

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-2-50-59>

УДК 626.877:502.654:631.6:631.42



ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕЛИОРАНТОВ НА ОСНОВЕ ТОНКОДИСПЕРСНОЙ ФРАКЦИИ ОТХОДОВ ИЗВЕСТНЯКОВЫХ КАРЬЕРОВ И МИКРОВОДОРОСЛИ *CHLORELLA VULGARIS* В ЗАМКНУТОМ ЦИКЛЕ ОБРАЩЕНИЯ С ОТХОДАМИ ПЕРВИЧНОГО СЕКТОРА ЭКОНОМИКИ

Т.Л. Горбунова , Н.К. Гудкова, Н.И. Рубанова

Филиал федерального государственного бюджетного научного учреждения «Институт природно-технических систем»; 354024, Краснодарский край, г. Сочи, пр-кт курортный (Хостинский р-н), 99, к. 18, Россия

Аннотация. Отходы известняковых карьеров являются продуктом первичной промышленности и добычи строительного материала, а их тонкодисперсная фракция часто остается невостребованной и складывается. Это вызывает экологические и экономические проблемы, так как данные материалы легко рассеиваются под действием силы тяжести, воды и ветра. Цель работы – обоснование инновационного способа утилизации тонкодисперсных отходов карьеров, в том числе в процессе биологической рекультивации самих карьеров, на основе результатов исследования свойств этих материалов. В ходе исследований использовался экспериментальный подход, в котором сравнивались результаты выращивания растений на субстратах: чистой тонкодисперсной фракции отходов, смеси тонкодисперсной фракции и вермикомпоста, а также чистого вермикомпоста. Отдельное внимание уделялось изучению эффекта добавок на основе хлореллы. Результаты исследований показали, что тонкодисперсная фракция отходов известняковых карьеров может быть успешно использована в сельскохозяйственной практике как составная часть субстрата для выращивания растений в сочетании с добавками, основанными на культуре одноклеточных водорослей. Такой субстрат обладает необходимыми питательными элементами и стимулирует рост растений. Полученные результаты могут способствовать развитию циркулярной экономики, в которой отходы одного процесса становятся ресурсами для другого, позволяя минимизировать потери и снизить воздействие на окружающую среду. В частности, они служат обоснованием разрабатываемой авторами схемы замыкания технологических циклов в рамках промышленного симбиоза хозяйствующих субъектов трех различных отраслей: отработанного карьера по добыче известняка, малых фермерских хозяйств и предприятия, создающего и эксплуатирующего туристский объект в результате рекультивации и ландшафтной реабилитации отработанного карьера.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института природно-технических систем по теме «Фундаментальные и прикладные исследования закономерностей и механизмов формирования региональных изменений природной среды и климата под влиянием глобальных процессов в системе океан-атмосфера» (№ госрегистрации 124013000609-2).

Ключевые слова: тонкодисперсная фракция отходов карьеров, субстрат для выращивания растений, хлорелла, рекультивация карьера, циркулярная экономика

Формат цитирования: Горбунова Т.Л., Гудкова Н.К., Рубанова Н.И. Использование мелиорантов на основе тонкодисперсной фракции отходов известняковых карьеров и микроводоросли *Chlorella vulgaris* в замкнутом цикле обращения с отходами первичного сектора экономики // Природообустройство. 2025. № 2. С. 50-59. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-2-50-59>

Scientific article

THE USE OF AMELIORANTS BASED ON THE FINELY DISPERSED FRACTION OF WASTE FROM LIMESTONE QUARRIES AND MICROALGAE *CHLORELLA VULGARIS* IN A CLOSED CYCLE OF WASTE MANAGEMENT IN THE PRIMARY SECTOR OF THE ECONOMY

T.L. Gorbunova[✉], N.K. Gudkova, N.I. Rubanova

Branch of the Federal state budgetary scientific institution "Institute of Natural and Technical Systems". 354024, Krasnodar Territory, Sochi, Kurortny ave. (Khostinsky District), 99, room 18.

Abstract. Waste from limestone quarries is a product of primary industry and the extraction of building material, and their finely dispersed fraction often remains unclaimed and is stored. This causes environmental and economic problems, as these materials are easily dispersed by gravity, water, and wind. The purpose of this work is to substantiate an innovative method for the disposal of finely dispersed waste from open pits, including in the process of biological reclamation of the quarries themselves, based on the results of a study of the properties of these materials. In the course of the study, an experimental approach was used, which compared the results of growing plants on substrates: a pure finely dispersed fraction of waste, a mixture of a fine fraction and vermicompost, as well as pure vermicompost. Special attention was paid to the study of the effect of chlorella-based additives. The results of the study showed that the finely dispersed fraction of waste from limestone quarries can be successfully used in agricultural practice as a component of the substrate for growing plants, in combination with additives based on the culture of unicellular algae. Such a substrate has the necessary nutrients and stimulates plant growth. The findings could contribute to the development of a circular economy, in which waste from one process becomes resources for another, minimizing losses and reducing environmental impact. In particular, they serve as a substantiation of the scheme developed by the authors for closing technological cycles within the framework of the industrial symbiosis of economic entities of three different industries – a depleted limestone quarry, small farms and an enterprise that creates and operates a tourist facility as a result of reclamation and landscape rehabilitation of a depleted quarry.

The work was performed within the framework of the state assignment of the Institute of Natural and Technical Systems on the topic "Fundamental and applied research of patterns and mechanisms of formation of regional environmental and climate changes under the influence of global processes in the ocean-atmosphere system" (state registration no. 124013000609-2).

