

УДК 504.062.2 626.87

DOI: 10.46698/VNC.2023.26.57.012

Оригинальная статья

Оценка эффективности использования флюсового известняка Сокольско-Ситовского месторождения в качестве мелиоранта для нейтрализации кислых почв

В.А. Матвеева , **А.В. Лукьянова** 

Санкт-Петербургский горный университет,
Россия, 199106, г. Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия, д. 2,
e-mail: matveeva_va2@pers.spmi.ru, lknnn99@gmail.com

Статья поступила: 03.05.2023, доработана: 15.07.2023, принята к публикации: 10.08.2023

Резюме: Актуальность работы. В настоящее время проблема закисления почв становится с каждым годом все более масштабной и затрагивает новые территории. Это происходит в связи с постоянно увеличивающейся нагрузкой на почвы от промышленных объектов, а также многократным использованием почвенных ресурсов в севообороте без дополнительной помощи в восстановлении. Особое негативное воздействие наносит горнопромышленный сектор, который использует большое количество почвенных ресурсов, а не подвергшиеся нарушению почвы испытывают колоссальную нагрузку от деятельности предприятия в результате выбросов загрязняющих веществ, пыления техногенных массивов, неорганизованного сброса сточных вод. При этом время, затрачиваемое на восстановление нарушенных территорий, исчисляется десятилетиями. Без дополнительной поддержки извне, которая может быть представлена искусственным внесением нейтрализаторов кислых почв, данная проблема не может быть решена в короткие сроки. Однако учитывая ежегодно увеличивающуюся площадь кислых почв, возрастает потребность в поиске новых материалов, состав и свойства которых позволят использовать их в качестве высокоэффективных нейтрализаторов. **Целью работы** является анализ существующих решений проблемы деградации почв в результате закисления и оценка потенциальной возможности и эффективности использования флюсового известняка в качестве мелиоранта для нейтрализации кислых почв. **Методы работы.** Для объективной оценки и получения достоверных результатов были проведены полевой и лабораторный эксперименты, включающие контрольные натурные наблюдения, а также замеры прироста и всхожести. В рамках реализации экспериментальной части и для расчета допустимых доз внесения проводился химический анализ флюсового известняка и почв методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой. Контроль изменения pH почв на протяжении эксперимента проводился потенциометрическим методом. **Результаты работы.** В результате проведенных исследований с использованием различных по толерантности к кислым почвам растений был сделан вывод, что флюсовый известняк удовлетворяет требованиям, предъявляемым к мелиорантам. Результаты экспериментов доказывают, что известняковый щебень Сокольско-Ситовского месторождения пригоден и эффективен в качестве мелиоранта для нейтрализации кислых почв с учетом допустимых доз внесения. Рассматриваемый известняковый щебень можно рекомендовать в качестве мелиоранта, как для проведения почвоулучшающих мероприятий в сельском хозяйстве, так и для внесения мелиоранта в почвогрунт при проведении рекультивационных мероприятий.

Ключевые слова: Известняковый щебень, мелиорант, известкование, кислые почвы, степень кислотности почв, доза внесения мелиоранта, прирост, всхожесть.

Для цитирования: Матвеева В.А., Лукьянова А.В. Оценка эффективности использования флюсового известняка Сокольско-Ситовского месторождения в качестве мелиоранта для нейтрализации кислых почв. *Геология и геофизика Юга России*. 2023. 13(3): 155-168. DOI: 10.46698/VNC.2023.26.57.012.

DOI: 10.46698/VNC.2023.26.57.012

Original paper

Evaluation of the effectiveness of the use of fluxing limestone of Sokol-Sitov deposit as a ameliorant for the neutralization of acidic soils

V.A. Matveeva , A.V. Lukyanova 

St. Petersburg Mining University,
2, 21st Line, Saint Petersburg 199106, Russian Federation,
e-mail: Matveeva_VA2@pers.spmi.ru, lknnn99@gmail.com

Received: 03.05.2023, revised: 15.07.2023, accepted: 10.08.2023

Abstract: Relevance. Currently, the problem of soil acidification is becoming more widespread every year and affects new areas. This is due to the impact increased on soils, multiple use of soil resources in the crop rotation without additional assistance in the restoration, as well as the use of resources in industry. Particular negative impact is caused by the mining, which uses a large amount of soil resources. At the same time, the time it takes to restore the disturbed areas is counted in decades. Without the support of the people, this problem cannot be solved in the short term. **The aim of the work** is to analyze existing solutions to this problem and assessment of effectiveness of the proposed method. **Methods.** This article assessed the effectiveness of fluxing limestone as a ameliorant for neutralizing acidic soils. For an objective assessment and obtaining reliable information, field and laboratory experiments were carried out, growth and germination were measured. For each experiment the plants and the period were determined. For the experimental part of the preliminary analysis of limestone and soils on the content of heavy metals, also, to determine the change in the state of the soil pH were measured. **As a result** of the analyses, it was concluded that the fluxing limestone meets the requirements for ameliorants. The results of the experiments prove that limestone crushed stone of the Sokol-Sitov deposit is suitable and effective as a reclamation agent for neutralizing acidic soils.

Keywords: limestone rubble, ameliorant, liming, acidic soils, degree of soil acidity, ameliorant dosage, growth, germination.

For citation: Matveeva V.A., Lukyanova A.V. Evaluation of the effectiveness of the use of fluxing limestone of Sokol-Sitov deposit as a ameliorant for the neutralization of acidic soils. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.). 2023. 13(3): 155-168. DOI: 10.46698/VNC.2023.26.57.012.

