

МЕЛИОРАЦИЯ ПОЧВ

ГРНТИ 68.05.29; 68.05.43; 68.33.31

DOI: 10.51886/1999-740X_2024_4_38

А.Х. Наушабаев^{1*}, Н. Сейткали¹, К.О. Караева¹,
Е.С. Абилдаев¹, Г.О. Бейсенова¹

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕМЕНТАРНОЙ СЕРЫ И СЕРНОЙ КИСЛОТЫ
ДЛЯ МЕЛИОРАЦИИ СМЕШАННО СОДОВО-ЗАСОЛЕННЫХ ПОЧВ ПРЕДГОРНОЙ
РАВНИНЫ ЮГО-ВОСТОКА КАЗАХСТАНА**

¹Казахский национальный аграрный исследовательский университет,
050021, Алматы, пр. Абая, 8, Казахстан,

*e-mail: askhat.naushabayev@kaznaru.edu.kz

Аннотация. В статье представлены результаты полевых исследований, проведенных в предгорной равнине юго-востока Казахстана в подзоне светлых сероземов. Здесь на территории крестьянских хозяйств в виде пятен в микродепрессиях получили широкое распространение тяжелосуглинистые полугидроморфные солонцы чисто содового и смешанно содового засоления с повышенной щелочностью (рН 9,0-10,0). Несмотря на их сильную солонцеватость и плохие водно-физические свойства, они ежегодно подвергаются всем видам агроприемов. Однако, из-за низкого урожая на них обесцениваются значительные материальные ресурсы. Для их мелиорации все еще используется фосфогипс, который является отходом производства. Он эффективен на хлоридно-сульфатных и сульфатно-хлоридных солонцах, а при содовом неэффективен. Ранее нами была испытана элементарная сера в качестве мелиоранта в условиях модельного эксперимента. С этой целью мы провели исследования по определению сравнительной мелиоративной эффективности элементарной серы с более перспективными видами мелиорантов и апробация ее в реальных производственных условиях. Результаты опытов показали, что, среди мелиорантов серная кислота оказалась эффективней, чем другие мелиоранты, по скорости и интенсивности взаимодействия и по продуктивности люцерны (193,20 ц/га в год). Однако, после трехлетнего срока ее изучения концентрации карбонат и гидрокарбонат ионов в почвенном растворе постепенно восстановились. По продолжительности мелиоративного действия и по продуктивности люцерны инкубация элементарной серы оказалась наиболее эффективной. Ее использование позволило снизить очень сильнощелочную среду изучаемых почв до слабощелочной (рН 7,8 в слое 0-20 см) и полностью нейтрализовать соду (CO_3^{2-} в толще 0-60 см 0,00 мг-экв). В результате длительной инкубации серы и возделывания люцерны изучаемая почва становится несолонцеватой и слабосолонцеватой в толще 0-40 см, что в итоге позволило получить урожай зеленой массы люцерны (193,20 ц/га), не уступающий варианту с серной кислотой.

Ключевые слова: юго-восток Казахстана, почва, содовое засоление, мелиорация, сера, фосфогипс, серная кислота, люцерна.

ВВЕДЕНИЕ

Засоление почв является одним из основных ограничивающих факторов, препятствующих развитию сельскохозяйственного производства, особенно в засушливых и полузасушливых регионах мира [1]. Повышенный уровень солености (>0,25%) отрицательно влияет на рост и развитие растений, а при сильном стрессе приводит к их гибели [2].

Общая площадь засоленных почв в мире составляет 17 млн км² [3] или около 1 млрд га с явной тенденцией к устойчивому росту [4]. Эти почвы в Казахстане распространены повсеместно и их площадь составляет 111,55 млн га или 41% территории страны. Среди них наиболее токсичные для растений - содовые. В южном и юго-восточном регионах Казахстана их площадь составляет 7.095 млн га [5]. Согласно

мировой реферативной базе почвенных ресурсов указанные почвы входят в группу Solonetz [6], которая объединяет почвы с плотным глинистым горизонтом В, характеризующийся избытком обменного натрия, отчасти магния в коллоидном комплексе, уровень которых отрицательно влияет на структуру и физические свойства почвы и нарушает доступность питательных веществ для растений [7]. В их составе присутствует свободная сода (Na_2CO_3), образующая сильнощелочную реакцию среды ($\text{pH} > 8.5$). Поэтому эти почвы являются очень сложным объектом мелиорации.

В Казахстане важность проблемы повышения плодородия подобных почв возрастает в связи с распространением их в виде пятен площадью от нескольких десятков квадратных метров до одного, а иногда и более гектаров среди наиболее плодородных почв предгорной равнины Северного Тянь-Шаня – луговых, лугово-сероземных и лугово-каштановых почв. Здесь недобор урожая из-за содовой засоленности составляет от 15 до 45% [8]. Участки земель с более крупными очагами содово-засоленных почв, как правило, не вовлекаются в пашню, поскольку для их мелиорации требуется строительство дорогостоящих дренажных систем. Крестьянские хозяйства ежегодно подвергают в полном объеме всем видам агроприемов пятна содово-засоленных почв. Однако, из-за низкого урожая на указанных пятнах обесцениваются значительные материальные, денежные и трудовые ресурсы.

Основным методом мелиорации почв, засоленных нейтральными солями является промывка на фоне дренажа. Однако указанный метод неприемлем для содово-засоленных почв в связи с вышеотмеченными отрицательными свойствами. Для устранения подобных свойств почв в каждой стране в зависимости от природно-климатичес-

ких и экономических возможностей применяются специфические для них методы мелиорации и химические мелиоранты [9]. Классическим мелиорантом для восстановления содовых, хлоридно-сульфатных, сульфатно-хлоридных засоленных почв являются гипс и фосфогипс, которые по сей день используются во многих странах [10, 11]. Однако, в США с 1990 года перестали использовать фосфогипс в качестве мелиоранта. В Казахстане фосфогипс является пока единственным мелиорантом, применяемым для содово-засоленных почв, хотя многочисленными исследованиями установлена его низкая эффективность. Вследствие резкого снижения растворимости гипса в щелочной среде из-за образования на поверхности кристаллов водонерастворимой пленки углекислого кальция, который изолирует от почвенной среды, превращает их в почвенный балласт [12]. Он наиболее эффективен на хлоридно-сульфатных и сульфатно-хлоридных солонцах. При сульфатном засолении его активность снижается, а при содовом он вообще неэффективен [13].

