



ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ЗАКРЕПЛЕНИЯ ЗАСОЛЕННЫХ ПОЧВ И ПОДВИЖНЫХ ПЕСКОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ОТХОДА СОДОВОГО ЗАВОДА

Каржаубай Реймов 1[0009-0005-8538-6399], **Актам Еркаев** 2[0000-0003-0903-0858],
Ахмет Реймов 3[0000-0001-5176-4121], **Бахром Кучаров** 4[0000-0002-7066-1619]

¹Нукусский государственный педагогический институт, PhD., доцент,

²Химико-технологического института, доктор технических наук, профессор,

³Ректор Каракалпакского государственного университета имени Бердаха, доктор
технических наук, академик,

E-mail: rector@karsu.uz

⁴д.т.н., института Общей и неорганической химии АН РУз,

E-mail: kbx74@yandex.com

Аннотация. В данной статьи приведены результаты исследований получения и испытаний закрепителей засоленных почв и подвижных песков. В качестве исходных материалов для получения закрепителей засоленных почв и закрепителей подвижных песков использовался дистиллерная жидкость, 40%-ное техническое жидкое стекло, натриевый соль карбоксиметил целлюлозы, нитрат кальция, фосфогипс и пластовые воды образующегося на УКПП "Шаркий Бердах". Для проведения опытов приготовили композиции при различных соотношениях компонентов. Проведенными исследованиями установлено, что оптимальным сказался закрепитель, состоящий из 40% хлорида кальция, КМЦ, жидкого стекла, нитрата кальция чем фосфогипс содержащий.

Ключевые слова: Фосфогипс, засоленная почва, закрепитель, нитрат кальция, дистиллерная жидкость, почва, Аральское море, фракция.

Annotatsiya. Ushbu maqolada sho'rlangan tuproqlar va ko'chma qumlarni mustahkamlovchi vositalarni olish va sinovdan o'tkazish bo'yicha tadqiqot natijalari keltirilgan. Sho'rlangan tuproqlar va ko'chma qumlar uchun mustahkamlovchi moddalarni tayyorlashda xom ashyo sifatida distiller suyuqligi, 40% texnik suyuq shisha, natriy karboksimetilsellyuloza (KMS) tuzi, kalsiy nitrat, fosfogips hamda "Sharkiy Berdah" UKPPda hosil bo'ladigan qatlam suvlaridan foydalаниldi. Tajribalarni o'tkazish uchun komponentlarning turli nisbatlarida kompozitsiyalar tayyorlandi. O'tkazilgan tadqiqotlar natijasida aniqlanishicha, eng optimal natija 40% kalsiy xlorid, KMS, suyuq shisha va kalsiy nitratdan iborat hamda fosfogips o'z ichiga olgan mustahkamlovchi tarkibda kuzatildi.

Kalit so'zlar: Fosfogips, sho'rlangan tuproq, mustahkamlovchi, kalsiy nitrat, distiller suyuqligi, tuproq, Orol dengizi, fraksiya.

Abstract. This article presents the results of studies on the production and testing of stabilizers for saline soils and moving sands. As raw materials for obtaining stabilizers of saline soils and mobile sands, distiller liquid, 40% technical liquid glass, sodium salt of carboxymethyl cellulose (CMC), calcium nitrate, phosphogypsum, and formation water from the "Sharkiy Berdakh" UKPP were used. For the experiments, compositions were prepared at various component ratios. The conducted studies established that the optimal stabilizer consisted of 40% calcium chloride, CMC, liquid glass, and calcium nitrate, containing phosphogypsum.

Keywords: phosphogypsum, saline soil, stabilizer, calcium nitrate, distiller liquid, soil, Aral Sea, fraction.

Введение

Засолением почвы называют избыточное скопление в корнеобитаемом слое электролитных (растворенных или поглощенных) солей, которые угнетают или



губят сельскохозяйственные растения, снижают качество и количество урожая. По данным ФАО (Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН), засоленные почвы занимают в мире огромные площади - около 27% всей поверхности суши.

