



Состояние саксауловых насаждений казахстанской части Приаралья

Ж. К. Салмуханбетова^{1*}, А. А. Иманалинова², Л. А. Димеева³, Н. Е. Зверев³

¹РГП на ПХВ Институт ботаники и фитоинтродукции, Казахстан, Алматы, 050040, ул. Тимирязева, 36Д

²КазНУ имени аль-Фараби, Казахстан, Алматы, 050040, пр. аль-Фараби, 71

³РГП на ПХВ Институт ботаники и фитоинтродукции, Казахстан, Алматы, 050040, ул. Тимирязева, 36Д

*для корреспонденции: zhuldyz.kanatkyzy@mail.ru

МРНТИ 34.29.35

doi: 10.29258/CAJWR/2021-R1.v7-1/1-36.rus

Подана в редакцию: 14 ноября 2020; Подана после редактирования: 22 января 2021; Принятие к публикации: 26 января 2021; Доступ онлайн: 9 февраля 2021.

Аннотация

Целью статьи является оценка сохранности саксауловых насаждений на обсохшем дне Аральского моря (ОДАМ) и вблизи поселков, расположенных на коренном берегу.

*Защитные лесонасаждения саксаула черного (*Haloxylon ammodendron*) на обсохшем дне были заложены в 2009–2019 гг. по грантам Международного фонда спасения Арала (МФСА), экологических фондов Японии, ПРООН Казахстана и по программе «Корни травы» посольства Японии в Казахстане. В 2020 г., с 1 по 14 сентября, было проведено обследование этих насаждений на 24 участках, прилегающих к населенным пунктам Аралкум и Каратерен. На каждом участке проводились лесотаксационные измерения саксаула, определялось проективное покрытие присутствующих видов, оценивалось семенное возобновление и сохранность насаждений.*

Наблюдения 2020 г. выявили разное современное состояние саксауловых насаждений. Сохранность саксаула в лесопосадках изменяется от 0,12 до 78 %. Численность саксаула варьировала от 1 до 1000 экз./га на обсохшем дне моря и от 888 до 2633 экз./га в пос. Аралкум.

Новизна полученных результатов связана с тем, что наглядно показано, что сохранность лесопосадок, развитие и семенное самовозобновление саксаула зависят, прежде всего, от экологических условий участков, на которых они закладываются. Наилучшая сохранность и развитие саксаула характерны для участков с супесчаными и солончаковыми легкосуглинистыми почвами с навейным песчаным чехлом, наихудшие – для участков с корковыми и отакыривающимися солончаками.

Ключевые слова: обсохшее дно Аральского моря (ОДАМ), лесомелиорация, саксауловые насаждения, состояние, сохранность.

1. Введение

Аральское море начало высыхать с начала 60-х гг. XX в., что было вызвано нерациональным использованием водных ресурсов питающих его рек Амударьи и

Сырдарьи. Процесс падения уровня моря и обсыхание морского дна обусловили ряд экологических проблем. Пыль, песок, а также остатки сельскохозяйственных химикатов, поднятые с обсохшего дна Аральского моря (ОДАМ), разносятся ветром на территории населенных пунктов, тем самым негативно влияя на условия жизни населения. С целью решения данной проблемы создаются защитные лесонасаждения. В качестве защитных лесонасаждений на ОДАМ используется саксаул черный (*Haloxylon ammodendron*); данная номенклатура соответствует источнику The Plant List (2013).

Защитные лесонасаждения положительно влияют на экологическое состояние окружающей среды. Во-первых, они сдерживают движение песков, сокращают выдувание соли и пыли с обсохшего дна моря. Исследования узбекских ученых показали, что в однолетнем саксаулово-черкезовом (*Haloxylon ammodendron*, *Salsola richteri*) насаждении скорость ветра снижается на 20,5 %, в двухлетнем – на 34,6 %, а с достижением насаждениями семилетнего возраста скорость ветра может снизиться до нуля. Соответственно, наибольшее перемещение песка и вынос химических элементов происходит на необлесенном бархане, наименьшее – в защитных лесонасаждениях (Бакиров и др., 2020а). Саксаул улучшает микроклимат местности и способствует снижению уровня парниковых газов. 1 га саксаульников в возрасте 13 лет поглощает 4,95 т углерода и при этом выделяет 3,78 т кислорода (Муканов, Каверин, 2014). Также растительность снижает интенсивность дефляции. Корневые системы, скрепляя песок, прочно удерживают растения в почве и усиливают его устойчивость против воздействия ветра (Вилпс, Новицкий, 2007).

В Казахстане фитомелиорацией Приаралья начали заниматься с середины 80-х гг. XX в. В это же время были разработаны рекомендации, определен ассортимент и предложены основные методы (Курочкина, Макулбекова, 1984; Еримбетов и др., 1985; Димеева, 1990). Первые производственные посевы саксаула на обсохшем дне Арала были произведены Казалинским лесхозом осенью 1988 г. на участках восточного побережья вблизи пос. Каукей (Муканов, Каверин, 2014).

Целью статьи является оценка сохранности саксауловых насаждений на ОДАМ, вблизи пос. Каратерен и в пос. Аралкум, расположенном в 25 км от береговой линии моря 60-х гг.

2. Международный опыт фитомелиорации: обзор

Опыт по созданию лесных насаждений на ОДАМ также есть в Узбекистане (в Южном Приаралье) (Кузьмина и др., 2004; 2006; Кузьмина, Трешкин, 2007; Бакиров и др., 2020а; Новицкий, 2018; Novitskiy, 2012; Аширбеков, 2013). В зарубежных странах накоплен богатый опыт по борьбе с движущимися песками с помощью фитомелиоративных методов (Aiban, 1994; Orencio, Herrmann, 2006; Li et al., 2010).