Keywords: finely dispersed fraction of quarry waste, substrate for growing plants, chlorella, quarry reclamation, circular economy

Format of citation: Gorbunova T.L., Gudkova N.K., Rubanova N.I. The use of ameliorants based on the finely dispersed fraction of waste from limestone quarries and microalgae *Chlorella vulgaris* in a closed cycle of waste management in the primary sector of the economy // Prirodoobustroystvo. 2025. № 2. P. 50-59. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-2-50-59>

Введение. Тонкодисперсная фракция отходов известняковых карьеров образуется как продукт первичной промышленности (добычи строительного материала), так и вторичный субпродукт – продукт, получаемый при обогащении и/или сортировке горных пород. Поскольку тонкодисперсная фракция является малоиспользуемым материалом, большая его часть просто складывается. Проблема использования таких отходов существует практически во всех странах мира [1]. Например, в настоящее время наиболее распространенной областью применения тонкодисперсной фракции отходов карьеров в европейских странах является использование ее в качестве верхнего несвязного слоя на дворах, полях и улицах с низкой интенсивностью движения [2].

Тонкодисперсный карьерный материал также может использоваться в производстве бетона [3] или как добавка для улучшения свойств почвы [2]. Тем не менее тонкодисперсная фракция остается невостребованным и недостаточно используемым продуктом, что может приводить к экологическим и экономическим проблемам, поскольку они легко рассеиваются под действием силы тяжести, воды и ветра [4]. Этим и обоснована актуальность поставленной авторами цели данной работы: обоснование предложений эффективного способа утилизации тонкодисперсных отходов карьеров в значительных объемах на основе результатов исследования свойств этих материалов [1].

Представленная работа является этапом в серии исследований, посвященных развитию

комплексной системы утилизации отходов первичного сектора экономики и минимизации экологических рисков, связанных с их неэффективным управлением, в соответствии с принципами циклической экономики. В ходе данного этапа исследований был поставлен эксперимент с целью выявления возможности замыкания технологических циклов в рамках промышленного симбиоза хозяйствующих субъектов трех различных отраслей: отработанного карьера по добыче известняка, малых фермерских хозяйств и предприятия, создающего и эксплуатирующего туристский объект в результате рекультивации и ландшафтной реабилитации отработанного карьера [5].

На большинстве карьеров и участках открытой добычи образуются тонкодисперсные отходы, в которых частицы в основном не более 75-100 микрон: глина – менее 2 микрон; ил – от 2 до 60 микрон; мелкий песок – более 60 микрон [6]. Возможности использования тонкодисперсных отходов рассмотрены на примере Дагомысского карьера по добыче известняка. Химический состав известняковых отходов определяется главным образом содержанием кальция CaO (56%) и CO_2 (44%).

Практическое значение выполненной работы обусловлено ее направленностью на решение актуальной прикладной задачи – необходимости мелиоративных мероприятий для рекультивации объектов добычи и обогащения минералов. При этом улучшение физико-химических свойств отработанных пород и повышение их плодородия включают в себя формирование на их основе почвогрунта путем внесения мелиоративного материала. Используемый нами комплекс на основе тонкодисперсной фракции карьера, обычно являющейся отходом добывающего предприятия, и суспензии микроводорослей, выращенной на отходах малых крестьянских хозяйств, является сравнительно недорогим и отвечающим специфическим условиям исследуемого региона.

Цель исследований: обоснование предложений эффективного способа утилизации тонкодисперсных отходов карьеров в значительных объемах на основе результатов исследования свойств этих материалов.

Материалы и методы исследований. Дагомысское месторождение известняков находится в Лазаревском районе г. Сочи Краснодарского края, на правом склоне долины р. Западный Дагомыс, в 13 км от места ее впадения в Черное море.

Известняк Дагомысского карьера имеет отличную ударостойкость и высокую устойчивость

к перепадам температур, обладает низкими водонасыщением и водопоглощением. Отходы добычи известняка относятся к техногенным отложениям, которые в районе Дагомысского карьера представлены щебнем и глыбами вскрышных пород и известняка. Эти отложения имеют распространение в виде осыпей и карьерных дорог, а также в виде двух крупных карьерных отвалов, расположенных в северо-западной и северо-восточной частях земельного отвода. Высота насыпей отвалов достигает 30 м.

В период рекогносцировочного обследования территории Дагомысского карьера, проведенного авторами в июне 2023 г., экспертным путем была выполнена оценка размерности (по среднему диаметру частиц отходов на площади 5 на 5 м) и структуры отвалов отходов карьера: крупные частицы отходов (10 и более см) составляют менее 5% общего объема отходов; средние (5-8 см) – 20%; мелкие (5 см и менее) – 70-75%; тонкодисперсные (менее 100 микрон) – менее 5% общего объема отходов.

Кроме того, в 2020-2021 гг. авторами был проведен научно-практический эксперимент по использованию культуры микроводоросли *Chlorella Vulgaris* в безотходном цикле производства продукции традиционного крестьянского хозяйства (в селе Адзюбжа Очамчирского района Республики Абхазия) [7]. Данный эксперимент являлся одним из фрагментов внедрения проекта «ЭКОПОЛИС», разработанного по инициативе НИМЦ экологии и здоровья человека совместно с учеными НИИ экспериментальной патологии и терапии Академии наук Абхазии [8, 9].

Предложенный в результате эксперимента подход, основанный на комплексных многоуровневых процессах функционирования малого крестьянского хозяйства, обеспечивает производство экологически приемлемой сельскохозяйственной продукции высоких потребительских свойств, базируется на использовании минеральных и биогенных ингредиентов, содержащихся в утилизируемых отходах хозяйства. Последние служат питательным субстратом, источником энергии и микроэлементов для роста и функционирования биологических культур, превращающих органические отходы жизнедеятельности и производства в ценный коммерческий продукт [10, 11]. В ходе эксперимента на Абхазском подворье был произведен вермикомпост с использованием монокультуры червей «Владимирский старатель», выведенной специально для применения на территории РФ, при подкормке червей суспензией хлореллы, выращенной на органических отходах животноводства.