На сегодняшний день значительные массивы засоленных почв находятся в Южном Казахстане, Средней Азии, на западе США, в особо засушливых районах Южной Америки и Австралии, в Северной Африке. Особенно высокой степенью засоленности отличаются почвы в пустынях и полупустынях, т.е. в условиях засушливого, или аридного климата.

Засоление почв – это процесс накопления в почве более 0,25% от ее массы солей, вредных для растений (хлориды, карбонаты натрия, сульфаты).

В настоящее время из высохшего океана Аральского моря от 75 до 125 млн. тонн соли уже поднялось в атмосферу и с помощью ветра распространение ее составило по площади от 1,5 до 2,5 млн. км², а вес равен 750 кг в год на гектар земли, расположенной на расстоянии, которое равно 100 км от моря. Таким образом, сверху на почву сыпется смесь песка и соли, особенно нанося огромный ущерб территории вокруг берегов. Почва - одно из самых основных достояний человечества, использование которого должно осуществляться на высоком экономическом и правовом уровне. Были приняты законы и правительственные акты для решения по экономическим и межхозяйственным проблемам землепользования. Более 90% сельскохозяйственной продукции приходится на посевные поля. Главная задача сельского хозяйства нашей республики - из года в год повышать производительность и добиваться улучшения качества [1-3]. После обретения независимости нашей республикой был проведен ряд позитивных работ по улучшению состояния почвы, ее рациональному использованию и повышению плодородия почвы. Однако даже сейчас орошаемые земли испытывают сложные проблемы с плодородием почв, особенно в бассейне Аральского моря [4-6].

В связи с этим стабилизации засоленных почв и подвижных песков для их преобразования в продуктирующие земли является актуальной задачей. Мероприятия с засоленными почвами и подвижными песками подразделяют на предупредительные, устраняющие причины их развеивания, и активные, направленные на закрепление почв и песков.

Объекты и методы исследований

В качестве исходных материалов для получения закрепителей засоленных почв (ЗЗП) и закрепителей подвижных песков (ЗПП) использовали дистиллерную жидкость много тоннажного отхода при производстве кальцинированной соды на ООО СП «Кунградский содовый завод», 40%-ное техническое жидкое стекло, натриевый соль карбоксиметил целлюлозы, нитрат кальция- образованная при азотнокислотной обогащении низкосортных фосфоритов с содержанием 10-20% Ca(NO₃)₂, фосфогипс - много тоннажный отход при производстве экстракционной фосфорной кислоты и пластовые воды образующегося на УКПП "Шаркий Бердах". При количественном химическом анализе были применены следующие общеизвестные методы аналитической химии: содержание хлорид-иона определяли объемным перманганатометрическим методом [7]; магний и кальций определяли объемным комплексометрическим методом [8,9]; натрий-методом пламенной фотометрии [10].

Сканирующую электронную микроскопию – на сканирующем электронном микроскопе EVO MA-10 (Carl Zeiss, Германия), оборудованную микроаналитической



системой для энергодисперсионного рентгеновского (EDX) микроанализа (Oxford Instruments, Великобритания), позволяющего детектировать все химические элементы периодической таблицы Д.И. Менделеева, начиная с бора. Разрешение микроскопа до 2.5нм при ускоряющем 30кВ (изображение во вторичных электронах), ускоряющем напряжение – от 1.0 до 30 кВ, увеличение – от x 10 до x 500 000, ток пучка до 200 нА. Пробоподготовка исследуемых образцов проводилась на комплексе оборудования фирм Jeol (Japan) и Gatan (USA). Результаты получают при использовании ряда специальных программ, таких как, например: качественного и количественного элементного анализа – INCA Point & ID, картирования – Mapping и QuantMap, количественного распределения фаз и включений – Feature [11,12].

Полученные результаты и их обсуждение

Дистиллерную жидкость перед применением упаривали до концентрации 40-50% CaCl_2 и отделяли оседающие кристаллы хлорида натрия.