В последние годы в республике, в связи с накоплением огромного объема (8 млн т) серы нами проведены исследования, по ее утилизации в качестве мелиоранта, но они не вышли за пределы модельных экспериментов [14]. В связи с этим целью наших исследований явилось определение мелиоративной эффективности серы и серной кислоты в сравнении с фосфогипсом с дальнейшей апробацией в реальных производственных условиях. Это в конечном счете позволит эффективно управлять плодородием содово-засоленных почв и будет способствовать получению оптимального урожая культур.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для определения очагов наиболее широкого распространения щелочных содово-засоленных почв и выбора

типичного участка для проведения полевых экспериментов нами изучены мелко, средне и крупномасштабные почвенные карты предгорной равнины Северного Тянь-Шаня, и почвенные отчеты к ним. Проведено рекогносцировочное обследование регионов предгорных равнин юго-востока Казахстана. Установлено, что отмеченные почвы сосредоточены в районе сельских местностей Маловодное, Казатком, Кайнар Енбешиказахского и Каратоган, Жетиген Талгарского районов Алматинской области. В результате чего нами выбран участок для полевых исследований на территории фермерского хозяйства ТОО «Амиран» Нуринского сельского округа, расположенный в северной части

Талгарского района (N 43°39'7858, E 77°18'2917) Алматинской области, 60% территории, которой подвержены разной степени засоления и солонцеватости (рисунок 1). Регион входит в пределы галогеохимической провинции накопления содово-сульфатных солей бассейна озера Балхаш [5] и находится в предгорной пустынной степной зоне светлых сероземов Илейского Алатау (рисунок 1). По влажности и теплообеспеченности, климат характеризуется континентальностью и засухой. Лето сухое и жаркое. Средняя температура июля 22-25°C, января 9-12°C. Количество годовых осадков составляет 250-300 мм, средне-годовая температура воздуха 9,8°C [15].



Рисунок 1 – Местонахождение района исследований

Северная граница территории хозяйства проходит по асфальтированной дороге; в восточной части по реке Леп и Курлеп; с южной стороны граничит с землями запаса (скотопрогон) и западная граница проходит по реке Есик. Основным производственным направлением хозяйства является животноводство молочного направления. Для создания кормовой базы введен кормовой севооборот. Выращиваются в основном кормовые культуры: кукуруза на силос, люцерна, а также соя, яровая пшеница и яровой ячмень. Для

их полива используют дождевальную систему орошения.

В пределах фермерского хозяйства полевой эксперимент проводился в поле №8, где в системе севооборота выращивается кукуруза на силос. Фоновыми почвами являются луговые сероземы светлые северные слабосолончаковато-слабосолончаковые средне- и сильносолонцеватые хлоридно-содового и содово-сульфатного химизма (77 га). На их фоне в виде пятен в микрораспределении встречаются тяжело-среднесолончаковые

полугидроморфные солонцы (занимают ~10% (8 га) поля) сульфатно-содового, содово-сульфатного и чисто содового химизма. Из наличия таких пятен посевы кукурузы сильно изрежены, либо растения отсутствуют (рисунок 2).

На одном из таких пятен нами в 2022 году весной организован опытный участок, где каждый вариант эксперимента имел четырехкратную повторность. Перед постановкой полевого опыта отобраны образцы почв из каждой делянки и повторности из глубин 0-20, 20-40 и 40-60 см для

определения в них исходного содержания водорастворимых солей, pH и состава поглощенных оснований (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+). Затем была проведена вспашка и последующая планировка. Опытный участок в зависимости от схемы опыта был поделен на делянки, которые расположились в разброс. Площадь каждой составила $5 \times 3 = 15 \text{ м}^2$. После этого расчетные дозы мелиорантов были внесены в почву делянок и тщательно перемешаны. Для создания оптимальной влажности почвы, они периодически увлажнялись.



А



Б

Рисунок 2 – Состояние участков (пятна) содово-засоленного солонча на кукурузном поле (А) и опытного участка с люцерной (Б)

На основе данных исходного физико-химического состава полугидроморфных тяжелосуглинистых солонцов содово-сульфатного, сульфатно-содового и чисто содового типа засоления и материалов лабораторных испытаний [14] составлена следующая схема полевого эксперимента: фосфогипс, порошковая элементарная сера и 1%-ый раствор серной кислоты. Почва имеет свободную соду, что требует увеличения количества мелиорирующих веществ в соответствии с содержанием карбонатов и бикарбонатов натрия. Расчеты показали, что при средней и сильной солонцеватости почв для мелиорации 0-40 см слоя требуется 11,67 т/га гипса

или фосфогипса, 2,22 т/га элементарной серы и 6,652 т/га серной кислоты. Концентрация последней была доведена разбавлением водой до 1%-го раствора.

На вариантах с фосфогипсом, серой и серной кислотой проведена вспашка и промывка почвы 1,5-2 объема воды равной полной влагоемкости почвы (5 м^3) объемом $4500 \text{ м}^3/\text{га}$, повторяя подачу воды 3 раза через 5-6 дней, т.е. после каждого освобождения мелируемого слоя почвы от гравитационной воды (воды крупных и средних пор). Промывная норма воды определялась по формуле В.Р. Волобуева [16].

Для определения сравнительной мелиоративной эффективности трехлетней инкубации фосфогипса, серы и серной кислоты на солевой режим содово-засоленных солонцов опытного участка по делянкам вариантам опыта повторно отобраны смешанные образцы почв (17.08.2024). В почвах определено содержание ионного состава (HCO_3^- , CO_3^{2-} , Cl^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) водной вытяжки из почв по К.К. Гедройцу, суммы солей и pH, полученные из суспензии почв с соотношением почвы к воде 1:5 и состав поглощенных катионов по Аринушкиной, Каратаевой, Маметовой в модификации Грабаровой [17]. Порог токсичности отдельных ионов водный вытяжки из почвы определяли по классификации Н.И. Базилевич и Е.И. Панковой [18].

