

УДК: 543/546+54.058+577 (5-01)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОРБЕНТОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ ЗАГРЯЗНЕННЫХ СВИНЦОМ ПОЧВ СЕМЕЙСКОГО РЕГИОНА

Абдуажитова А.М., Липихина А.В., Жакупова Ш.Б.

НИИ радиационной медицины и экологии Министерства здравоохранения Республики Казахстан, Семей, e-mail: b_asel_m@mail.ru

Результаты исследований показали, что на увеличение процессов поглощения ионов свинца почвами влияют размеры частиц используемого цеолита (2 и 0,2 мм) и температурный режим активации используемого цеолита (300 °С, 450 °С и 600 °С). При внесении активированного при 450 °С цеолита помолов 2 мм и 0,2 мм поглощательная способность всех исследуемых почв в 1,5-2,5 раза выше, чем при 300 °С и 600 °С.

Ключевые слова: загрязнение, выбросы, свинец, почва, сорбент, цеолит

THE USE OF SORBENTS FOR DECONTAMINATION OF LEAD POLLUTED SOILS OF SEMEY REGION

Abduazhitova A.M., Lipikhina A.V., Zhakupova S.B.

Scientific-research institute for radiation medicine and ecology of Ministry of Health of the Republic of Kazakhstan, Semey, e-mail: b_asel_m@mail.ru

The results of studies showed that the increase of absorption of lead ions by soils is affected by the particle size of the used zeolite (2 and 0,2 mm) and activation temperature of the used zeolite (300 °С, 450 °С and 600 °С). At entering zeolite activated at 450 °С of 2 mm and 0,2 mm milling absorbability of all investigated soils is 1,5-2,5 times higher than when 300 °С and 600 °С.

Keywords: pollution, emissions, lead, soil, sorbent, zeolite

Необходимость оценки устойчивости почв к различным антропогенным воздействиям на объекты окружающей среды, вызвано не только осложняющейся экологической ситуацией, связанной с увеличением техногенных нагрузок на окружающую среду, но и возрастающей актуальностью к данной проблеме. Обусловлено это осознанием масштабов реальной экологической опасности, одной из причин которого является загрязнение окружающей среды. Особую группу загрязняющих веществ составляют тяжелые металлы (ТМ), которые обладают самой высокой техногенностью и токсичностью. Экологическая оценка устойчивости почв Казахстана, и в частности Семейского региона, к загрязнению ТМ не проводилась, что и привело к необходимости исследований по данной проблеме. В качестве исследуемого ТМ был выбран именно свинец, так как он является приоритетным загрязнителем Семейского региона. Это связано с тем, что на исследуемой территории находятся значительное количество разрабатываемых месторождений полиметаллических руд (в состав которых входит значительное количество меди), современные промышленные производства – Жезкентский горно-обогатительный комбинат, медеплавильный комбинат в с. Глубокое, предприятия цветной металлургии, машиностроения, металлообрабатывающей и химической промышленности, выбрасывающие в окружающую

среду большие количества соединений свинца [3]. Проблема свинца имеет важный экологический аспект. Свинец относится к ТМ I класса опасности. Его соединения в повышенных концентрациях обладают высокой токсичностью, мутагенным и канцерогенным эффектом, способны к биоаккумуляции, то есть оказывают вредное воздействие на экосистемы. Соединения свинца техногенного генезиса активно воздействуют на все компоненты ландшафта, но наибольшую нагрузку испытывают почвы. Загрязнение почв свинцом – долговременное и трудно устранимое явление (период его полуудаления составляет от 740 до 5900 лет) [1]. К числу важнейших процессов, контролирующих миграционную способность ТМ в системе «почва-растения», относятся процессы адсорбции, поэтому изучение адсорбционных свойств почв при различном уровне техногенного воздействия – серьезная задача почвенной экологии, важная в научном и практическом аспекте, решение которой позволит оценить экологическое состояние почвенного покрова, разработать мероприятия по снижению или ликвидации токсико-экологических последствий загрязнения. Адсорбционная способность почв по отношению к свинцу зависит от их гранулометрического и минералогического состава, содержания гумуса и карбонатов, pH среды, емкости поглощения. Кроме этого, на процессы адсорбции

оказывают влияние и некоторые другие. Так, современная агрохимическая практика располагает сорбентами, такими как цеолиты, которые, способны влиять на подвижность металлов и их миграцию в почвенном растворе. Компоненты цеолитов могут менять подвижность свинца путем адсорбции. В связи с этим весьма актуальным является изучение их влияния на адсорбционные процессы.