Введение

Кальцит – распространенный минерал, формирующий основную массу известняковых гор, образующихся при разных геологических процессах [Putra et al., 2020]. Сейчас известняк преимущественно используется в металлургии [Holland et al., 2018]. Минерал используют в качестве дополнительного сырья в строительстве и во многих других областях. Ежегодное мировое потребление известняков превышает 500 млн т (Обзор рынка известняка в России [Электронный ресурс]. – М., 2010. – 19 с. URL: http://www.infomine.ru/files/catalog/332/file_332.pdf (Дата обращения 11.01.23)). В России в 70-х годах 20-го века государство объявило программу по известкованию, и за 20 лет существования она значительно улучшила состояние почвы во всей стране [Белоброва, 2018]. В начале 2000-х годов программу отменили, а люди оказались не способны поддерживать надлежащий уровень известкования [Федулова, 2019].

В результате, за несколько лет качество земель значительно ухудшилось, а к моменту 2016 года объемы известкования снизились в 30 раз [Вукowa et al., 2021].

По данным Росстата в 2022 году общие по стране объемы добычи известняка составили 4,8 млн т, что на 6,2% больше, чем в январе 2021 года (Динамика промышленного производства в январе 2022 года [Электронный ресурс]. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/313/document/154712> (Дата обращения 11.01.23)). Одним из крупнейших на территории РФ является Сокольско-Ситовское месторождение по добыче флюсового известняка. Предприятия горной отрасли испытывают ряд проблем, связанных с негативным воздействием на компоненты окружающей природной среды [Свалова, 2022]. Рассматриваемый объект не является исключением. Так, совершенствование технологических процессов в металлургии привело к образованию и накоплению не востребованной фракции известнякового щебня крупностью 8–25 мм. Учитывая вышесказанное, на данный момент существует необходимость в поиске и обосновании альтернативных вариантов использования флюсового известняка и поиске нового рынка сбыта.

На протяжении 55 лет Агрохимической службой проводился мониторинг плодородия почв, результаты которого однозначно указывают на усиливающуюся деградацию [Litvinovich et al., 2021]. На момент 2019 года площадь кислых почв в Российской Федерации составляла примерно 35 млн га [Stekolnikov et al., 2021].

Интенсивное развитие горной промышленности также способствует увеличению количества нарушенных территорий [Ратников и др., 2019]. В результате воздействия горнодобывающей промышленности на момент 2019 года из хозяйственного оборота выведено более 578 тыс. га земель, и площади нарушенных земель ежегодно увеличиваются (Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2018 году». М.: Минприроды России; НПП «Кадастр», 2019. С. 884).

Путь самовосстановления почв без помощи человека долгий, процесс деградации происходит гораздо быстрее, в связи с чем становится очевидна необходимость участия человека в устранении имеющихся проблем [Пашкевич и др., 2019].

Сейчас известно большое количество различных способов и составов для улучшения состояния почв и мелиорации нарушенных земель [Сарапулова, 2020; Митракова и др., 2023]. Среди них можно отметить использование осадка сточных вод [Петрова, 2021; Petrova et al., 2022], золы от сжигания городских сточных вод [Смирнов, Сучкова, 2019], фосфогипса [Smirnov et al., 2021] и многое другое [Strizhenok et al., 2021; Korelskiy et al., 2020].

Известковые мелиоранты по воздействию достаточно многофункциональны и универсальны [Белоброва, 2018]. Использование мелиорантов благоприятно влияет на кислые и некарбонатные почвы, улучшает структуру почв, нейтрализует кислоты [Стогний и др., 2021]. Изменение кислотности влечет за собой снижение количества тяжелых металлов в растениях [Пашкевич и др., 2017]. В связи с вышеизложенным, цель исследования – анализ эффективности применения флюсового известняка в качестве мелиоранта для кислых почв.

Материалы и методы исследования

Для достижения цели были поставлены следующие задачи: определить основные химические характеристики известнякового щебня: валовое содержание компонентов, нейтрализующая способность; для всех видов почв, участвующих в экс-

перименте, определить актуальную, обменную и гидролитическую кислотность, содержание тяжелых металлов; провести расчет доз внесения мелиоранта для каждой серии экспериментов; провести эксперименты по выращиванию различных видов растений в лабораторных и полевых условиях.

Для проведения анализов известнякового щебня предварительно проводилась пробоподготовка. Объединенная проба отквартовывалась до достижения необходимого объема аналитической пробы. После чего проба измельчалась в щековой дробилке до крупности менее 2 мм. Пробоподготовка для анализа на валовое содержание тяжелых металлов, заключалась в разложении проб с использованием микроволновой печи Multiwave 3000. Навеска анализируемой пробы помещалась в реакционную ячейку, к навеске приливались реагенты, реакционная емкость закрывалась и помещалась в камеру, после чего запускалась программа для разложения проб. По завершении программы полученный раствор фильтровали через фильтр «синяя лента» и разбавляли бидистиллированной водой.

Пробоподготовка для определения подвижных форм тяжелых металлов заключалась в приготовлении ацетатно-аммонийной вытяжки. К навеске пробы добавлялся ацетатно-аммонийный буферный раствор. Полученная суспензия перемешивалась в течение 3 минут, после чего отстаивалась в течение суток и фильтровалась через фильтр «синяя лента» в стеклянную колбу. Анализ подготовленных проб проводился методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой на анализаторе ICPE-9000 в соответствии с методикой. Также в ходе лабораторных исследований была определена нейтрализующая способность известняка.

Пробы почвы отбирались таким образом, чтобы в каждом случае проба представляла собой часть почвы, типичной для генетических горизонтов данного типа почвы. Для лабораторного эксперимента пробы почвы отбирались в непосредственной близости от объекта исследования, на территории Липецкой области, Данковского района, с. Долгое. Это обусловлено тем, что известняковый щебень предпочтительнее не подвергать транспортировке на большие расстояния, т.к. это влечет за собой разрушение материала. Также, за счет транспортных расходов, стоимость материала будет увеличиваться. В связи с этим целесообразной была проверка эффективности использования материала на территориях, приближенных к месту добычи исследуемого известняка.