Искусственный субстрат, полученный в рамках эксперимента, потенциально может быть предложен к использованию: во-первых, для выращивания агрокультуры на подворьях малых фермерских хозяйств; во-вторых, в качестве основы для создания плодородного слоя в процессе рекультивации карьера.

В эксперименте тестировалось три вида субстрата:

А. Тонкодисперсная фракция отходов Дагомысского карьера с размером частиц менее 65 микрон.

В. Смесь в пропорции 1:1 тонкодисперсной фракции отходов карьера и вермикомпоста.

С. Вермикомпост, полученный в результате предыдущих исследований.

Кроме того, тестировался эффект от добавления в субстрат определенных добавок:

1. Полив водой без внесения дополнительных подкормок (контрольная группа).

2. Обработка культуральной средой хлореллы, произведенной путем сепарации клеточной суспензии водорослей при завершении биотехнологического цикла выращивания клеточной культуры при поливе водой.

3. Обработка суспензией хлореллы при поливе водой.

Эксперимент проводился в естественных климатических условиях под навесом, время экспозиции эксперимента составило 12 дней. В качестве тест-объекта использовался кресс-салат (*Lepidium sativum* L.), однолетнее овощное растение с повышенной чувствительностью к загрязнению почвы, служащее признанным биоиндикатором качества среды [12]. Каждый эксперимент ставился в 24 повторностях.

Во всех проведенных экспериментах учитывались следующие показатели:

- всхожесть семян (отношение количества проросших семян к числу высеванных);
- количество выживших растений;
- формирование листьев.

Для обработки данных применялся следующий подход по каждому критерию оценки результатов эксперимента:

1. Формируется упорядоченный ряд значений показателей, достигнутых на 4, 7 и (или) 12 дни эксперимента (в зависимости от особенностей проявления показателя).

2. Упорядоченный ряд делился на три части (терцили).

3. Значениям, попавшим в нижний терциль, присваивается 1 балл («низкий уровень показателя»), в средний – 2 балла, что означает «средний уровень показателя», в верхний

терциль – 3 балла («высокий уровень показателя»).

4. Для каждого критерия оценки строится матрица средних значений рангов каждого сочетания субстрата и способа его обработки.

5. Формируется итоговая матрица как средняя из рангов достигнутых уровней по всем оцениваемым критериям.

Статистические расчеты и построение диаграмм для данного исследования проводились с использованием программы Excel.

Результаты и их обсуждение. Динамика всхожести семян представлена на рисунке 1.

Следует отметить, что органика, присутствующая в суспензии хлореллы, в сочетании с минеральной фракцией отходов карьера (рис. 1а), содержащей кальций и магний, стимулирующих рост клеток хлореллы, обеспечивая повышение всхожести семян.

Анализ данных показал, что наиболее информативными для оценки дружности и масовости прорастания семян являются 4 и 7 дни экспозиции эксперимента. Результаты балльной оценки по показателю всхожести за эти дни представлены в таблице 1.

Показатель выживания растений. В естественных климатических условиях, в которых проводился эксперимент, не все растения смогли выжить. Поэтому использовался показатель числа фиксируемых живых растений с учетом появившихся новых проростков (+) и погибших растений (–).

В целом наиболее эффективной оказалась обработка растений суспензией хлореллы (рис. 2). При сравнении экспериментов с внесением в тонкодисперсный субстрат (рис. 2а) в качестве подкормки культуральной среды хлореллы (А2) и суспензии хлореллы (А3) следует отметить, что с 7 по 10 дни экспозиции количество растений была одинаковым (16 или 67% от числа посеянных), но в последующий период в первом случае показатель продолжал возрастать, а во втором – снизился. По нашему мнению, это можно объяснить тем, что в культуральной среде питательные вещества органической природы выделялись в среду как продукт жизнедеятельности водорослей, но такая подкормка не содержала клеточной массы, несущей и другие вещества (например, фотосинтезирующие пигменты), как в суспензии клеток хлореллы.

При использовании вермикомпоста в качестве субстрата нет недостатка в питательных органических элементах, необходимых для роста растений, и их добавление с подкормкой в течение эксперимента уже не является критичным.