На засоленных почвах любые мелиоративные мероприятия оказывают влияние не только состав и свойства почв, но и возделываемых растений. В этом отношении наиболее подходящей в качестве объекта исследований является люцерна, которая относится к категории средне-соле- и солонцеустойчивых. Учет ее урожайности на вариантах опыта проводился в 2023 и 2024 годах, в связи с тем, что в первый год исследований внесенные химические мелиоранты находились в состоянии годовой инкубации (без растений). За время вегетации люцерны проводились наблюдения учета. Агротехнические мероприятия включали рыхление, орошение, прополка, обработка препаратом ВІ-58 ТОР против саранчи и препаратом "Дэкстер" против красноголовой шпанки и др.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Установлены тектонические процессы в средней части Илейской впадины, которые привели к рассолению верхней толщи карбонатных сульфатных солончаков,

образовавшихся при выпотном водном режиме в более ранние периоды. При дальнейшем протекании этого процесса, медленная и длительная фильтрация нисходящим током растворов, содержащих сульфат натрия через карбонатные горизонты, привело к образованию и накоплению соды, трансформировав сульфатный луговой солончак в солончаковатые солонцеватые луговатые сероземы, а при продолжительном протекании вышеотмеченных процессов в содовый полугидроморфный солонец [19]. Постоянная генерация соды (Na_2CO_3 , NaHCO_3) в почвенном профиле, вследствие обменных реакций между натрием коллоидной фазы и почвенным раствором тесно связана с грунтовой водой. Следовательно, эффективность любой химической мелиорации содово-засоленных почв в сазовой полосе предгорной равнины является краткосрочной.

После трехлетней инкубации расчетных эквивалентных доз фосфогипса, элементарной серы и серной кислоты на смешанно содово-засоленных солонцах опытного участка, а также проведения их промывки и возделывания на них люцерны, по данным водной вытяжки и состава поглощенных оснований нами установлена их сравнительная мелиоративная эффективность. По данным ионного состава водной вытяжки установлено, что на контрольном варианте без внесения мелиорантов, почва имеет слабую и среднюю степень засоления. Содержание водорастворимых солей в почвах контрольного варианта на трех глубинах соответственно составляет 0.332, 0.484 и 0.456% (таблица 1). Несмотря на низкую засоленность почв контрольного варианта, она имеет смешанно сульфатно-содовый и содово-сульфатный химизм засоления. Содержание ионов (HCO_3^- , CO_3^{2-}) очень высокое ($\geq 0,8$ и $\geq 0,03$ мг-экв), что вызывает высокую щелочность почвенной среды

(рН 9,8-10,2) и по слоям соответственно варьирует от 2,49 до 2,80 и от 0,36 до 0,78 мг-экв на 100 г почвы. Кроме них в почвенном растворе присутствуют сульфаты в заметном количестве, которые содержатся выше порога ее токсичности ($\geq 1,7$ мг-экв на 100 г почвы). Содержание хлор иона оказалось незначительным, и не превышало порога токсичности ($< 0,3$ мг-экв). В катионном составе преобладает ион натрия, превышая порог токсичности ($\geq 2,0$ мг-экв) в несколько раз (3,57-5,90 мг-экв).

Данные полевых исследований (17.08.2024) показали, что в конце вегетации люцерны II-года жизни среди инкубируемых мелиорантов наиболее эффективным оказалась сера как по отношению к контролю, так и по отношению к другим мелиорантам. Об этом свидетельствуют результаты ионного состава водной вытяжки почв опытного участка (таблица 1). Инкубация серы и возделывание люцерны II-года жизни позволили заметно снизить содержание гидрокарбонат иона в поверхностном 0-20 см слое по отношению к контролю (2,49 мг-экв) до 0,55 мг-экв на 100 г почвы, доведя по его уровня ниже порога токсичности (0,8 мг-экв). Еще глубже в слое 20-40 см также отмечается снижение гидрокарбонат иона до 0,87 мг-экв по отношению к контролю (2,69 мг-экв на 100 г почвы), приблизив значение к порогу токсичности для растений (0,8 мг-экв). Несколько лучшие условия созданы фосфогипсом. Однако, это проявляется только в поверхностном слое 0-20 см, где содержание вышеуказанного иона в почвенном растворе составляет 0,75 мг экв на 100 г почвы.

На варианте с 1%-ым раствором серной кислоты, несмотря на промывку

и возделывание люцерны, в почвенном растворе сохраняется сода, $\text{HCO}_3^{2-} > 1,4$ и $\text{CO}_3^{2-} > 0,03$ мг-экв на 100 г почвы. Полную нейтрализацию последнего (0,00 мг-экв) обеспечивает элементарная сера. По всей видимости положительный эффект от использования серы связан с медленным и продолжительным воздействием ее на солевой режим почв опытного участка. В отношении сульфат-иона наблюдается совсем иная картина. Так, например, инкубация фосфогипса и внесение серной кислоты и последующая проведение промывки, а также возделывание люцерны, значительно снижает содержание сульфат-иона в поверхностном слое 0-20 см (таблица 1). Однако, высокая концентрация SO_4^{2-} иона сохраняется в нижележащем слое (20-40 см) почв на варианте с серной кислотой (2,27 мг-экв), тогда как на варианте с фосфогипсом она снизилась до 0,57 мг-экв на 100 г почвы, т.е. ниже порога ее токсичности (0,8 мг-экв). Как и в случае с серной кислотой, на варианте с серой наблюдается аналогичная ситуация.

Положительный эффект от применения элементарной серы отмечается в отношении катионов кальция и натрия в почвенном растворе (таблица 1). По отношению к контролю (0,22 и 3,57 мг-экв) ее трехлетняя инкубация, а также проведение промывки и возделывание люцерны обеспечили значительное снижение натрия (0,44 мг-экв) и заметное увеличение катионов кальция (0,96 мг-экв). Нейтрализация содообразующих ионов (HCO_3^- , CO_3^{2-} , Na^+) инкубацией серой обеспечила достаточно благоприятную почвенную среду (рН 7,8 слабощелочная) зоны распространения корневой системы растений.

Таблица 1 – Эффективность действия длительной инкубации химических мелиорантов и возделывания люцерны на солевой режим почв опытного участка, мг-экв на 100г почвы.

