

## АГРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО ЧЕРНОЗЕМА ПОД ДЕЙСТВИЕМ ЦЕОЛИТА

**Г.Ф. Рахманова, к.с.-х.н., К.Р. Гарафутдинова, Р.Р. Газизов, к.с.-х.н., Р.Р. Маснабиева,**  
**Татарский научно-исследовательский институт агрохимии и почвоведения – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки**  
**«Федеральный исследовательский центр Казанский научный центр Российской академии наук»**  
**420059, г. Казань, ул. Оренбургский тракт, 20 А**  
**E-mail: gulnara\_rakhmanova@mail.ru**

**Работа выполнена в рамках Государственного задания № FMEG-2021-0003,**  
**регистрационный номер 121021600147-1.**

Представлены исследования по изучению эффективности цеолита Татарско-Шатрашанского месторождения Республики Татарстан при внесении в почву на базе опытного поля Татарского НИИАХП в 2011-2018 г. Применение цеолита в дозах 10 и 15 т/га совместно с минеральными удобрениями способствовало улучшению агрохимических свойств выщелоченного чернозема. Установлены частичная нейтрализация обменной кислотности почвы (сдвиг реакции среды на 0,1-0,4 ед.), снижение гидролитической кислотности на 0,2-1,4 мг-экв/100 г, увеличение суммы поглощенных оснований на 0,4-10,8 мг-экв/100 г, повышение содержания подвижного фосфора на 0,7-14,2% и обменного калия на 1,8-26,7% по сравнению с контрольным и фоновым вариантами. Преимущество вариантов с внесением цеолита сохранялось на протяжении всего периода исследований.

**Ключевые слова:** выщелоченный чернозем, цеолит, агрохимические свойства, реакция среды.

Для цитирования: Рахманова Г.Ф., Гарафутдинова К.Р., Газизов Р.Р., Маснабиева Р.Р. Агрохимическая характеристика выщелоченного чернозема под действием цеолита// Плодородие. – 2022. – №6. – С. 33-35. DOI: 10.25680/S19948603.2022.129.09.

Снижение почвенного плодородия – основная проблема, стоящая перед современным сельским хозяйством. Нерациональное использование почвенных ресурсов, несбалансированное применение минеральных удобрений и пестицидов приводят к ухудшению агрофизических, агрохимических и микробиологических свойств почвы. В результате происходят снижение плодородия и отчуждение земель из сельскохозяйственного оборота [5]. Согласно данным Минсельхозпрода Республики Татарстан (РТ), по состоянию на 01.01.2019 г. имелось 3,98 тыс. га нарушенных земель сельхозназначения, на которых полностью утрачен плодородный слой почвы [2].

Продуктивность сельскохозяйственных культур в наибольшей мере зависит от агрофизических и агрохимических свойств почвы (гранулометрический состав почвы, плотность, структурность, кислотность, содержание гумуса, питательных элементов) [1]. Избыточная кислотность – одна из основных причин низкого плодородия почв и недостаточной эффективности удобрений. Поэтому оптимизация реакции почвенного раствора относится к числу важнейших государственных задач, стоящих перед аграрной отраслью [9, 12].

В этой связи большой практический интерес вызывают широко распространенные в РТ природные минералы, в частности, цеолитсодержащие породы. В границах Татарско-Шатрашанского месторождения республики сконцентрировано 13,3% всех запасов природных цеолитов РФ, разведанные запасы сырья составляют 88,3 млн т [4, 7]. Использование цеолитов в земледелии связано с их свойствами менять катионный состав почвенного поглощающего комплекса и повышать скорость ионного обмена, а содержание в них ряда макро- и микроэлементов позволяет существенно регулировать в почве режим минерального питания расте-

ний, способствуя снижению потерь подвижных форм элементов [6, 7, 11].

**Цель наших исследований** – изучить влияние цеолита в сочетании с минеральными удобрениями на агрохимические свойства чернозема выщелоченного в условиях РТ.

**Методика.** Исследования проводили в 2011-2018 г. на базе опытного поля института Татарского НИИАХП – ОСП ФИЦ КазНЦ РАН в Буинском районе Предволжской зоны РТ. Объект исследования – выщелоченный среднесуглинистый чернозем. Исходная агрохимическая характеристика пахотного слоя (0-25 см) перед закладкой опыта: содержание гумуса – 6,7%,  $pH_{\text{кол}}$  5,1 ед., гидролитическая кислотность ( $H_T$ ) – 4,9 мг-экв/100 г, сумма поглощенных оснований ( $S_{\text{по}}$ ) – 49,2 мг-экв/100 г, подвижного фосфора ( $P_2O_5$ ) – 161 мг/кг и обменного калия ( $K_2O$ ) – 148 мг/кг.

