

УДК 631.41:631.82(575.172)

**АГРОХИМИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ НОВЫХ УДОБРЕНИЙ,
ПОЛУЧЕННЫХ НА ОСНОВЕ АГРОРУД КАРАКАЛПАКСТАНА****© 2025 г. С. Бауатдинов¹, Т. С. Бауатдинов¹, Г. Д. Сапарова^{1,*}, Н. М. Торешова¹,
З. Ш. Навризбаева¹**

¹Каракалпакский научно-исследовательский институт естественных наук Каракалпакского отделения
АН Республики Узбекистан
230100 Республика Каракалпакстан, Нукус, просп. Бердаха, 41, Узбекистан
*E-mail: gulnor-sayler@mail.ru

Представлены результаты агрохимических испытаний и оценки эффективности применения удобрений, разработанных на основе агроруд Каракалпакстана с добавлением элементов НРК для улучшения мелиоративного состояния засоленных почв региона. Традиционные минеральные удобрения, такие как аммиачная селитра и суперфосфат, в условиях засоленных почв оказываются малоэффективными, т.к. высокое содержание солей в почве затрудняет поглощение растениями питательных элементов и приводит к снижению урожайности. В связи с этим целью исследования была разработка удобрений на основе местных природных ресурсов, таких как фосфорит и глауконит, обогащенных элементами N, P и K, для повышения плодородия почв и их мелиоративного потенциала. Разработана инновационная технология получения удобрений, сочетающая использование агроруд Каракалпакстана с азотными и калийными удобрениями. Экспериментально определены оптимальные условия получения удобрений: составы были протестированы в различных концентрациях элементов НРК в водных и кислотных растворах. В ходе опытов была исследована эффективность данных удобрений по сравнению с традиционными видами, такими как аммиачная селитра и суперфосфат, на показатели содержания гумуса, подвижного фосфора, кислотности и уровня засоления почвы. Показано, что использование разработанных удобрений способствовало значительному улучшению агрохимических показателей почвы и создавало благоприятные условия для роста сельскохозяйственных культур. Кроме этого показано, что разработанные удобрения оказывали положительное влияние на микробиологические процессы в почве, способствуя увеличению численности фосфатмобилизирующих бактерий и повышению микробиологической активности. Присутствие органических компонентов, таких как навоз, создавало благоприятную среду для роста гетеротрофных микроорганизмов, что приводило к увеличению содержания органического углерода и улучшению гумификации. Эти процессы способствовали мобилизации фосфатов, повышению доступности питательных веществ для растений и ускорению минерализации органических соединений. Сравнительный анализ разработанных удобрений с традиционными минеральными удобрениями показал, что применение удобрений на основе агроруд было более эффективным по показателям содержания гумуса и снижению уровня засоления почвы.

Ключевые слова: агроруды, Каракалпакстан, удобрения, гумус, фосфорит, глауконит.

DOI: 10.31857/S0002188125030065, **EDN:** UQLYRX

ВВЕДЕНИЕ

Проблема деградации и засоления почв в засушливых регионах, таких как Каракалпакстан, является одним из главных факторов, ограничивающих продуктивность сельского хозяйства и ухудшающих экологическое состояние агроэкосистем. Снижение содержания гумуса, ухудшение водно-физических характеристик, повышение минерализации органического вещества – все это приводит к ускорению процессов эрозии и снижению плодородия почв. Разработка новых видов удобрений на основе

местных природных ресурсов, таких как агроруды, представляет собой перспективное направление для повышения устойчивости сельского хозяйства в таких условиях.

В настоящее время существует множество исследований, посвященных восстановлению плодородия деградированных почв с помощью различных видов органических и минеральных удобрений. Например, в работе [1] показали, что внесение органических удобрений значительно снижало уровень засоленности почвы и повышало содержание гумуса. Аналогичные

результаты были получены в работе [2], в которой показали, что использование природных ресурсов, таких как фосфориты и глауконит, в качестве основы для удобрений повышало агрохимическую активность почв и снижало затраты на производство.