Из таблицы 1 видно, что в исходном растворе дистиллерного жидкости содержится соли хлорида кальция и натрия, а после упарки и отделения осадка хлорида натрия в жидкую фазу остается только хлорид кальция. А пластовые воды содержит хлориды и сульфаты натрия и кальция. Фосфогипс в основном содержит дигидраты сульфата кальция, 2-3 % P_2O_5 и нерастворимую часть.

Для проведения поисковых опытов подготовили составы закрепителей (СЗ) (таблица 2) и суспензии фосфогипса (СФ) (таблица 3). Из приготовленных составов подготовили композиции при различных соотношениях СЗ: СФ соотношение компонентов варьировали в интервалах 1:(1:10) (таблица 4) соотношений композиции и пластовых вод варьировали в интервалах соотношений (9:4) :(1:6). Как показали проведенные исследования при приготовлении композиции из проб СЗ и СФ при соотношениях компонентов СЗ: СФ – 1:6 дали положительные результаты 9 композиции. Поэтому, для дальнейших исследований из фосфогипсовой композиции подготовили по выше указанной последовательности.

Таблица-1.
Химический состав исходных материалов, использованных при получении и использовании ЗЗП

№	Наименование компонентов	рН	Содержание мг/экв/л										Плотность ρ 200 г/см ³	
			Анионы						Катионы					
			CO ₃ ²⁻	HC O ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Σмг-экв анионов	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺	Na ⁺ K ⁺		
1	Дистиллерная жидкость	10,00	0,80	1,20	3500,00	7,58	9,68	3519,39	2300,00	250,00	1,11	968,28	3519,39	11,68
2	Упаренный раствор	6,80	-	15,00	15000,00	2,96	66,13	15084,09	11050,00	200,00	0,06	3834,03	15084,09	13,72
3	Пластовая вода	5,40	-	4,00	2500,00	348,49	3,87	2856,36	537,50	120,00	3,33	2179,33	2856,36	11,22

Необходимо отметить, что целью применения нитрита кальция и фосфогипсовой суспензии, является получение препарата многофункциональной действий из промышленных отходов, действующий как закрепитель и мелиорант почв одновременно и питателями растений в засоленных почвах.



Таблица-2.

Состав закрепителя (С3)

№	H ₂ O	30% Ca(NO ₃) ₂	30% CaCl ₂	NaKМЦ 6%	40% жидкое стекло	Примечание
1	95	-	-	3	2	Прозрачный
2	-	95	-	2	1	Мутный (белый)
3	-	-	95	2	1	Мутный (белый)

Таблица-3.

Суспензия фосфогипса (СФ)

№	Соотношение компонентов, масс		
	H ₂ O	Фосфогипс	NH ₄ HCO ₃
1	2	1	0
2	3	1	0
3	2	1	0,71
4	3	1	0,71

Таблица-4.

Комбинации для приготовления (С3+СФ)

№ ком	С3	СФ	С3+ СФ				
			1:1	1:2	1:4	1:6	1:10
1	1	1	Г	П	П	Т	Т
2	2	1	Г	П	П	Т	Т
3	3	1	Г	П	П	Т	Т
4	1	2	Г	П	П	Т	Т
5	2	2	Г	П	П	Т	Т
6	3	2	Г	П	П	Т	Т
7	1	3	Г	П	П	Т	Т
8	2	3	Г	П	П	Т	Т
9	3	3	Г	П	П	Тв	Т
10	1	4	Г	П	П	Т	Т
11	2	4	Г	П	П	Т	Т
12	3	4	Г	П	П	Т	Т

Г- густой, П- подвижный, Т- текучий, Тв- твёрдой.

Исходя из вышеизложенного, в исследованиях приготовили четыре композиции, данные которых представлены в таблицах 5 и 6. Как видно из таблиц 5 и 6 закрепителей засоленных почв (ЗЗП) и закрепителей подвижных песков (ЗПП) состоят в основном из дистиллерной жидкости (CaCl₂), нитрата кальция и фосфогипса с добавками жидкого стекла и карбоксиметилцеллюлозы.



