

**ФІЗИЧНАЯ ХІМІЯ**  
**PHYSICAL CHEMISTRY**

УДК 544.341.2+581.133.8

Поступила в редакцию 29.11.2016  
Received 29.11.2016**С. Ю. Косандрович, О. В. Ионова, В. С. Солдатов***Институт физико-органической химии НАН Беларуси, Минск, Беларусь*

**КОМПОЗИТНЫЕ ИОНИТНЫЕ СУБСТРАТЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРНОГО ИОНИТА  
И ПРИРОДНОГО КЛИНОПТИЛОЛИТА**

**Аннотация.** Путем механического смешивания ионообменной смолы ЭДЭ-10П в нитратной и фосфатной формах с клиноптилолитом в калиевой форме получены два композиционных субстрата для выращивания растений. Субстраты испытаны в биологическом эксперименте по непрерывному последовательному выращиванию четырех вегетаций злака *Lolium perenne* L. на бесплодном песке с его 2%-ной добавкой без внесения удобрений. Продуктивность субстрата составила ~0,5 кг сухой (~5 кг сырой) надземной биомассы растений на килограмм ионитного субстрата, что находится на уровне стандартного ионитного субстрата Биона®.

**Ключевые слова:** питание растений, питательные субстраты для растений, ионитные субстраты, субстрат Биона, клиноптилолит

**Для цитирования.** Косандрович, С. Ю. Композитные ионитные субстраты на основе полимерного ионита и природного клиноптилолита / С. Ю. Косандрович, О. В. Ионова, В. С. Солдатов // Вест. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. хім. навук. – 2017. – № 4. – С. 7–14.

**S. Y. Kasandrovich, O. V. Ionova, V. S. Soldatov***Institute of Physical Organic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus*

**COMPOSITE ION EXCHANGE SUBSTRATES BASED ON POLYMERIC ION EXCHANGER  
AND NATURAL CLINOPTILOLITE**

**Abstract.** Two composition substrates for growing plants were obtained by mechanical mixing of EDE-10P ion exchange resin in nitrate and phosphate forms with a natural clinoptilolite in potassium form. The substrates were tested in the biological experiment on continuous successive growing grass *Lolium perenne* L. on a fruitless sand with its 2% content without adding fertilizers. The productivity of the substrate was ~0.5 kg of dry (~5 kg green) overground biomass per kilogram of the ion exchange substrate, which is on the level of standard ion exchange substrate Biona®.

**Keywords:** plant nutrition, nutrient substrates for plant, ion exchange substrates, Biona substrate, clinoptilolite

**For citation.** Kasandrovich S. Y., Ionova O. V., Soldatov V. S. Composite ion exchange substrates based on polymeric ion exchanger and natural clinoptilolite. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya khimichnykh navuk=Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus, Chemical series*, 2017, no. 4, pp. 7–14 (In Russian).

**Введение.** Известно, что в естественных почвах катионы, необходимые растениям в макроскопических количествах – калий, кальций и магний, содержатся в основном в различных минералах [1]. Наиболее легко усваиваемые растениями катионы находятся в ионообменном состоянии в виде подвижных ионов  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  и  $Mg^{2+}$ ; большая же их часть входит в состав кристаллических решеток различных минералов и доступна растениям в меньшей степени. Подвижные катионы содержатся в различных алюмосиликатах, в частности в глинистых минералах и цеолитах. Поэтому не удивительно, что уже начиная с сороковых годов прошлого века, в литературе появилось довольно много статей, в которых была исследована принципиальная возможность и целесообразность использования таких носителей биогенных катионов в растениеводстве.

Их обзор содержится в монографии [2]. С началом интенсивного производства и применения ионообменных смол интерес большинства исследователей переключился на эти материалы, так как они обладали более высокой обменной емкостью, определенным и воспроизводимым химическим строением и высокой скоростью ионообменных процессов. Полноценный ионообменный субстрат, состоящий только из ионообменных смол, был впервые получен в конце 1960-х годов [3–5].