Полевой эксперимент проводился на территории Ленинградской области, Тоснинского района. Место для проведения полевых исследований выбрано на основании отнесения рассматриваемых почв к категории слабокислых, а транспортная доступность выбранного участка позволила организовать наблюдения и своевременный контроль с использованием приборно-лабораторной базы Научного Центра «Оценка техногенной трансформации экосистем» Горного университета.

Почвы для полевого эксперимента относятся к дерново-подзолистым, а почвы для лабораторного эксперимента принадлежат к черноземам выщелоченным и оподзоленным. Подготовка твердых проб к химическому анализу проводилась посредством их доведения до воздушно-сухого состояния (ГОСТ 17.4.4.02-2017 Охрана природы (ССОП). Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа). Для доведения образца почвы до воздушно-сухого состояния почва тонким слоем раскладывалась на поддоны, и из пробы извлекались посторонние механические включения. Для определения состава почвы отбиралась аналитическая проба методом квартования.

В лабораторных условиях определение pH проводилось для водной, солевой и ацетатно-натриевой вытяжек. Для приготовления водной вытяжки с помощью аналитических весов была отобрана навеска пробы почвы массой 30 г. Затем к навеске добавлялось 150 см³ дистиллированной воды и в течение 3 минут производилось перемешивание суспензии. После чего полученная суспензия анализировалась без предварительной фильтрации (ГОСТ 26423-85 Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, pH и плотного остатка водной вытяжки). Для приготовления солевой вытяжки с помощью аналитических весов была отобрана навеска пробы почвы массой 3 г. Затем к навеске добавлялось 75 см³ раствора хлорида калия концентрации 1 Н и в течение 3 минут производилось перемешивание суспензии. После чего полученная суспензия анализировалась без предварительной фильтрации (ГОСТ 26483-85 Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее pH по методу ЦИНАО). Для измерения использовался pH-метр «МАРК-903».

Химический анализ проб почв проводился аналогично анализу известняково-го щебня на атомно-эмиссионном спектрометре с индуктивно связанной плазмой IСРЕ-9000 (М-МВИ-80-2008. Методика выполнения измерений массовой доли элементов в пробах почв, грунтов и донных отложений методами атомно-эмиссионной и атомно-абсорбционной спектроскопии, 2008). Основные принципы расчета доз внесения мелиоранта с учетом содержания тяжелых металлов были взяты из ГОСТ Р 54651-2011 (ГОСТ Р 54651-2011. Удобрения органические на основе осадков сточных вод).

Результаты анализа известнякового щебня на содержание тяжелых металлов приведены в таблице 1. Анализ полученных значений производился путем сравнения с нормативными значениями, а именно: с ориентировочно допустимой концентрацией (ОДК) и предельно допустимой концентрацией (ПДК) (ГН 2.1.7.2511-09 Ориентировочно-допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве; ГН 2.1.7.2041-06 Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве).

Таблица 1 / Table 1

Содержание металлов в известняковом щебне / Metal content in limestone gravel

Показатель / Figure	Массовая доля, мг/кг / Massfraction, mg/kg		ОДК, мг/кг / APCs, mg/kg	ПДК, мг/кг / MPCs, mg/kg
	Валовое содержание / Grosscontent	Содержание подвижных форм / Content of mobile forms		
Cd	н/о	0,44	2,00	-
Mn	23,00	н/о	-	1500,00
Cu	0,47	0,16	132,00	-
Zn	1,20	0,02	220,00	-
Ni	1,20	0,05	80,00	-
V	2,10	н/о	-	150,00
Co	н/о	0,10	5,00	-

Примечание / Note: н/о – не определялось, так как данный показатель не нормируется в почве; Погрешность методики – 30%.

Превышений по тяжелым металлам в рассматриваемом известняке не обнаружено. По результатам анализа общей нейтрализующей способности установлено,

что образец известнякового щебня обладает нейтрализующей способностью равной 97,08%. Это означает, что 97,08% массы щебня может вступить в реакцию нейтрализации, что является высоким показателем для данного образца. Подобный уровень нейтрализующей способности показывает, что используемый известняк можно отнести к 1 сорту. 1 сорт содержит больше действующего вещества, чем 2-ой сорт, и, соответственно, является более эффективным мелиорантом (Известковые удобрения. Классификация. Промышленные удобрения (твёрдые известковые породы) [Электронный ресурс]. URL: <https://studfile.net/preview/5050216/page:3/> (Дата обращения 11.02.23)). На первом этапе экспериментальных исследований в лабораторных условиях определялись актуальная и обменная кислотности. С учетом значений гидролитической кислотности впоследствии определялись дозы внесения мелиоранта. Результаты измерения pH представлены в таблице 2.

Таблица 2 / Table 2

**Результаты измерения pH почвы для лабораторного эксперимента /
Results of soil pH measurement for laboratory experiment**

Вид вытяжки / Form of an extract	Полученное значение, ед. pH / Obtained value, pH units	Кислотность почвы в соответствии с (ГОСТ Р 17.4.3.07-2001 Охрана природы. Почвы. Требования к свойствам осадков сточных вод при использовании их в качестве удобрений) / Soil acidity according to
Водная / Water extract	5,67	Кислотная среда / Acidic environment
Солевая / Salt extract	5,21	Слабокислая среда / Weakly acidic environment

Примечание/ Note: Погрешность определения pH в соответствии с методикой равна 0,1 единицы pH. /

Почвы также анализировались на содержание тяжелых металлов. Результаты анализа представлены в таблице 3.