Из таблицы 6 следует, что значение плотности и вязкости композиций в интервалах температур 20 – 40°C колеблется в пределах 1,108-1,568 г/см³ и 1,17-2,40 МПа соответственно.

Таблица-5.

Состав композиции закрепителя засоленных почв

Шифр композиции	Упаренный до 30%	Жидкое стекло 40%, гр	NaKMЦ. HV, LV. 6%. гр	Пластовая вода, гр	Ca(NO ₃) ₂ 30%-ный раствор	Ф.Г. 3.9.6:1,гр
N-1	96,07	1,96	32	300	-	-
N-2	96,07	1,96	32	300	-	-
N-3	96,07	1,96	32	300	30	-
N-4	96,07	1,96	32	300	-	10

Таблица-6.

Реологические свойства полученных композиций

Номер проб соответствуют на номера табл.5	Плотность, г/см ³			Вязкость, МПа.с		
	Температура 0°C					
	20	30	40	20	30	40
N-1	1,114	1,111	1,108	1,36	1,24	1,20
N-2	1,118	1,115	1,110	1,38	1,31	1,23
N-3	1,116	1,113	1,106	1,26	1,23	1,17
N-4	1,158	1,150	1,146	1,84	2,40	2,04

Полученные образцы были испытаны на почве высохшего дна Аральского моря, полученные данные представлены на таблицах 7 и 8.

Таблица-7.

Состав композиции закрепителей, засолённых почва грунтов

Шифр композиции	Соотношения компонентов				
	Упаренная дистиллерная жидкость 30% CaCl ₂	40% -ное жидкое стекло	NaKMЦ 6%	40%-ный раствор Ca(NO ₃) ₂	Фосфогипсовая композиция 9*
N-1	3	0,061	1	-	-
N-2	3	0,061	1	-	-
N-3	3	0,061	1	0,94	-
N-4	3	0,061	1	-	0,313

9* соответствуют номерам таблицы 4

** соотношение: пластовое вода – 1:2,7(N-1, N-2); 1,88(N-3); 1:2,14(N-4)

При приготовлении композиция N-4 добавили фосфогипсовую композицию соответствующий 9 пробы (таб. 4), которая приготовления из состава (C3) и сусpenзий фосфогипса (CФ) при соотношении 1:6.

Таблица-8.

Химический состав полученных композиций

№		Содержание, масс %					
		Фосфогипс	CaCl ₂	NH ₄ HCO ₃	NaKMЦ	Na ₂ SiO ₃	H ₂ O
1	C3	-	29,08	-	0,122	0,408	70,36
2	CФ	26,94	-	19,10	-	-	53,89
3	9*	23,09	4,15	16,42	0,017	0,058	56,25



Таблица-9.

Химический состав композиций закрепителей ЗЗП

Шифр композиции	Содержание компонентов, масс %						
	CaCl ₂	Ca(NO ₃) ₂	NH ₄ HCO ₃	Ф.Г	Na ₂ SiO ₄	NaKMЦ	H ₂ O
N-1	7,82	-	-	-	0,182	0,44	91,56
N-2	7,82	-	-	-	0,182	0,44	91,56
N-3	7,30	1,96	-	-	0,17	0,418	90,15
N-4	7,73	-	0,16	0,162	0,18	0,44	91,33

9* соответствуют номерам таблицы 4

При этом на 1м² засоленной почвы были распылены различного состава закрепители засоленных почв (ЗЗП). После усыхания и отвердения ЗЗП подвергалась ситовому анализу, чтобы проанализировать количества крупных фракций почвы до и после применения ЗЗП.

Образцы ЗЗП разбавляли с пластовой водой, после сепаратора ООО “Устюргаз” при соотношении 1:30 и опрыскивали его по 200 и 400 г на 1м² поверхности засоленных почв. Результаты исследований влияния состава и количества ЗЗП на формирование водопрочных агрегатов (ВПА) и на механическую прочность поверхностной корки.