Как один из крупных мировых проектов по фитомелиорации стоит отметить проект «Великая зеленая стена» (Great Green Wall), который должен остановить наступление пустыни Сахара на юг Африки. Этот проект стартовал в 2007 г., в нем участвуют 20 африканских стран. Его цель заключалась в посадке деревьев по всей

территории вдоль южной границы Сахары. Протяженность лесополосы от Сенегала до Джибути составляет около 8 тыс. км, ширина – 15 км (Goffner et al., 2019). В озеленении региона использовалась местная технология посадки – «зай», разработанная фермерами провинции Ятенга. При совместном использовании этого метода с почво- и водосберегающими мероприятиями огромные гектары бесплодной пустынной земли превращаются в лес. По статистике, из 2 млн саженцев, которые ежегодно высаживаются, выживает до 70–75 % деревьев (Colin Thor West et al., 2020).

По результатам проведенных исследований с использованием спутниковых изображений была установлена четкая граница улучшенной растительности. Уже созданная часть (15 %) зеленой стены не позволяет ветрам высушивать земли и восстанавливает микроклимат (Colin Thor West et al., 2020).

В Китае фиксация песков является одной из важных задач в решении проблемы опустынивания степной зоны. Китайские ученые обнаружили, что, в зависимости от состава и разнообразия видов и функциональных типов растений, закрепление дюн происходит по-разному. Различные функциональные типы растений определяют разные стратегии, адаптированные к местным условиям. Таким образом, полученные результаты применяются в северной части Китая для закрепления постоянных очагов подвижных песков (Dong et al., 2012).

3. Район исследования

3.1. Физико-географические условия

Территория исследования расположена в Аральском районе Кызылординской области на ОДАМ, которое также называют пустыней Аралкум, и в пос. Аралкум, на коренном берегу в 25 км от береговой линии 60-х гг. (рис. 1). Территория характеризуется равнинным рельефом.

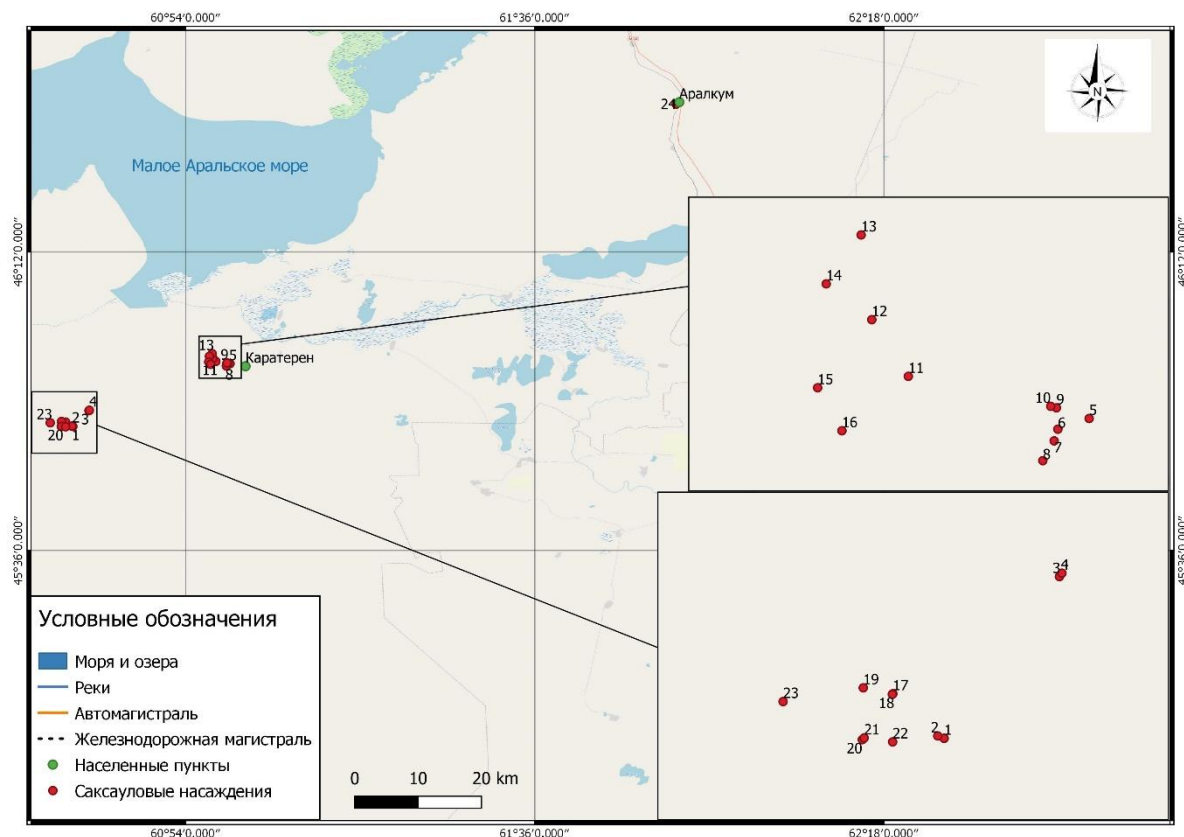


Рис. 1. Расположение участков наблюдения с защитными лесонасаждениями

Климат. Аральский район расположен в пустынной зоне умеренного пояса в пределах двух подзон: северных и настоящих пустынь (полынно-солянковых и эфемерово-полынных). Климат Аральского района является резко континентальным с резкими температурными контрастами, коротким весенним переходом от зимы к лету и малым количеством осадков. Средняя температура января $-11,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, июля $+27,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Годовое количество осадков около 130 мм. Средняя относительная влажность воздуха за год составляет около 60 %, что указывает на определенную сухость воздуха (Байшоланов, 2016).