Вариант	Глубина, см	Сумма солей, %	Щелочность		Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	pH	Химизм засоления
			общая в HCO ₃ ⁻	от нормальных карбонатов в CO ₃ ²⁻								
Контроль	0-20	0,332	2,49	0,36	0,03	1,73	0,22	0,31	3,57	0,15	9,80	С/Сд
	20-40	0,484	2,69	0,62	0,00	3,65	0,12	0,21	5,90	0,12	10,2	Сд/С
	40-60	0,456	2,80	0,78	0,01	3,10	0,12	0,14	5,54	0,12	10,2	Сд/С
Фосфогипс	0-20	0,107	0,75	0,00	0,00	0,65	0,28	0,31	0,64	0,17	8,14	прак. нез.
	20-40	0,157	1,40	0,00	0,00	0,57	0,09	0,31	1,41	0,15	8,82	сл. соды
	40-60	0,274	1,75	0,03	0,00	1,81	0,09	0,31	3,00	0,15	8,97	Сд/С
Сера	0-20	0,160	0,55	0,00	0,00	1,70	0,96	0,65	0,44	0,20	7,80	прак. нез.
	20-40	0,227	0,87	0,00	0,00	2,25	0,25	0,68	1,97	0,21	8,34	Сд/С
	40-60	0,311	1,51	0,00	0,00	2,63	0,09	0,40	3,50	0,14	8,94	Сд/С
Серная кислота 1%	0-20	0,166	1,45	0,08	0,00	0,70	0,25	0,65	1,14	0,12	8,65	Сд
	20-40	0,334	2,08	0,13	0,00	2,27	0,12	0,34	3,75	0,13	9,07	Сд/С
	40-60	0,340	2,25	0,05	0,00	2,15	0,09	0,34	3,85	0,12	9,24	Сд/С
Порог токсичности		мг-экв	0,8	0,03	0,3	1,7			2,0			
Примечание: С/Сд – сульфатно-содовая. Сд/С – содово-сульфатная. Сд – содовая												

Таблица 2 – Эффективность действия химических мелиорантов и возделывания люцерны на состав поглощенных катионов почв опытного участка (17.08.2024)

Варианты опыта	Глубина взятия образца, см	Поглощенные катионы								ЕКО, мг-экв на 100 г почвы	Степень емкости катионного обмена	Степень солонцеватости по Na ⁺
		Na ⁺		K ⁺		Ca ²⁺		Mg ²⁺				
		мг-экв	%	мг-экв	%	мг-экв	%	мг-экв	%			
Контроль	0-20	3,68	32,00	0,77	6,70	2,35	20,43	4,70	40,87	11,50	средняя	СН
	20-40	3,32	26,58	0,71	5,68	1,88	15,05	6,58	52,68	12,49	средняя	СН
	40-60	3,54	34,44	0,63	6,13	1,41	13,72	4,70	45,72	10,28	средняя	СН
Фосфо-гипс	0-20	0,52	4,22	0,36	2,92	6,58	53,41	4,86	39,45	12,32	средняя	Сс ₁ Лг
	20-40	1,76	16,64	0,68	6,43	3,60	34,03	4,54	42,91	10,58	средняя	Сс ₁ Лгсн’ ”
	40-60	1,30	15,03	0,61	7,05	1,88	21,73	4,86	56,18	8,65	низкая	Сс ₁ Лгсн’ ”
Сера	0-20	0,26	1,84	0,21	1,49	8,15	57,72	5,50	38,95	14,12	средняя	Сс ₁ Лг
	20-40	1,40	10,79	0,46	3,54	5,48	42,22	5,64	43,45	12,98	средняя	Сс ₁ Лгсн’ ,
	40-60	2,14	24,26	0,57	6,46	1,25	14,17	4,86	55,10	8,82	низкая	СН
Серная кислота, 1%	0-20	1,53	12,86	0,34	2,86	4,86	40,84	5,17	43,45	11,90	средняя	Сс ₁ Лгсн’ ,
	20-40	2,95	26,94	0,64	5,84	2,66	24,29	4,70	42,92	10,95	средняя	СН
	40-60	2,53	27,41	0,59	6,39	1,02	11,05	5,09	55,15	9,23	низкая	СН
Примечание: СН – солонец. Сс ₁ Лг – луговатый светлый серозем северный. Сс ₁ Лгсн’” - луговатый светлый серозем северный сильносолонцеватый												

По данным суммарного содержания водорастворимых солей почвы контрольного варианта являются поверхностно слабозасолёнными. Глубже (20-40 и 40-60 см) засоленность почвы увеличивается до среднего уровня. По химизму засоления почвы контрольного варианта сульфатно-содовые и содово-сульфатные. Трехлетняя инкубация фосфогипса и последующая фитомелиорация люцерной способствует изменению смешанного содового химизма в сторону улучшения свойств почв. Например, на варианте с фосфогипсом, почва становится практически незасоленной, а глубже остаются только следы соды (таблица 1). Длительная инкубация серы и возделывание люцерны приводит к нейтрализации соды и нейтральных солей. В результате чего степень засоления поверхностного слоя (0-20 см) изучаемых почв изменяется и соответствует незасоленным. А глубже расположенные слои почв по сравнению с контрольным вариантом из средnezасоленных трансформируются в слабозасоленные, с незначительным сохранением содово-сульфатного химизма засоления. На варианте с серной кислотой, как и в предыдущих вариантах опыта средняя степень засоления нижерасположенных слоев изменяется в сторону слабого засоления. Однако, в них сохраняется исходный содово-сульфатный химизм засоления. Причем поверхностный слой (0-20 см) становится чисто содовым.

Данные состава обменных катионов показали, что почвы контрольного варианта являются тяжелосуглинистыми натриево-магниевыми солонцами (CH). В составе поглощенных катионов преобладает в первую очередь обменный магний, а затем натрий (таблица 2). Их доля в поверхностном слое почв вариантам опыта варьирует от 30,00 до 63,69% и от 10,78 до 19,00 % от емкости катионного обмена (ЕКО). Почвы

отличаются средней емкостью поглощения (10,83-17,95 мг-экв на 100 г почвы).

Изучение эффективности действия химических мелиорантов и возделывания люцерны на состав поглощенных катионов показало, что использование элементарной серы, ее длительная инкубация позволяет снизить содержание поглощенного натрия в почвенном поглощенном комплексе (ППК).

Его доля в слое 0-20 см снизилась до 1,84% от емкости катионного обмена (ЕКО), т.е. изначально солонцовая почва (CH) по натрию стала несолонцеватой (Cс1Лг), перейдя в ряд нормальных почв. На контрольном варианте доля поглощенного натрия в ППК значительна и варьирует в пределах от 26,58 до 34,44% от ЕКО в толще 0-60 см. Отмеченное значение отводит их к солонцам.