В дальнейшем было описано несколько вариантов различных ионообменных субстратов, различающихся типом ионообменных смол и способом получения [6]. Несмотря на высокие эксплуатационные свойства субстратов из ионообменных смол, их применение ограничено научными исследованиями в области физиологии растений и специальным растениеводством из-за высокой стоимости и недостаточным объемом производства синтетических ионитов. Одним из путей преодоления этих трудностей является частичная или полная замена ионообменных смол в субстратах природными ионообменными минералами с получением композиционных органо-минеральных субстратов.

Ранее сообщалось о возможности замены в ионообменном субстрате синтетического катионита природным цеолитом [7–9]. Полученный таким образом субстрат для растений превосходил по свойствам субстрат на основе только полимерных ионитов (ИС-1, Биона<sup>®</sup>-111), а его стоимость была существенно ниже. В дальнейшем использовалась смесь субстрата Биона-111 с 20 мас.% клиноптилолита в  $K^+$ -форме под названием Биона-311, существенно превосходящая по биологической продуктивности субстрат Биона-111. Детали способа получения и состава композитного субстрата без полимерного катионита не сообщались. В настоящей статье описывается получение, состав и эффективность субстратов с различным содержанием калиевой формы природного клиноптилолитового туфа месторождения Тедзами (Грузия) при выращивании на нем тест-культуры Райграса пастбищного (*Lolium perenne* L.) Этот минерал был выбран потому, что он является одним из лучших природных цеолитов, хорошо описан и использовался в различных областях [10–12].

**Получение субстрата.** Композитный субстрат, описываемый в настоящей статье, получали механическим смешиванием моноионных  $NO_3^-$  и  $H_2PO_4^-$ -форм анионита ЭДЭ-10П и  $K^+$ -формы клиноптилолита месторождения Тедзами (Грузия). В одном из вариантов субстрата в смесь вводили полный комплект микроэлементов в виде суспензии солей, доведенной до pH 6,5, содержащей  $Fe^{3+}$ ,  $Na^+$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Co^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $H_2BO_3^-$ ,  $MoO_4^{2-}$ . В другом варианте микроэлементы в субстрат не вводили.

Образцы клиноптилолита имели обменную емкость по  $K^+$  1,1 м-экв/г и кондиционировались путем предварительной двукратной обработкой природного клиноптилолитового туфа 0,5 н. HCl для удаления карбонатов, других растворимых в HCl примесей и перевода в  $H^+$ -форму.  $K^+$ -форма получалась последующей обработкой клиноптилолита раствором KCl.

Анионит ЭДЭ-10П содержит три типа протонизирующихся аминогрупп, соответствующих сильно-, средне- и слабоосновным обменным центрам, удерживающим анионы. Его  $NO_3^-$  и  $H_2PO_4^-$ -формы были получены обработкой  $OH^-$ -форм анионита  $HNO_3$  и  $H_3PO_4$  с доведением pH равновесных растворов до 6,44 и 5,85 соответственно. Они содержали по 3,5 м-экв/г иона  $NO_3^-$  и  $H_2PO_4^-$ .

Смывы субстратного раствора для анализа на присутствующие в нем ионы проводили в растворе, получаемом путем пропускания 75 мл дистиллированной или водопроводной воды (в зависимости от полива) через вегетационный сосуд с живыми растениями. Раствор анализировали с помощью ионного хроматографа *Dionex ICS – 3000*.

**Биологические эксперименты.** Экспериментальная культура – Райграс пастбищный (*Lolium perenne* L.), семейства Злаки, год урожая – 2014, средняя масса семени – 4,5 мг.

Перед посадкой провели обеззараживание семян путем 3-часового вымачивания в 1%-ном растворе  $KMnO_4$ . Посадку пророщенных семян осуществляли через трафарет по 36 семян на каждый вегетационный черный пластиковый вазон, объемом 390 мл и высотой 7 см. Полив осуществлялся дистиллированной или водопроводной водой в поддон. Состав водопроводной воды (в м-экв/л):  $K^+$  – 0,22;  $Ca^{2+}$  – 2,74;  $Mg^{2+}$  – 1,22;  $NO_3^-$  – 0,18;  $SO_4^{2-}$  – 0,47;  $H_2PO_4^-$  – 0,010;  $Cl^-$  – 1,20;  $CO_3^{2-}$  – 0,35;  $HCO_3^-$  – 3,75.