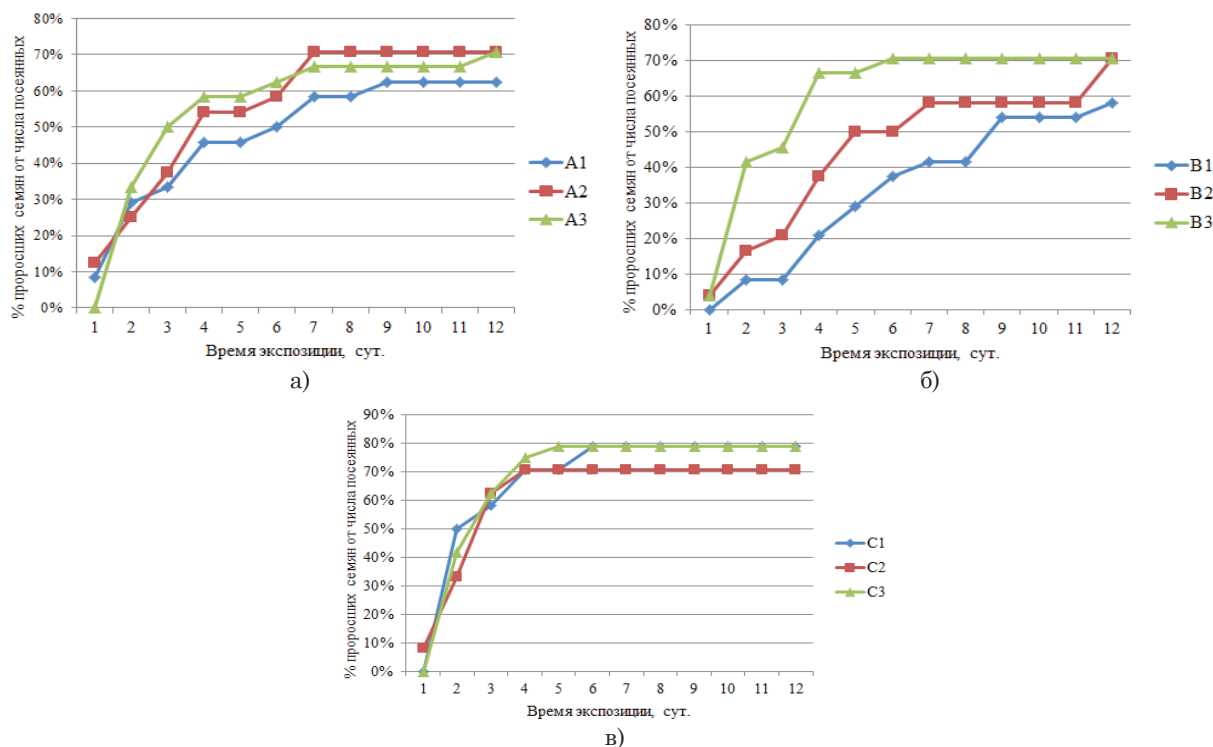


Рис. 1. Динамика прорастания семян в различных вариантах эксперимента:

а) субстрат А – тонкодисперсная фракция отходов;

б) субстрат В – смесь тонкодисперсной фракции и вермикомпоста; в) субстрат С – вермикомпост
Примечание. 1 – полив водой (контрольная группа); 2 – обработка культуральной средой хлореллы и полив водой; 3 – обработка суспензией хлореллы и полив водой

Fig. 1. Dynamics of seed germination in various experimental variants

а) substrate A – finely dispersed fraction of waste;

б) substrate B – mixture of finely dispersed fraction and vermicompost; в) substrate C – vermicompost

Notes: 1 – watering with water (control group); 2 – treatment with chlorella culture medium and watering with water; 3 – treatment with chlorella suspension and watering with water

Таблица 1. Матрица балльной оценки относительной эффективности сочетаний субстрата и вида его обработки по показателю «всхожесть семян»

Table 1. Matrix of point assessment of the relative efficiency of substrate combinations and the type of its treatment by the indicator “seed germination”

	А. Тонкодисперсная взвесь карьера <i>Fine suspension of the quarry</i>	В. Смесь тонкодисперсной взвеси карьера и вермикомпоста <i>Mixture of fine suspension of the quarry and vermicompost</i>	С. Вермикомпост <i>Vtrmicompost</i>
1. Полив водой <i>Watering with water</i>	1	1	3
2. Обработка культуральной средой хлореллы и полив водой <i>Treatment with chlorella culture medium and watering with water</i>	2,15	1	2,65
1. Обработка суспензией хлореллы и полив водой <i>Treatment with chlorella suspension and watering with water</i>	2	2,15	3

значения нижнего терциля
*values of the lower tercile*значения среднего терциля
*values of the medium tercile*значения верхнего терциля
values of the upper tercile

Поэтому в данной серии опытов количество сохранившихся растений не отличается друг от друга значимо. Однако привнесение дополнительной подкормки в виде суспензии хлореллы обеспечило более ранний срок достижения максимальных значений количества растений в группе, а также небольшое преимущество на момент окончания эксперимента.

Следует отметить высокие значения показателя количества сохранившихся растений при поливе водой (С1) на 9-й день экспозиции – 19 растений из 24 посеянных (79,2%), это наибольшее значение в группе. Однако в последующие дни этот показатель снижался и в конце эксперимента достиг 70,8%, что оказалось, тем не менее, выше, чем при обработке субстрата культуральной средой хлореллы (С2) – 62,5%.

Результаты балльной оценки по показателю «Выживаемость растений» на конец экспозиции эксперимента (12-й день) представлены в таблице 2.

Как следует из таблицы 3, наиболее результативной является схема (С3) «вермикомпост + суспензия хлореллы». В то же время

следует учитывать, что ее применение требует предварительных материальных и временных ресурсов для производства как самого вермикомпоста, так и суспензии водоросли. При использовании непосредственно тонкодисперсного отхода карьера при подкормке суспензией микроводоросли (А3) окончательный результат несколько ниже (70,8 и 75% соответственно) и эквивалентен результату схемы (В2).

Динамика формирования листьев отслеживалась по среднему количеству листьев (отношение общего количества листьев, сформировавшихся у растений экспериментальной группы, к числу растений, в том числе проростков, в данной группе) и представлена на рисунке 3.

Отметим, что растения, выращенные на тонкодисперсном отходе карьера (рис. 3а), и обрабатываемые водой (А1) и культуральной средой хлореллы (А2) демонстрировали на всем протяжении эксперимента более интенсивное формирование листьев по сравнению с растениями, произрастающими на смеси тонкодисперсного отхода карьера и вермикомпоста (рис. 3б) и обрабатываемыми аналогичным образом (В1 и В2 соответственно).