Таблица 3 / Table 3

**Результаты измерения тяжелых металлов в почве для лабораторного эксперимента /
Results of heavy metals measurement in soil for laboratory experiment**

Показатель / Figure	Массовая доля, мг/кг / Mass fraction, mg/kg		ОДК, мг/кг / APCs, mg/kg	ПДК, мг/кг / MPCs, mg/kg
	Валовое содержание / Gross content	Содержание подвижных форм / Content of mobile forms		
Cd	н/о	1,56	2,00	-
Co	н/о	4,90	5,00	-
Cu	н/о	16,30	132,00	-
Mn	482,00	н/о	-	1500,00
Ni	н/о	32,90	80,00	-
Zn	н/о	45,30	220,00	-
V	74,30	н/о	-	150,00

Примечание / Note: н/о – не определялось, так как данный показатель не нормируется в почве; Погрешность методики – 30%. /

Опираясь на полученные результаты можно сделать вывод, что концентрации всех веществ не имеют превышений допустимых концентраций тяжелых металлов. На следующем этапе проводился расчет дозы внесения мелиоранта предварительно измельченного до крупности менее 2 мм. Доза внесения известнякового мелиоранта рассчитывалась по гидролитической кислотности с учетом нейтрализующей способности ($D_{\text{нейтр}}$) и содержания тяжелых металлов. Результаты расчетов показали, что для нейтрализации исследуемого образца кислых почв необходимо 15,6 тонн мелиоранта на 1 га. Для лабораторного эксперимента было принято решение использовать расширенный перечень растений с разной восприимчивостью к кислотности почв для объективной оценки действия мелиоранта. Растения, выбранные для эксперимента представлены в таблице 4 (Отношение растений к кислотности почв [Электронный ресурс]. URL: <https://www.activestudy.info/otnoshenie-rastenij-k-kislotnosti-pochv/> (Дата обращения 14.01.23)).

Таблица 4 / Table 4

Растения для лабораторного эксперимента / Plant for laboratory experiment

Растение / Plant	Предпочтительный диапазон pH / Preferable pH range	
	Водная вытяжка / Water extract	Солевая вытяжка / Salt extract
Клевер / Clover	6,5-7,0	6,0-7,0
Овес / Oats	5,5-8,0	5,0-7,5
Газонная трава / Lawngrass	6,5-7,5	6,0-7,0
Горох / Peas	6,5-7,0	6,0-6,5
Тимофеевка луговая / Meadow Timothy	5,5-8,0	5,0-7,5
Щавель / Sorrel	5,0-5,5	4,5-5,0

В ходе экспериментальных исследований были рассмотрены 4 площадки с разным количеством вносимого мелиоранта. В первом варианте это была фоновая площадка без мелиоранта, во втором – площадка с целой дозой внесения, в третьем – площадка с половиной дозы, и в четвертом с четвертью от целой дозы внесения мелиоранта. В ходе проведения эксперимента фиксировались: всхожесть, прирост, а также pH почвы после окончания эксперимента для каждой экспериментальной площадки.

На заключительном этапе в период с 07.06.22 г. по 24.09.22 г. аналогично лабораторному проводился полевой эксперимент в Тосненском районе Ленинградской области на территории со слабокислыми почвами. Определенная на основании лабораторных исследований доза внесения рассматриваемого известняка составила 24,41 т/га. Для выращивания были выбраны два растения – клевер красный (используется в рекультивации) и овес (используется в с/х). Были определены 6 вариантов высадки для каждого из растений. Площадка для высадки без внесения мелиоранта была использована как фоновая площадка. На остальных площадках мелиорант вносился в разных пропорциях. В ходе эксперимента были также проведены замеры прироста и всхожести для каждого из растений. После окончания эксперимента были отобраны пробы почвы и проведен анализ на определение уровня pH.

Результаты работы и их обсуждение

Результаты измерения рН почвы, отобранной на экспериментальных площадках, где произрастали растения при проведении лабораторного эксперимента, представлены в таблице 5.

Таблица 5 / Table 5

**Результаты измерения рН почвы в лабораторном эксперименте /
Results of soil pH measurement in laboratory experiment**

Растение / Plant	Доза внесения, г / Dose of application, g	рН почвы до эксперимента / Soil pH befor etheexperiment		Оптимальный рН почвы для растения / Optimal soil pH for the plant	рН почвы после эксперимента / Soil pH after the experiment	
		рН _{H2O}	рН _{KCl}		рН _{H2O}	рН _{KCl}
Овес / Oats	Фон / Background value	5,67	5,21	5,0-7,5	5,92	5,71
	15,6				7,82	7,34
	7,8				7,54	7,01
	3,9				7,16	6,16
Клевер / Clover	Фон / Background value	5,67	5,21	6,0-6,5	6,01	5,52
	15,6				7,22	7,02
	7,8				7,14	6,86
	3,9				7,10	6,62
Тимофеевка луговая / Meadow Timothy	Фон / Background value	5,67	5,21	5,0-7,5	5,96	5,47
	15,6				7,22	6,86
	7,8				7,20	6,84
	3,9				6,78	6,42
Газонная трава / Lawn grass	Фон / Background value	5,67	5,21	6,0-7,0	5,93	5,52
	15,6				7,66	7,44
	7,8				7,31	7,10
	3,9				6,97	6,79
Щавель / Sorrel	Фон / Background value	5,67	5,21	4,5-5,0	5,69	5,35
	15,6				7,59	7,08
	7,8				7,55	6,97
	3,9				7,05	6,37
Горох / Peas	Фон / Background value	5,67	5,21	6,0-6,5	6,07	5,52
	15,6				7,29	6,64
	7,8				7,22	6,62
	3,9				7,05	6,43

Как видно из таблицы 5, изменение рН произошло на всех экспериментальных площадках пропорционально дозам внесения мелиоранта. У части растений значения рН почвы после эксперимента оказались некомфортными для произрастания,

что отразилось на приросте и всхожести. Значения прироста растений, замеренные во время лабораторного эксперимента, приведены в таблице 6.