Освещение в вегетостате – люминесцентные лампы дневного света освещенностью ~ 20000 Лк (тип ЛПО 10-1-30). Температура воздуха поддерживалась на уровне 21–25 °С. Инертный компонент субстрата – кварцевый песок (фракция 0,10–0,63 мм), отмытый 2 н. HCl для удаления карбонатов и промытый до pH 6,5–7,5 водопроводной водой.

В ходе эксперимента было снято 4 вегетации, различающиеся составом субстрата и поливной воды, по 35 сут каждая. По истечении этого периода растения срезали и оставляли расти на следующий срок. В каждой серии было поставлено 3 повторности. В конце вегетационных периодов проводили измерения средней высоты растений, а также сырой и сухой биомассы надземной части (сушка при 60 °С). Отклонения последних от среднего значения не превышали 10%. Проводили также измерения pH и удельной электропроводности водных смывов с субстратов.

Ионообменные субстраты содержат очень большой запас биогенных ионов в расчете на единицу массы, поэтому оценка их продуктивности при выращивании растений на чистом субстрате может потребовать большего времени для выращивания нескольких поколений растений. Поэтому в качестве грунта используется смесь бесплодного песка и 2 мас.% ионообменного субстрата. В этом случае можно проследить потерю биомассы тест-растений от урожая к урожаю (обычно 3–5 генераций).

Мы определяем условную продуктивность субстрата как биомассу надземной части растений, получаемую с единицы массы ионообменного субстрата до его практически полного истощения. Она меньше полной продуктивности, так как не учитывает массу корневой системы и остающихся после среза нижних частей стеблей растений (~2 см).

Вегетационный сосуд содержал 330 г песка (инертный компонент) и 6,6 г (~2%) ионитного субстрата (смесь насыщенных биогенными ионами смолы ЭДЭ-10П и клиноптилолита).

**Результаты и их обсуждение.** В биологическом эксперименте ставились следующие цели: определить относительную продуктивность композиционных субстратов, содержащих клиноптилолит в K<sup>+</sup>-форме с ионообменной смолой ЭДЭ-10П в NO<sub>3</sub><sup>-</sup> и H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>-формах. (Компоненты, содержащие Ca, Mg, SO<sub>4</sub>, и микроэлементы не добавлялись, так как из литературы известно, что природный клиноптилолит [13] содержит их в своем составе); выяснить влияние умеренной минерализации поливной воды на рост растений на композиционном субстрате; определить практически целесообразное количество биомассы растений, которое может быть получено за счет композиционного субстрата на его смесях с бесплодным грунтом.

В табл. 1 приведены испытанные составы 2%-ной добавки композиционного субстрата к песку. На рисунке представлены полученные результаты по зависимости сухой биомассы надземной биомассы растений от условий эксперимента.

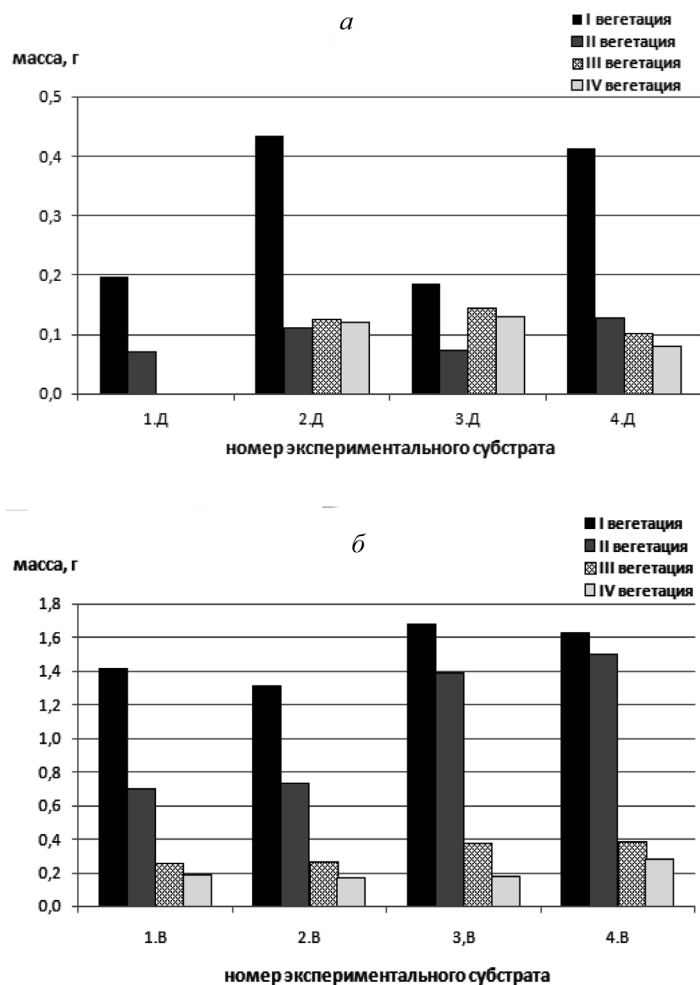
Таблица 1. Состав 2%-ной добавки ионообменного субстрата к песку