Ветер. Средняя годовая скорость ветра в г. Аральск 4,7 м/с. В январе и октябре преобладают северный и северо-восточный ветры, в апреле – северо-восточный, в июле – северный ветер (Байшоланов, 2016).

Водные ресурсы. Современная гидрографическая сеть района состоит из Малого Аральского моря, современных дельтовых протоков р. Сырдарья, а также озерных систем в дельте: Камыстыбасской, Акштатауской, Приморской правобережной, Приморской левобережной и Айдаркульской. Район богат подземными водами – грунтовыми и артезианскими, залегающими на глубине от 1–6 до 10–20 м, солончатых (от 3–10 г/л) и сильно соленых (10–50 г/л). Подземные воды на обсохшей части дна Аральского моря в зависимости от удаления от уреза воды залегают на глубине от 0,5

до 2,5 м. Воды в основном соленые с минерализацией 30 г/л и более (Акиянова, Егембердиева, 2016).

Почвы. В системе почвенной широтной зональности почвенный покров Аральского района соответствует подзонам бурых и серо-бурых пустынных почв и их разновидностям. Слабая расчлененность территории и засоленность почвообразующих пород обуславливают преобладание комплексности в почвенном покрове и участие в его структуре зональных и аazonальных пустынных почв различной степени засоленности. Среди зональных почв, в комплексах и сочетаниях, широкое распространение получили песчаные, такыровидные почвы, такыры и различного генезиса солончаки (Ерохина, 2016).

Почвы обсохшего дна на восточном побережье Аральского моря в пределах 43–48 м абсолютной высоты являются сравнительно молодыми (по началу формирования). В зависимости от времени выхода на дневную поверхность и понижения уровня грунтовых вод в почвах побережья наблюдаются процессы миграции солей и солонцеобразования (Димеева, Пермитина, 2006).

Вдоль коренного берега на обсохшем дне располагаются песчаные массивы, они занимают наиболее значительные площади в районе Токпана – Узынкаира. Пески мелкобарханнные и средне-грядово-бугристые как заросшие, так и лишенные растительности. В межбарханнных понижениях засоление почв остается достаточно значительным. Песчаные массивы являются источником выноса песка и мелкозема.

Растительность. По ботанико-географическому районированию территория относится к Северотуранской провинции Западно-Северотуранской подпровинции Ирано-Туранской подобласти Сахаро-Гобийской пустынной области и располагается в пределах подзон северных и средних пустынь.

В Северном Приаралье ведущую роль в растительном покрове играют серополынные и белоземельнополынные (*Artemisia semiarida*, *A. terrae-albae*) пустыни, местами в комплексе с чернополынниками, биюргунниками и однолетнесолянковыми сообществами (*Artemisia pauciflora*, *Anabasis salsa*, *Salsola* spp., *Climacoptera* spp.). Псаммофитные пустыни на бугристых слабозакрепленных песках представлены псаммофитнокустарниковыми (*Calligonum aphyllum*, *Ammodendron bifolium*, *Astragalus brachypus*) и псаммофитнополынными (*Artemisia arenaria*, *A. quinqueloba*, *A. santolina*, *A. tomentella*) сообществами. Для маломощных песков характерны черносаксаульники (*Haloxylon ammodendron*) (Ботаническая география ..., 2003). Для ОДАМ характерно распространение солончаковых пустошей без растительности или с единичными группировками однолетних солянок (*Climacoptera aralensis*, *Petrosimonia triandra*, *Bassia hyssopifolia*) и галофитных кустарников (*Tamarix* spp., *Halostachys belangeriana*, *Nitraria schoberi*) (Димеева и др., 2013).

Флора ОДАМ насчитывает 368 видов сосудистых растений, относящихся к 43 семействам и 178 родам. К ведущим семействам относятся: Amaranthaceae (Chenopodiaceae), Asteraceae, Polygonaceae, Brassicaceae, Poaceae. Наиболее крупные

роды: *Calligonum* (35 видов), *Artemisia* (14), *Salsola* (13), *Atriplex* (12), *Astragalus* (11), *Tamarix* (10), *Suaeda* (9), *Climacoptera* (5) и *Corispermum* (5) (Dimeyeva et al., 2012).

3.2. Обзор международных проектов по фитомелиорации Северного Приаралья

Экспериментальные исследования по фитомелиорации в Приаралье были инициированы в 1997 г. проектом UNESCO (Димеева и др., 2000; Geldyeva et al., 2001; Meirman et al., 2001a) и продолжились в 1998–2000 гг. благодаря проектам BMBF (Meirman et al., 2001b) и BMBF-GTZ/CCD в 2002–2004 гг. (Wucherer et al., 2012).

В 2007 г. Комитет лесного и животного мира Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан начал реализацию инвестиционного проекта Правительства РК и Всемирного банка «Сохранение лесов и увеличение лесистости территории республики». В пилотные территории входили саксауловые насаждения в Кызылординской области. В рамках проекта (2008–2014 гг.) было создано около 56,5 тыс. га насаждений на ОДАМ. Приживаемость насаждений варьировала от 5 до 40 % (Муканов, Каверин, 2014; Димеева и др., 2017).

