

ДЕСОРБЦИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ РАСТЕНИЙ ИЗ ИОНИТНОГО СУБСТРАТА ZION

О.Н. Хохлова, А.О. Трегубова

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет»

Поступила в редакцию 31.01.2024 г.

Аннотация. Приведены результаты десорбции ионов минеральных удобрений (аммония, калия, нитратов, сульфатов, фосфатов) из почвенной ионитной добавки ZION (универсальный) в различных условиях. Моделирование десорбции ионов минеральных удобрений из почвенной добавки проводили путем помещения навески субстрата в воду, поскольку процессы десорбции, транспорт их к корням растений и пр. протекают в почвенном растворе. Установлено, что все, заявленные производителем ионы (NH_4^+ , NO_3^- , PO_4^{3-} , K^+ , SO_4^{2-}), обнаруживаются в равновесном растворе, а кислотность раствора меняется незначительно ($\pm 0,07$ ед. pH) и соответствует кислотности природной воды и нейтральной почвы. В равновесном растворе обнаруживаются катионы Na^+ , катионы Ca^{2+} и Mg^{2+} содержатся в малых количествах, а, так называемые, балластные Cl-ионы не вытесняются. Полученные данные свидетельствует о том, что при подготовке почвенной добавки сорбент насыщают нитратами/фосфатами/сульфатами аммония, калия и натрия.

Поскольку почвы могут иметь различную величину pH, исследовали десорбцию ионов в кислые и щелочные растворы. Установлено, что добавка ионитного субстрата может корректировать pH почвы при незначительных изменениях кислотности.

При измельчении сорбента количество десорбируемых ионов увеличивается, что связано с уменьшением пути иона внутри зерен сорбента к фазовой границе сорбент-раствор и наиболее это характерно для крупных ионов – сульфатов и фосфатов.

Проведено сравнение количественных характеристик десорбированного вещества с данными, заявленными производителем. За четверо суток количество азота, десорбированного из субстрата, составило 48 % от заявленного производителем, фосфора – 22%, количество выделившихся ионов калия и сульфат-ионов значительно меньше. Следовательно, ионитный субстрат ZION может быть использован в качестве почвенной добавки пролонгированного действия. Однако при прочих равных условиях эффект от внесения ZION будет наиболее заметен на бедных почвах, в то время, как на плодородных не следует ожидать значимого влияния почвенной добавки на рост и развитие растений.

Ключевые слова: ZION, минеральные удобрения, ионный обмен, десорбция.

Земельные ресурсы играют большую роль в жизнеобеспечении человека. Основной характеристикой, которой должны обладать сельскохозяйственные почвы, является плодородие - это способность обеспечить растения необходимым количеством воды, питательных элементов, тепла и т.д. [1]. Однако, не все почвы обладают достаточным количеством необходимых веществ для правильного роста растений, поэтому в них необходимо внесение удобрений, правильное применение которых должно создавать оптимальное количество и соотношение элементов питания растений, регулировать кислотность почвы, улуч-

шать ее структуру, и т.д. Ошибка при использовании удобрений может привести к угнетению роста и даже к полной гибели посадок [2].

В последнее время в качестве удобрений все чаще стали использоваться природные цеолиты различных месторождений и цеолиты, насыщенные минеральными удобрениями [3-6]. Наибольшую популярность приобрела почвенная добавка ZION, которую позиционируют как продуктивную в течении трех лет экологичную добавку, передозировка которой невозможна [7]. Однако, неоднозначные отзывы садоводов об эффективности этого продукта [8] требуют экспериментального подтверждения наличия в нем и возможности длительного поступления в окружающую среду ионов

минеральных удобрений. Это и определило цель и данной работы – исследование десорбции ионов минеральных удобрений (фосфат-, нитрат-, сульфат-ионов, а так же ионов калия и аммония) из ионитного субстрата ZION в водные растворы, моделирующие жидкую фазу почвы.