Table 1. The composition of 2% ion exchange substrate additive to sand

Номер образца	K <sup>+</sup> м.ф. КП в добавке, мас.%	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> м.ф. ЭДЭ-10П в добавке, мас.%	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> м.ф. ЭДЭ-10П в добавке, мас.%	Добавка микроэлементов	Полив
1Д	70	27,3	2,7	Нет	Дистиллированная вода
1В	70	27,3	2,7	Нет	Водопроводная вода
2Д	70	27,3	2,7	Добавлена	Дистиллированная вода
2В	70	27,3	2,7	Добавлена	Водопроводная вода
3Д	50	45,5	4,5	Нет	Дистиллированная вода
3В	50	45,5	4,5	Нет	Водопроводная вода
4Д	50	45,5	4,5	Добавлена	Дистиллированная вода
4В	50	45,5	4,5	Добавлена	Водопроводная вода

Примечание: м. ф. – моноионная форма.

Очень сильное влияние на количество биомассы оказывает состав поливной воды. Хотя минерализованная вода не содержит в значительных количествах нитрата, аммония и магния, масса надземной части растений при поливе водопроводной водой почти в 10 раз выше, чем при поливе дистиллированной. Из этого следует, что малые урожаи и их резкое уменьшение от вегетации к вегетации не связаны с истощением субстрата. Поскольку высокая потенциальная продуктивность ионитного субстрата не реализуется при использовании для полива дистиллированной



Сухая биомасса растений с одного вазона (среднее значение) при поливе дистиллированной (*а*) и водопроводной (*б*) водой в четырех последовательных вегетациях. Номера под абсциссой соответствуют номерам в табл. 1  
 Dry biomass of plants from one vase (average) for irrigation with distilled (*a*) and tap water (*b*) in four consecutive vegetations. The numbers under x-axis correspond with Table 1

воды, дальнейшие исследования получения высокопродуктивного субстрата для практического применения проводили с водопроводной водой.

Биомасса значительно снижается от вегетации к вегетации. Из рисунка, *б* видно, что около 80 % всей биомассы получено суммарно в первой и второй вегетации, после чего ионообменный субстрат истощается и урожаи становятся неприемлемо низкими.

Суммарное количество сухой биомассы, полученное в двух и четырех вегетациях и отнесенное к килограмму субстрата, добавленного в песок, рассчитывалось как сумма биомасс во всех вегетациях, отнесенная к килограмму ионообменного субстрата. Масса растений, выросших на бесплодном песке, в контрольном эксперименте не учитывалась, так как она была пренебрежимо малой по сравнению с массой экспериментальных растений. Суммарная зеленая биомасса составляет 3–4 кг, или 0,4–0,6 кг соответственно сухой с 1 кг субстрата за 4 вегетации, что соответствует очень плодородному грунту и сравнимо с плодородием ионитного субстрата Биона-311.

Различие в продуктивности субстрата, содержащего 30 и 50 % полимерного компонента, при поливе дистиллированной водой невелико и составляет в первой вегетации около 7 %. При добавлении микроэлементов урожай увеличивается более чем в два раза в первой вегетации и почти не влияет на урожай в последующих вегетациях.

Сложная зависимость продуктивности различных вариантов композиционных субстратов от их состава и условий полива связана с разнонаправленным действием нескольких факторов, влияющих на рост растений. В нашем случае это меняющаяся со временем степень истощенно-

сти субстрата; изменение состава субстратного раствора; различные формы химического состояния питательных элементов в ионообменной смоле и клиноптилолите.