В период 2009–2019 гг. по грантам международных фондов, таких как Международный фонд спасения Арала (МФСА), экологических фондов Японии (Environmental Restoration and Conversation Agency, National Land Afforestation Promotion Organization, AEON Environmental Foundation, Green Fund, Risona Fund) и посольства Японии в Казахстане были созданы защитные лесонасаждения в Северо-Восточном Приаралье (Ishida, 2014). Благодаря полученному опыту были подготовлены рекомендации по созданию защитных лесонасаждений из саксаула черного на солончаковых пустошах дна Аральского моря (Димеева и др., 2013).

В период 2016–2017 гг. по гранту ПРООН Казахстана «Демонстрация и внедрение механических и фитомелиоративных методов закрепления подвижных песков» были проведены фитомелиоративные работы в пос. Аралкум. Сочетание фитомелиоративных и механических методов показало положительные результаты, приживаемость насаждений на пилотном участке в 2017 г. составила от 32 до 57 % (Алимбетова и др., 2020).

3.3. Изучаемые лесонасаждения

Для мониторинга были выбраны 24 участка с защитными лесонасаждениями на ОДАМ, созданных преимущественно в 2009–2019 гг. вблизи пос. Каратерен по грантам МФСА, экологических фондов Японии (участки 1–4, 17–23) и по программе «Корни травы» посольства Японии в Казахстане (участки 5–16). Участок 24, расположенный в пос. Аралкум, был создан по гранту ПРООН-Казахстан (см. рис. 1).

Участки у пос. Каратерен расположены двумя кластерами – на расстоянии 5 км от поселка (по программе «Корни травы») и на расстоянии более 30 км. Пилотный участок в пос. Аралкум находится на его западной окраине.

Для большинства участков была определена приживаемость посадочного материала в год посадок (Таблица 1). На некоторых из них ранее проводился

мониторинг через несколько лет после посадки и определялась сохранность насаждений: через 2 года (участок 24), через 5 лет (участок 1). В статье приводятся некоторые данные по результатам этих обследований.

Лесопосадка участков была проведена следующими методами. Фитомелиорация первых 23 участков включала несколько этапов. На участках солончаковых пустошей площадью 1–5 га сперва проводится вспашка. Борозды ориентируют перпендикулярно основному направлению ветра. Расстояние между рядами 10 м, между саженцами в ряду – 1,5–2 м.

Для посадки саженцев сразу после вспашки необходимо пескование. Не менее чем за год в бороздах происходит накопление песка естественным путем. Весной производится посадка саженцев, а осенью посев семян саксаула. После посадки проводят влагозарядковый полив. Лесонасаждения поливают три раза в течение первого вегетационного периода (Димеева и др., 2013).

Последний 24 участок в пос. Аралкум был заложен для закрепления движущихся песков методами фитомелиорации в сочетании с устройством механических защит от выдувания. Перед проведением фитомелиоративных работ вокруг территории были построены ограждения для охраны от скота. Для закрепления песков и защиты растений были установлены клеточные заграждения из камыша (тростника), 3x3 м. Для этого выкапывались траншеи на глубину 30 см, в которые устанавливались камышитовые маты. Для лучшего закрепления «верхушек» движущихся песков проводилось глинование. Посадка растений осуществлялась ранней весной ближе к стенкам камышовых защит, где меньше оголяется корневая система. Участки поливали 2 раза в месяц (Алимбетова и др., 2020).

Таблица 1. Описание участков мониторинга

№ участка	Год посадки	Координаты участков	Площадь, га	Приживаемость, %	Донор/проект
1	2008 2010*	N 45°50'57.0'' E 60°40'25.1''	1	0 72	Японский экологический фонд (National Land Afforestation promotion organization of Japan), проект «Afforestation project»
2	2009 2010*	N 45°50'58.7'' E 60°40'18.7''	2	33 55	
3	2011	N 45°52'51.3'' E 60°42'21.8''	2	0	
4	2013	N 45°52'53.7'' E 60°42'24.3''	1	1,3	
5–10**	2012	N 45°58'31.1''	27	9,2	Программа «Корни травы» посольства Японии в Казахстане

		E 60°59'19.6'' N 45°58'26.9'' E 60°59'01.9'' N 45°58'22.3'' E 60°58'59.8'' N 45°58'14.5'' E 60°58'53.4'' N 45°58'35.3'' E 60°59'01.1''			
11– 16**	2014	N 45°58.795' E 60° 57.623' N 45°59.167' E 60°57.279' N 45°59.723' E 60°57.179' N 45°59.402' E 60°56.850' N 45°58.720' E 60°56.769' N 45°58.438' E 60°56.998'	30	5	
17	2016	N 45°51'28.5'' E 60°39'33.2''	2	–	МФСА, проект «Фитомелиорация абсолютной пустоши северо-восточного побережья Аральского моря» (Отчет по проекту ..., 2016)
18	2017	N 45°51'28.1'' E 60°39'32.7''	1	90	Японский фонд Risona, проект «Afforestation project»
19	2017	N 45°51'32.7'' E 60°39'03.3''	1	–	Японский фонд AEON, проект «Afforestation project»
20	2018	N 45°50'56.1'' E 60°39'02.3''	1	11	Японский фонд Risona, проект «Afforestation project»
21	2018	N 45°50'57.3'' E 60°39'04.2''	1	5	Японский фонд AEON, проект «Afforestation project»
22	2018	N 45°50'54.5'' E 60°39'33.0''	1	15,2	Японский фонд Green, проект «Afforestation project»

23	2019	N 45°51'23.0'' E 60°37'42.2''	1	46	Японский фонд Risona, проект «Afforestation project»
24	2017	N 46°29'50'' E 61°53'00''	2	44,7	Проект ПРООН/Казахстан «Демонстрация и внедрение механических и фитомелиоративных методов закрепления подвижных песков в населенном пункте Аралкум на Арало-Сырдаринской проектной территории» (Алимбетова и др., 2020)

* *Примечание 1.* В эти годы были осуществлены повторные посадки саксаула.