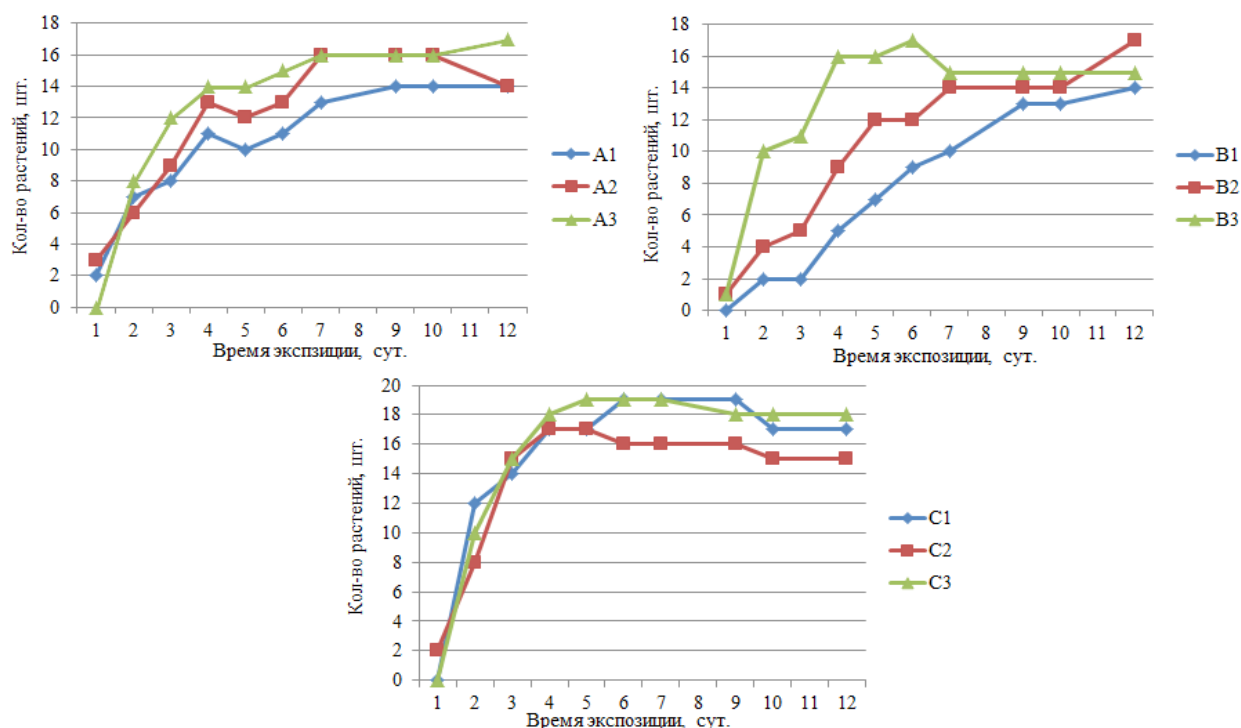


Рис. 2. Динамика выживания растений в различных вариантах эксперимента:

А – тонкодисперсная фракция отходов;

б) субстрат В – смесь тонкодисперсной фракции и вермикомпоста; в) субстрат С – вермикомпост

Примечание. 1 – полив водой (контрольная группа); 2 – обработка культуральной средой хлореллы и полив водой; 3 – обработка суспензией хлореллы и полив водой

Fig. 2. Dynamics of plant survival in various experimental variants

a) substrate A – finely dispersed fraction of waste;

b) substrate B – mixture of finely dispersed fraction and vermicompost; c) substrate C – vermicompost

Notes: 1 – watering with water (control group); 2 – treatment with chlorella culture medium and watering with water; 3 – treatment with chlorella suspension and watering with water

Таблица 2. Матрица балльной оценки относительной эффективности сочетаний субстрата и вида его обработки по показателю «выживание растений» на конец экспозиции эксперимента

Table 2. Matrix of the point assessment of the relative efficiency of combinations of the substrate and type of its treatment according to the indicator “plant survival” at the end of the experiment exposure

	А. Тонкодисперсная взвесь карьера <i>Fine suspension of the quarry</i>	В. Смесь тонкодисперсной взвеси карьера и вермикомпоста <i>Mixture of fine suspension of the quarry and vermicompost</i>	С. Вермикомпост <i>Vermicompost</i>
1. Полив водой / <i>Watering with water</i>	1	1	2,67
2. Обработка культуральной средой хлореллы и полив водой <i>Treatment with chlorella culture medium and watering with water</i>	1	2,67	2
3. Обработка суспензией хлореллы и полив водой <i>Treatment with chlorella suspension and watering with water</i>	2,67	2	3

	значения нижнего терциля <i>values of the lower tercile</i>
	значения среднего терциля <i>values of the medium tercile</i>
	значения верхнего терциля <i>values of the upper tercile</i>