ЭКСПЕРИМЕНТ

Ионитный субстрат ZION состоит из насыщенного минеральными удобрениями клиноптилолита - минерала, принадлежащего к группе цеолитов. Его кристаллическая решетка характеризуется наличием открытых каналов и микропор, в которых содержатся обменные ионы (Na^+ , H^+ и др. Me^{n+}) и молекулы воды [7, 9]. По заявлению производителей ZION полностью экологичен, т.к. состоит из природного материала, продуктивен до трех лет, нормализует pH, не допускает передозировки, т.к. обменивает ионы на ионы внешней среды и метаболиты растений [7].

Для исследования десорбции ионов из ионитного субстрата ZION (универсальный) воздушно-сухие навески массой $2,0000 \pm 0,0002$ г помещали в 200 см^3 воды (или растворы с pH 3,00; 10,30) на различные промежутки времени, далее фазы разделяли фильтрованием. Растворы анализировали на содержание десорбируемых ионов. Количественное определение ионов аммония и фосфатов проводили фотометрическим методом (относительное стандартное отклонение δ не превышает 10 % и 7% соответственно) [10, 11], сульфат-ионов турбидиметрически ($\delta=15$ %) [12], pH и нитрат-ионы среды определяли прямой потенциометрией с помощью ион-селективных электродов ($\delta=1,5\%$) [13, 14], содержание калия и натрия определяли пламенно-эмиссионной фотометрией ($\delta=5\%$) [14], хлориды, катионы кальция и магния анализировали в растворе титриметрически ($\delta=2\%$) [15].

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Поскольку процессы десорбции ионов минеральных удобрений из почвенной добавки, транспорт их к корням растений и пр. протекают в почвенном растворе, то моделирование десорбции проводили путем помещения навески субстрата в дистиллированную воду (pH~5,5). Установлено, что все, заявленные производителем ионы (NH_4^+ , NO_3^- , PO_4^{3-} , K^+ , SO_4^{2-}), обнаруживаются в равновесном растворе.

В первые сутки контакта почвенного субстрата с водой наибольшие концентрации в растворе достигаются при выделении ионов аммония

($103,33 \text{ мг/дм}^3$ ($5,74 \text{ ммоль-экв/дм}^3$)), фосфатов ($6,90 \text{ мг/дм}^3$ ($0,22 \text{ ммоль-экв/дм}^3$)) и нитрат-ионов ($6,90 \text{ мг/дм}^3$ ($0,11 \text{ ммоль-экв/дм}^3$)), а ионов калия и сульфатов десорбируется значительно меньше ($1,10$ и $0,62 \text{ мг/дм}^3$ ($0,03$ и $0,014 \text{ ммоль-экв/дм}^3$)) соответственно). Это соответствует потребности растений в этих ионах и их дефициту в окружающей среде.

Катионы Na^+ определяются в равновесном растворе в концентрации $19,93 \text{ мг/дм}^3$ ($0,87 \text{ ммоль-экв/дм}^3$), а так называемые, балластные Cl-ионы не обнаруживаются, что свидетельствует об отсутствии их в исследуемом субстрате. Катионы Ca^{2+} и Mg^{2+} определяются в растворе в концентрациях, не превышающих жесткости «мягкой» природной воды ($C_{\text{Ca}^{2+}}=3,48 \text{ мг/дм}^3$ ($0,174 \text{ ммоль-экв/дм}^3$), $C_{\text{Mg}^{2+}}=1,51 \text{ мг/дм}^3$ ($0,126 \text{ ммоль-экв/дм}^3$)). Полученные величины концентраций ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} соизмеримы а, в некоторых случаях, больше концентраций элементов питания растений, внесенных производителем в исследуемую почвенную добавку, однако поступление этих ионов в равновесный раствор возможно из примесных осадочных пород исходного цеолита [16], а не из-за внесения их солей производителем в исследуемый ZION.