Некоторую ясность в причины сложности таких закономерностей можно получить из данных по анализу смывов с субстрата в конце вегетаций. Они не дают абсолютных значений концентраций в субстратном растворе, но правильно отражают соотношения концентраций ионов. Общая концентрация электролитов характеризуется электрической проводимостью  $\lambda$  выходящего раствора, а кислотность – значением pH. Действительные концентрации ионов, общая засоленность и концентрация ионов водорода, по-видимому, выше, чем эти величины в смывах. Из данных табл. 2 и 3 можно сделать следующие заключения.

Таблица 2. Суммарная биомасса надземной части растений, на килограмм ионообменного субстрата

Table 2. Total biomass of the overground parts of the plant, per kilogram of ion exchange substrate

Номер образца	Сухая биомасса, г		Сырая биомасса, г	
	сумма двух вегетаций	сумма четырех вегетаций	сумма двух вегетаций	сумма четырех вегетаций
1В	0,321	0,387	2,707	3,086
2В	0,310	0,376	2,457	2,855
3В	0,465	0,549	3,865	4,347
4В	0,474	0,574	3,709	4,308

Таблица 3. Концентрация катионов, электропроводность и pH в смывах с субстратов с растущими растениями

Table 3. Cation concentration, conductivity and pH in washings from substrates with growing plants

Номер образца	Конец I вегетации					Конец II вегетации				
	pH	$\lambda$ , $\mu\text{S}$	концентрация, мг/л			pH	$\lambda$ , $\mu\text{S}$	концентрация, мг/л		
			$\text{K}^+$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Ca}^{2+}$			$\text{K}^+$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Ca}^{2+}$
1Д	4,94	35	7,6	0,54	6,7	5,93	15,7	3,23	0,34	1,98
1В	6,20	268	37,3	5,73	10,41	7,10	477	4,21	34,5	87,8
2Д	4,85	35	7,93	0,52	4,25	6,01	13,8	1,69	0,70	–
2В	5,73	198	32,5	2,28	6,29	7,38	552	3,84	38,5	94,3
3Д	4,87	48	9,2	0,33	3,6	6,02	22,4	3,44	0,94	4,19
3В	5,82	292	35,3	6,15	15,07	7,00	362	0,54	30,3	74,9
4Д	4,75	38	8,45	3,45	3,45	6,32	29,2	1,96	1,66	–
4В	5,53	231	34,4	3,37	9,70	7,44	386	0,61	29,9	75,9

В конце первой вегетации субстратный раствор при поливе дистиллированной водой имел pH для разных образцов 4,75–4,94, что далеко от оптимальных значений для *Lolium perenne* (не ниже pH 5,5) [14]. При поливе водопроводной водой pH смывов был в пределах 5,53–6,2. В середине второй вегетации значения pH были в пределах 5,06–5,39 (дистиллированная вода) и 6,95–7,23 (водопроводная вода), а в конце – 5,93–7,44.

Электропроводность смывов меняется для дистиллированной и водопроводной воды следующим образом: конец первой вегетации – 35–48 и 198–292  $\mu\text{S}$ , середина второй вегетации – 15,7–23,8 и 360–469  $\mu\text{S}$ , конец второй вегетации – 13,8–29,2 и 362–552  $\mu\text{S}$ .

Из сравнения этих данных с рисунком видно, что биомасса растений, выросших при поливе дистиллированной водой, во всех вегетациях в 7–10 раз ниже, чем при поливе водопроводной водой. Причиной этого могут являться низкие значения концентрации солей в субстратном растворе, характеризующиеся величиной  $\lambda$ , наблюдавшиеся в конце первой вегетации; в последующих вегетациях  $\lambda$  становится еще ниже и практически стабилизируется на низком уровне. Аналогичная связь между электропроводностью субстратного раствора и урожаем растений наблюдалась для ионитного субстрата, состоящего из сильно диссоциирующих ионитов [15]. С практической точки зрения этого достаточно, чтобы отказаться от использования для полива дистиллированной воды. Однако в этом эксперименте ясно прослеживается роль микроэлементов.