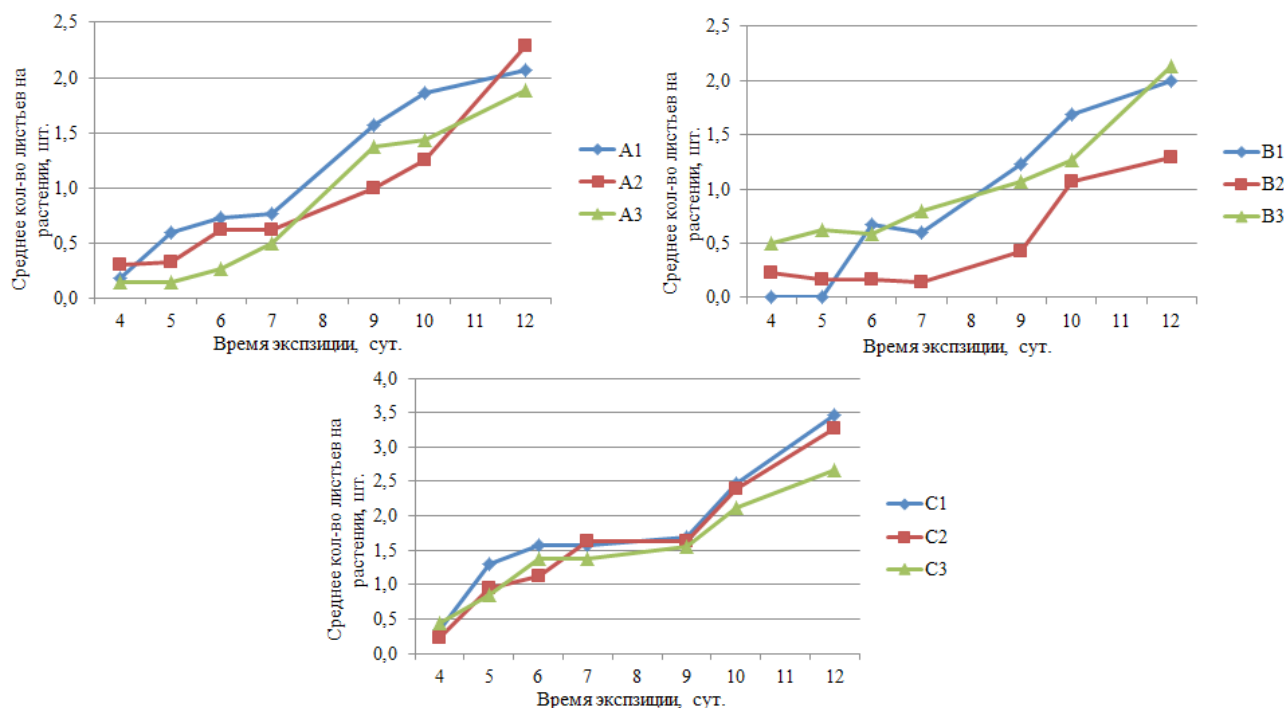


Рис. 3. Динамика формирования листьев в различных вариантах эксперимента:

а) субстрат А – тонкодисперсная фракция отходов;

б) субстрат В – смесь тонкодисперсной фракции и вермикомпоста; в) субстрат С – вермикомпост

Примечание. 1 – полив водой (контрольная группа); 2 – обработка культуральной средой хлореллы и полив водой; 3 – обработка суспензией хлореллы и полив водой

Fig. 3. Dynamics of leaves formation in various experimental variants

а) substrate А – finely dispersed fraction of waste;

б) substrate В – mixture of finely dispersed fraction and vermicompost; в) substrate С – vermicompost

Notes: 1 – watering with water (control group); 2 – treatment with chlorella culture medium and watering with water; 3 – treatment with chlorella suspension and watering with water

Результаты балльной оценки по показателю «Формирование листьев» на конец экспозиции эксперимента (12-й день) представлены в таблице 3.

Для комплексной оценки относительной эффективности вариантов сочетания субстрата и полива/подкормки был рассчитан средний

балл по всем критериям для всех сочетаний субстрата и вида его обработки (табл. 4).

Таким образом, наиболее эффективным для выращивания растений субстратом является вермикомпост, а обработка субстратов суспензией хлореллы стабильно повышает их эффективность.

Таблица 3. Матрица балльной оценки относительной эффективности сочетаний субстрата и вида его обработки по показателю «среднее количество листьев у растения»

Table 3. Matrix of point assessment of the relative efficiency of combinations of substrate and type of treatment by the indicator "average number of leaves in a plant"

	А. Тонкодисперсная взвесь карьера <i>Fine suspension of the quarry</i>	В. Смесь тонкодисперсной взвеси карьера и вермикомпоста <i>Mixture of fine suspension of the quarry and vermicompost</i>	С. Вермикомпост <i>Vermicompost</i>
1. Полив водой / <i>Watering with water</i>	2	1	3
2. Обработка культуральной средой хлореллы и полив водой <i>Treatment with chlorella culture medium and watering with water</i>	2	1	3
3. Обработка суспензией хлореллы и полив водой <i>Treatment with chlorella suspension and watering with water</i>	1	2	3

	значения нижнего терциля <i>values of the lower tercile</i>
	значения среднего терциля <i>values of the medium tercile</i>
	значения верхнего терциля <i>values of the upper tercile</i>

Таблица 4. Матрица комплексной оценки относительной эффективности сочетаний субстрата и вида его обработки

Table 4. Table 4. A matrix for a comprehensive assessment of the relative efficiency of substrate combinations and the type of its treatment

	А. Тонкодисперсная взвесь карьера <i>Fine suspension of the quarry</i>	В. Смесь тонкодисперсной взвеси карьера и вермикомпоста <i>Mixture of fine suspension of the quarry and vermicompost</i>
1. Полив водой / <i>Watering with water</i>	1,3	1,0
2. Обработка культуральной средой хлореллы и полив водой <i>Treatment with chlorella culture medium and watering with water</i>	1,7	1,6
3. Обработка суспензией хлореллы и полив водой <i>Treatment with chlorella suspension and watering with water</i>	1,9	2,1

	значения нижнего терциля <i>values of the lower tercile</i>
	значения среднего терциля <i>values of the medium tercile</i>
	значения верхнего терциля <i>values of the upper tercile</i>

Выводы

Результаты исследований позволяют сделать следующие выводы:

1. Тонкодисперсная фракция отходов добычи известняка на исследованном карьере составляет около 5% от общего объема образующихся отходов. Отходы обуславливают экологические риски для окружающей среды, но они же могут рассматриваться и как сырье для новых циклов производства.

2. Тонкодисперсная взвесь карьера продемонстрировала удовлетворительные результаты в качестве субстрата (в чистом виде или в смеси) для роста тестируемых растений. Это обуславливается тем, что в ее состав входят вещества, содержащие кальций и магний, стимулирующие рост фотосинтезирующих клеток.

3. Вермикомпост, выращенный с использованием биомассы хлореллы, показал себя как наиболее эффективный субстрат для выращивания растений. Однако для его подготовки необходимы дополнительные ресурсы. Кроме того, при использовании вермикомпоста в чистом виде в качестве субстрата не решается задача переработки наиболее вредной фракции отходов известнякового карьера.