Установлено, что после десорбции минеральных ионов кислотность раствора меняется незначительно ($\pm 0,07$ ед. pH) и соответствует кислотности природной воды и нейтральной почвы (pH~5,5), это свидетельствует о том, что почвенная добавка не содержит H^+ и OH^- ионов, способных поступать в раствор и значительно влиять на кислотность почвы.

Полученные данные свидетельствует о том, что при подготовке почвенной добавки сорбент насыщают нитратами/фосфатами/сульфатами аммония, калия и натрия.

Необходимо отметить, что механизм удержания веществ минеральном сорбенте может быть разным - ионообменное закрепление и необменная сорбция на поверхности и внутри минерального каркаса [17-19], что обуславливает закономерности десорбции исследуемых ионов. Так как десорбция минеральных веществ в воду происходит достаточно хорошо, то это свидетельствует о значительном количестве необменно поглощенных веществ в исследуемом ионитном субстрате.

Изучено влияние кислотности среды на количество десорбируемых ионов, поскольку почвы имеют различную величину pH (от 2-3 для тундроглеевых до 11-12 для солончаков) [20]. На рис. 1 представлены концентрации ионов мине-

ральных удобрений, вытесненных в течении суток при различных рН среды.

Из рис. 1 видно, что в более кислых растворах (рН 3) увеличивается десорбция ионов калия, а в щелочной среде (рН 10,3) - десорбция сульфат-, фосфат- и нитрат-ионов, что связано с обменом ионами между почвенной добавкой и внешним раствором. При этом рН раствора увеличивается при контакте сорбента с кислыми и нейтральными растворами за счет поглощения H^+ ионов, и уменьшается в случае использования щелочных растворов за счет поглощения OH^- ионов. Лучшая десорбция ионов аммония в нейтральной среде связана с конкуренцией десорбции по обменному и необменному механизму при высоком содержании необменно поглощенного вещества в сорбенте, хотя десорбция за счет ионного обмена в кислой среде также имеет высокие значения [20]. Таким образом, добавка ионитного субстрата содержит ионообменно закрепленные ионы

минеральных удобрений, которые вытесняются в окружающую среду при наличии в ней ионов, способных к обмену. Этими ионами являются присутствующие в почвенном растворе H^+ и OH^- ионы (при этом корректируется рН почвы на $\pm 0,5$ ед.), а также ионы кальция, магния, карбонаты, гидрокарбонаты, метаболиты растений и др. [7].

Для изучения влияния размера гранул почвенной добавки на количество вытесняемых ионов за сутки, сорбент измельчали в 2 раза. Диаметр исходных гранул исследуемой партии сорбента составляет $\sim 0,1$ см. На рис. 2 приводится сравнение количеств вытесненных за сутки ионов в воду при различном зернении сорбента.

Как видно из рис. 2, при измельчении сорбента концентрация десорбируемых ионов в растворе увеличивается, что связано с уменьшением пути иона внутри зерен сорбента к фазовой границе сорбент-раствор. Наиболее это характерно для крупных ионов – сульфатов и фосфатов, что свя-