***Примечание 2.* Участки, имеющие общую границу.

4. Методы исследования

Работы проводились с 1 по 14 сентября 2020 г. с учетом правил проведения инвентаризации лесных культур (Об утверждении Правил ..., 2012). Для каждого участка проводились лесотаксационные измерения саксаула черного (Байзаков и др., 2007). Для оценки лесотаксационных показателей закладывались площадки 100 кв. м (10x10 или 5x20). На площадке определялась численность саксаула, высота, ширина кроны каждого растения, диаметр корневой шейки. В междурядье закладывались площадки 5x5 м для учета семенного возобновления. Проективное покрытие саксаула рассчитывалось по площади кроны.

На каждом участке были выполнены геоботанические описания (Быков, 1978). Для этого используются специальные геоботанические бланки. На пробных площадках детально описываются основные компоненты ландшафта: рельеф, почвы, растительность и их состояние. Особое внимание уделяется изучению пространственной структуры растительных сообществ и их связи с рельефом, почвами, увлажнением.

При описании растительных сообществ учитывается: 1) флористический состав; 2) общее проективное покрытие; 3) фенофаза; 4) обилие видов по шкале Друде; 5) характер распределения видов. Для каждого вида определяется: а) высота растений, б) ярусность, в) жизненное состояние по шкале Гроссгейма. Учитываются факторы воздействия на растительность (природные или антропогенные).

Сохранность насаждений оценивалась по проценту прижившихся к первоначальному числу саженцев.

Сбор гербария проводится при описании растительных сообществ. Определение незнакомых видов растений осуществлялось при камеральной обработке собранного материала с использованием «Иллюстрированного определителя растений Казахстана» в 2-х томах (1969, 1972) и «Флоры Казахстана» в 9 томах (1956–1966) (Иллюстрированный определитель ..., 1969, 1972; Флора Казахстана, 1956–1966).

Номенклатура видов приведена с учетом последних таксономических изменений, принятых ботаническим сообществом (The Plant List, 2013; Plantarium, 2007-2021).

5. Результаты

Участок 1. Почвы участка – приморские солончаковые среднесуглинистые. Признаки нарушения: кизяк верблюдов, норы грызунов. Растительный покров: однолетнесолянково-саксауловое сообщество (рис. 2). Общее проективное покрытие (ОПП) растительного сообщества – 40,5 %. Видовое разнообразие: *Haloxylon ammodendron*, *Petrosimonia squarrosa* (sp), *Climacoptera aralensis* (sol).



Рис. 2. Саксауловые насаждения 2010 г. на участке 1

Состояние – удовлетворительное. Проективное покрытие саксаула 40 % (17 % посадки 2010 г., 23 % – разновозрастный подрост).

Возраст саксаула 11–12 лет. Присутствует двух- и трехлетний подрост саксаула. Средняя высота 195 см (от 150 до 250 см). Средняя площадь кроны 1,7 кв. м, наибольшая – 5,5 кв. м. Диаметр корневой шейки в среднем 8,7 см, наибольший – 12 см. Численность 1000 экз./га. Численность 2-летних семян саксаула 18 шт., 3-летних – 40 шт. на площади 100 кв. м.

Сохранность насаждений 64,5 %. Саксаул распространился в восточном и северо-восточном направлении на расстояние 438 м, на северо-запад – на 39 м.

Выявились 15 оазисов распространения саксаула от материнской плантации (рис. 3).