Опрыскивание поверхности почва грунта раствором ЗЗП способствует образование корки на поверхности повышению прочности структуры и показатели ВПА. Крупности фракции достигает до 7 мм и их содержание составляет 7,6 % при расходе ЗЗП на 200 г/м². А при повышении расхода ЗЗП 400 и 600 г/м² достигает более 24 % и 29,6 %.

До опрыскивания ЗЗП (рис.1) поверхности исходных образцов покрыты более пухлыми солями сульфата натрия-тенаудита. На поверхности образцов после обработки появляется соляная корка, увеличивающаяся с повышением расхода ЗЗП, что более активно проявляется на первых трех образцах ЗЗП.

Таблица-10.

**Расход закрепители по сухой массе в зависимости состава на 1м²
поверхности**

Шифр композиции	Расход суспензии по кратности		
	50 гр	100 гр	150 гр
N-1	833,33	1666,67	2499,99
N-2	70,33	140,67	210,99
N-3	82,0	164,17	246
N-4	71,93	143,87	215,8

Таблица-11.

**Количества ВАП (%)
Фракционный состав закрепленных почв после обработки с ЗЗП**

Диаметр ситы, d, мм	Кратность закрепления. Расход ЗЗП, г/м ²		
	200	400	600
N-1. HL			
7	7,6	29,6	31
5	0,4	0,3	0,1
3	0,5	0,5	0,2



2	0,3	0,2	0,2
1	0,5	0,3	0,2
0,5	1,7	1,5	1,3
0,2	49	37	26
0,1	33,6	24	31
0	7	6	10
Сумма	100	100	100
N-2. LV			
7	7,7	24	29,6
5	0,1	0,1	0,2
3	0,4	0,2	0,4
2	0,3	0,1	0,2
1	0,5	0,2	0,3
0,5	0,7	0,6	0,5
0,2	55,6	40	26
0,1	29	28	32
0	6	6,5	11
Сумма	100	100	100
N-3. LV, Ca(NO ₃) ₂			
7	24	28,8	38,8
5	0,2	0,4	0,2
3	0,3	0,4	0,3
2	0,2	0,2	0,2
1	0,3	0,3	0,3
0,5	0,4	1,9	0,9
0,2	41	37	31
0,1	27	27	23
0	7	8	7
Сумма	100	100	100
N-4. LV, фосфогипс. 3.9.1:6.			
7	1,2	2,9	3,7
5	0,2	0,2	0,2
3	0,4	0,3	0,4
2	0,5	0,4	0,4
1	0,9	1,5	1,2
0,5	2	1,9	1,7
0,2	41	33	32
0,1	49	55	50
0	5	6	11
Сумма	100	100	100

Для установления влияния ЗЗП на процесс закрепления определяли химический и фракционный состав образцов.

Ситовой анализ образцов (таблица 11) показал, что остаток в поддоне мене 0,20 мм составляет 30 - 61%, т.е. ниже, чем у исходного образца.

Увеличение расхода ЗЗП от 200; 400 до 600 г/м² привело к снижению содержания фракции в поддоне. При применение четвёртого образца ЗЗП остаток на поддоне оказался на 2-3 раз больше, чем первые три образца.



При увеличении доз ЗЗП в соляном почве количество ВПА увеличивается примерно в 1,5-2 раза, особенно заметно в композициях N₁ и N₂ и более 0,5 мм фракции составляет 10,2; 32,4, 31,9 и 25; 28 и 38% соответственно при нормах расхода 200, 400 и 600 г/м².

Крупность фракции достигает до 7 мм и их содержание составляет 7,6% при нормах расхода ЗЗП 200 г/м². А при повышении расхода ЗЗП 400 и 600 г/м² достигает более 24 % и 29,6 %. Хлорид и нитрат кальция содержащийся ЗЗП взаимодействует с частицами тенардита, засоленного почва грунта, образуя кристаллы дигидрата сульфата кальция и соответственно хлорида и нитрата натрия, которые выпадают в межфазных пространствах в зоне контакта с образованием нерастворимых соляных слоев. В жидкой фазе увеличивается долевое содержание Na КМЦ и Na₂SiO₃, образующие по мере испарения воды тонкую пленку, которая играет роль склеивающего агента, придает прочность и водостойкость формируемой структуре. Следует отметить, что наряду с увеличением общего количества ВПА происходит их перераспределение по размерам. Если для засолённого почва грунта, закрепленного раствором N₁ 200 г/м² характерно преимущественно образование агрегатов размерами -0,5 + 0,2, то при расходе 600 г/м² раствора N₁ преобладают крупные агрегаты размером >7,0мм.