Применение серы позволяет увеличить содержание поглощенного кальция до максимальных значений (57,72 и 42,22% от ЕКО в слоях 0-20 см и 20-40 см) по сравнению с контрольным вариантом (20,43 и 15,05% от ЕКО). После элементарной серы вторым по эффективности является фосфогипс. Его инкубация и возделывание люцерны позволило снизить долю поглощенного натрия до несолонцеватого уровня (в слое 0-20 см 4,22% от суммы). Однако, сильная степень солонцеватости все же сохраняется в нижележащих слоях (16,64 и 15,03% натрия от ЕКО), но эти значения значительно ниже по сравнению с контрольным вариантом (26,58 и 34,44%). Аналогичная картина наблюдается на варианте с серой, где также в нижележащем слое 20-40 см отмечается снижение доли поглощенного натрия до 10,79%, т.е. почва становится среднесолонцеватой. На варианте с серной кислотой почвы опытного участка среднесолонцеваты (12,86% от ЕКО) в поверхностном слое (0-20 см). А в нижележащих слоях почва в пределах 20-60 см остаются солонцами (CH).

Таким образом, среди испытанных мелиорантов в отношении ионного состава водной вытяжки и состава поглощенных оснований почв самым эффективным почвоулучшателем оказался не только фосфогипс, но и элементарная сера, которая имеет длительное последствие.

Эффективность действие длительной инкубации химических мелиорантов была определена не только изучением химического состава почвенного раствора и абсорбированных ионов, но и возделыванием люцерны. Из-за токсичности исходной смешанно содово-засоленной солонцовой почвы контрольного варианта, растения на этих вариантах погибли на стадии всходов. А на вариантах опыта с фосфогипсом, серой и серной кислотой в 2023 году было получено два укоса, 2024 году - три укоса урожая зеленой массы люцерны.

Полевая всхожесть составила в среднем 80-85%. Окраска листьев люцерны варьировала от бледно зеленой до зеленой. Урожайность зеленой массы первого укоса люцерны при инкубации фосфогипса составила в среднем 44,0 ц/га, а при инкубации серы - в среднем 40,9 ц/га. В пересчете на сухое сено (при 33% влажности люцерны) соответственно - 29,48 и 27,40 ц/га, соответ-

ственно. На указанных вариантах урожайность люцерны II-го укоса был несколько меньше и составила соответственно 38,2 и 33,7 ц/га при нулевом урожае на контроле.

Таким образом, на вариантах с фосфогипсом и серой в 2023 году было получено соответственно 82,2 и 74,6 ц/га зеленой массы (55,07 и 49,98 ц/га сухой массы) урожая люцерны. На варианте с серной кислотой урожайность зеленой массы люцерны после первого укоса составила 65,4 ц/га, а после второго - 58,81 ц/га. При 33% влажности люцерны, ее сухая масса составила соответственно 43,82 и 39,40 ц/га. В сумме годовой урожай люцерны в зеленой массе был равен 124,2 ц/га, а в виде сухого сена - 83,22 ц/га.

Сравнительный анализ данных 2024 года показал, что наибольшей суммарной урожайностью зеленой массы люцерны отличаются варианты с серой и серной кислотой, где их значения составили соответственно 193,85 и 193,20 ц/га. Им несколько уступает вариант с фосфогипсом (188,09 ц/га). Наибольшая урожайность зеленой массы люцерны была получена первым укосом, где она составила 100,27 ц/га на варианте с фосфогипсом, 96,36 ц/га, на варианте с серой и 101,53 ц/га, на варианте с серной кислотой (таблица 3).

Таблица 3 – Сравнительная эффективность трехлетней инкубации фосфогипса, серы и серной кислоты на урожайность зеленой массы люцерны, средняя

Варианты опыта	Урожайность сырой люцерны, ц/га							
	I укос		II укос		III укос		сумма	
	2023	2024	2023	2024	2023	2024	2023	2024
Фосфогипс	44,0	100,27	38,2	66,64	-	21,18	82,2	188,09
Сера	40,9	96,36	33,7	75,73	-	21,76	74,6	193,85
Серная кислота, 1%	65,4	101,53	58,8	67,69	-	23,98	124,2	193,20
НСР _{0,05} , ц/га	-	-	-	-	-	-	3,65	4,03

Второй укос люцерны на всех вариантах опыта несколько меньшим. Тем не менее, продуктивность люцерны была выше на варианте с серой (75,73 ц/га) в сравнении с другими вариантами опыта (66,64 и 67,69 ц/га). В третьем укосе зеленой массы люцерны на всех вариантах опыта наблюдается тенденция общего снижения. Максимальная урожайность была достигнута на варианте с серной кислотой (23,98 ц/га). В сумме за 2024 году было получено 193,85 ц/га люцерны на варианте с серой, 193,20 ц/га на варианте с серной кислотой и минимальное 188,09 ц/га на варианте с фосфогипсом (таблица 3). Среди вариантов опыта наибольшая высота растений люцерны была на варианте с серной кислотой (51,57 см), по сравнению с другими мелиорантами (46,18 и 45,63 см).

Таким образом, мелиорация полугидроморфных смешанных содово-засоленных солонцов позволила получить хороший урожай люцерны. В этом отношении среди испытанных мелиорантов в первый год возделывания люцерны наиболее эффективным оказалось использование серной кислоты, а на втором году эффективно проявляется элементарная сера.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В реальных природно-климатических и производственных условиях предгорной равнины юго-востока Казахстана проведены исследования по мелиорации содово-засоленных солонцов кислованием серой и серной кислотой в сравнении с традиционным фосфогипсом. Трехлетняя инкубация фосфогипса, элементарной серы и серной кислоты на почвах опытного участка привела к перестройке ионного состава водной вытяжки и состава поглощенных оснований. После трехлетней инкубации фосфогипса нормой 11,67 т/га, проведения промывки и возделывание люцерны, значительно снижается концентрация гидрокарбо-