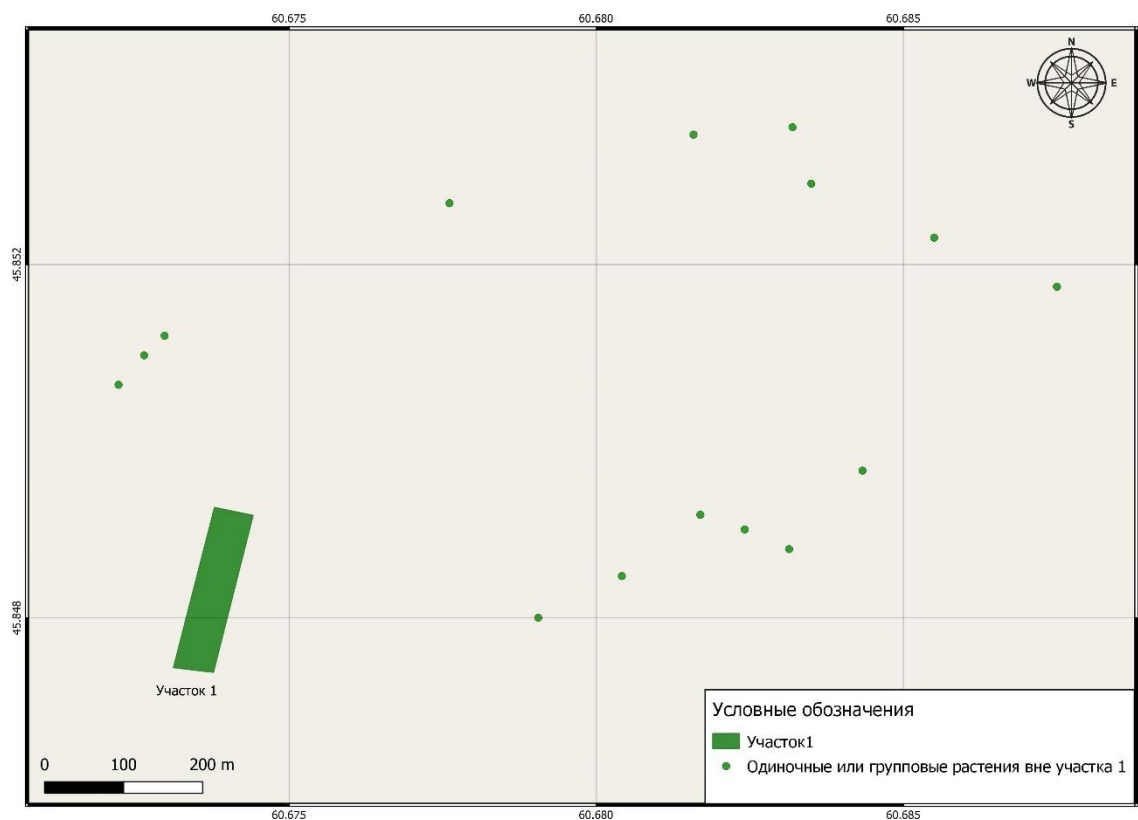


Рис. 3. Распространение саксаула от материнской плантации на примере участка 1

Участок 2. Почвы – отакыренный солончак. Признаки нарушения: кизяк верблюдов, следы джейранов. Есть сеянцы прошлого года. Растительный покров: однолетнесолянково-саксауловое сообщество (рис. 4).



Рис. 4. Саксауловые насаждения 2009–2010 гг. на участке 2

Видовое разнообразие: *Haloxylon ammodendron*, *Anabasis aphylla* (sol), *Petrosimonia squarrosa* (sol-sp), *Salsola nitraria* (sp-cop₁), *Halostachys belangeriana* (sol), *Phragmites australis* (sol). ОПП – 27 %. Проективное покрытие саксаула 21,5 %.

Возраст саксаула 11–12 лет. Также присутствует 3–6-летний подрост саксаула. Средняя высота 190,4 см (от 120 до 220 см). Средняя площадь кроны 2,8 кв. м, наибольшая – 6,6 кв. м. Диаметр корневой шейки в среднем 11,2 см, наибольший – 16 см.

Численность 80 экз./га. Численность 3-летних особей саксаула 16 шт., 4-летних – 11 шт., 6-летних – 4 шт. на площади 10x100 м. Сохранность насаждений 9,4 %.

Участки 3–4. Почвы – отакыренный солончак. Ранее был корковый солончак. На участок нанесло мелкозем, который удерживается саксаулом и лебедой, благодаря чему сформировалась мелкобугристая поверхность. Признаки нарушения: кизяк верблюдов, следы джейранов. Есть сеянцы прошлого года. Растительный покров: саксауловое сообщество с лебедой (рис. 5). Видовое разнообразие: *Haloxylon ammodendron*, *Atriplex pratovii* (sol-sp), *Salsola nitraria* (sol). ОПП – 30 %. Проективное покрытие саксаула на участке 25 %.



Рис. 5. 3–5-летний саксаул на участках 3–4

Возраст саксаула 7–9 лет. Также присутствуют 3–5-летний подрост саксаула. Средняя высота 200 см (от 160 до 230 см). Средняя площадь кроны 5,1 кв. м, наибольшая – 8,4 кв. м. Диаметр корневой шейки не удалось определить, так как она была засыпана мелкоземом. Численность 500 экз./га. Численность трехлетних растений саксаула 7 шт., пятилетних – 3 шт. на площади 100 кв. м.

Участок 5. Почвы – формирующиеся пустынные песчаные маломощные. Местами на поверхность выходит голубая глина. Растительный покров: псаммофитнокустарниковое сообщество с саксаулом (рис. 6). Видовое разнообразие: *Calligonum aphyllum* (sp), *Haloxylon ammodendron*, *Eremosparton aphyllum* (sp), *Astragalus brachypus* (sp), *Stipagrostis pennata* (sp), *Salsola paulsenii* (sp), *Heliotropium arguzioides* (sol).

ОПП – 25–30 %. Проективное покрытие саксаула 8 % (7,8).



Рис. 6. Общий вид участка 5

Возраст саксаула 10 лет. Присутствуют 3–4-летние экземпляры и годичный подрост. Средняя высота 76 см (от 30 до 200 см). Средняя площадь кроны 1 кв. м, наибольшая – 5,9 кв. м. Численность 100 экз./га. Сохранность насаждений 20 %.

Участок 6. Почвы – отакыривающийся солончак. Признаки нарушения: следы копыт, кизяк лошадей. Растительный покров: разреженные группировки саксаула, тамарикса, дерезы и петросимонии (рис. 7).

Видовое разнообразие: *Haloxylon ammodendron*, *Tamarix hispida* (sol), *Lycium ruthenicum* (sol), *Petrosimonia squarrosa* (sol), *Karelinia caspia* (sol), *Tamarix laxa* (sol).

ОПП – 5–7 %. Проективное покрытие саксаула 0,1 %.