4. Наилучшие результаты для всех субстратов, участвовавших в эксперименте, достигаются

при добавлении в качестве подкормки суспензии хлореллы. В разрабатываемой авторами схеме замыкания технологических циклов хлорелла может выращиваться в безотходном цикле производства продукции крестьянского подворья, в том числе с использованием тонкодисперсных отходов карьера в качестве стимулятора роста биокультуры. Использование этого мелиоранта показало наиболее перспективные результаты в повышении плодородия созданного в процессе экспериментов почвогрунта.

5. На разных этапах жизненного цикла участвовавших в эксперименте растений (прорастание семян, формирование стебля, листьев) наилучшие результаты достигались при различном сочетании субстрата и обработки. В ходе дальнейших исследований планируется разработать схему внесения в создаваемый искусственный субстрат различных добавок, основанных на культуре одноклеточных водорослей и тонкодисперсной взвеси карьера.

6. Тонкодисперсные отходы известковых карьеров можно применять в качестве основы при создании искусственного субстрата как для выращивания сельскохозяйственных культур на местных крестьянских и фермерских подворьях, так и в ходе биологической рекультивации карьеров при создании объектов рекреационного, познавательного и спортивного туризма [13].

Список использованных источников

1. Zhang Y., Korkiala-Tanttu L., Borén M. Assessment for Sustainable Use of Quarry Fines as Pavement Construction Materials: Part II-Stabilization and Characterization of Quarry Fine Materials // Materials (Basel). 2019. 12 (15): 2450. DOI: 10.3390/ma12152450.
2. Sivrikaya O., Kiyıldır K.R., Karaca Z. Recycling waste from natural stone processing plants to stabilise clayey soil // Environmental Earth Sciences. 2014, 71(10), 4397-4407. DOI: 10.1007/s12665-013-2833-x
3. Medina G., Sáez del Bosque I.F., Frías M., Sánchez de Rojas M.I.; Medina C. Durability of new recycled granite quarry dust-bearing cements // Construction and Building Materials. 2018, 187, 414-425. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.07.134
4. Annandale J.M., Gorbunova T.L., Gudkova N.K. Gravity settlement of process water sources in opencast quarries/mines and resultant effects and the potential use of fines/dust in the environment // Сборник научных статей всероссийской научной конференции, посвященной 30-летию СНИИЦ РАН и СВУ. Сочинский научно-исследовательский центр РАН. 2018. Сочи: Изд-во: ИП Кривлякин С.П. С. 206-213. EDN: YRTIZF
5. Рубанова Н.И. Креативная индустрия в действии: циркулярная экономика и преобразование нарушенных территорий в уникальные туристические объекты / Н.И. Рубанова, Н.К. Гудкова, Т.Л. Горбунова // Сборник статей I Международной научной конференции «Творчество и бизнес», 19-20 апреля 2024 г. Ростов-на-Дону: Южный федеральный университет. 348 с. EDN: KNDWCM
6. Ferreira S., Waygood C. South African case study on sediment control measure with use of silt traps in the coal

References

1. Zhang Y., Korkiala-Tanttu L., Borén M. Assessment for Sustainable Use of Quarry Fines as Pavement Construction Materials: Part II-Stabilization and Characterization of Quarry Fine Materials // Materials (Basel). 2019. 12 (15): 2450. DOI: 10.3390/ma12152450.
2. Sivrikaya O., Kiyıldır K.R., Karaca Z. Recycling waste from natural stone processing plants to stabilise clayey soil // Environmental Earth Sciences. 2014, 71(10), 4397-4407. DOI: 10.1007/s12665-013-2833-x
3. Medina G., Sáez del Bosque I.F., Frías M., Sánchez de Rojas M.I.; Medina C. Durability of new recycled granite quarry dust-bearing cements // Construction and Building Materials. 2018, 187, 414-425. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.07.134
4. Annandale J.M., Gorbunova T.L., Gudkova N.K. Gravity settlement of process water sources in opencast mines and resultant effects and the potential use of fines/dust in the environment // Collection of scientific articles of the All-Russian scientific conference dedicated to the 30th anniversary of the Russian Academy of Sciences and SSU. Sochi Scientific Research Center of the Russian Academy of Sciences. 2018. Sochi: Publishing house: IP Krivlyakin S.P. P. 206-213. EDN: YRTIZF
5. Rubanova N.I. The creative industry in action: circular economy and transformation of disturbed territories into unique tourist sites / N.I. Rubanova, N.K. Gudkova, T.L. Gorbunova // Collection of articles of the I International Scientific Conference "Creativity and Business", April 19-20, 2024 Rostov-on-Don: Southern Federal University. 348 p. EDN: KNDWCM
6. Ferreira S., Waygood C. South African case study on sediment control measure with use of silt traps in the coal

industry. Material of international mine water conference in South Africa. 2009. 10 p.

7. Горбунова Т.Л. Использование культуры микроводоросли *Chlorella vulgaris* в безотходном цикле производства первичной продукции традиционного крестьянского хозяйства с целью обеспечения его эффективности и экологичности, повышения уровня здоровья населения / Т.Л. Горбунова, Н.К. Гудкова, А.Л. Туманова, Н.И. Матова // Технологии живых систем. 2022. Т. 19, № 3. С. 73-81. DOI 10.18127/j20700997-202203-08. EDN ATFLTK.

8. Туманова А.Л., Миквабия З.Я. Организационно-экологические аспекты обеспечения устойчивого развития регионов. «ЭКОПОЛИС» в Абхазии как образец внедрения инновационных биотехнологий сохранения экологии рекреационных зон и здоровья человека // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2019. № 10-1. С. 127-131.

9. Туманова А.Л. Медико-экологические факторы нарушения здоровья населения и инновационные методы их профилактики. Эксперимент по влиянию и отдаленным результатам применения профилактических хлорелловых напитков на организм приматов / А.Л. Туманова, З.Я. Миквабия, Л.О. Ахуба, Е.Р. Пачулия // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2019. № 10 (ч. 2). С. 307-312.

