сточных вод, в том числе и избыточный активный ил (ИАИ), могут быть переведены в категорию побочной продукции, или вторичных материальных ресурсов [12].

Способов утилизации ИАИ, в том числе подготовленного для рекультивации нарушенных земель, в литературе описано немало: от простого депонирования на иловых картах [13], вермикомпостирования [14] и анаэробной ферментации в аэротенках [15] до обширной группы термических методов [15–17]. Представляют интерес методы микроволновой сушки и обеззараживания материалов, хотя опубликованных результатов исследований по применению этого способа к ИАИ нами не выявлено [18; 19].

На техническом этапе рекультивации для придания ИАИ стабильности в качестве наполнителя отработанных выемок исследователи предлагают использование инертных материалов, которые являются отходами различных видов производственной деятельности. Так, в литературе описан опыт использования строительного боя, шлаков металлургии, золы уноса для проведения технического этапа рекультивации отработанного месторождения камня «Каратас», расположенного в Северо-Западном Казахстане [20].

Для основных слоев тела карьера К.Л. Чертес (2019) предлагает использовать следующие виды строительного мусора: отходы демонтажа капитальных конструкций, отходы керамзита керамики, строительного щебня, кирпича, песка и другие [21].

В своих работах В. Н. Земский (2013) отмечает, что возможно смешивание осадков сточных вод, основу которых составляют ИАИ с породой, строительным мусором, путем послойного нанесения инертных материалов с последующим прикатыванием. При этом нормы внесения рассчитываются индивидуально с учетом состава ила и состава пород в карьере, а также планируемого типа рекультивации (сельскохозяйственная, лесная, рекреационная и т.д.). Обычно нормы составляют от 50 до 200 тонн на гектар (в пересчете на сухое вещество). Превышение норм может привести к эвтрофикации водоемов, загрязнению грунтовых вод и фитотоксичности [22].

Согласно ГОСТу Р 54098-2024, к вторичным материальным ресурсам (ВМР) относятся:

- отходы производства и потребления, которые в перспективе (потенциально) или сразу (актуально) пригодны для использования в промышленном производстве для получения сырья, изделий и/или энергии;
- отходы производства и потребления, специально собранные и подготовленные к использованию в хозяйственных целях или к переработке во вторичное сырье [23].

Таким образом, анализ опубликованных научных трудов показал, что для проведения технического этапа рекультивации отработанных карьеров целесообразно использовать приведенный к нормативным показателям ИАИ в сочетании с такими инертными материалами как котлованный грунт и строительный мусор, объемы которых в Кемеровской области – Кузбассе ежегодно увеличиваются.

### **Материалы и методы**

В качестве материала исследования, результаты которого представлены в данной статье, был определен избыточный активный ил (ИАИ) с очистных сооружений предприятия ЦБП (объект-аналог) как основа субстратов с инертными материалами (грунт котлованный (глина) и строительный мусор (лом кирпича и бетона)). Подбор оптимального состава субстратов на основе ИАИ и инертных материалов для проведения технического этапа рекультивации нарушенных земель является конечной целью исследования. Для достижения поставленной цели использовали такие общетеоретические методы, как сопоставление и обобщение, абстрагирование и моделирование, анализ и синтез. Определение химических и физико-химических показателей

ИАИ было выполнено в научно-исследовательской лаборатории (НИЛ) «Агроэкология» Кузбасского ГАУ с использованием методов гравиметрии, спектрометрии и потенциометрии.

В ходе исследования была разработана схема модельного опыта для определения оптимального состава субстратов на основе ИАИ и инертных материалов. Определены этапы подготовки и проведения модельного опыта:

- отбор образцов всех подобранных материалов для определения исходных физических и химических показателей перед закладкой модельного опыта;
- закладка вариантов опыта (послойное размещение компонентов в субстрате) с разным соотношением ИАИ, глины и строительного мусора в слоях;
- мониторинг динамики трансформации физических и химических показателей составленных субстратов.