Климат зоны проведения исследований умеренно-континентальный, с теплым коротким летом и умеренно холодной продолжительной зимой [8]. Средняя годовая температура воздуха 3,9°C. Самый теплый месяц – июль со средней температурой 19,3°C. Средняя температура января -11,1°C. Годовое и месячное количество осадков значительно колеблется. В среднем 72% годового количества осадков выпадает в теплый период (апрель-октябрь) и 28% – в холодный (табл. 1).

Химический состав природного цеолита Татарско-Шатрашанского месторождения РТ определяли методом количественного спектрального анализа на спектрометре ЭС-1 на базе дифракционного спектрографа ДФС-458С и фотоэлектронного регистрирующего устройства типа ФП-4:  $SiO_2$  – 57,0%, в том числе аморфный – 27,0%,  $CaO$  – 14,4,  $MgO$  – 1,86,  $P_2O_5$  – 0,08,  $K_2O$  – 1,10,  $Na_2O$  – 0,20,  $Fe_2O_3$  – 1,90,  $Mn$  – 0,01,  $Cu$  – 0,001,  $Zn$  – 0,003,  $Co$  – 0,011,  $Ni$  – 0,04,  $Pb$  – 0,004%. Минераль-

ный состав (%): опал-кристаллит 28,0-36,7, клиноптилолит 20,0-30,0, монтмориллонит 20,0-30,0, кальцит 10,6-21,0, кварц 4,6-11,3. Жесткая кристаллическая решетка цеолита состоит из 4, 5, 6 и более сложных колец с внутренними пространствами. По классификации химических соединений цеолит является малоопасным веществом и относится к 4-му классу опасности [4, 10].

**1. Климатические условия Буинского района РТ (по многолетним данным)**

Месяц	Средняя месячная $t$ воздуха, °C	Среднее месячное количество осадков, мм
Январь	-11,1	27,8
Февраль	-11,0	22,8
Март	-5,1	19,6
Апрель	4,7	27,1
Май	13,0	37,2
Июнь	17,4	70,1
Июль	19,3	56,5
Август	16,9	55,7
Сентябрь	11,5	49,7
Октябрь	4,2	49,5
Ноябрь	-3,7	36,7
Декабрь	-8,9	30,4
Средняя годовая	3,9	483,1

Схема опыта: 1) контроль, 2)  $N_{60}P_{60}K_{60}$ , 3)  $N_{60}P_{60}K_{60}$  + цеолит, 10 т/га, 4)  $N_{60}P_{60}K_{60}$  + цеолит, 15 т/га. Повторность опыта трехкратная. Площадь делянки 50 м<sup>2</sup>, размещение рендомизированное. Цеолит вносили в почву единожды осенью 2010 г. под основную вспашку. В качестве фонового удобрения ежегодно применяли азофоску. Опыт проводили в зернопропашном севообороте со следующим чередованием культур: 1 – яровой ячмень (сорт Раушан); 2 – сахарная свекла (сорт Ракета); 3 – яровая пшеница (сорт Любава); 4 – яровой ячмень (сорт Рахат); 5 – яровой ячмень (сорт Раушан); 6 – сахарная свекла (сорт Ракета); 7 – озимая пшеница (сорт Казанская); 8 – горох посевной (сорт Ватан).

Агрохимический анализ почвенных образцов проводили в лаборатории агрохимических и биохимических анализов Татарского НИИ АХП – ОСП ФИЦ КазНЦ РАН в соответствии со стандартными методическими указаниями: содержание органического вещества по методу Тюрина в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213-91); pH солевой вытяжки по методу ЦИНАО (ГОСТ 26483-85); гидролитическая кислотность по методу Каппена в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26212-91); сумма поглощенных оснований по методу Каппена (ГОСТ 27821-2020); подвижный фосфор и обменный калий по методу Чирикова в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26204-91).

Статистическую обработку результатов проводили по Б.А. Доспехову (1985) с использованием компьютерной программы Microsoft Office Excel 2010 [3].

**Результаты и их обсуждение.** Динамика изменения агрохимических характеристик в период исследований указывает на то, что внесение цеолита положительно влияет на ряд агрохимических показателей выщелоченного чернозема.

Кислая реакция почвенной среды – один из основных факторов, препятствующих получению высоких

урожаев большинства сельскохозяйственных культур [9]. Внесение минеральных удобрений влияет на кислотно-щелочное состояние почвы и сопровождается ее подкислением. Цеолит способствовал частичной нейтрализации обменной кислотности почвы в течение первых 5 лет после внесения. Сдвиг  $pH_{KCl}$  в сторону нейтрализации составил 0,1-0,3 ед. относительно контроля, 0,1-0,4 ед к фону. В последующие годы отмечали выравнивание показателя по исследуемым вариантам опыта, при этом более кислая реакция среды сохранялась в варианте с применением удобрений без внесения цеолита (табл. 2).