10. Han X., Rusconiy N., Ali P., Pagkatipunan K., Chen F. Nutrients extracted from chicken manure accelerate growth of microalga *Scenedesmus obliquus* HTB1 // Green Sustainable Chemistry. 2017. Vol. 7. Pp. 101-113. doi: 10.4236/gsc.2017.72009.

11. Liu Q., Wang J., Bai Z., Ma L., Oenema O. Global animal production and nitrogen and phosphorus flows // Soil Research. 2017. Vol. 55(6). Pp. 451-462. DOI: 10.1071/sr17031.

12. Аникина Е.А. Кресс-салат как тест – объект для оценки состояния почвы // Материалы Международного молодежного научного форума. Том Часть II. Ответственный редактор Шмакова А.П. Ульяновск: Ульяновский государственный педагогический университет им. И.Н. Ульянова. 2012. С. 8-13. EDN: UXNSMX

13. Васильев Н.В. Реабилитация антропогенных территорий как способ сохранения индустриального наследия // Баландинские чтения. 2020. Т. 15. С. 29-37. DOI 10.24411/9999-001A-2020-10004. EDN CPSFOK.

Об авторах

Татьяна Львовна Горбунова, научный сотрудник; WOS Research ID: J-3682-2018, Scopus AuthorID: 57202604976; ORCID: 0000-0003-3699-7159; SPIN-код: 8098-9077; AuthorID: 895972; tatianashaw@mail.ru

Наталья Константиновна Гудкова, канд. геол. – мин. наук, старший научный сотрудник; Scopus AuthorID: 57202603704; ORCID: 0000-0002-3299-7701; SPIN-код: 1324-0253; AuthorID: 635883; n.k.gud@yandex.ru

Наталья Ивановна Рубанова, канд. экон. наук, старший научный сотрудник; WOS Research ID: J-7241-2018, Scopus AuthorID: 57224404175; ORCID: 0000-0001-6084-6233; SPIN-код: 1544-3015; AuthorID: 467412; lej06@yandex.ru

Критерии авторства / Criteria of authorship

Горбунова Т.Л., Гудкова Н.К., Рубанова Н.И. выполнили теоретические и практические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов / Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests / Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Вклад авторов / Contribution of authors

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации / The authors made an equal contribution to the preparation of the publication

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 25.06.2024

Поступила после рецензирования / Received after peer review 21.02.2025

Принята к публикации / Accepted for publication 21.02.2025

industry. Material of international mine water conference in South Africa. 2009. 10 p.

7. Gorbunova T.L. The use of *Chlorella vulgaris* microalgae culture in the waste-free cycle of primary production of traditional peasant farming in order to ensure its efficiency and environmental friendliness, improve public health / T.L. Gorbunova, N.K. Gudkova, A.L. Tumanova, N.I. Matova // Technologies of living systems. 2022. Vol. 19, No. 3. P. 73-81. DOI 10.18127/j20700997-202203-08. EDN ATFLTK.

8. Tumanova A.L., Mikvabiya Z.Ya. Organizational and environmental aspects of ensuring the sustainable development of regions. ECOPOLIS in Abkhazia as an example of the introduction of innovative biotechnologies to preserve the ecology of recreational areas and human health // International Journal of Applied and Fundamental Research. 2019. No. 10-1. P. 127-131.

9. Tumanova A.L. Medical and environmental factors of population health disorders and innovative methods of their prevention. Experiment on the effect and long-term results of the use of preventive chlorella drinks on the body of primates / A.L. Tumanova Z.Ya. Mikvabiya L.O. Akhuba E.R. Pachulia // International Journal of Applied and Fundamental Research. 2019. No. 10 (part 2). pp. 307-312.

10. Han X., Rusconiy N., Ali P., Pagkatipunan K., Chen F. Nutrients extracted from chicken manure accelerate growth of microalga *Scenedesmus obliquus* HTB1 // Green Sustainable Chemistry. 2017. Vol. 7. P. 101-113. doi: 10.4236/gsc.2017.72009.

11. Liu Q., Wang J., Bai Z., Ma L., Oenema O. Global animal production and nitrogen and phosphorus flows // Soil Research. 2017. Vol. 55(6). Pp. 451-462. DOI: 10.1071/sr17031.

12. Anikina E.A. Watercress as a test object for assessing soil condition // Proceedings of the International Youth Scientific Forum. Volume Part II. Responsible editor A.P. Shmakova Ulyanovsk: Ulyanovsk State Pedagogical University named after I.N. Ulyanov. 2012. pp. 8-13. EDN: UXNSMX.

13. Vasiliev N.V. Rehabilitation of anthropogenic territories as a way to preserve industrial heritage // Balandinsky readings. 2020. Vol. 15. P. 29-37. DOI 10.24411/9999-001A-2020-10004. EDN CPSFOK

About the authors

Tatiana L. Gorbunova, Researcher; WOS Research ID: J-3682-2018, Scopus AuthorID: 57202604976; ORCID: 0000-0003-3699-7159; SPIN-remains: 8098-9077; AuthorID: 895972; tatianashaw@mail.ru

Natalia K. Gudkov, CSc (Geo-Mnerol), Senior Researcher; Scopus AuthorID: 57202603704; ORCID: 0000-0002-3299-7701; SPIN-remains: 1324-0253; AuthorID: 635883; n.k.gud@yandex.ru

Natalia I. Rubanova, CSc (ECO), Senior Researcher; WOS Research ID: J-7241-2018, Scopus AuthorID: 57224404175; ORCID: 0000-0001-6084-6233; SPIN-remains: 1544-3015; AuthorID: 467412; lej06@yandex.ru

Gorbunova T.L., Gudkova N.K., Rubanova N.I. carried out theoretical and practical studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript. They have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.