### **Результаты**

Результат анализа научных публикаций показал, что для проведения технического этапа рекультивации отработанных карьеров целесообразно использовать приведенный к нормативным показателям ИАИ, образующийся на этапе биологической очистки сточных вод, в сочетании с такими инертными материалами как котлованный грунт и строительный мусор.

В ходе лабораторного опыта нами были определены общие характеристики следующих компонентов, подобранных для формирования субстратов в модельном опыте.

– Избыточный активный ил (ИАИ) с иловых карт очистных сооружений предприятия по переработке макулатуры, г. Новосибирск. Код ФККО 3 06 821 11 39 5 – осадки механической и биологической очистки сточных вод целлюлозно-бумажного производства и хозяйственно-бытовых сточных вод в смеси обезвоженные. Класс опасности V.

– Грунт котлованный (далее – глина) из котлована строительства комплекса биологической очистки сточных вод производства «Кузбасский Скарабей», г. Кемерово. Код ФККО 8 11 100 01 49 5 – грунт, образовавшийся при проведении землеройных работ, не загрязненный опасными веществами. Класс опасности V.

– Строительный мусор (далее – мусор) – лом кирпичной кладки от сноса и разборки зданий, предоставленный ООО «Кузбасский Скарабей». Код ФККО

8 12 201 01 20 5. Класс опасности V (см. портал «Класс-Информ» : Справочник кодов общероссийских классификаторов).

В рамках эмпирической части исследования в лаборатории был определен ряд показателей двух образцов ИАИ, полученных с предприятия ЦБП соседнего региона, которое по профилю аналогично предприятию «Кузбасский Скарабей». Один из образцов был отобран после трех лет выдержки с иловых карт предприятия, другой – после обезвоживания на декантерной центрифуге (далее – декантер). Внешний вид образцов-аналогов, дающий представление о структуре ИАИ, представлен на рисунке 1.



А

Б

Рис. 1. Избыточный активный ил:

А) с иловых карт (объект-аналог-1); Б) после декантера (объект-аналог-2)

ИАИ с иловых карт визуально представляет собой рассыпчатый материал бурого цвета со слабым землистым запахом (рис. 1А), тогда как ИАИ после декантера – пастообразная масса темно-бурого цвета с сильным характерным запахом (рис. 1Б).

В таблице 1 представлены показатели образцов-аналогов ИАИ и нормативные показатели для применения его при рекультивации или в качестве органического удобрения.

Сравнение данных, представленных в таблице, объективно подтвердило различие свойств ИАИ с иловых карт (объект-аналог-1) и после декантера (объект-аналог-2). Массовая доля влаги объекта-аналога-2 выше, а сухого вещества ниже на 29,69%, чем у объекта-аналога-1. По этим

показателям объект-аналог-1 практически соответствует требованиям ГОСТа Р 54534-2011, в то время как значения показателей объекта-аналога-2 отличаются от нормативных – максимальная разница значений достигает 30,8%.

Лабораторные исследования образцов ИАИ с очистных сооружений предприятия ЦБП (объекты-аналоги) показали, что образец, отобранный с иловых карт (массовая доля сухого вещества – 44%, рН солевой вытяжки – 5,8), соответствует нормативным показателям, установленным для подобных материалов при использовании на техническом этапе рекультивации, а образец ИАИ после декантера (массовая доля сухого вещества – 14%, рН солевой вытяжки – 6,8) может быть использован на техническом этапе рекультивации только после дополнительной обработки.