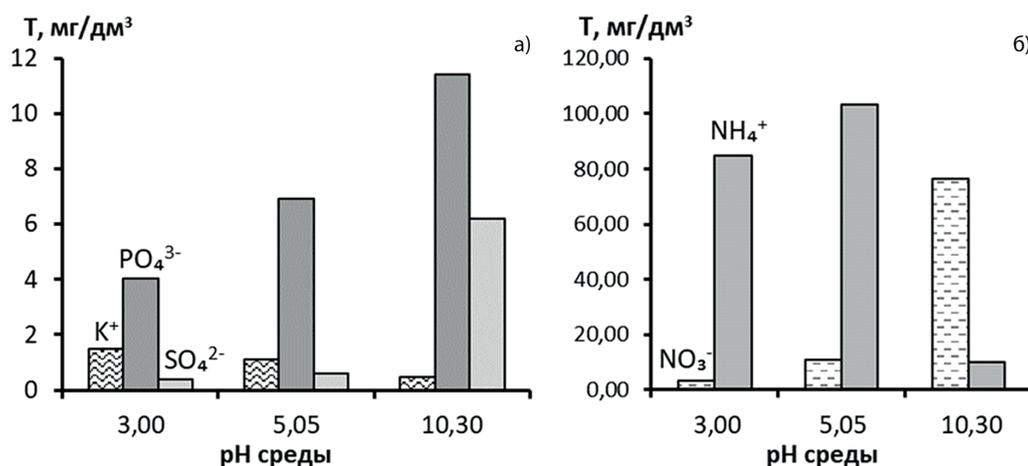


Рис. 1. Зависимость концентрации десорбируемых ионов от кислотности среды (за сутки): а) сульфат-, фосфат-ионов и иона калия; б) нитрат-ионов и ионов аммония.

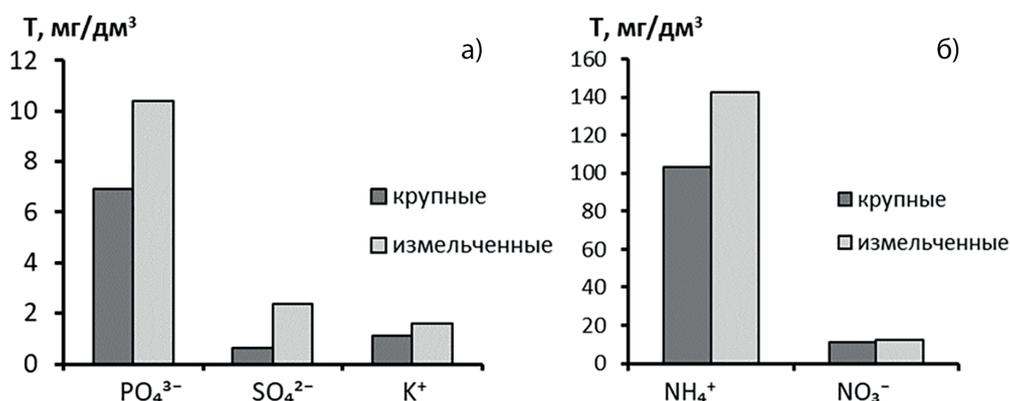


Рис. 2. Зависимость концентрации десорбируемых ионов от размера гранул сорбента (за сутки): а) сульфат- фосфат-ионов и иона калия; б) нитрат-ионов и ионов аммония.

зано с наибольшими стерическими трудностями при движении в фазе клиноптилолита. Следовательно, для пролонгированного действия почвенной добавки не рекомендуется использовать мелкодисперсный продукт.

Для исследования десорбции минеральных ионов во времени навеску сорбента заливали водой и контролировали содержание накапливающихся в растворе ионов каждые сутки (рис. 3). Во второй и последующие дни контакта ионитного субстрата с водой концентрация десорбирующихся ионов незначительно отличается от концентрации ионов, выделившихся в первый день. Для аммония к четвертому дню она возросла на 3 мг/дм³, для нитрат- и сульфат-ионов увеличилась, в среднем, на 1 мг/дм³. Концентрации калия и фосфат-ионов остались неизменными (рис. 3).

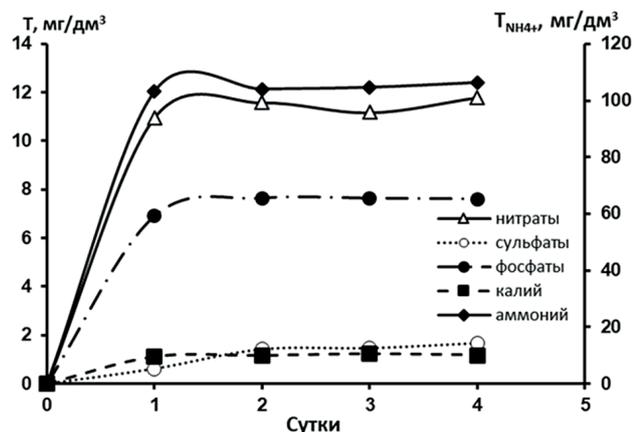


Рис. 3. Изменение концентрации десорбируемых ионов в растворе во времени.