Рис. 1. Состояние засолённых почв до и после применения



Табличные данные показывают, что фракционный состав обработанных закрепителем засоленных почв Аральского моря зависит от состава закрепителя. Сравнение данных показывает, что при применении оптимального количества закрепителя в образце содержатся фракции более 7 мм на 7,6-38,8 %, фракций более 0,5 мм – на 0,4-1,9 %, более 0,15 мм – на 20-30%, а фракций менее 0,15 мм в поддоне содержалось на 25,35% меньше.

Данные микроскопического (рис.2) анализов также подтвердили полученные результаты.

Из рисунков 2 и 3 видно основными составляющими минералами являются кремний и алюмосиликаты, их содержание в пробах находится в интервалах 27-63% и 20-37% соответственно. Но всех пробах наблюдается гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и его содержание находится в интервалах 3-8%.

Также из таблицы 12 видно, что у во всех образцах имеется CaCO_3 , но в 4-пробы выше, чем других. Это объясняется тем, что при приготовлении состава N-4 использовался фосфогипс и NH_4HCO_3 в результате их взаимодействия образуется $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ и CaCO_3 .

Таблица-12.
Элементный состав ЗЗП после закрепления (по СЭМ анализу)

Шифр закрепи- тель	Содержание, масс %										
	O	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Ti	Fe
N - 1	46,67	6,24	0,96	1,38	10,91	4,87	2,56	0,69	7,61	0,56	1,45
N - 2	46,02	7,01	1,48	1,57	8,49	4,75	4,06	0,62	7,27	0,12	1,48
N - 3	47,67	6,24	1,31	1,21	8,68	5,22	2,46	0,73	6,90	-	-
N - 4	48,54	1,49	0,99	1,40	11,74	3,54	1,17	0,89	11,00	-	1,83

На рисунках 2 и 3 приведены микроструктура и элементный состав закреплённых почв с применением композиции N-4. Из рисунка 2 видно, что на поверхности образцов накапливается композиция КМЦ и жидкое стекло и покрывают частицы агломерата и воздействием жидким стеклом зацементируются с образованием корки соли с определенной толщиной.

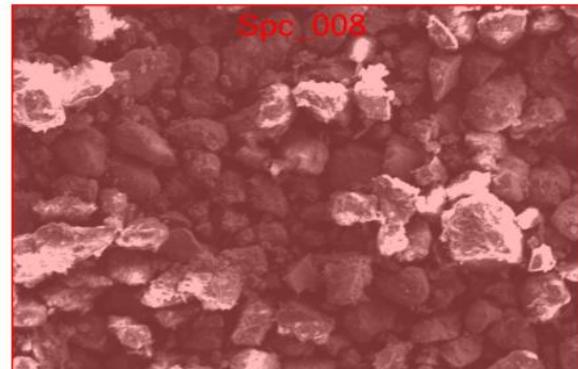
Из рисунка 2 видно, что основными составляющими элементами образцов являются Na, Ca, S и Cl кроме SiO. В основном кремний и кислород находится в виде кремния SiO_2 и алюмосиликатов. Натрий в виде хлорида натрия, а кальций в виде гипса.