Рис. 7. Общий вид участка 6

Возраст саксаула 10 лет. Средняя высота 80 см (от 75 до 85 см). Средняя площадь кроны 0,5 кв. м, наибольшая – 1,6 кв. м. Диаметр корневой шейки в среднем 3,8 см, наибольший – 5 см. Численность 10 экз./га. Сохранность насаждений 2 %.

Участок 7. Почвы – отакыривающийся солончак. Признаки нарушения: кизяк лошадей, норы грызунов. Растительный покров: разреженный петросимониевый саксаульник с микроценозами дерезы (рис. 8). Видовое разнообразие: *Haloxylon ammodendron*, *Petrosimonia squarrosa* (sol), *Zygophyllum oxianum* (sol-un), *Lycium ruthenicum* (sol). ОПП – 7–10 %. Проективное покрытие саксаула 5 %.



Рис. 8. Саксауловые насаждения на участке 7

Возраст саксаула 10 лет. Средняя высота 133,3 см (от 100 до 160 см). Средняя площадь кроны 3,1 кв. м, наибольшая – 5,8 кв. м. Диаметр корневой шейки в среднем 5,3 см, наибольший – 6 см. Численность 95 экз./га. Сохранность насаждений 19 %.

Участок 8. Почвы – отакырывающийся солончак. Признаки нарушения: следы копытных, кизяк, тропинчатость. Растительный покров: группировки саксаула с единичной селитрянкой, дерезой и однолетними солянками (рис. 9). Видовое разнообразие: *Haloxylon ammodendron*, *Climacoptera aralensis* (sp), *Limonium otolepis* (sp), *Nitraria schoberi* (sp), *Halostachys belangeriana* (sp), *Tamarix hispida* (sp), *T. elongata* (sp). ОПП – 10–15 %. Проективное покрытие саксаула 2 %.



Рис. 9. Саксауловые насаждения на участке 8

Возраст саксаула 10 лет. Средняя высота 118,3 см (от 70 до 160 см). Средняя площадь кроны 2,9 кв. м, наибольшая – 4,6 кв. м. Диаметр корневой шейки в среднем 4,7 см, наибольший – 6 см. Численность 44 экз./га. Сохранность насаждений 9 %.

Участки 9–10. Почвы – такыровидные с полигональными трещинами. Признаки нарушения: кизяк коров, верблюдов. Растительный покров: разреженные группировки дерезы и солянок с единичным саксаулом (рис. 10). Видовое разнообразие: *Haloxylon ammodendron*, *Halocnemum strobilaceum* (sol), *Lycium ruthenicum* (sp), *Tamarix elongata* (sol), *Petrosimonia brachiata* (sol-sp), *P. squarrosa* (sol-sp), *Halostachys belangeriana* (sol), *Climacoptera aralensis* (sol), *Tamarix elongata* (sp), *Karelinia caspia* (sol). ОПП – 5 %. Проективное покрытие саксаула 0,04 %.



Рис. 10. Общий вид участков 9–10

Возраст саксаула 10 лет. Средняя высота 61,7 см (от 50 до 80 см). Средняя площадь кроны 0,3 кв. м, наибольшая – 0,9 кв. м. Диаметр корневой шейки в среднем 2,8 см, наибольший – 4 см. Численность 11 экз./га. Сохранность насаждений 2,2 %.

Участок 11. Почвы – корковый солончак. Признаки нарушения: следы верблюдов. Растительный покров: группировки саксаула, сведы мелколистной, карабарака и солянок (рис. 11). Видовое разнообразие: *Haloxylon ammodendron*, *Suaeda microphylla* (sp), *Climacoptera aralensis* (sp), *Petrosimonia squarrosa* (sol), *Halostachys belangeriana* (sol), *Anabasis aphylla* (sol), *Halocnemum strobilaceum* (sol), *Limonium otolepis* (sol), *Kalidium foliatum* (sol). ОПП – 5–7 %. Проективное покрытие саксаула 1,1 %.

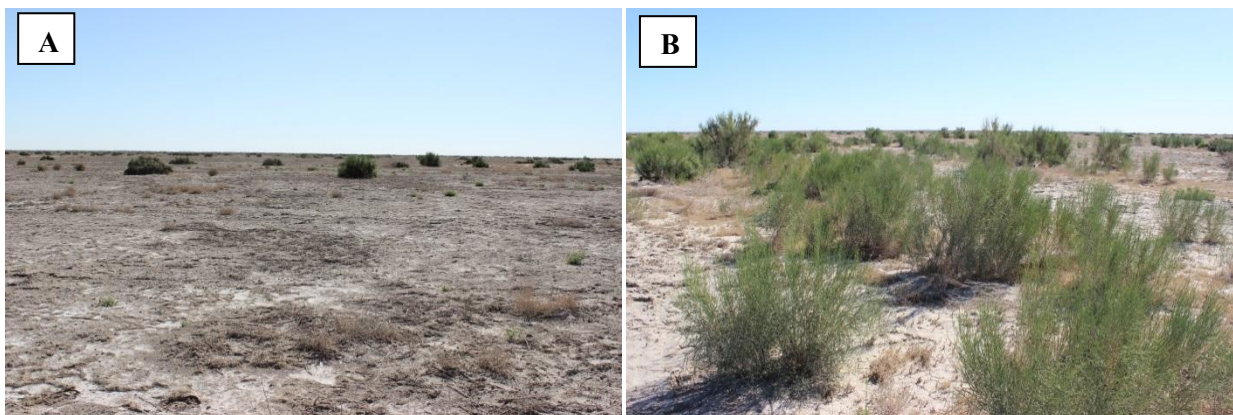


Рис. 11. Участок 11. А – общий вид участка; В – группировка саксаула вблизи

Возраст саксаула 8 лет. Есть сеянцы прошлого года, всходов этого года (2020) нет, обломано 50 %. Присутствует годичный подрост. Средняя высота 220 см. Средняя площадь кроны 2,4 кв. м, наибольшая – 5,9 кв. м. Диаметр корневой шейки в среднем 15 см. Численность 20 экз./га. Сохранность насаждений 4 %.