Для моделирования выведения продуктов обмена из зоны реакции за счет потребления их растениями или других процессов десорбцию из одной и той же навески ионитной добавки каждый последующий день проводили в новые объемы чистой воды (рис. 4).

Из рис. 4 видно, что во вторые и последующие сутки концентрация вытесненных в раствор ионов аммония, нитратов и фосфатов значительно меньше, чем в первый день, а для калия и сульфата

тов поступление в раствор во времени меняется мало, что зависит от общего количества и соотношения обменно и необменно закрепленного вещества в сорбенте. Общее количество выделившихся ионов в режиме удаления продуктов десорбции незначительно больше по сравнению с режимом накопления в едином объеме.

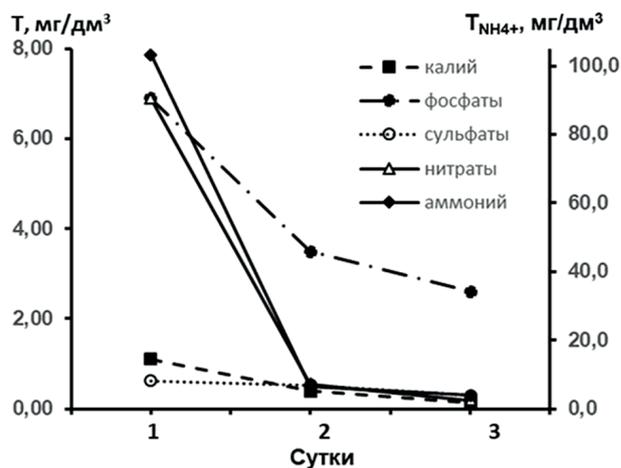


Рис. 4. Изменение концентрации исследуемых ионов в растворе в зависимости от количества актов десорбции.

Проведено сравнение заявленного производителем содержания удобрений в субстрате ZION и количества ионов, выделенных в воду в течении четырех суток.

Как видно из таблицы, количество азота, десорбирувавшегося из субстрата, составило 48 % от заявленного производителем, количество десорбирувавшегося фосфора – 22%. Количество выделившихся ионов калия и сульфат-ионов значительно меньше. Следовательно, для полной десорбции минеральных удобрений требуется значительное время, что говорит о возможности использования ионитного субстрата ZION в качестве почвенной добавки пролонгированного действия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, экспериментально установлено, что ионитный субстрат ZION содержит ионы аммония, калия, нитраты, фосфаты и сульфаты, ко-

Таблица 1

Сравнение содержащихся в субстрате количеств элементов, заявленных производителем ($Q_{пр}$) [7] и десорбируемых экспериментально в течении четырех суток ($Q_{эксп}$)

Расчетная форма	NH_4^+	NO_3^-	PO_4^{3-}	K^+	SO_4^{2-}
	N		P_2O_5	K_2O	S
$Q_{пр}$, мг/кг	4960		4730	11200	1000
$Q_{эксп}$, мг/кг	2375		1031	266	21
Процент выхода, %	48		22	2	2