Урожай в первой вегетации при поливе дистиллированной водой увеличивались вдвое, тогда как в последующих вегетациях они оставались практически на том же уровне. Поступление микроэлементов путем их введения в виде смеси осадков резко увеличивает урожай в первой вегетации и почти не влияет на него в последующих вегетациях, вероятно, из-за исчерпания их запаса.

Полив водопроводной водой, которая содержит в преобладающих концентрациях двухзарядные ионы  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{SO}_4^{2-}$ , способствует выделению ионов микроэлементов из природного клиноптилолита за счет ионного обмена. Это приводит к тому, что введение микроэлементов в виде смеси осадков лишь слегка (на 4 %) повысило урожай в 2–4 вегетациях. Основным фактором, приводящим к возрастанию урожая при поливе водопроводной водой, является увеличение концентрации электролитов в субстратном растворе, что ускоряет транспорт ионов питательных веществ из частиц полимерного и минерального ионитов в растение. Поступающие с водопроводной водой в высоких концентрациях ионы кальция и сульфата способствуют ускорению диффузии продуктов их обмена и смещению равновесия ионного обмена в сторону преимущественного связывания с ионитом однозарядных ионов ( $\text{K}^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ). Наряду с положительным действием это приводит и к нежелательному эффекту: соотношения концентрации  $\text{K}^+/\text{Mg}^{2+}$  и  $\text{K}^+/\text{Ca}^{2+}$  далеки от оптимальных, используемых в питательных растворах (1–2 и 0,5–1 соответственно) (табл. 4).

Таблица 4. Соотношение макрокатионов в смывах с субстратов с растущими растениями

Table 4. The ratio of macro-cations in washings from substrates with growing plants

Номер образца	Конец I вегетации		Конец II вегетации	
	$\text{K}^+/\text{Mg}^{2+}$ (норма 1–2)	$\text{K}^+/\text{Ca}^{2+}$ (норма 0,5–1)	$\text{K}^+/\text{Mg}^{2+}$ (норма 1–2)	$\text{K}^+/\text{Ca}^{2+}$ (норма 0,5–1)
1Д	14	1,13	9,5	1,6
1В	6,5	3,6	0,12	0,04
2Д	15	1,9	2,4	–
2В	14,3	5,2	0,1	0,04
3Д	28	2,6	3,7	0,82
3В	5,7	2,3	0,02	0,01
4Д	2,4	2,4	1,18	–
4В	10,2	3,5	0,02	0,01

В субстратных растворах в первой вегетации отношение  $\text{K}^+/\text{Mg}^{2+}$  слишком велико, вероятно, из-за недостатка  $\text{Mg}^{2+}$ , а соотношение  $\text{K}^+/\text{Ca}^{2+}$  слишком велико из-за избытка  $\text{Ca}^{2+}$ , поступающего в прикорневую зону из водопроводной воды. Во второй вегетации эти соотношения приближаются к оптимуму. В итоге при введении микроэлементов получается увеличение биомассы во второй вегетации. Кроме того, увеличение биомассы растений связано с тем, что второе поколение растений растет на развитой в первой вегетации корневой системе.

**Заключение.** Несмотря на отмеченные отклонения от оптимума в химическом составе субстратного раствора в лучших образцах (полив водопроводной водой с однократным предварительным введением микроэлементов) продуктивность композитных субстратов оказалась очень высокой. Урожайность растений с 30 и 50 % ЭДЭ-10П различается незначительно. Продуктивность лучших образцов субстратов в первых двух вегетациях составляет ~0,5 кг сухой и ~3,8 кг зеленой биомассы без учета биомассы корней на килограмм ионообменного субстрата, что соответствует уровню ионитных субстратов Биона со стиролдивинилбензолным сульфокатионитом.

Таким образом, сульфокатионит в составе ионообменного субстрата Биона может быть полностью заменен на природный клиноптилолит без потери его продуктивности при поливе растений минерализованной (например, водопроводной) водой. Рекомендуется использовать композиционный субстрат без регенерации до получения на нем не более 80 % от его полной продуктивности, что составляет ~0,5 кг сухой (~5 кг сырой) надземной биомассы растений на килограмм ионитного субстрата.