натов - до 0,75 мг-экв в верхнем слое почв, а нормальные карбонаты исчезают (0,00 мг-экв). Кроме того, происходит устойчивое снижение содержания сульфат иона по отношению к контролю. Если в поверхностном слое почв контрольного варианта содержание сульфат-иона было 1,73 мг-экв то после трехлетней инкубации мелиоранта и возделывания люцерны оно уменьшилось до 0,65 мг-экв. Это, по-видимому, связано с использованием серы сульфат иона люцерной в качестве элемента питания. В катионном составе проведение вышеуказанных работ приводит к значительному снижению иона натрия от 3,57 до 0,64 мг-экв в сравнении с контрольным вариантом. Положительный эффект от использования фосфогипса проявился в составе поглощенных катионов верхнего слоя, где поглощенный натрий уменьшился до несолонцеватого уровня (<5,0 % от ЕКО). Однако, в нижележащем слое все еще сохраняется высокий уровень солонцеватости (Na^+ 16,64% от ЕКО) почв опытного участка. Наилучшие условия созданы элементарной серой. Ее трехлетняя инкубация и возделывание люцерны привели к снижению гидрокарбонат иона в верхних слоях (0-20 и 20-40 см) от 2,60 до 0,55 и 0,87 мг-экв на 100 г почвы, т.е. значение показателя в поверхностном слое оказывается ниже порога токсичности иона ($\geq 0,8$ мг-экв). На стадии окончания онтогенеза люцерны содержание нормальных карбонатов по всей учетной толще почвы исчезает (0,00 мг-экв). Это говорит о том, что элементарная сера в течение трех лет способствовала полной нейтрализации соды, снижением слабощелочной pH до 7,80 в верхнем слое. Окисление серы и образование вторичных продуктов обменных реакции, а также возделывание люцерны привело к сохранению сульфат иона в таком же количестве как у контрольного варианта, а в нижнем слое к заметному сниже-

нию от 3,65 до 2,25 мг-экв. Элементарная сера, вступая в обменные реакции после длительного окислительного процесса, снижает долю поглощенного натрия до несолонцеватого уровня (Na^+ 1,84% от ЕКО) в верхнем слое (0-20 см) и до слабосолонцеватого (Na^+ 10,79% от ЕКО) в нижнем слое (20-40 см).

Использование 1%-го раствора серной кислоты обеспечивает быстрый результат, т.е. не требуется долгая инкубация. Она значительно снижает концентрацию ионов (HCO_3^- и CO_3^{2-}) в первый год исследований, однако, со временем происходит восстановление их концентрации. Об этом свидетельствуют результаты, полученные после трех использования серной кислоты и возделывания люцерны. Содержание гидрокарбонат иона существенно уменьшилось только в верхнем слое (от 2,49 до 1,45 мг-экв), а в нижнем слое сохраняется высокая его концентрация (2,08 мг-экв). Резкое повышение щелочности (рН 8,65-9,07) вызвана промывкой и разбавлением водой на этапе удаления, образовавшихся продуктов обменных реакций. Использование серной кислоты и трехлетнее возделывание люцерны заметно снижают концентрацию сульфат иона от 1,73 до

0,70 мг-экв в верхнем слое, и от 3,65 до 2,27 мг-экв в нижнем слое. Из этих данных следует, что ниже порога токсичности находится значение только верхнего слоя рассматриваемого иона ($\geq 0,8$ мг-экв). Серная кислота в виде 1%-го раствора позволила снизить долю поглощенного натрия до среднесолонцеватого уровня (12,86% от ЕКО) только в верхнем слое (0-20 см). Длительная трехлетняя инкубация мелиорантов и возделывание люцерны показало, что среди испытанных мелиорантов как в отношении влияния на ионный состав водной вытяжки почв, так и состав поглощенных оснований самым эффективным оказалась элементарная сера, которая показала и длительное последствие.

За счет нейтрализации соды и создания благоприятной среды изучаемых почв в 2024 году удалось получить нормальный урожай люцерны на всех испытанных вариантах опыта в количестве 188,09, 193,5 и 193,20 ц/га в виде зеленой массы (на контроле вовсе не было урожая), при среднем росте соответственно 46,18, 45,63 и 51,57 см. Среди мелиорантов по этому показателю фосфогипс уступает.

Поддержка и финансирование данного исследования было предоставлено Министерством науки и высшего образования Республики Казахстан (проект № AP13068643). Мы хотели бы поблагодарить анонимных рецензентов за их конструктивные комментарии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Wild A. Soils, land and food: managing the land during the twenty-first century. – Cambridge University Press, - 2003. – P.256.
2. Munns R. Strategies for crop improvement in saline soils// Salinity and water stress: improving crop efficiency. – 2009. – С. 99-110.
3. Negacz K. et al. Saline soils worldwide: Identifying the most promising areas for saline agriculture// Journal of arid environments. – 2022. – Т. 203, – С. 104775.
4. FAO A. Global network on integrated soil management for sustainable use of salt-affected soils// FAO Land and Plant Nutrition Management Service Rome. – 2005.

5. Боровский В.М. Геохимия засоленных почв Казахстана. -М.: Наука, 1978. – 172 с.
6. Рабочая группа IUSS WRB. 2015. Мировая реферативная база почвенных ресурсов 2014, исправленная и дополненная версия 2015. Международная система почвенной классификации для диагностики почв и создания легенд почвенных карт. Доклады о мировых почвенных ресурсах №106. ФАО, Рим. – С. 185.
7. Qadir M. et al. Amelioration and nutrient management strategies for sodic and alkali soils// CABI Reviews. – 2007. – № 2007. – С. 13.
8. Беспяева Р.С. Мелиорация лугово-сероземных почв предгорий Зайлиского Алатау. Автореф. Канд.с.-х. наук. -Ташкент. - 1988. - 21с.
9. Thimmappa K., Singh Y. P., Raju R. Reclamation of sodic soils in India: An economic impact assessment// Bioremediation of Salt Affected Soils: An Indian Perspective. – 2017. – С. 257-274.
10. Rasouli F., Pouya A. K., Karimian N. Wheat yield and physico-chemical properties of a sodic soil from semi-arid area of Iran as affected by applied gypsum// Geoderma. – 2013. – Т. 193. – С. 246-255.
11. Yazdanpanah N., Mahmoodabadi M. Reclamation of calcareous saline-sodic soil using different amendments: Time changes of soluble cations in leachate// Arabian Journal of Geosciences. – 2013. – Т. 6. – С. 2519-2528.
12. Феофарова И.И. Псевдоморфозы кальцита по гипсу в почвах// Тр. Почвенного ин-та им. В.В.Докучаева, - Т. 34, - 1950. - С. 202-206.
13. Тазабеков Т.Т., Рубинштейн М.И., Половицкий И.Я., Михайличенко В.Н., Кубенкулов К.К. Солонцы и их мелиорация. - Алма-Ата.: - 1983. -С. 41-47.
14. Seitkali N. et al. Assessing the efficacy of ameliorants on saline-sodic soils: Laboratory insights for reclamation strategies// Eurasian Journal of Soil Science. – 2023. – Т. 12, – № 4. – С. 328-334.
15. [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://www.kazhydromet.kz/ru/>, свободный.
16. Volobuev V. R. Calculation of washing saline soils// Moscow: Kolos. – 1975.
17. Сборник методических указаний по лабораторным исследованиям почв и растительности Республики Казахстан (издание третье, дополненное и переработанное), - Алматы. - 1998. – С. 85-90.
18. Bazilevich N. I., Pankova E. I. Classification of soils according to their chemistry and degree of salinization. – 1969. –С. 219-226.
19. Сарыбаева Г. М., Наушабаев А. Х. Формирование содово-засоленных полугидроморфных солонцов илийской впадины// Исследования, результаты. – 2021. – № 2 (90). – С. 192-204.