торые могут выделяются во внешний раствор, поэтому ZION можно рекомендовать как почвенную добавку, длительно эффективную в определенных условиях: при использовании крупнозернистого сорбента, в режиме с удалением (потреблением) выделившихся ионов и при наличии в контактирующем растворе ионов, способных к обмену. Добавка ионитного субстрата может корректировать pH почвы при незначительных изменениях кислотности ($\pm 0,5$ ед. pH). Однако, следует отметить, что поглощение растениями питательных веществ определяется комплексом разнородных факторов, связанных с природой растений, свойствами почвы и состоянием внешней среды [21], поэтому при прочих равных условиях (для одних и тех же культур, при одинаковых внешних условиях и уходе) эффект от внесения ZION будет наиболее заметен на бедных почвах, в то время, как на плодородных не следует ожидать значимого влияния почвенной добавки на рост и развитие растений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вальков В.Ф. Плодородие почв и сельскохозяйственные растения: экологические аспекты / В.Ф. Вальков, Т.В. Денисова, К.Ш. Казеев, С. И. Колесников, Р. В. Кузнецов. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2008. – 416 с.
2. Справочник по удобрениям: для садоводов и огородников / под ред. Н.А. Середы. Уфа: НВП БашИнком, 2016. – 155 с.
3. Челищев Н.Ф. Цеолиты – новый тип минерального сырья / Н.Ф. Челищев, Б.Г. Беренштейн, В.Ф. Володин. Москва: Недра, 1987. – 176 с.
4. Стружкина Т.М. Эффективность использования цеолита-клиноптилолита в короткоротационном севообороте на легких вулканических почвах Камчатки / Т.М. Стружкина, Ю.А. Ильиных, Н.Н. Иващенко, М.Б. Кочнева // Плодородие. – 2012. – № 4. – С. 48-50.
5. Корецкий Д.С. Изучение влияния цеолита Пегасского месторождения на рост растений / Д.С. Корецкий, А.Ю. Игнатова // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2010. – С. 92-95.
6. Цеолит для растений: особенности применения в растениеводстве. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://dzagigrow.ru/blog/tseolit-dlya-rasteniy-osobennosti-primeneniya-v-rastenievodstve/>.
7. ZION. Ионитный субстрат [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.zion-rus.ru/ob-ionitnykh-substratakh>.
8. Дайджест: эксперимент удобрение Zion и другие цеолиты [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://thewikihow.com/digest/>.
9. Kowalczyk P. Porous structure of natural and modified clinoptilolites / P. Kowalczyk, S. Myroslav, P. Artur // Journal of Colloid and Interface Science. – 2006. – V. 297. – P. 77-85.
10. ГОСТ 33045-2014. Вода. Методы определения азотсодержащих веществ. Москва, 2015. – 20 с.
11. ГОСТ 18309-2014. Вода. Методы определения фосфорсодержащих веществ. Москва, 2015. – 22 с.
12. ГОСТ 31940-2012. Вода. Методы определения содержания сульфатов. Москва, 2013. – 16 с.
13. РД 52.24.495-2017. Водородный показатель вод. Методика измерений потенциометрическим методом. Ростов-на-Дону, 2017. – 13 с.
14. Основы аналитической химии. В 2 т. / под ред. Ю.А. Золотова. Москва: Издательский центр «Академия», 2012.
15. Лурье Ю.Ю. Аналитическая химия промышленных сточных вод / Ю.Ю. Лурье. – Москва: Химия, 1984. – 448 с.
16. Сендеров Э.Э. Цеолиты, их синтез и условия образования в природе / Э.Э. Сендеров. – Москва: Наука, 1970. – 253 с.
17. Грушичева Е.А. Неорганические сорбенты: сорбционные свойства природных силикатов / Е.А. Грушичева, Н.Г. Богданович, В.П. Емельянов, Г.Н. Петрухина, О.В. Старков // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2006. – Т. 6. № 6. – С. 922-927.
18. Котова Д.Л. Описание изотермы сорбции гидрохлорида пиридоксина на клиноптилолитовом туфе / Д.Л. Котова, Гам Фам Тхи, Т.А. Крысанова, С.Ю. Васильева, Ю.А. Тимченко, Б.Н. Бекетов // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2014. – Т. 14. – Вып. 4. – С. 572-577.
19. Кац Э.М. Сорбция аммония из поверхностной воды на клиноптилолите, модифицированном полиэтиленгликолем / Э.М. Кац // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2011. – Т.11. – № 2. – С. 194-201.
20. Национальный атлас почв Российской Федерации [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://soil-db.ru/soilatlas>.
21. Крейер К. Г. Использование параметров сорбции-десорбции ионных форм элементов минерального питания растений для оценки агрохимического состояния дерново-подзолистых почв / К. Г. Крейер, О.А. Петрова // Вестник СПбГУ. Сер. 3. – 2006. – Вып. 1. – С. 190-199.