Smp_149



— 5 mm

Sem_SED_157



— 100 μm

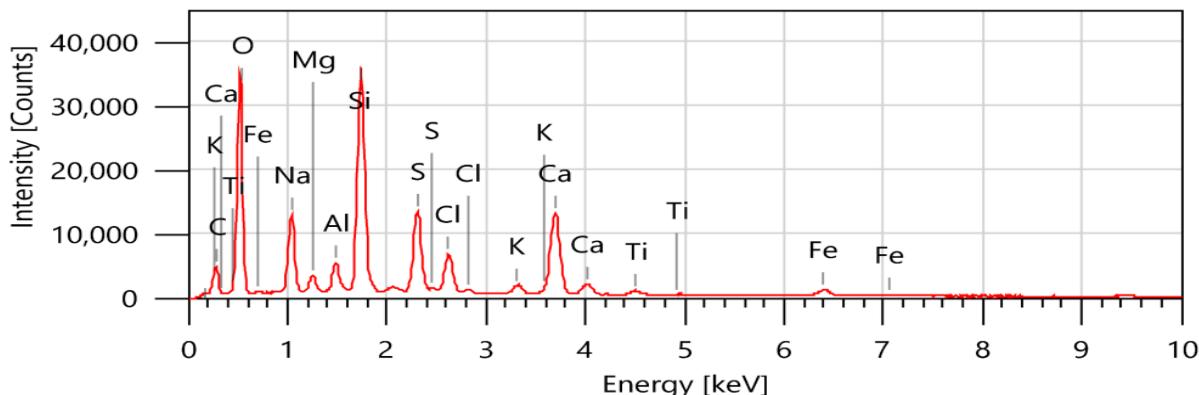


Рис. 2. Микроструктура и элементный состав закреплённых почв с применением композиция N – 1.