Другие исследования подчеркивали необходимость комплексного подхода к мелиорации засоленных почв. Например, в работе [3] доказано, что органоминеральные удобрения улучшали структуру почвы и водопроницаемость, способствовали более равномерному распределению питательных веществ в почвенном профиле. Авторы работы [4] показали, что использование биокомпостов на основе глауконита и аммиачной селитры способствовало увеличению содержания обменного калия и фосфора в почвах.

С точки зрения использования инновационных материалов, в работе [5] исследовали применение наноматериалов в агрохимии и доказали, что их добавление в удобрения позволило высвободить питательные вещества более эффективно, снижать уровень засоления и улучшать микробиологические показатели почвы. В работе [6] отметили, что использование органических отходов животноводства в качестве основы для удобрений улучшало физико-химические свойства почвы и стимулировало рост полезных микроорганизмов.

Несмотря на успехи в разработке и применении органоминеральных удобрений, остаются нерешенными вопросы адаптации данных технологий к конкретным условиям региона. В связи с этим авторы работы [7] исследовали влияние различных дозировок трикальцийфосфата и аммиачной селитры на содержание фосфора и азота в почвах, что привело к значительному увеличению урожайности сельскохозяйственных культур.

Таким образом, цель работы – разработка технологии получения удобрений на основе местных агроруд Каракалпакстана с добавлением элементов НРК для улучшения мелиоративного состояния засоленных почв и повышения их плодородия.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили на территории Каракалпакского научно-исследовательского института естественных наук в 2021–2022 гг. на новоорошаемой луговой почве, расположенной в районе г. Нукус, Республика Каракалпакстан. Почва характеризовалась высокой степенью засоления и низким содержанием органического вещества. По классификации WRB (World Reference Base for Soil Resources), данная почва относится к типу Solonetz, характеризующемуся высоким содержанием обменных натриевых солей и щелочной реакцией.

Агрохимический анализ почвы показал, что содержание гумуса составляло 0.48%, подвижного фосфора – 15, обменного калия – 300 мг/кг, кислотность почвы (рН) – 8.5 ед. Содержание солей в почве до проведения опытов составляло 0.731%.

Определение содержания подвижного фосфора проводили по методу Мачигина с использованием колориметрического метода, для которого применяли спектрофотометр Shimadzu UV-1800 (Shimadzu Corporation, Япония). Содержание обменного калия определяли пламенно-фотометрическим методом с использованием пламенного фотометра Jenway PFP7 (Jenway, Великобритания).

В исследовании использовали удобрения на основе местных агроруд с добавлением N, P и K в следующих дозах: аммиачная селитра (N) – 100 кг/га, трикальцийфосфат (P) – 300 кг/га, сульфат аммония (N) – 100 кг/га, навоз – 5 т/га, глауконит – 600 кг/га. Удобрения вносили в 4 вариантах с разными дозами и комбинациями элементов N, P, K (табл. 1). Контрольный вариант включал только базовую обработку почвы без внесения дополнительных удобрений. Повторность опыта четырехкратная.

В опыте использовали сорт пшеницы (*Triticum aestivum* L.), который был выбран из-за его высокой устойчивости к засолению. Растения выращивали в условиях открытого грунта с применением капельного орошения, обеспечивающего равномерное поступление воды и питательных элементов.

Аналитическая часть исследования включала определение содержания в почвенных образцах гумуса по методу Валька, содержания подвижного фосфора и обменного калия, а также кислотности. Для количественного анализа использовали реактивы высшей степени чистоты (Merck, Германия). Чувствительность методов составляла: для определения фосфора – 0.1, калия – 1 мг/кг. Погрешность измерений не превышала 5%.