Таблица 1

Соответствие показателей ИАИ требованиям ГОСТов к материалам при использовании их для рекультивации и как органическое удобрение

Определяемый показатель	Значение показателя ИАИ		Требуемое значение		
			ГОСТ Р 54534-2011		ГОСТ Р 54651-2011
	с иловых карт	после декантера	техническая рекультивация	биологическая рекультивация	удобрение органическое
Массовая доля влаги, %	56,11	85,80	55	65	70
Массовая доля сухого вещества, %	43,89	14,20	45	35	30
Массовая доля органического вещества, %	7,73	26,80	– <*>	– <*>	30
рН солевой вытяжки	5,8	6,8	5,0–8,5	5,0–8,5	6,0–8,0
<*> показатель не регламентируется					

При использовании ИАИ для технического и биологического этапов рекультивации ГОСТ Р 54534 не регламентирует показатель содержания органического вещества, в отличие от ГОСТа Р 54651, регламентирующего свойства ИАИ для применения в качестве органического удобрения.

Требования к применению ОСВ в качестве органических удобрений в целом гораздо более жесткие и включают больший перечень показателей, чем требования к ВМР для рекультивации.

### **Заключение**

По результатам анализа информационных источников, посвященных применению ИАИ в качестве ВМР для проведения технического этапа рекультивации отработанных карьеров, и проведенных лабораторных исследований было установлено, что применение ИАИ в качестве рекультиванта возможно, во-первых, при его соответствии нормативным показателям (ГОСТ Р 54534-2011) и, во-вторых, как основа субстратов с инертными материалами: котлованными грунтами (глина) и строительным мусором (лом кирпича и бетона). При этом немаловажным является подбор оптимального соотношения компонентов субстрата для придания большей стабильности наполнения карьерной выемки.

Лабораторные исследования образцов ИАИ с очистных сооружений предприятия ЦБП (объекты-аналоги) показали, что образец, отобранный с иловых карт (массовая доля сухого вещества – 44%, рН солевой вытяжки – 5,8), соответствует нормативам, установленным для подобных материалов при использовании их на техническом этапе рекультивации. Образец ИАИ после декантера (массовая доля сухого вещества – 14%, рН солевой вытяжки – 6,8) может применяться с этой целью только после дополнительной обработки.

Следующие этапы научного исследования позволят определить эффективный способ приведения ИАИ к нормативному показателю по содержанию влаги и определить оптимальный состав субстратов на основе ИАИ и инертных материалов, что необходимо для разработки наилучшей доступной технологии при проведении технического этапа рекультивации нарушенных земель. При этом использование многотоннажных отходов в качестве ВМР для рекультивации будет способствовать решению актуальной для Кемеровской области – Кузбасса проблемы – накопления не утилизируемых отходов.

### **Список источников**

1. Балакшин, П.Н. Экологические проблемы в целлюлозно-бумажной промышленности РФ // Лесной журнал. 2004. № 1. С. 100–102.