**2. Агрохимические показатели выщелоченного чернозема Буинского района РТ**

Вариант	pH <sub>KCl</sub>	H <sub>r</sub>	S <sub>по</sub>	P	K
		мг-экв/100 г почвы		мг/кг	
		2011 г.			
Контроль	5,0	4,8	49,6	160	147
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	5,0	4,6	56,4	165	165
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> +Цеолит, 10 т/га	5,1	4,3	60,4	168	168
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> +Цеолит, 15 т/га	5,3	4,1	60,4	171	172
2012 г.					
Контроль	5,1	4,5	53,6	155	135
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	5,1	4,4	54,4	156	161
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> +Цеолит, 10 т/га	5,3	3,8	56,4	169	167
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> +Цеолит, 15 т/га	5,4	3,7	54,8	177	171
2013 г.					
Контроль	5,0	4,5	52,6	155	147
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	4,9	4,7	53,8	155	160
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> +Цеолит, 10 т/га	5,3	3,7	55,7	163	164
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> +Цеолит, 15 т/га	5,3	3,5	54,2	165	165
2014 г.					
Контроль	5,0	4,7	50,2	151	141
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	4,9	4,4	46,6	157	152
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> +Цеолит, 10 т/га	5,1	3,3	50,2	163	161
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> +Цеолит, 15 т/га	5,3	3,4	50,8	164	163
2015 г.					
Контроль	5,0	4,7	42,0	143	138
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	5,0	4,3	42,4	151	145
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> +Цеолит, 10 т/га	5,2	3,3	44,8	155	151
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> +Цеолит, 15 т/га	5,2	3,4	46,6	156	153
2016 г.					
Контроль	5,2	3,7	36,4	133	129
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	5,0	3,7	36,0	138	132
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> +Цеолит, 10 т/га	5,2	3,4	37,2	139	135
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> +Цеолит, 15 т/га	5,2	3,3	36,4	143	144
2017 г.					
Контроль	5,2	3,8	36,4	122	121
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	5,0	3,7	36,0	125	123
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> +Цеолит, 10 т/га	5,1	3,4	36,8	128	126
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> +Цеолит, 15 т/га	5,2	3,4	36,8	129	131
2018 г.					
Контроль	5,1	3,9	35,0	121	120
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	5,0	4,0	35,4	124	122
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> +Цеолит, 10 т/га	5,1	3,3	35,8	126	126
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> +Цеолит, 15 т/га	5,1	3,2	36,0	127	131
НСР <sub>0,95</sub>	0,09	0,38	9,32	33,43	26,09

Нейтрализующее действие цеолита отмечали и в отношении гидролитической кислотности в течение всего периода исследований. Показатель кислотности в случае внесения цеолита в качестве мелиоранта был ниже на 0,3-1,4 и 0,4-1,3 мг-экв/100 г по отношению к контролю, на 0,3-1,1 и 0,3-1,2 мг-экв/100 г по сравнению с фоном при дозах 10 и 15 т/га соответственно.

Величина степени насыщенности основаниями – важный показатель, характеризующий поглотительную способность почвы. Применение цеолита в исследуемых дозах способствовало увеличению суммы поглощенных оснований, значение которой возросло на 0,4-

10,8 и на 0,4-4,2 мг-экв/100 г по сравнению с контролем и фоном соответственно.

Наличие доступных для растений соединений фосфора и калия – один из основных показателей плодородия, который определяет урожайность всех сельскохозяйственных культур, поэтому уровень их содержания в почве имеет первостепенное значение. Содержание подвижных соединений фосфора и обменного калия повышалось в варианте как с применением только минеральных удобрений, так и от их использования совместно с цеолитом. При этом наибольшие показатели отмечены в вариантах с применением цеолита, что, по-видимому, связано с сорбционными и ионообменными свойствами минерала, которые способствуют увеличению доступности активного фосфора и калия. Содержание фосфора в этих вариантах опыта повысилось на 4,1-14,2% к контролю, на 0,7-13,5 к фону, калия – на 4,1-26,7 к контролю, на 1,8-9,1% к фону.

Цеолит закономерно снижал свое действие к концу опыта, однако преимущество вариантов с его внесением для оптимизации основных агрохимических свойств почвы сохранялось в течение всего периода исследований.

**Заключение.** Применение цеолита Татарско-Шатрашанского месторождения в качестве мелиоранта совместно с минеральными удобрениями в условиях полевого опыта способствовало улучшению агрохимических свойств почвы на протяжении 8 лет исследований. Установлена тенденция к снижению обменной (сдвиг  $pH_{KCl}$  в сторону нейтрализации на 0,1-0,4 ед.) и гидролитической почвенной кислотности на 0,3-1,4 мг-экв/100 г, увеличению суммы поглощенных оснований на 0,4-10,8 мг-экв/100 г, повышению содержания подвижных соединений фосфора на 0,7-14,2% и калия на 1,8-26,7%.