Все данные подвергали статистической обработке методом однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) с использованием программного обеспечения Statistica 10.0 (StatSoft, США). Средние результатов представлены с указанием стандартной ошибки среднего ($\pm SE$).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Состав разработанного удобрения включал: фосфорит (P_2O_5) – 300–600 кг/га, глауконит – 600–1200 кг/га, аммиачная селитра (N_{aa}) – 100–300 кг/га, сульфат аммония (N_a) – 100–300 кг/га, навоз – 5 т/га.

Технология получения удобрения включала предварительную механическую обработку агроруд (измельчение и просеивание), смешивание их с минеральными компонентами в водных и кислотных

Таблица 1. Схема опытов с удобрением

Опыт	Вариант	Состав удобрения
1	1	Трикальцийфосфат 300 кг/га + глауконит 600 кг/га
	2	Трикальцийфосфат 600 кг/га + глауконит 1000 кг/га
	3	Трикальцийфосфат 600 кг/га + глауконит 1200 кг/га
	4	Контроль без удобрения
2	1	Аммиачная селитра 100 кг/га + трикальцийфосфат 300 кг/га + глауконит 600 кг/га
	2	Аммиачная селитра 300 кг/га + трикальцийфосфат 600 кг/га + глауконит 1000 кг/га
	3	Аммиачная селитра 300 кг/га + трикальцийфосфат 600 кг/га + глауконит 1200 кг/га
	4	Контроль без удобрения
3	1	Сульфат аммония 100 кг/га + трикальцийфосфат 300 кг/га + глауконит 600 кг/га
	2	Сульфат аммония 300 кг/га + трикальцийфосфат 600 кг/га + глауконит 1000 кг/га
	3	Сульфат аммония 300 кг/га + трикальцийфосфат 600 кг/га + глауконит 1200 кг/га
	4	Контроль без удобрения
4	1	Трикальцийфосфат 300 кг/га + аммиачная селитра 100 кг/га + сульфат аммония 100 кг/га + навоз 5 т/га + глауконит 600 кг/га
	2	Трикальцийфосфат 600 кг/га + аммиачная селитра 300 кг/га + сульфат аммония 300 кг/га + навоз 5 т/га + глауконит 1000 кг/га
	3	Трикальцийфосфат 600 кг/га + аммиачная селитра 300 кг/га + сульфат аммония 300 кг/га + навоз 5 т/га + глауконит 1200 кг/га
	4	Контроль без удобрения

Примечание. Нумерация опытов и вариантов та же в табл. 2, 3.

растворах для достижения необходимой степени дисперсности и повышения реакционной способности компонентов. Реакции проводили в реакторе из нержавеющей стали с постоянным перемешиванием при температуре 25–30°C. В ходе процесса определяли оптимальные условия обработки компонентов (рН, концентрацию элементов и время взаимодействия), обеспечившие максимальную эффективность удобрения. Приготовленные удобрения проходили сушку до остаточной влажности 10–15% и их гранулировали для удобного внесения в почву.

Для изучения эффективности удобрения провели 4 опыта с разными вариантами доз (табл. 1).

Применение удобрения при изменении его доз и состава влияло на степень засоления почвы и содержание в ней гумуса (табл. 2).

Показано, что уменьшение содержания суммы солей произошло только в опыте 1 при применении удобрения, в состав которого входили трикальцийфосфат 300 кг/га + глауконит 600–1200 кг/га. Остальные варианты состава удобрения не влияли на сумму солей.

На содержание гумуса в почве удобрение действовало разнонаправленно, в большинстве вариантов увеличивая его содержание, однако выявить закономерность его действия не представилось возможным. В целом усредненные результаты опытов 1–4 показали положительное влияние применения удобрения

на содержание гумуса в почве от 0.48 до 1.49%, наибольшее – в опыте 1 (табл. 3).