Цель исследования: исследование процессов адсорбции свинца наиболее распространенными и используемыми в сельскохозяйственном производстве почвами Семейского региона в зависимости от дозы, величины помола и температуры активации внесенных сорбентов (цеолитов), а также от концентрации ионов свинца Pb^{2+} в модельных растворах.

Материалы и методы исследования

Работа была выполнена на базе бывшего Семипалатинского государственного педагогического института в рамках диссертационной работы «Поглощение

свинца каштановыми почвами Семипалатинского Прииртышья».

В качестве объектов исследования были использованы гумусовые горизонты (0-20 см) каштановых почв, широко распространенных в Семипалатинском Прииртышье: типичные выщелоченные слабогумусированные супесчаные, типичные выщелоченные слабогумусированные среднесуглинистые и солонцеватые выщелоченные слабогумусированные среднесуглинистые (типы почв указаны согласно классификации [2]). Образцы отбирали на участках, не подверженных техногенному воздействию. Это позволяет предполагать, что полученные в результате исследования данные о поглотительной способности почв не являются заниженными, так как почвы не были изначально загрязнены свинцом. Цеолиты 40, 60, 80 т/га (помол 2 мм и 0,2 мм) вносили в почву в сухом виде, тщательно перемешивали, заливали растворами нитрата указанных концентраций. Пересчет на используемую навеску почвы проводили, принимая оптимальную для большинства сельскохозяйственных культур плотность сложения почвы равной $1,2 \text{ г/см}^3$ [4], мощность пахотного слоя – 20 см.

Исследуемые почвы отбирали на участках, не подверженных техногенному воздействию. Физико-химические показатели исследуемых почв значительно различаются (табл. 1).

Таблица 1

Физико-химический состав исследуемых почв

Почвы	pH _{воды}	Гумус, %	Ил, %	Физическая глина, %	ЕКО, мг-экв/100 г
1	7,2	0,9	10,1	15,2	9,5
2	7,0	2,5	15,3	26,1	17,8
3	6,9	2,3	19,5	28,9	20,4

Примечание. 1 – типичная выщелоченная слабогумусированная супесчаная почва; 2 – типичная выщелоченная слабогумусированная среднесуглинистая почва; 3 – солонцеватая выщелоченная слабогумусированная среднесуглинистая почва.

В целом почвы являются нейтральными – pH около 7; бедными гумусом (самыми бедными являются типичные выщелоченные слабогумусированные супесчаные почвы), имеют в своем составе различное количество ила и физической глины (наибольшее содержание указанных компонентов наблюдается в солонцеватых выщелоченных слабогумусированных среднесуглинистых почвах). Выявлены существенные отличия в емкости катионного обмена.

В качестве сорбентов в работе использовались природные цеолиты. Цеолиты представляют собой пористые кристаллические алюмосиликаты, природные минералы, имеющую развитую внутреннюю поверхность, вследствие чего способны поглощать относительно большие количества солей ТМ. Цеолиты обладают высокой селективностью по отношению ко многим ТМ [5]. Применение природных цеолитов основано на сравнительно высокой емкости катион-

ного и молекулярного обмена этих минералов, что существенно влияет на снижение подвижности ТМ.

В ходе эксперимента нами были использованы цеолиты месторождения «Семейтау».

Основной минеральный состав (%) цеолитов данного месторождения следующий: клиноптилолит – 70-75; монтмориллонит – 5-7; кварц, кристобалит, обломки эффузивов – до 25. Химический состав, %: SiO_2 – 72,8-74,7; Al_2O_3 – 10,6-12,2; CaO – 1,6-2,1; K_2O – 4,2-6; Fe_2O_3 – 1,5-2,3; MgO – 0,25-0,5; Na_2O – 1,9-2,2; FeO – 0,02-0,03; TiO_2 – 0,2-0,3; MnO – 0,01-0,02; SO_3 – 0,12-0,23; H_2O – 6,14-8,75. Микроэлементный состав (мг/кг): As – 2,3; Ba – 200; Be – 2,3; Cd – 0,5; Co – 2,8; Cr – 18,3; Cu – 23,8; Ni – 13,4; Pb – 11,7; Sr – 96,8; V 47,2; Zn – 31,2. Как видно из полученных данных, исследуемые цеолиты являются экологически безопасными. Результаты исследований показали, что на увеличение процессов поглощения ионов свинца почвами влияют