#### Литература

1. *Агрохимия: курс лекций. Удобрения: виды, свойства, химический состав* / Л.А. Михайлова. – Пермь: ИПЦ «Прокрость», 2015. – 426 с.
2. *Государственный доклад «О состоянии природных ресурсов и об охране окружающей среды Республики Татарстан в 2018 году»*. – Казань: Минэкологии и природных ресурсов Республики Татарстан, 2019. – 402 с.
3. *Доспехов, Б.А.* Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – Изд. 5-е. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
4. *Исследования в области нанобиотехнологий в сельском хозяйстве и международное сотрудничество с Социалистической Республикой Вьетнам* / Под ред. А.Х. Яппарова. – Казань: Центр инновационных технологий, 2017. – 320 с.
5. *Камилов, М.К.* Экологические проблемы в сельском хозяйстве как следствие интенсификации развития агропромышленного комплекса России / М.К. Камилов, П.Т. Камилова, З.М. Камилова // Региональные проблемы преобразования экономики. – 2017. – №1. – С. 11-20.
6. *Куликова, А.Х.* Кремниевые породы в системе удобрения сельскохозяйственных культур / А.Х. Куликова, А.В. Карпов, Е.А. Яшин. – Ульяновск: УлГАУ, 2020. – 176 с.
7. *Применение цеолитосодержащих пород в земледелии и растениеводстве* / Под ред. Е.А. Прищепенко. – Казань: Центр инновационных технологий, 2021. – 252 с.
8. *Система земледелия Республики Татарстан. Инновации на базе традиций. Ч. 1. Общие аспекты системы земледелия* / И.Х. Габдрахманов, Д.И. Файзрахманов и др. – Казань, 2013. – 166 с.
9. *Соколова, Т.А.* Почвенная кислотность. Кислотно-основная буферность почв. Соединения алюминия в твердой фазе почвы и в почвенном растворе / Т.А. Соколова, И.И. Толпешта, С.Я. Трофимов. – Изд. 2-е, испр. и доп. – Тула: Гриф и К, 2012. – 124 с.
10. *Цеолиты Поволжья* [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – URL: <https://zeol.ru/applying/selskoe-hozyaystvo> (Дата обращения 11.03.2022).
11. *Nakhli S.A.* Application of Zeolites for Sustainable Agriculture: a Review on Water and Nutrient Retention / S.A.A. Nakhli, M. Delkash, B.E. Bakhshayesh, H. Kazemian // Water, Air, & Soil Pollution. – 2017. – № 228. – P. 1-34.
12. *Soil Acidity Management* / G. Agegnehu, Ch. Yirga, T. Erkossa // Ethiopian Institute of Agricultural Research (EIAR), 2019. – 56 p.

#### AGROCHEMICAL CHARACTERISTICS OF LEACHED CHERNOZEM UNDER THE ACTION OF ZEOLITE

*G.F. Rakhmanova, E.A. Garafutdinova,  
R.R. Gazizov, R.R. Masnavieva*

*Tatar Research Institute of Agricultural Chemistry and Soil Science of FRC Kazan Scientific Center of RAS, 420059 Kazan, Republic of Tatarstan, Russia, E-mail: gulnara\_rakhmanova@mail.ru*

*The paper presents studies on the effectiveness of zeolite from the Tatarsko-Shatrashanskoe deposit of the Republic of Tatarstan when introduced into the soil on the basis of the experimental field of the Tatar RIAHP in 2011-2018. The use of zeolite in doses of 10 and 15 t/ha together with mineral fertilizers contributed to the improvement of the agrochemical properties of leached chernozem. Partial neutralization of the exchangeable acidity of the soil (shift of the reaction of the medium by 0.1-0.4 units), a decrease in hydrolytic acidity by 0.2-1.4 mg-eq./100 g, an increase in the amount of absorbed bases by 0.4- 10.8 mg-eq./100 g, an increase in the content of mobile phosphorus by 0.7-14.2% and exchangeable potassium by 1.8-26.7% compared with the control and background options. Partial neutralization of the exchange acidity of the soil (a shift in the reaction of the medium by 0.1-0.4 units), a decrease in hydrolytic acidity by 0.2-1.4 mg-eq./100 g, an increase in the amount of absorbed bases by 0.4-10.8 mg-eq./100 g, an increase in the content of mobile phosphorus by 0.7-31.2% and exchangeable potassium by 1.8-26.7% compared to the control and background variants. The advantage of variants with the addition of zeolite was maintained throughout the entire period of research.*

*Keywords: leached chernozem, zeolite, agrochemical properties, soil acidity.*