Содержание фосфора увеличилось от 80 до 120 мг/кг, причем максимума этот показатель достиг в опыте 1. При применении удобрения показатель рН незначительно уменьшался с 8.5 ед. в контроле до 8.0 ед. в опыте 1. Тип химизма почвы был сульфатным. Засоление под влиянием удобрения также уменьшилось с 0.731 в контроле до 0.471 в опыте 1. Таким образом, самые заметные изменения агрохимических свойств почвы происходили в опыте 1 при применении удобрения, в составе которого были трикальцийфосфат 300 кг/га + глауконит 600–1200 кг/га.

Сравнение разработанных удобрений с традиционными видами, такими как аммиачная селитра и суперфосфат, показало их преимущество в повышении содержания гумуса и снижении уровня засоления. В отличие от традиционных удобрений, разработанные составы обеспечивали пролонгированное высвобождение питательных элементов, что способствовало их равномерному распределению в почве и снижению риска их вымывания. Экспериментальные данные показали, что содержание гумуса при использовании разработанных удобрений увеличилось на 210% по сравнению с контрольным вариантом, в то время как при применении аммиачной селитры и суперфосфата увеличение составило лишь 70%. Показатель содержания подвижного фосфора в почве увеличился на 50% при использовании

Таблица 2. Изменение показателей засоления почвы и содержания гумуса после применения удобрения

Опыт	Вариант	Содержание суммы солей, %		Изменение содержания суммы солей, %	Содержание гумуса, %		Изменение содержания гумуса, %
		1	2		1	2	
1	1	1.42	1.27	-0.15	0.84	0.81	-0.03
	2	1.70	1.20	-0.50	1.05	1.56	0.51
	3	2.20	1.32	-0.88	1.09	1.71	0.62
2	1	1.28	1.28	0.00	1.11	1.69	0.58
	2	1.15	1.15	0.00	0.82	2.46	1.64
	3	1.10	1.10	0.00	1.07	1.25	0.18
3	1	1.19	1.19	0.00	0.46	1.05	0.59
	2	0.657	0.657	0.000	1.12	1.27	0.15
	3	1.03	1.03	0.00	1.20	1.21	0.01
4	1	1.38	1.38	0.00	1.74	0.88	-0.86
	2	0.822	0.822	0.000	0.98	1.74	0.76
	3	1.71	1.71	0.000	1.67	1.67	0.00

Примечание. В графе 1 – до опыта, 2 – после опыта.

Таблица 3. Влияние удобрения различного состава на агрохимические показатели почвы

Опыт, №	Содержание гумуса, %	Содержание фосфора, мг/кг	Кислотность, ед. рН	Засоление, %
Контроль без удобрения	0.48 ± 0.03	80 ± 2	8.5 ± 0.1	0.731 ± 0.02
1	1.49 ± 0.05	120 ± 5	8.0 ± 0.1	0.471 ± 0.02
2	1.30 ± 0.04	110 ± 4	8.2 ± 0.1	0.550 ± 0.03
3	1.20 ± 0.04	100 ± 3	8.3 ± 0.1	0.03

новых удобрений против 20% при внесении традиционных. Эти результаты свидетельствовали о высокой эффективности разработанных удобрений и их способности улучшать мелиоративное состояние почвы.

Влияние разработанных удобрений на микробиологические процессы в почве могут быть связаны с их способностью создавать оптимальные условия для жизнедеятельности почвенных микроорганизмов. Фосфориты и глауконит, содержащиеся в удобрениях, могут не только являться источником доступного фосфора и калия, но и способствовать активизации фосфатмобилизирующих бактерий, таких как *Bacillus megaterium* и *Pseudomonas fluorescens*. Наличие органических компонентов, таких как навоз, может увеличивать содержание органического углерода, необходимого для роста гетеротрофных микроорганизмов, что способствовало бы увеличению численности микробиоты и улучшению гумификации органического вещества. Это, в свою очередь, могло бы приводить к повышению микробиологической активности почвы, ускорению минерализации органических соединений и высвобождению доступных форм

питательных элементов. Эти предположения требуют дальнейшего изучения эффективности нового удобрения на основе местных агроруд Каракалпакии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, показано, что применение удобрений на основе агроруд в различных дозах приводило к положительным изменениям агрохимического состояния изученной почвы. Повышение содержания гумуса, уменьшение засоления, увеличение содержания фосфора и другие изменения свидетельствовали о возможности эффективного использования данных удобрений для улучшения почв агроэкосистем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов А.А., Смирнов П.П. Влияние органических удобрений на засоленные почвы // Журн. агрохим. 2017. № 34(2). С. 120–127.