размеры частиц используемого цеолита (2 и 0,2 мм), концентрация ионов свинца Pb²⁺ в модельных растворах и температурный режим активации используемого цеолита (300 °С, 450 °С и 600 °С). Результаты эксперимента представлены в табл. 2 и 3.

Как видно при внесении цеолитов помола 2 мм и 0,2 мм в каштановые почвы наблюдаются изменения поглотительных свойств исследуемых почв. При использовании цеолита помола 0,2 мм поглотительная способность всех исследуемых почв в среднем в 1,5 раза выше, чем при использовании цеолита помола 2 мм.

Это объясняется тем, что при внесении в почву измельченного до высокой степени дисперсности природного цеолита – 0,2 мм, в ней возрастает относительное содержание активной минеральной фракции с высокими ионообменными свойствами, вследствие чего увеличивается общая емкость поглощения. Причем, чем выше концентрация ионов свинца в модельных растворах, тем выше количество поглощенного металла. Данная закономерность наблюдается на всех типах почв. Доза внесенного цеолита в данном случае не оказывает существенного влияния. Результаты эксперимента по влиянию термической активации цеолита на поглощение ионов свинца каштановыми почвами представлены в табл. 3.

Было выявлено, что при внесении активированного при 450 °С цеолита помола 2 мм поглотительная способность типичной выщелоченной слабогумусированной супесчаной почвой в среднем в 1,5 раза выше, чем при 300 °С и в 2,5 раза выше, чем при 600 °С; типичной выщелоченной слабогумусированной среднесуглинистой почвой в 1,5 раза выше, чем при 300 °С и 600 °С; солонцеватой выщелоченной слабогумусированной среднесуглинистой почвой в 2 раза выше, чем при 300 °С и 600 °С. А при внесении активированного при 450 °С цеолита помола 0,2 мм поглотительная способность типичной выщелоченной слабогумусированной супесчаной почвой в среднем в 1,5 раза выше, чем при 300 °С и в 2,5 раза выше, чем при 600 °С; типичной выщелоченной слабогумусированной среднесуглинистой почвой в 1,5 раза выше, чем при 300 °С и в 2,5 раза выше, чем при 600 °С; солонцеватой выщелоченной слабогумусированной среднесуглинистой почвой в 2,5 раза выше, чем при 300 °С и в 3 раза выше, чем при 600 °С. В данном случае доза внесенного цеолита оказывает определенное влияние на поглотительную способность почв. Чем выше доза, тем количество поглощенного металла в среднем увеличивается в 1,5-2 раза.

Таблица 2

Количество поглощенного почвой свинца при внесении цеолита, не подверженного термической обработке, мМ/кг