Таблица 6 / Table 6

**Результаты измерения прироста растений в лабораторном эксперименте /
Results of measuring plant growth in a laboratory experiment**

Растение / Plant	Доза внесения, г / Dose of application, g	Даты замеров / Measuring dates						Итоговый прирост, см / Total increase, cm
		7.11- 11.11	11.11- 14.11	14.11- 21.11	21.11- 25.11	25.11- 2.12	2.12- 9.12	
Овес / Oats	Фон / Background value	10,6	2,8	0,3	0,5	2,8	0,1	17,1
	15,6	10,6	2,7	0,5	0,5	2,5	0,1	16,9
	7,8	11,1	2,3	0,5	0,5	2,7	0,1	17,2
	3,9	10,7	2,7	0,4	0,4	2,7	0,2	17,1
Клевер / Clover	Фон / Background value	0,1	0,3	0,6	0,4	1,9	0,2	3,5
	15,6	1,0	0,3	0,6	1,3	0,9	0,1	4,2
	7,8	1,4	0,3	0,7	1,8	0,6	0,3	5,1
	3,9	1,0	0,4	0,5	2,1	0,5	0,2	4,7
Тимофеевка луговая / Meadow Timothy	Фон / Background value	1,5	0,6	1,5	1,5	2,9	1,5	9,5
	15,6	1,2	1,5	0,5	1,9	3,2	1,2	9,5
	7,8	1,2	0,8	1,4	1,7	2,8	1,6	9,5
	3,9	1,2	1,0	1,0	1,9	2,9	1,3	9,3
Газонная трава / Lawn grass	Фон / Background value	7,2	0,8	0,4	4,9	4,6	4,6	22,5
	15,6	6,8	0,3	1,2	3,5	5,2	2,2	19,2
	7,8	7,6	0,9	0,2	5,6	5,3	5,1	24,7
	3,9	6,3	0,3	0,5	6,1	6,3	6,5	26,0
Щавель / Sorrel	Фон / Background value	1,0	0,4	0,9	1,7	1,8	0,3	6,1
	15,6	-	0,2	0,2	0,5	1,0	0,2	2,1
	7,8	0,8	0,2	0,3	1,8	1,1	0,3	4,5
	3,9	0,6	0,1	0,4	2,1	1,3	0,3	4,8
Горох / Peas	Фон / Background value	2,0	5,2	4,0	1,1	0,5	0,5	13,3
	15,6	2,4	5,3	1,0	1,9	1,2	1,6	13,4
	7,8	4,0	4,3	3,7	0,8	0,3	2,5	15,6
	3,9	4,4	5,0	2,8	0,8	0,3	3,6	13,9

У овса наибольший прирост отмечен на площадке, где была внесена половина от целой дозы. Всхожесть на всех площадках примерно одинаковая. Значения прироста отличаются друг от друга незначительно. Это обусловлено тем, что на всех площадках значения рН входят в комфортный для растения диапазон значений.

Наилучшая всхожесть клевера отмечалась на площадках с половиной и четвертой частью от целой дозы. На данных площадках измеренный рН входит в предпочтительный для произрастания диапазон значений. Максимальный прирост на площадке отмечен там, где была внесена половина от целой дозы.

Показатели прироста и всхожести тимофеевки луговой на протяжении всего эксперимента находились в примерно одном диапазоне значений. Это обусловлено тем, что на всех площадках измеренный рН относился к наиболее комфортным значениям.

Более активная всхожесть и прирост газонной травы отмечались на площадках с половиной и четвертью от целой дозы. На двух других площадках растение чувствовало себя хуже.

На всех участках выращивания щавеля растение было вялое, лежало на земле. Среднее время вегетационного периода растения 40–45 дней. Эксперимент продолжался порядка 40 дней, при этом растение не достигло нормальных размеров и развивалось гораздо медленнее. Ни на одной из площадок значения рН не соответствовали предпочитаемому диапазону значений, это объясняет состояние растения и плохие результаты всхожести и прироста.

Для гороха наибольший прирост наблюдается при внесении наименьшей дозы на площадь. На площадке с наименьшей дозой значения рН комфортны для растения. На остальных площадках с мелиорантом, растение чувствует себя немного хуже, но в целом прирост и всхожесть отличаются не сильно. Подводя итоги по проведенному лабораторному эксперименту, можно сказать, что внесение мелиоранта в рассчитанных дозах корректирует кислотность почв.

После лабораторного эксперимента проводился полевой этап. Далее будут описаны результаты полевого эксперимента. На рисунке 1 представлена диаграмма прироста растений во время полевого эксперимента по дням с учетом внесенной дозы.