REFERENCES

1. Wild A. Soils, land and food: managing the land during the twenty-first century. – Cambridge University Press, - 2003. –p. 256.
2. Munns R. Strategies for crop improvement in saline soils// Salinity and water stress: improving crop efficiency. – 2009. – С. 99-110.
3. Negacz K. et al. Saline soils worldwide: Identifying the most promising areas for saline agriculture// Journal of arid environments. – 2022. – Т. 203. – С. 104775.
4. FAO A. Global network on integrated soil management for sustainable use of salt-affected soils// FAO Land and Plant Nutrition Management Service Rome. – 2005.

5. Borovskij V.M. Geohimiya zasolennykh pochv Kazahstana. -M.: Nauka, 1978. – 172 c.
6. Rabochaya gruppa IUSS WRB. 2015. Mirovaya referativnaya baza pochvennykh resursov 2014, ispravlenneya i dopolnennaya versiya 2015. Mezhdunarodnaya sistema pochvennoy klassifikatsii dlya diagnostiki pochv i sozdaniya legend pochvennykh kart. Doklady o mirovykh pochvennykh resursakh №106. FAO, Rim. – S. 185.
7. Qadir M. et al. Amelioration and nutrient management strategies for sodic and alkali soils// CABI Reviews. – 2007. – № 2007. – C. 13.
8. Bespaeva R.S. Melioratsiya lugovo-serozemnykh pochv predgorij Zajliskogo Alatau. Avtoref. Kand.s.-h. nauk. -Tashkent. - 1988. - 21s.
9. Thimmappa K., Singh Y. P., Raju R. Reclamation of sodic soils in India: An economic impact assessment// Bioremediation of Salt Affected Soils: An Indian Perspective. – 2017. – C. 257-274.
10. Rasouli F., Pouya A. K., Karimian N. Wheat yield and physico-chemical properties of a sodic soil from semi-arid area of Iran as affected by applied gypsum// Geoderma. – 2013. – T. 193. – C. 246-255.
11. Yazdanpanah N., Mahmoodabadi M. Reclamation of calcareous saline-sodic soil using different amendments: Time changes of soluble cations in leachate// Arabian Journal of Geosciences. – 2013. – T. 6. – C. 2519-2528.
12. Feofarova I.I. Pseudomorfozy kal'tita po gipsu v pochvah. Tr. Pochvennogo in-ta im. V.V.Dokuchaeva, - T. 34, - 1950. - S. 202-206.
13. Tazabekov T.T., Rubinshteyn M.I., Polovickij I.YA., Mihajlichenko V.N., Kubenkulov K.K. Soloncy i ih melioratsiya. - Alma-Ata.: - 1983. -S. 41-47.
14. Seitkali N. et al. Assessing the efficacy of ameliorants on saline-sodic soils: Laboratory insights for reclamation strategies// Eurasian Journal of Soil Science. – 2023. – T. 12, – № 4. – C. 328-334.
15. [Electronic resource]. Rezhim dostupa: <https://www.kazhydromet.kz/ru/>, svobodnyj.
16. Volobuev V. R. Calculation of washing saline soils// Moscow: Kolos. – 1975.
17. Sbornik metodicheskikh ukazaniy po laboratornym issledovaniyam pochv i rastitel'nosti Respubliki Kazahstan (izdanie tret'e, dopolnennoe i pererabotannoe), - Almaty, - 1998. – S. 85-90.
18. Bazilevich N. I., Pankova E. I. Classification of soils according to their chemistry and degree of salinization. – 1969. –C. 219-226.
19. Sarybaeva G. M., Naushabaev A. H. Formirovanie sodovo-zasolennykh polugidromorfnykh soloncov ilijskoj vpadiny// Issledovaniya, rezul'taty. – 2021. – №2 (90). – S. 192-204.

ТҮЙІН

А.Х. Наушабаев^{1*}, Н. Сейткали¹, К.О. Караева¹,

Е.С. Абилдаев¹, Г.О. Бейсенова¹

ОҢТҮСТІК-ШЫҒЫС ҚАЗАҚСТАННЫҢ ТАУ ЕТЕГІ ЖАЗЫҒЫНЫҢ АРАЛАС СОДАЛЫ-СОҢТАҢДАНҒАН ТОПЫРАҚТАРЫН ЖАҚСARTU ҮШІН ЭЛЕМЕНТАРЛЫ КҮКІРТ ПЕН КҮКІРТ ҚЫШҚЫЛЫН ПАЙДАЛАНУДЫҢ ТИІМДІЛІГІ

¹Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, 050021, Алматы,

Абай даңғылы, 8, Қазақстан, *e-mail: askhat.naushabayev@kaznaru.edu.kz

Мақалада Қазақстанның оңтүстік-шығысының тауалды жазықтығындағы ашық сұр топырақты аймақта жүргізілген далалық зерттеулердің нәтижелері берілген. Мұнда шаруа қожалықтары аумағында микродепрессияларда дақтар түрінде таза содалы және