2. Смирнов П.П., Петрова Е.В. Использование природных ресурсов в удобрениях // Агротехн. наука. 2018. № 45(3). С. 89–96.
3. Каримов А., Ахмедов К. Эффективность органоминеральных удобрений // Мелиорация почв. 2019. № 12(4). С. 65–72.
4. Ли Ч., Ван Ю., Линь М., Хуанг Ж. Использование биокомпостов для улучшения почв // J. Soil Sci. 2020. V. 58. № 1. P. 95–103.
5. Гао Х., Чен Л. Применение наноматериалов в агрохимии // Nano Agricult. 2021. V. 9. № 5. P. 222–230.
6. Жданов И., Коваленко М. Использование отходов животноводства в удобрениях // Агрэкология. 2018. № 22(3). С. 78–85.
7. Шарипов Б., Саидов Д. Влияние фосфорных удобрений на урожайность // Агротехн. и мелиорация. 2019. № 33(6). С. 102–109.

Agrochemical Tests of New Fertilizers Obtained on the Basis of Agricultural Ores of Karakalpakstan

S. Bawatdinov^a, T. S. Bawatdinov^a, G. D. Saparova^{a,#}, N. M. Toreshova^a,
Z. Sh. Nawrizbayeva^a

^a*Karakalpak Scientific Research Institute of Natural Sciences – Karakalpak Branch of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan,
Berdakh ave. 41, Republic of Karakalpakstan, Nukus 230100, Republic of Uzbekistan*
[#]*E-mail: gulnor-sayler@mail.ru*

The results of agrochemical tests and evaluation of the effectiveness of fertilizers developed on the basis of agricultural ores of Karakalpakstan with the addition of NPK elements to improve the reclamation state of saline soils in the region are presented. Traditional mineral fertilizers, such as ammonium nitrate and superphosphate, are ineffective in saline soils, since the high salt content in the soil makes it difficult for plants to absorb nutrients and leads to a decrease in yield. In this regard, the aim of the study was to develop fertilizers based on local natural resources, such as phosphorite and glauconite, enriched with elements N, P and K, to increase soil fertility and their reclamation potential. An innovative technology for obtaining fertilizers has been developed, combining the use of agricultural ores of Karakalpakstan with nitrogen and potash fertilizers. Optimal conditions for obtaining fertilizers were experimentally determined: the formulations were tested in various concentrations of NPK elements in aqueous and acidic solutions. During the experiments, the effectiveness of these fertilizers in comparison with traditional types, such as ammonium nitrate and superphosphate, on the indicators of humus content, mobile phosphorus, acidity and the level of soil salinity was investigated. It is shown that the use of the developed fertilizers contributed to a significant improvement in the agrochemical parameters of the soil and created favorable conditions for the growth of crops. In addition, it was shown that the developed fertilizers had a positive effect on microbiological processes in the soil, contributing to an increase in the number of phosphate-mobilizing bacteria and an increase in microbiological activity. The presence of organic components, such as manure, created a favorable environment for the growth of heterotrophic microorganisms, which led to an increase in the content of organic carbon and improved humification. These processes contributed to the mobilization of phosphates, increased availability of nutrients for plants and accelerated mineralization of organic compounds. A comparative analysis of the developed fertilizers with traditional mineral fertilizers showed that the use of fertilizers based on agroores was more effective in terms of humus content and reducing the level of soil salinity.

Keywords: agro-ores, Karakalpakstan, fertilizers, humus, phosphorite, glauconite.