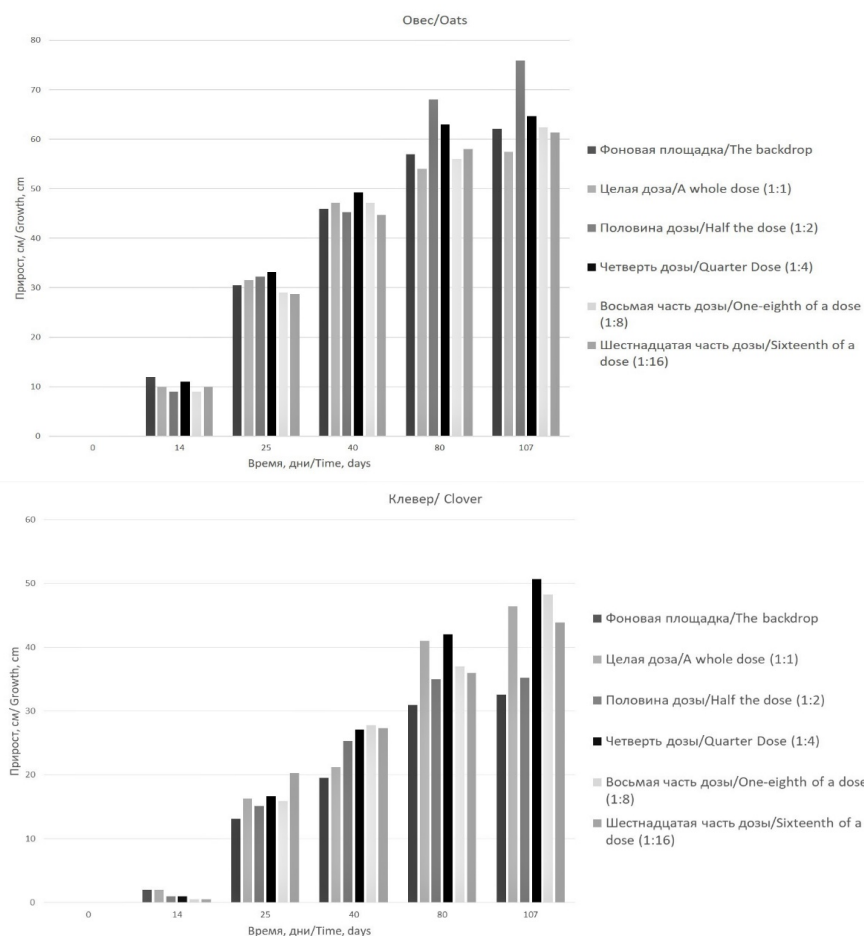


Рис. 1. Результаты измерения прироста. Полевой эксперимент /
Fig. 1. Increment measurement results. Laboratory experiment

Результаты измерения рН почвы, отобранной на экспериментальной площадке в полевых условиях, где произрастали овес и клевер, представлены в таблице 7.

Таблица 7 / Table 7

Результаты измерения рН почвы в полевом эксперименте / Results of soil pH measurements in the field experiment

Растение / Plant	Доза внесения, г / Dose of application, g	рН почвы до эксперимента / Soil pH before the experiment		Оптимальный рН почвы для растения / Optimal soil pH for the plant	рН почвы после эксперимента / Soil pH after the experiment	
		рН _{KCl}	рН _{KCl}		рН _{H2O}	рН _{KCl}
Овес / Oats	Фон / Background value	6,03	5,31	5,0-7,5	6,22	5,17
	244,14				8,18	7,15
	122,07				8,16	7,04
	61,035				7,76	6,63
	30,52				7,38	6,39
	15,26				7,16	6,20
Клевер / Clover	Фон / Background value	6,03	5,31	6,0-6,5	6,18	5,32
	244,14				7,14	6,46
	122,07				6,80	6,42
	61,035				6,69	6,09
	30,52				6,43	5,96
	15,26				6,29	5,53

Кислотность почв снизилась на всех пробных площадках после внесения известняка. Все значения рН, определенные после эксперимента, вошли в комфортный для овса диапазон значений, что подтверждается близкими друг к другу значениями прироста и всхожести овса. Максимальная всхожесть и прирост на начальном этапе для клевера отмечались на площадках с целой дозой внесенного мелиоранта, половиной и четвертой частью, где рН почвы соответствует предпочитаемому растением диапазону значений 6,0-6,5 ед. рН. К середине вегетационного цикла значения прироста на всех площадках выровнялись. Полевой эксперимент планируется провести в трехкратном повторении.

Выводы

Проведенные анализы и эксперименты позволили сделать следующие выводы:

1. Флюсовый известняковый щебень Сокольско-Ситовского месторождения крупностью 8-25 мм пригоден для использования в качестве мелиоранта и соответствует требуемым параметрам.

2. Результат применения известняка в качестве мелиоранта виден в лабораторном и полевом экспериментах. Для достижения положительного результата необходимо учитывать начальный рН почвы, оптимальный рН почвы для растений и допустимые дозы внесения.

3. В ходе лабораторного эксперимента установлено, что рН почвы на всех площадках, для всех растений увеличился. Овес показывал равномерный прирост на всех площадках, в связи с тем, что значения рН почвы после эксперимента входят

в предпочитаемый растением диапазон значений. Клевер показал наибольший прирост там, где была внесена половина от целой дозы. Измеренные значения соответствуют оптимальному для растения рН. Тимофеевка луговая имеет примерно одинаковые значения прироста. Это обусловлено тем, что значения рН после эксперимента соответствовали предпочитаемому диапазону. У газонной травы прирост активнее отмечен на площадках с половиной и четвертью от целой дозы мелиоранта. Щавель предпочитает кислые почвы, во время эксперимента растение было вялое, плохо развивалось. Измеренные рН на всех площадках превышают оптимальный для растения рН. Горох показал наибольший прирост на площадке с наименьшей дозой внесения; рН на данной площадке соответствует предпочитаемым значениям рН почвы.

4. В ходе полевого эксперимента рН на всех площадках для обоих растений увеличился. Результаты прироста овса не позволяют сделать однозначных выводов, т.к. диапазон комфортных значений рН обширен. Это обуславливает то, что на всех площадках овес чувствовал себя комфортно, а значения прироста и всхожести примерно одинаковы. Для клевера активная всхожесть на начальном этапе была отмечена на площадках с комфортным уровнем рН почвы. Однако, ближе к середине эксперимента показатели всхожести и прироста выровнялись.