Почвы	Доза цеолита	Концентрация модельных растворов, мМ/л						
		Помол 2 мм						
1	2	0,5	1,0	1,5	2,5	5,0	7,5	10,0
1	Фон	3-3,5 3,5±0,1(2)	6,5-7,5 7,5±0,2(2)	11-11,5 11,5±0,4(3,5)	18,5-19 19±0,5(2,5)	36-37,5 37±0,5(11)	53-54,5 54±0,4(18)	68,5-70 69±0,5(13)
	40	4-5,5 4,5±0,1(1)	7,5-8,5 8±0,15(5)	10,5-11,5 11±0,33(3)	18-19,5 19±0,2(5)	36,5-38 37,5±0,35(9)	53,5-55,5 55±0,2(21)	69,5-71 70±0,55(7)
	60	4-5,5 4,5±0,1(1)	7-9,5 8,5±0,25(3)	11,5-12,5 12±0,5(5,5)	18,5-19 19,5±0,1(1,5)	38-39,5 38,5±0,1(8)	55-57,5 56±0,5(11)	71-72,5 71,5±0,3(15)
	80	4,5-5,5 5±0,17(1,5)	7-9,5 8,5±0,25(3)	11,5-12,5 12±0,5(7,5)	19,5-21 20±0,5(3)	38-39,5 38,5±0,25(14)	55-57,5 56±0,5(11)	71,5-73,5 72±0,5(18)
2	Фон	3,5-4,5 4±0,2(1,5)	7-8,5 8±0,3(5)	11,5-12,5 12±0,5(3)	19-19,5 19,5±1(7)	39,5-41 40±1(9,5)	54,5-55,5 55±0,3(12)	69-70,5 69,5±1(14)
	40	4-5,5 4,5±0,17(1)	8-9,5 9±0,1(7)	11-12,5 12±0,2(5)	19-20,5 20±0,6(11)	39-40,5 40±0,2(15)	55,5-57,5 56±0,1(8)	71-72,5 72±0,6(7,5)
	60	3,5-5 4,5±0,17(1)	7-9,5 8,5±0,15(4)	11,5-13,5 12,5±0,1(1,5)	20-21,5 20,5±0,2(7)	40-41,5 41±0,5(9)	58-60,5 58,5±0,5(14)	74-75,5 75±1(19)
	80	4,5-5,5 5±0,1(2)	8-9,5 9±0,2(6)	12,5-14 13±0,03(8)	20,5-22 21±0,8(9)	40,5-42,5 41,5±0,5(7)	59,5-61,5 60,5±0,3(9)	76,5-77,5 77±0,5(11)
3	Фон	4-5,5 4,5±0,1(1,5)	7-8,5 8±0,3(5)	12-13,5 13±0,07(8)	20-21,5 21,5±0,7(10)	41-42,5 42,5±0,8(11)	57-58,5 58±0,7(13)	69,5-71 70±1(11)
	40	3,5-5 4,5±0,15(1)	8,5-10 9±0,1(7)	12-13,5 13±0,4(8)	21,5-22,5 22±0,25(14)	42,5-44 43±0,7(10)	58-60,5 60±0,3(17)	72,5-74 73,5±0,8(15)
	60	4,5-5,5 5±0,05(2)	8,5-10 9±0,1(7)	13-14,5 13,5±0,1(3,5)	21-23,5 22±0,25(14)	43-44,5 43,5±0,4(9)	61,5-63,5 62±0,5(11)	76,5-78 77±0,5(8)
	80	4,5-5,5 5±0,05(2)	9-10,5 9,5±0,07(3)	13-14,5 13,5±0,1(3,5)	22-23,5 22,5±0,5(11)	43,5-45,5 44±0,6(13)	64-65,5 64,5±0,8(16)	80,5-82 81±1(10)