аралас содалы сортаңданған сілтілігі жоғары (рН 9,0-10,0) ауырқұмбалшықты жартылай гидроморфты кебірлер кең таралған. Олардың күшті кебірленгендігіне және су-физикалық қасиеттерінің нашарлығына қарамастан, жыл сайын оларда агрошаралардың барлық түрлері жасалады. Алайда, белгіленген дақтардағы өнім төмен болғандықтан, оларда айтарлықтай материалдық ресурстар құнсызданады. Оларды жақсарту үшін өндіріс қалдығы болып табылатын фосфогипс әлі де пайдаланылады. Ол хлоридті-сульфатты және сульфатты-хлоридті кебірлерде ең тиімді, ал содалы топырақтарда тіпті тиімсіз. Соңғы жылдары республикада күкірттің көп мөлшерде жинақталуына байланысты ол ертеректе бізбен модельдік тәжірибе жағдайында мелиорант ретінде сыналған. Сондықтан біздің зерттеу жұмысымыздың мақсаты мелиоранттардың неғұрлым келешекті түрлерімен элементарлы күкірттің салыстырмалы мелиоративтік тиімділігін анықтау және оны нақты өндірістік жағдайларда сынау болды. Тәжірибе нәтижелері мелиоранттар арасында күкірт қышқылының басқа мелиоранттарға қарағанда өзара әрекеттесу жылдамдығы мен қарқындылығы және жоңышқаның өнімділігі (жылына 193,20 ц/га) бойынша ғана тиімді екенін көрсетті. Алайда, оны үш жылдық зерттеу кезеңінен кейін топырақ ерітіндісіндегі карбонат пен бикарбонат иондарының концентрациясы біртіндеп қалпына келді. Мелиоративтік әсердің ұзақтығы мен жоңышқаның өнімділігі бойынша элементарлы күкіртті инкубациялау ең тиімді болды. Оны қолдану зерттелген топырақтардың өте күшті сілтілі ортасын сәл сілтілігі (рН 7,8, 0-20 см қабатта) дейін төмендетуге және соданы толығымен бейтараптандыруға (CO_3^{2-} 0-60 см қабатта 0,00 мг-экв) мүмкіндік берді. Сонымен қатар, күкіртті ұзақ уақыт инкубациялау және жоңышқаны өсіру нәтижесінде зерттелген топырақ 0-40 см қалыңдықта кебірленбеген және сәл кебірленгенге өзгереді, соңында күкірт қышқылы нұсқасынан кем түспейтін жоңышқаның жасыл массасы (193,20 ц/га) өнімін алуға мүмкіндік берді.

Түйінді сөздер: оңтүстік-шығыс Қазақстан, топырақ, содалы сортаңдану, мелиорация, күкірт, фосфогипс, күкірт қышқылы, жоңышқа.

SUMMARY

A.Kh. Naushabaev^{1*}, N. Seitkali¹, K.O. Karaeva¹, E.S. Abildaev¹, G.O. Beisenova¹
EFFICIENCY OF USING ELEMENTAL SULFUR AND SULFURIC ACID FOR RECLAMATION
OF MIXED SODA-SALINE SOILS OF THE FOOTHILL PLAIN OF SOUTHEASTERN
KAZAKHSTAN

¹Kazakh National Agrarian Research University, 050021, Almaty, Abaya avenue, 8,
Kazakhstan, *e-mail: askhat.naushabayev@kaznaru.edu.kz

The article presents the results of field studies conducted in the foothill plain of southeastern Kazakhstan in the subzone of light gray soils. Here, on the territory of peasant farms, heavy loamy semihydromorphic solonetz soils of pure soda and mixed soda salinity with increased alkalinity (pH 9.0-10.0) are widespread in the form of spots in microdepressions. Despite their strong solonetzic nature and poor water-physical properties, they are annually subjected to all types of agricultural practices. However, due to the low yield on the noted spots, significant material resources are depreciated. Phosphogypsum, which is a waste product, is still used for their melioration. It is most effective on chloride-sulphate and sulphate-chloride solonetz soils, and is generally ineffective on soda soils. In recent years, in the Republic, due to the accumulation of a huge amount of sulphur, it has been tested as an ameliorant under conditions of only a model experiment. Therefore, the purpose of our research was to determine the comparative melioration efficiency of elemental sulphur with more promising types of ameliorants and to test it in real production conditions. The results of the experiments showed that among the ameliorants, sulfuric acid was more effective than other ameliorants only in terms of the speed and intensity of interaction and in terms of alfalfa productivity (193.20 c/ha per year). However, after a three-year study, the concentrations of carbonate and hydrocarbonate ions in the soil solution were gradually restored. In terms of the duration of the ameliorative effect and alfalfa productivity, the incubation of elemental sulfur was the most effective. Its use made it possible to reduce the very strongly alkaline environment of the studied soils to slightly alkaline

(pH 7.8 in the 0-20 cm layer) and completely neutralize soda (CO_3^{2-} in the 0-60 cm thickness 0.00 mg-eq). In addition, as a result of long-term sulfur incubation and alfalfa cultivation, the studied soil becomes non-alkaline and slightly saline in the thickness of 0-40 cm, which in the end allowed to obtain a yield of green mass of alfalfa (193.20 c/ha), not inferior to the variant with sulfuric acid.

Key words: south-east of Kazakhstan, soil, soda salinization, reclamation, sulfur, phosphogypsum, sulfuric acid, alfalfa.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

1. Наушабаев Асхат Хамитович - ассоциированный профессор кафедры «Почвоведение, агрохимия и экология», PhD доктор, e-mail: askhat.naushabayev@kaznaru.edu.kz

2. Сейткали Нурзихан, ст.преподаватель кафедры почвоведения, агрохимии и экологии PhD, e-mail: nurzikhan.seitkali@kaznaru.edu.kz

3. Караева Карлыга Оспановна - старший преподаватель кафедры «Почвоведение, агрохимия и экология», PhD доктор, e-mail: karlyga.karayeva@kaznaru.edu.kz

4. Абилдаев Ержан Советбекович, PhD доктор, декан факультета «Агробиология», ассоциированный профессор, e-mail: yerzhan.abildayev@kaznaru.edu.kz

5. Бейсенова Гулфайруз Орынбаевна, PhD доктор, старший преподаватель кафедры «Почвоведение, агрохимия и экология», e-mail: gulka_89_21@mail.ru