## Список использованных источников

1. Блэк, К. А. Растение и почва / К. А. Блэк. – М.: Колос, 1973. – 502 с.
2. Хьюитт, Э. Песчаные и водные культуры в изучении питания растений / Хьюитт Э. – М., 1965. – 155 с.
3. Солдатов, В. С. Искусственные почвы на основе ионообменных материалов / В. С. Солдатов, В. М. Терентьев, Н. Г. Перышкина // Докл. Акад. наук БССР. – 1968. – Т. XII, № 4. – С. 357–359.
4. Солдатов, В. С. Искусственные питательные среды для роста растений на основе ионообменных материалов / В. С. Солдатов, В. М. Терентьев, Н. Г. Перышкина // Агрохимия. – 1969. – № 2. – С. 101–108.
5. Солдатов, В. С. Методы получения ионитных субстратов. Сообщ. 2 / В. С. Солдатов, Н. Г. Перышкина, Р. П. Хорошко // Агрохимия. – 1971. – № 11. – С. 103–108.
6. Солдатов, В. С. Ионитные почвы / В. С. Солдатов, Н. Г. Перышкина, Р. П. Хорошко. – Минск: Наука и техника, 1978. – 270 с.
7. Федюнькин, Д. В. Эффективность замены в искусственной ионитной почве ИС-2 синтетического катионита КУ-2 природным ионообменником / Д. В. Федюнькин, Л. Л. Кошалева // Докл. Акад. наук БССР. – 1985. – Т. XXIX, № 4. – С. 367–370.
8. Кошалева, Л. Л. Уплыў мінеральнай дабаўкі да штучнай іанітнай глебы на фізіёлага-біяхімічныя характарыстыкі і прадукцыйнасць раслін / Л. Л. Кошалева, Д. В. Федзюнькін // Весті Акад. навук БССР. – 1984. – № 5. – С. 15–20.
9. Мытько, Л. В. Использование ионообменных субстратов в длительной культуре овощных растений / Л. В. Мытько [и др.] // Агрохимия. – 1989. – № 7. – С. 51–58.
10. Fursenko, V. A. Zeolitic tuff utilization in manufacture of innovative materials: a review / V. A. Fursenko, L. K. Kazantseva, I. A. Belitsky // Pr. Natural zeolite meeting Ishia'98. – Italy. – 2000. – P. 337–349.
11. Солдатов, В. С. Исследование избирательности поглощения биогенных катионов некоторыми клиноптилолитами / В. С. Солдатов [и др.] // Материалы Всесоюз. науч. конф. по добыче, переработке и применению природных цеолитов // Горы, 19–21 ноября, 1989 г. – Тбилиси, 1989. – С. 291–294.
12. Дуварова, А. С. Тедзамский цеолит - основные сведения о применении и результатах медико-биологических исследований / А. С. Дуварова, Л. И. Амбарцумян // Докл. republ. конф. – М., 1988. – С. 68–74.
13. Брек, Д. Цеолитовые молекулярные сита / Д. Брек. – М.: Мир, 1976. – 781 с.
14. Шишкин, А. И. Однолетний райграс как высокотравянистое растение / А. И. Шишкин // Докл. Всесоюз. ордена Ленина акад. с/х наук. – 1967. – № 1.
15. Солдатов, В. С. Ионитные субстраты для растений на основе сильнодиссоциирующих ионитов / В. С. Солдатов, О. В. Ионова, С. Ю. Косандрович // Агрохимия. – 2015. – № 6. – С. 19–24.