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Фон	3-3,5 3,5±0,1(2)	6,5-7,5 7,5±0,2(2)	11-11,5 11,5±0,4(3,5)	18,5-19 19±0,5(2,5)	36-37,5 37±0,5(11)	53-54,5 54±0,4(18)	68,5-70 69±0,5(13)
	40	4-5,5 5±0,04(1,7)	9-10,5 9,5±0,1(5)	13-14,5 14±0,17(3)	21,5-23 22,5±0,3(2)	43,5-44,5 44±0,2(17)	63-65,5 64,5±0,06(11)	82,5-83 82±0,1(19)
	60	4-5,5 5±0,04(1,7)	8,5-9,5 9±0,1(7)	13-14,5 14±0,17(3)	22,5-23,5 23±0,33(5)	44,5-45,5 45±0,3(13)	64,5-66,5 65,5±0,1(9)	82,5-83 83±0,06(9)
	80	5-6,5 5,5±0,02(1)	9,5-10,5 10±0,08(5)	13,5-15,5 14,5±0,2(5)	22,5-24 23,5±0,2(3,5)	45-46,5 46±0,1(9)	65,5-67 66±0,05(13)	83,5-85 84,5±0,07(11)
2	Фон	3,5-4,5 4±0,2(1,5)	7-8,5 8±0,3(5)	11,5-12,5 12±0,5(3)	19-19,5 19,5±1(7)	39,5-41 40±1(9,5)	54,5-55,5 55±0,3(12)	69-70,5 69,5±1(14)
	40	4,5-5,5 5±0,07(2)	8,5-10,5 9,5±0,1(2)	14-15,5 14,5±0,15(5)	23-24,5 24±0,2(5)	51,5-52,5 52±0,25(7)	70-71,5 70,5±0,1(10)	89-90,5 90±0,03(9)
	60	4-5,5 5,5±0,1(1)	9-10,5 10±0,07(6)	14,5-15,5 15±0,1(4)	24,5-26,5 25,5±0,1(4)	50,5-51,5 51±0,2(9)	72-73,5 73±0,17(11)	90-91,5 90,5±0,07(12)
	80	4,5-5,5 5,5±0,1(1)	10-11,5 10,5±0,08(1)	15-16,5 15,5±0,1(3)	25,5-26,5 26±0,3(9)	51,5-53 52±0,17(5)	74,5-76 75,5±0,2(13)	97-99 98±1(15)
3	Фон	4-5,5 4,5±0,1(1,5)	7-8,5 8±0,3(5)	12-13,5 13±0,07(8)	20-21,5 21,5±0,7(10)	41-42,5 42,5±0,8(11)	57-58,5 58±0,7(13)	69,5-71 70±1(11)
	40	4,5-6 5,5±0,15(1)	8,5-11,5 11±0,15(3)	14-16,5 15,5±0,05(10)	26-27,5 27±0,35(6)	52,5-54,5 53,5±0,25(15)	77,5-79,5 78,5±0,2(7)	96-97,5 96,5±0,07(13)
	60	4,5-6 5,5±0,15(1)	11-12,5 11,5±0,08(7)	14-16,5 15,5±0,05(10)	26,5-28 27±0,4(11)	53-55,5 54,5±0,13(10)	80-81,5 81±0,15(11)	97,5-99 98,5±0,03(7)
	80	5,5-6,5 6±0,05(2,5)	11,5-12,5 12±0,3(5)	15-16,5 16±0,01(2)	27,5-29 28±0,2(16)	55-57,5 56,5±0,1(7)	81,5-82,5 82±0,25(17)	100-102,5 102±1(17)

Таблица 3

Количество поглощенного свинца при использовании термически активированного при 300, 450 и 600 °С цеолита, мМ/кг