2. Воронов, Ю. В., Яковлев, С. В. Водоотведение и очистка сточных вод. Москва: АСВ, 2006. 704 с.
3. Анализ и обоснование методов обезвреживания и утилизации осадков сточных вод биологических очистных сооружений / И. С. Гуляева, М. С. Дьяков, Я. Н. Савинова, В. А. Русакова // Вестник ПНИПУ. Охрана окружающей среды, транспорт, безопасность жизнедеятельности. 2012. № 2. С. 18–32.
4. Способ обезвреживания и утилизации отработанного активного ила / Е. Ю. Брызгина, Р. Р. Насыров, З. А. Латыпова, Л. Р. Хазимова // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2014. № 3. С. 124–133.
5. Горелова, О. М., Титова, К. Ю. Исследования по утилизации избыточного активного ила // Ползуновский вестник. 2015. № 4, т. 1. С. 114–118.
6. Кодосюк, Т.В. Методы утилизации избыточного активного ила // Проблемы современной науки в исследованиях молодых ученых / Уфим. гос. нефт. техн. ун-т. Уфа, 2017. С. 220–222.
7. Зайнуллина, З. З., Зайнуллин, Р. Х., Кутлин, Н. Г. Методы утилизации избыточного активного ила // Инновационная наука. 2023. № 11-1. С. 24-26. EDN CPQFNU.
8. Утилизация активного ила очистных сооружений / Э. К. Мухамеджанов, О. В. Есырев, Н. В. Леонова [и др.] // Экологические проблемы промышленных городов: сб. науч. тр. 5-й Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием / Саратов. гос. техн. ун-т им. Гагарина Ю.А. Саратов, 2011. Ч. 2. С. 86–89.
9. Кузбасский Скарабей получит собственные очистные сооружения // Кузбасский скарабей : сайт. URL: <https://skarabey42.ru/tpost/ug4k18tk81-kuzbasskii-skarabei-poluchit-sobstvennie> (дата обращения 15.10.2025).
10. ГОСТ Р 57446-2017. Наилучшие доступные технологии. Рекультивация нарушенных земель и земельных участков. Восстановление биологического разнообразия. Москва: Росстандарт. 2017. 18 с.
11. ГОСТ Р 54534-2011. Ресурсосбережение. Осадки сточных вод. Требование при использовании для рекультивации нарушенных земель. Москва: Росстандарт. 2011. 16 с.
12. ГОСТ Р 59748-2021. Технические принципы обработки осадков сточных вод. Общие требования. Москва: Росстандарт. 2021. 18 с.
13. Зайнуллина, З. З., Зайнуллин, Р. Х., Кутлин, Н. Г. Методы утилизации избыточного активного ила // Инновационная наука. 2023. № 11-1.

14. Полетаева, Т. Н. Утилизация осадков сточных вод малых очистных сооружений // Коммунальное хозяйство городов. 2006. №. 72. С. 151-155.
15. Буренков, С.В., Грачев, А.Н., Забелкин, С.А. Термическая утилизация иловых осадков сточных вод методом быстрого пиролиза в сеточном реакторе // Вестник Технологического университета. 2016. Т. 19, № 22. С. 40–43.
16. Исхакова, Р.Я., Нургалиев, А.И. Обезвоживание и экологически безопасная термическая переработка избыточного активного ила // Безопасность техногенных и природных систем. 2024. № 2. С. 64–67.
17. Моран, Э., Плеханов, А. В., Лобанов Ф. И. Термическая обработка – перспективное направление утилизации осадков сточных вод // Водоснабжение и санитарная техника. 2017. № 6. С. 47–51.
18. Патент № 2220123 С2 Российская Федерация, МПК C05F3/00. Способ производства сухого органического удобрения из бесподстилочного помета кур: №2002100222/13: заявл. 10.01.2002: опубл. 27.12.2003 / В.А. Монолаков, В.В. Юдин; заявитель В.А. Монолаков, В.В. Юдин.
19. Патент № 160802 U1 Российская Федерация, МПК C10B 57/10, F26B 3/347. Устройство для микроволновой сушки кека: №2015136161/06: заявл. 21.08.2015: опубл. 10.04.2016 / С.Ф. Щербаков, В.А. Аксенов, А.Н. Филиппов; заявитель С.Ф. Щербаков, В.А. Аксенов, А.Н. Филиппов.
20. Жанайдар, А. Б. Рекультивация отработанных карьеров с использованием промышленных отходов: на примере месторождения строительного камня Каратас // Вестник науки. 2025. Т. 1, № 4(85). С. 613–619.
21. Чертес, К. Л., Быкова, Е. О. Рекультивация отработанных карьеров с использованием коммунальных и промышленных отходов // Химия. Экология. Урбанистика. 2019. Т. 1. С. 51–55. EDN HNIDZL.
22. Земсков, В. Н. Обоснование применения осадка сточных вод в качестве рекультиванта при восстановлении территорий, нарушенных карьерными разработками: автореферат дис. ... канд. техн. наук: 06.01.02. Москва, 2013. 26 с.
23. ГОСТ Р 54098–2024. Ресурсосбережение. Вторичные ресурсы и вторичное сырье. Термины и определения. Москва: Росстандарт. 2024. 16 с.