Хохлова О.Н., Трегубова А.О.

Воронежский Государственный Университет
Трегубова Анастасия Олеговна, магистрант
кафедры аналитической химии
e-mail: trebubaa@gmail.com

Voronezh State University
Tregubova Anastasia O., undergraduate student,
department of analytical chemistry
e-mail: trebubaa@gmail.com

Хохлова Оксана Николаевна, к.х.н., доцент ка-
федры аналитической химии
e-mail: okxox@yandex.ru

Khokhlova Oksana N., associate professor,
department of analytical chemistry
e-mail: okxox@yandex.ru

DESORPTION OF PLANT NUTRITION ELEMENTS FROM THE ZION IONITE SUBSTRATE

O.N. Khokhlova, A.O. Tregubova

Voronezh State University

Abstract. The results of desorption of mineral fertilizer ions (ammonium, potassium, nitrates, sulfates, phosphates) from the soil ion exchange additive ZION (universal) under various conditions are presented. Modeling of desorption of mineral fertilizer ions from a soil additive was carried out by placing a sample of the substrate in water, since desorption processes, their transport to plant roots, etc. occur in the soil solution. It was established that all ions declared by the manufacturer (NH_4^+ , NO_3^- , PO_4^{3-} , K^+ , SO_4^{2-}) are found in an equilibrium solution, and the acidity of the solution changes slightly (~ 0.07 pH units) and corresponds to the acidity of natural water and neutral soil. In an equilibrium solution, Na^+ cations are found, Ca^{2+} and Mg^{2+} cations are contained in trace amounts, and the so-called ballast Cl-ions are not displaced. The data obtained indicate that when preparing the soil additive, the sorbent is saturated with ammonium, potassium and sodium nitrates/phosphates/sulfates.

Since soils can have different pH values, the desorption of ions into acidic and alkaline solutions was studied. It has been established that the addition of an ion exchange substrate can adjust the soil pH with minor changes in acidity.

When the sorbent is crushed, the number of desorbed ions increases, which is associated with a decrease in the path of the ion inside the sorbent grains to the sorbent-solution phase boundary, and this is most typical for large ions - sulfates and phosphates.

A comparison was made of the quantitative characteristics of the desorbed substance with the data declared by the manufacturer. Over four days, the amount of nitrogen desorbed from the substrate was 48% of that declared by the manufacturer, the amount of desorbed phosphorus was 22%. The amount of released potassium and sulfate ions is significantly less. Therefore, the ZION ion exchange substrate can be used as a long-acting soil additive. However, other things being equal, the effect of adding ZION will be most noticeable on poor soils, while on fertile soils one should not expect a significant effect of the soil additive on plant growth and development.

Keywords: ZION, mineral fertilizers, ion exchange, desorption.

REFERENCES

1. Val'kov V.F. Plodorodie pochv i sel'skohozjajstvennyye rastenija: jekologicheskie aspekty / V.F. Val'kov, T.V. Denisova, K.Sh. Kazeev, S. I. Kolesnikov, R. V. Kuznecov. Rostov-na-Donu: Izd-vo JuFU, 2008. – 416 s.
2. Spravochnik po udobrenijam: dlja sadovodov i ogorodnikov / pod red. N.A. Seredy. Ufa: NVP BashInkom, 2016. – 155 s.
3. Chelishhev N.F. Ceolity – novyj tip mineral'nogo syr'ja / N.F. Chelishhev, B.G. Berenshtejn, V.F. Volodin. Moskva: Nedra, 1987. – 176 s.
4. Struzhkina T.M. Jeffektivnost' ispol'zovanija ceolita-klinoptilolita v korotkorotacionnom sevooborote na legkih vulkanicheskikh pochvah Kamchatki / T.M. Struzhkina, Ju.A. Il'inyh, N.N. Ivashhenko, M.B. Kochneva // Plodorodie. – 2012. – No 4. – P. 48-50.
5. Koreckij D.S. Izuchenie vlijanija ceolita Pegasskogo mestorozhdenija na rost rastenij / D.S. Koreckij, A.Ju. Ignatova // Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. – 2010. – P. 92-95.
6. Ceolit dlja rastenij: osobennosti primenenija v rastenievodstve. [Elektronnyj