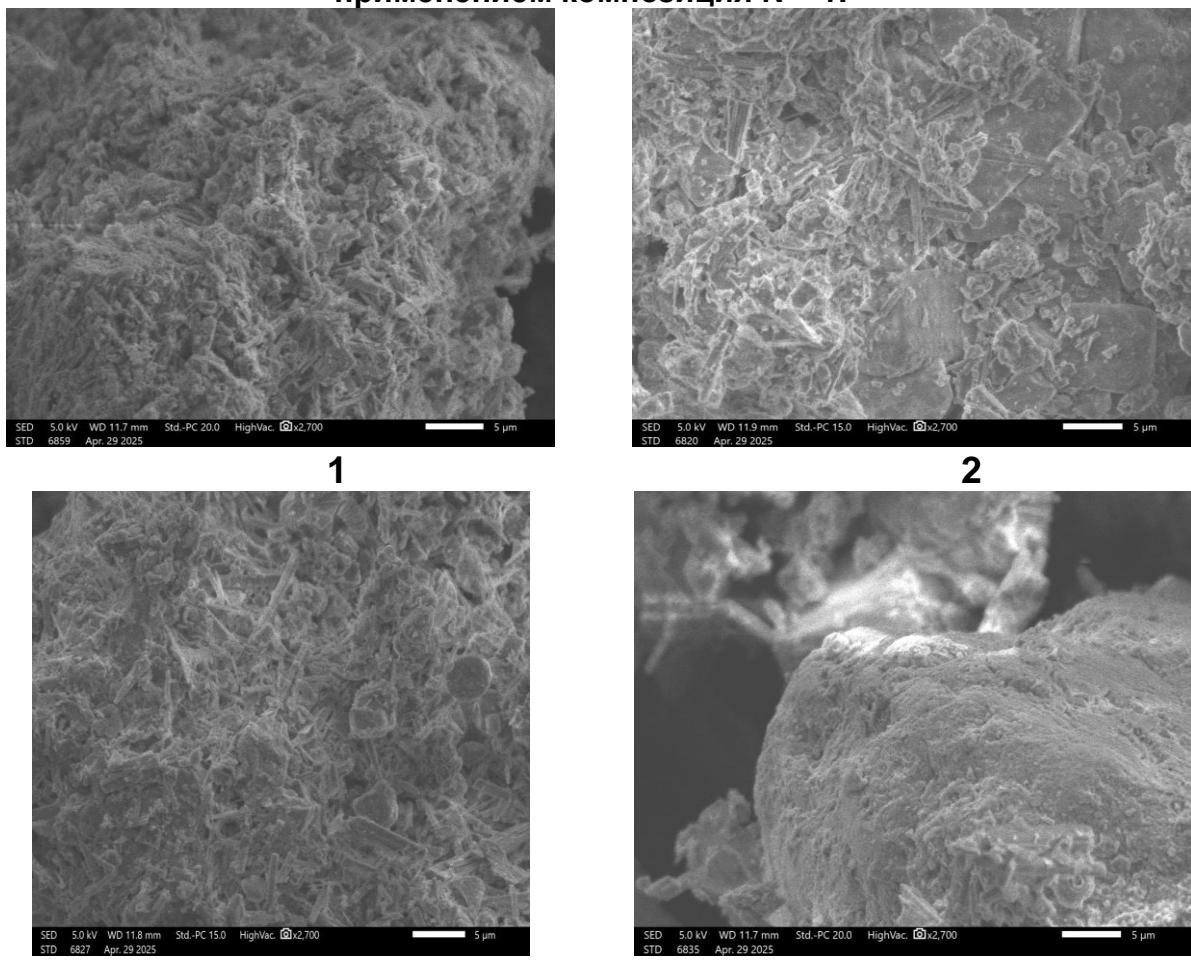


Рис. 3. Микроструктура и элементный состав закреплённых почв с применением образцов 3ЗП (N-n).

Заключение

Таким образом, изучение фракционного состава обработанных засоленных почв Аральского моря с определением ВПА и механической прочности поверхности корки показало возможность закрепления сульфатной пушонки со снижением ее уноса созданным закрепителем.



Оптимальным сказался закрепитель, состоящий из 40% хлорида кальция, КМЦ, жидкого стекла, нитрата кальция чем фосфогипс содержащий.

Список использованных литературы:

- [1.] Гулиев, А.Г. Засоление глобальная экологическая проблема в орошаемом земледелии / А.Г. Гулиев, И.А. Самофалова, Н.М. Мудрых // Пермский аграрный вестник. – 2014. – № 4(8). – С. 32-43.
- [2.] Панкова, Е.И. Засоление орошаемых почв Среднеазиатского региона: старые и новые проблемы / Е.И. Панкова // Аридные экосистемы. –2016. – № 22 4(69). – С. 21-29.
- [3.] Мягкова, Наталья Валентиновна. Экологические аспекты изменения климата в Узбекистане / Наталья Валентиновна Мягкова // Universum: технические науки. – 2019. – № 2(59). – С. 5-8.
- [4.] Чембарисов, Эльмир Исмаилович. Гидроэкологический мониторинг качества речных вод бассейна реки Амударья в пределах Узбекистана / Эльмир Исмаилович Чембарисов, Жахонгир Бахтиярович Мирзакобулов, Матлуба Наимовна Рахимова, Бахадыр Олим Расулов, Зарина Умаровна Тиллаева // Экология и строительство. – 2019. – № 1. – С. 12-18.
- [5.] Рахимов, Султон. От Арала до Рогуна: современная водохозяйственная обстановка в бассейне Амударьи / Султон Рахимов, Анвар Камолидинов // Центральная Азия и Кавказ. – 2014. – № 17(1). – С. 177-195.
- [6.] <https://naukarus.com/nauchnoe-nasledie-h-a-rahmatulina-v-oblasti-mehanikideformiruemuh-tverdyh-tel>
- [9.] Удобрения минеральные. Методы анализа. ГОСТ 20851.1-75, ГОСТ 20851.4-75.-М.: Изд-во стандартов,1977.-56с.
- [10.] Шварценбах Г.А., Флашка Г.Д. Комплексонометрическое титрование. - М.: Химия, 1970, 360 с.
- [11.] ГОСТ 22688 - 77. Удобрения минеральные. Методы определения кальция и магния. М.: Издательство стандартов, 1986. 22 с.
- [12.] Полуэктов Н.С. Методы анализа по фотометрии пламени.-М.: Химия. 1967.-307с.