5. Рассматриваемый известняк можно рекомендовать в качестве мелиоранта как для проведения почвоулучшающих мероприятий в с/х, так и для внесения мелиоранта в почвогрунт при проведении рекультивационных мероприятий.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (шифр FSRRW-2023-0002 Фундаментальные междисциплинарные исследования недр Земли и процессов комплексного освоения георесурсов).

Литература

1. Белоброва Д.В. Трансформация почв и агрохимических параметров плодородия в условиях интенсивного землепользования (на примере садовых некоммерческих товариществ). // *Агрохимический вестник*. – 2018. – №2. DOI: 1520 10.24411/0235-2516-2018-00031
2. Митракова Н.В., Хайрулина Е.А., Блинов С.М., Перевощикова А.А. Эффективность рекультивации кислых сульфатных почв в районах угледобычи. // *Записки Горного института*. – 2023. – №260. – С. 266–278. DOI: 10.31897/PMI.2023.31.
3. Пашкевич М.А., Петрова Т.А., Рудзиш Э. Оценка потенциальной возможности использования лигнин-шламов для лесохозяйственной рекультивации нарушенных земель. // *Записки Горного института*. – 2019. – №235. – С. 106. DOI: 10.31897/pmi.2019.1.106.
4. Пашкевич М.А., Матвеева В.А., Данилов А.С. Исследование миграции загрязняющих веществ с территорий техногенных массивов Кольского полуострова. // *Горный журнал*. – 2019. – №1. – С. 17–21. DOI: 10.17580/gzh.2019.01.04.
5. Петрова Т.А. Рекультивация техногенно-нарушенных земель с применением осадков сточных вод в качестве мелиорантов. // *Записки Горного института*. – 2021. – Т. 251. – С. 767–776. DOI: 10.31897/PMI.2021.5.16.
6. Ратников А.Н., Попова Г.И., Свириденко Д.Г. Реабилитационные мероприятия на сельскохозяйственных угодьях, подвергшихся радиоактивному загрязнению. // *Известия ТСХА*. – 2019. – №2. DOI 10.34677/0021-342X-2019-2-18-34
7. Сарапулова Г.И. Геохимический подход в оценке воздействия техногенных объектов на почвы. // *Записки Горного института*. – 2020. – Т. 243. – С. 388–392. DOI: 10.31897/PMI.2020.3.388.
8. Свалова В.Б. Управление геоэкологическим риском и проблемы устойчивого раз-

вития горных территорий. // Геология и геофизика Юга России. – 2022. – Т. 12. №1. – С. 129–147. DOI: 10.46698/VNC.2022.48.61.010

9. Смирнов Ю.Д., Сучкова М.В. Перспективы полезного использования золы сжигания осадка сточных вод в народном хозяйстве. // Вода и экология: проблемы и решения. – 2019. – №3. – С. 16–25. DOI: 10.23968/2305-3488.2019.24.3.16-25

10. Стогний В.В., Стогний Г.А., Любимова Т.В. Геоэкологические риски территории Краснодарского края: проблема интегральной оценки степени геологических опасностей. // Геология и геофизика Юга России. – 2021. – Т. 11. №1. – С. 121 – 133. DOI: 10.46698/VNC.2021.40.95.010

11. Федулова А.Д. Влияние органической, органоминеральной и минеральной систем удобрения на содержание тяжелых металлов в пахотном слое дерново-подзолистой почвы в последствии. // Агрехимический вестник. – 2019. – №4. – С. 1505. DOI 10.24411/0235-2516-2019-10064

12. Bykova E., Dyachkova I. Modeling the size of protection zones of cultural heritage sites based on factors of the historical and cultural assessment of lands. // Land. – 2021. – Vol. 10. DOI: 10.3390/land10111201

13. Holland J.E., Bennett A.E., Newton A.C., White P.J., McKenzie B.M., George T.S., Pake-man R.J., Bailey J.S., Fornara D.A., Hayes R.C. Liming impacts on soils, crops and biodiversity in the UK: A review. // Science of the Total Environment. – 2018. – Vol. 610. – pp. 316-332. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.08.020.

14. Korelskiy D.S., Strizhenok A.V., Ismailova D.V. Development and justification of the method of biotechnological reclaiming of oil-contaminated land. // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2020. – No.3. – pp. 342-353.

15. Litvinovich A., Pavlova O., Lavrishchev A., Bure V., Saljnikov E. Dynamics of Soil pH after Utilization of By-products of Industrial Rock Processing as a Calcareous Material in Acid Soils. // Communications in Soil Science and Plant Analysis. – 2021. – Vol. 51. – pp. 1-9. DOI: 10.1080/00103624.2020.1849267

16. Petrova T.A., Rudzisha E., Alekseenko A.V. Rehabilitation of disturbed lands with industrial wastewater sludge. // Minerals. – 2022. – Vol. 12. No.376. DOI: 10.3390/min12030376.

17. Putra H., Yasuhara H., Sutoyo E., Fauzan M. Review of Enzyme-Induced Calcite Precipitation as a Ground-Improvement Technique. // Infrastructures. – 2020. – Vol. 5. No.66. DOI:10.3390/infrastructures5080066

18. Smirnov Yu.D., Suchkov D.V., Danilov A.S., Goryunova T.V. Artificial soils for restoration of disturbed land productivity. // Eurasian mining. – 2021. – No.2. – pp. 92–96. DOI: 10.17580/em.2021.02.19.

19. Stekolnikov K.E., Gasanova E.S., Stekolnikova N.V. Agrogenic transformation (degradation) of chernozems of the Central Chernozem Region. // BIO Web of Conferences. – 2021. – Vol. 36. Article No.03021. DOI: 10.1051/bioconf/20213603021.