resurs]. Rezhim dostupa: <https://dzagigrow.ru/blog/tseolit-dlya-rasteniy-osobennosti-primeneniya-v-rastenievodstve/>.

7. ZION. Ionitnyj substrat [Jelektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <https://www.zion-rus.ru/ob-ionitnykh-substratakh>.

8. Dajdzhest: jeksperiment udobrenie Zion i drugie ceolity [Jelektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <https://thewikihow.com/digest/>.

9. Kowalczyk P. Porous structure of natural and modified clinoptilolites / R. Kowalczyk, S. Myroslav, P. Artur // Journal of Colloid and Interface Science. – 2006. – V. 297. – P. 77-85.

10. GOST 33045-2014. Voda. Metody opredelenija azotsoderzhashhih veshhestv. Moskva, 2015. – 20 s.

11. GOST 18309-2014. Voda. Metody opredelenija fosforsoderzhashhih veshhestv. Moskva, 2015. – 22 s.

12. GOST 31940-2012. Voda. Metody opredelenija sodержanija sul'fatov. Moskva, 2013. – 16 s.

13. RD 52.24.495-2017. Vodorodnyj pokazatel' vod. Metodika izmerenij potenciometricheskim metodom. Rostov-na-Donu, 2017. – 13 s.

14. Osnovy analiticheskoj himii. V 2 t. / pod red. Ju.A. Zolotova. Moskva: Izdatel'skij centr «Akademija», 2012.

15. Lur'e Ju.Ju. Analiticheskaja himija promyshlennyh stochnyh vod / Ju.Ju. Lur'e. – Moskva: Himija, 1984. – 448 s.

16. Senderov Je.Je. Ceolity, ih sintez i uslovija obrazovaniya v prirode / Je.Je. Senderov. – Moskva: Nauka, 1970. – 253 s.

17. Grushicheva E.A. Neorganicheskie sorbenty: sorbcionnye svojstva prirodnyh silikatov / E.A. Grushicheva, N.G. Bogdanovich, V.P. Emel'janov, G.N. Petruhina, O.V. Starkov // Sorbcionnye i hromatograficheskie processy. – 2006. – V. 6. – No 6. – P. 922-927.

18. Kotova D.L. Opisanie izotermy sorbcii gidrohlorida piridoksina na klinoptilolitovom tufe / D.L. Kotova, Gam Fam Thi, T.A. Krysanova, S.Ju. Vasil'eva, Ju.A. Timchenko, B.N. Beketov // Sorbcionnye i hromatograficheskie processy. – 2014. – V. 14. – No. 4. – P. 572-577.

19. Kac Je.M. Sorbcija ammonija iz poverhnostnoj vody na klinoptilolite, modificirovannom polijetileniminom / Je.M. Kac // Sorbcionnye i hromatograficheskie processy. – 2011. – V.11. – No 2. – P. 194-201.

20. Nacional'nyj atlas pochv Rossijskoj Federacii [Jelektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <https://soil-db.ru/soilatlas>.

21. Krejer K. G., Petrova O.A. Ispol'zovanie parametrov sorbcii-desorbcii ionnyh form jelementov mineral'nogo pitaniya rastenij dlja ocenki agrohimicheskogo sostojanija derno-podzolistyh pochv / K. G. Krejer, O.A. Petrova // Vestnik SPbGU. Ser. 3. – 2006. – No. 1. – P. 190-199.