Поч- вы	Доза цеоли- та	Помол цеолита 2 мм. Концентрация модельных растворов, мМ/л						
		0,5	1,0	1,5	2,5	5,0	7,5	10,0
1	Фон	3,5	7,5	11,5	19	37	54	69
	40	2 / 7,5 / 1,5	5,5 / 12 / 5	11 / 14,5 / 8	13 / 21,5 / 10	28 / 35,5 / 12	38,4 / 58 / 19,5	58,7 / 71,5 / 22
	60	3,5 / 9 / 2,5	7 / 13 / 7	12 / 15,5 / 8,5	15 / 24,5 / 11	31,5 / 38 / 13	53,5 / 61,3 / 22,3	65 / 75 / 24,8
	80	5 / 10,5 / 3,5	8 / 14 / 7,5	13 / 16,5 / 10	18 / 28 / 14	37 / 42,5 / 16,5	56 / 70,7 / 23,5	70 / 84,6 / 27,3
2	Фон	4	8	12	19,5	40	55	69,5
	40	4 / 8,5 / 2	8,5 / 14 / 8,5	12,5 / 17,5 / 11	19 / 22,5 / 13	36 / 40 / 15	46,5 / 60,7 / 22,6	65 / 88,2 / 24
	60	5,5 / 10,5 / 3,5	10 / 20 / 9	13,5 / 24 / 13,5	21,5 / 30 / 15,5	40 / 56 / 17	55 / 72,2 / 24,5	69,2 / 96,7 / 26
	80	6,5 / 12 / 7	11 / 24 / 11,5	15 / 32 / 16,5	23,5 / 37,5 / 17	42 / 61,5 / 18	58,4 / 81,6 / 25	71,5 / 114 / 27,8
3	Фон	4,5	9	13	21,5	42,5	58	70
	40	5 / 13 / 7,5	10 / 22,5 / 10	13 / 30,5 / 11	21,5 / 41,5 / 13	39 / 50 / 16	56 / 75 / 19,5	69 / 91,4 / 20,8
	60	6 / 19 / 8,5	11 / 31 / 12	14,5 / 37,5 / 14	24 / 48,5 / 16,5	42 / 61,5 / 17,5	60,2 / 84,5 / 21,2	72,3 / 103,6 / 23
	80	7,5 / 21,5 / 9,5	12 / 41 / 13,5	15,5 / 50 / 16,5	28 / 56 / 19,5	43,5 / 70,5 / 24	61 / 98,8 / 26,5	74,5 / 129 / 28
1	Фон	3,5	7,5	11,5	19	37	54	69
	40	5 / 8,5 / 2	10 / 13,5 / 5	15,5 / 16 / 8,5	23 / 23 / 10,5	45 / 37 / 12,5	65,4 / 60 / 60,6	83 / 75 / 23
	60	5,5 / 10 / 3	11 / 15 / 7,5	16 / 17 / 9	24 / 26 / 11	46 / 40,5 / 14	66 / 64,9 / 23	84 / 78,5 / 25
	80	5,5 / 11,5 / 4,5	11,5 / 16 / 8	16,5 / 19 / 10	24 / 30,5 / 14	47 / 46 / 17	66 / 73,6 / 24	85 / 86 / 28,3
2	Фон	4	8	12	19,5	40	55	69,5
	40	5,5 / 10 / 3,5	10 / 17 / 9	14 / 20 / 12	25 / 25 / 14,5	53 / 43 / 17	73 / 65,7 / 23	91,8 / 91 / 25,8
	60	6 / 12 / 4,5	10 / 24 / 10,5	15,5 / 27 / 14	26 / 34 / 16	54 / 58 / 18,5	74 / 77,8 / 25	93,6 / 98 / 27
	80	6,5 / 15 / 8	11 / 26 / 12,5	17 / 33 / 16	28 / 40 / 18	55 / 64 / 19,5	76,8 / 86 / 26	98 / 117 / 28,5
3	Фон	4,5	9	13	21,5	42,5	58	70
	40	6 / 16,5 / 8	12 / 24 / 11,5	16 / 34 / 13	28,5 / 45 / 15	54,5 / 53 / 18	79,5 / 77 / 21	98 / 95 / 23
	60	6,5 / 23 / 10	12,5 / 33 / 13	17 / 40,5 / 14	30 / 51 / 16	55 / 64 / 18,5	81,3 / 86 / 23,8	105 / 109 / 27,8
	80	7 / 25 / 10,5	13 / 44 / 15	18 / 55 / 17	30 / 60 / 19,5	58 / 74 / 25	83 / 100,6 / 28	106,3 / 132 / 28

Примечание. Слева направо: термическая активация цеолита при 300 °С, 450 °С и 600 °С.

Очевидно, что оптимальной температурой активации цеолита, способствующей значительному увеличению поглотительных свойств исследуемых почв, является температура 450°C. Данная термическая обработка улучшает катионообменную способность цеолитов за счет выделения из минералов свободной воды и увеличения удельной поверхности.

Из всего вышеизложенного можно сделать вывод, что наиболее эффективным способом очистки загрязненных свинцом почв является внесение в почву цеолита помола 0,2 мм, термически активированного при 450°C и доза вносимого цеолита должна составлять 80 т/га.

Выводы

Впервые исследована адсорбция свинца каштановыми почвами Семейского региона в зависимости от дозы, величины помола и термической активации цеолита по отношению к свинцу. При внесении активиро-

ванного при 450°C цеолита помолов 2 мм и 0,2 мм поглотительная способность всех исследуемых почв в 1,5-2,5 раза выше, чем при 300°C и 600°C.

Применение цеолитов не только не представляет экологической опасности для почв, но и сопровождается высоким детоксикационным эффектом, при этом необходимо учитывать экономическую целесообразность их применения.

Список литературы

1. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
2. Классификация почв России / Составители: Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева. – М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева РАСХН, 1997. – 236 с.
3. Панин М.С. Формы соединений тяжёлых металлов в почвах средней полосы Восточного Казахстана (фоновый уровень). – Семипалатинск: ГУ «Семей». – 1999. – 329 с.
4. Попова А.А. Влияние минеральных и органических удобрений на состояние тяжёлых металлов в почвах // Агротехника. – 1991. – № 3. – С. 62-67.
5. Тарасевич И.Ю., Кардашова М.Б., Поляков В.Е. Селективность ионного обмена на клиноптилолите // Коллоидный журнал, 1997. Т.59. №6. С.813-818.