20. Strizhenok A.V., Korelskiy D.S., Choi Y. Assessment of the Efficiency of Using Organic Waste from the Brewing Industry for Bioremediation of Oil-Contaminated Soils. // Journal of Ecological Engineering. – 2021. – No. 22. – pp. 66-77. DOI: 10.12911/22998993/133966.

References

1. Belobrova D.V. Transformation of soils and agrochemical parameters of fertility under conditions of intensive land use (using the example of gardening non-profit partnerships). Agrochemical Bulletin. 2018. No. 2. DOI: 10.24411/0235-2516-2018-00031. (In Russ.)

2. Mitrakova N.V., Khairulina E.A., Blinov S.M., Pervoshchikova A.A. Efficiency of acid sulphate soils reclamation in coal mining areas. Journal of Mining Institute. 2023. No. 260. pp. 266–278. DOI: 10.31897/PMI.2023.31. (In Russ.)

3. Pashkevich M.A., Petrova T.A., Rudzish E. Lignin sludge application for forest land reclamation: feasibility assessment. Journal of Mining Institute. 2019. No. 235. P. 106. DOI: 10.31897/pmi.2019.1.106. (In Russ.)

4. Pashkevich M.A., Matveeva V.A., Danilov A.S. Migration of pollutants from the mining waste disposal territories on the Kola Peninsula. *Gornyi Zhurnal*. 2019. No. 1. pp. 17–21. DOI: 10.17580/gzh.2019.01.04. (In Russ.)
5. Petrova T.A. Utilization of sewage sludge as an ameliorant for reclamation of technogenically disturbed lands. *Journal of Mining Institute*. 2021. Vol. 251. pp. 767–776. DOI: 10.31897/PMI.2021.5.16. (In Russ.)
6. Ratnikov A.N., Popova G.I., S. Viridenko D.G. Rehabilitation measures on agricultural land exposed to radioactive contamination. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2019. No. 2. DOI 10.34677/0021-342X-2019-2-18-34. (In Russ.)
7. Sarapulova G.I. Geochemical approach in assessing the technogenic impact on soils. *Journal of Mining Institute*. 2020. Vol. 243. pp. 388–392. DOI: 10.31897/PMI.2020.3.388. (In Russ.)
8. Svalova V.B. Geoecological risk management and problems of sustainable development of mountain territories. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2022. Vol. 12. No. 1. pp. 129–147. DOI: 10.46698/VNC.2022.48.61.010. (In Russ.)
9. Smirnov Yu.D., Suchkova M.V. Prospects for the beneficial use of ash from sewage sludge incineration in the national economy. *Water and Ecology: Problems and Solutions*. 2019. No. 3. pp. 16–25. DOI: 10.23968/2305-3488.2019.24.3.16-25. (In Russ.)
10. Stogny V.V., Stogny G.A., Lyubimova T.V. Geoecological risks of the Krasnodar region: the problem of integrated assessment of the geological hazards degree. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2021. Vol. 11. No. 1. pp. 121–133. DOI: 10.46698/VNC. 2021.40.95.010. (In Russ.)
11. Fedulova A.D. Influence of organic, organic-mineral and mineral fertilizer systems on heavy metals content in arable layer of soddy-podzolic soil in aftereffect. *Agrochemical Herald*. 2019. No. 4. P. 1505. DOI 10.24411/0235-2516-2019-10064. (In Russ.)
12. Bykova E., Dyachkova I. Modeling the size of protection zones of cultural heritage sites based on factors of the historical and cultural assessment of lands. *Land*. 2021. Vol. 10. DOI: 10.3390/land10111201.
13. Holland J.E., Bennett A.E., Newton A.C., White P.J., McKenzie B.M., George T.S., Pakeman R.J., Bailey J.S., Fornara D.A., Hayes R.C. Liming impacts on soils, crops and biodiversity in the UK: A review. *Sense of the Total Environment*. 2018. Vol. 610. pp. 316–332. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.08.020.
14. Korelskiy DS, Strizhenok AV, Ismailova DV Development and justification of the method of biotechnological reclaiming of oil-contaminated land. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2020. No.3. pp. 342–353.
15. Litvinovich A., Pavlova O., Lavrishchev A., Bure V., Saljnikov E. Dynamics of Soil pH after Utilization of By-products of Industrial Rock Processing as a Calcareous Material in Acid Soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 2021. Vol. 51. pp. 1–9. DOI: 10.1080/00103624.2020.1849267.
16. Petrova T.A., Rudzisha E., Alekseenko A.V. Rehabilitation of disturbed lands with industrial wastewater sludge. *Minerals*. 2022. Vol. 12. No.376. DOI: 10.3390/min12030376.
17. Putra H., Yasuhara H., Sutoyo E., Fauzan M. Review of Enzyme-Induced Calcite Precipitation as a Ground-Improvement Technique. *Infrastructures*. 2020. Vol. 5. No. 66. 10.3390/infrastructures5080066.
18. Smirnov Yu.D. , Suchkov DV, Danilov AS, Goryunova TV Artificial soils for restoration of disturbed land productivity. *Eurasian mining*. 2021. No.2. pp. 92–96. DOI: 10.17580/em.2021.02.19.
19. Stekolnikov KE, Gasanova ES, Stekolnikova NV Agrogenic transformation (degradation) of chernozems of the Central Chernozem Region. *BIO Web of Conferences*. 2021. Vol. 36. Article No. 03021. DOI: 10.1051/ bioconf /20213603021.
20. Strizhenok AV, Korelskiy DS, Choi Y. Assessment of the Efficiency of Using Organic Waste from the Brewing Industry for Bioremediation of Oil-Contaminated Soils. *Journal of Ecological Engineering*. 2021. No. 22. pp. 66–77. DOI: 10.12911/22998993/133966.