## References

1. Black C. A., *Rastenie i pochva* [Plant and soil], Kolos, Moscow, RU, 1973.
2. Kh'iuitt E., *Peschanye i vodnye kul'tury v izuchenii pitaniia rastenii* [Sand and water culture methods used in the study of plant nutrition], Moscow, RU, 1965.
3. Soldatov V. S., Terent'ev V. M., Peryshkina N. G., "Artificial soil on the base of ion-exchange materials", *Doklady Akademii nauk BSSSR* [Reports of the Academy of Sciences of BSSR], 1968, vol. XII, no. 4, pp. 357–359.
4. Soldatov V. S., Terent'ev V. M., Peryshkina N. G., "Artificial nutrient mediums for plants growing on the base of ion-exchange materials", *Agrokhimiia* [Agrochemistry], 1969, no. 2, pp. 101–108.
5. Soldatov V. S., Peryshkina N. G., "Methods of preparation of ion-exchange substrates", *Agrokhimiia* [Agrochemistry], 1971, no. 11, pp. 103–108.
6. Soldatov V. S., Peryshkina N. G., Khoroshko R. P., *Ionitnye pochvy* [Ion-exchange soils], Nauka i tekhnika, Minsk, BY, 1978.
7. Fediunkin D. V., Kosheleva L. L., "The effectiveness of the replacement of synthetic cation exchange KU-2 in the artificial ion exchange soil IS-2 by natural ion exchange", *Doklady Akademii nauk BSSSR* [Reports of the Academy of Sciences of BSSR], 1985, vol. XXIX, no. 4, pp. 367–370.
8. Koshaleva L. L., Fediunkin D. V., "The influence of mineral addition to the exchange soil on physiological and biochemical characteristics and productivity of plants", *Vesti Natsyonal'nai akademii navuk Belarusi. Seriya khimichnykh navuk* [Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Chemistry Series], 1984, no. 5, pp. 15–20.
9. Myt'ko L. V., Lukashevich L. I., Khirsanova I. F., Verbitskaia N. A., Ol'shanikova A. L., "The use of ion-exchange substrates in long term culture of vegetable plants", *Agrokhimiia* [Agrochemistry], 1989, no. 7, pp. 51–58.
10. Fursenko V. A., Kazantseva L. K., Belitsky I. A., "Zeolitic tuff utilization in manufacture of innovative materials: a review", International conference "Natural zeolite meeting Ishia'98, Italy", 2000, pp. 337–349.
11. Soldatov V. S., Khoroshko R. P., Khirsanova I. F., Peryshkina N. G., "The investigation of sorption selectivity of nutrient cations by some clinoptilolites", *Materialy Vsesoiuznoi konferentsii po dobyche, pererabotke i primeneniiu prirodnykh tseolitov, Tbilisi* [Materials of all-Union conference on extraction, processing and application of natural zeolites. Tbilisi], 1989, pp. 291–294.
12. Duvarova A. S., Ambartsumian L. I., "Tedzami zeolite - main information about application and biomedical research results", *Primenenie prirodnykh tseolitov v narodnom khoziaistve, Doklady respublikanskoi konferentsii, Kemerovo, 1988* [Application of natural zeolites in the national economy, Reports of the Republican Conference, Kemerovo, 1988], Kemerovo, RU, 1988, pp. 68–74.

13. Brek D., *Tseolitovye molekuliarnye sita* [Zeolite molecular sieves], Mir, Moscow, RU, 1976.
14. Shishkin A. I., “Annual ryegrass as high productivity plant”, *Doklady Vsesoiuznoi ordena Lenina akademii sel'skokhoziaistvennykh nauk* [Reports of all-Union order of Lenin Academy of agricultural Sciences]. 1967, no. 1.
15. Soldatov V. S., Ionova O. V., Kosandrovich S. Iu., “Ton exchange substrates for plants on the base of strong dissociating ion-exchange resins”, *Agrokimiia* [Agrochemistry], 2015, no. 6, pp. 19–24.

### Информация об авторах

*Косандрович Светлана Юрьевна* – науч. сотрудник, Институт физико-органической химии НАН Беларуси (ул. Сурганова, 13, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: svetlanakos79@yandex.ru.

*Ионова Ольга Владимировна* – науч. сотрудник, Институт физико-органической химии НАН Беларуси (ул. Сурганова, 13, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: olga.ionova@tut.by.

*Солдатов Владимир Сергеевич* – академик, д-р хим. наук, профессор, зав. лаб. ионного обмена и сорбции, Институт физико-органической химии НАН Беларуси (ул. Сурганова, 13, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: soldatov@ifoch.bas-net.by.

### Information about the authors

*Svetlana Yu. Kasandrovich* – Researcher, Institute of Physical Organic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus (13, Surganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: svetlanakos79@yandex.ru.

*Olga V. Ionova* – Researcher, Institute of Physical Organic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus (13, Surganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: olga.ionova@tut.by.

*Vladimir S. Soldatov* – Academician, D. Sc. (Chemistry), Professor, Head of the Laboratory of ion exchange and sorption, Institute of Physical Organic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus (13, Surganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: soldatov@ifoch.bas-net.by.