Участок 12. Почвы – корковый солончак. Единичные кусты саксаула хорошей жизненности. Растительный покров: группировки саксаула, итсигека, карабарака с климакоптерой (рис. 12).

Видовое разнообразие: *Haloxylon ammodendron*, *Climacoptera aralensis* (sp-sol), *Petrosimonia squarrosa* (sp-sol), *Halostachys belangeriana* (sol). ОПП – 2–3 %. Проективное покрытие саксаула 0,1 %.



Рис. 12. Поверхность покрыта солью

Возраст саксаула 8 лет. Средняя высота 220 см. Средняя площадь кроны 5 кв. м. Диаметр корневой шейки в среднем 9 см. Численность 2 экз./га. Сохранность насаждений 0,3 %.

Участок 13. Почвы – корковый солончак. Растительный покров: разреженные группировки карелинии, карабарака и селитрянки (рис. 13).

Видовое разнообразие: *Nitraria schoberi* (sol), *Karelinia caspia* (sol), *Halostachys belangeriana* (sol). ОПП – 1–2 %. Сохранность насаждений 0 %, отсутствует саксаул.



Рис. 13. Корковый солончак на участке 13

Участок 14. Почвы – корковый солончак. Растительный покров: единичные группировки итсигека (рис. 14). Видовое разнообразие: *Haloxylon ammodendron*, *Anabasis aphylla* (sol). ОПП > 1 %. Численность саксаула 1 экз./га. Сохранность насаждений 0,12 %.



Рис. 14. Общий вид участка 14

Участок 15. Почвы – солончак корково-пухлый отакыривающийся. Растительный покров: разреженные группировки карабарака, селитрянки, кермека (рис. 15). Видовое разнообразие: *Haloxylon ammodendron*, *Limonium otolepis* (sol-sp), *Frankenia hirsuta* (sol), *Halostachys belangeriana* (sol), *Nitraria schoberi* (sol). ОПП – 3–5 %. Проектное покрытие саксаула 0,1 %.

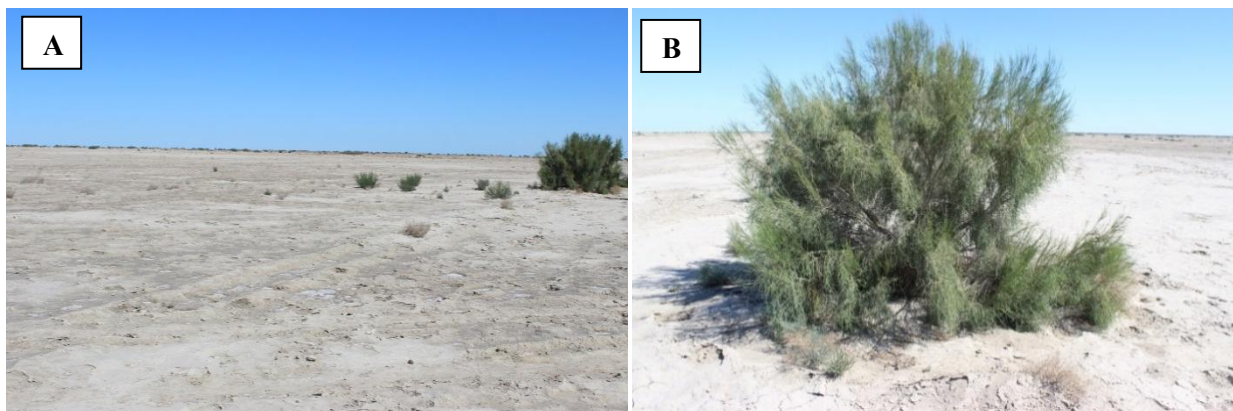


Рис. 15. А – общий вид участка 15; В – саксаул

Возраст саксаула 8 лет. Присутствует годичный подрост. Средняя высота 220 см. Средняя площадь кроны 8,1 кв. м. Численность 2 экз./га. Сохранность насаждений 0,24 %.

Участок 16. Почвы – корково-пухлый солончак. Растительный покров: разреженные группировки многолетних и однолетних солянок (рис. 16). Видовое разнообразие: *Haloxylon ammodendron*, *Limonium otolepis* (sol), *Phragmites australis* (sol), *Climacoptera aralensis* (sp-sol), *Halostachys belangeriana* (sol), *Anabasis aphylla* (sol), *Nitraria schoberi* (sol). ОПП – 3 %. Проективное покрытие саксаула 0,06 %.



Рис. 16. Борозда с погибшим саксаулом

Возраст саксаула 8 лет. Присутствует годичный подрост. Средняя высота 175 см (от 170 до 180 см). Средняя площадь кроны 7,5 кв. м. Численность 1 экз./га. Сохранность насаждений 0,2 %.

Участок 17. Почвы – приморские супесчаные. Признаки нарушения: норы грызунов. Растительный покров: разреженный саксаульник (рис. 17). Видовое разнообразие: *Haloxylon ammodendron*, *Climacoptera aralensis* (sp). ОПП – 10 %. Проективное покрытие саксаула 4,2 %.

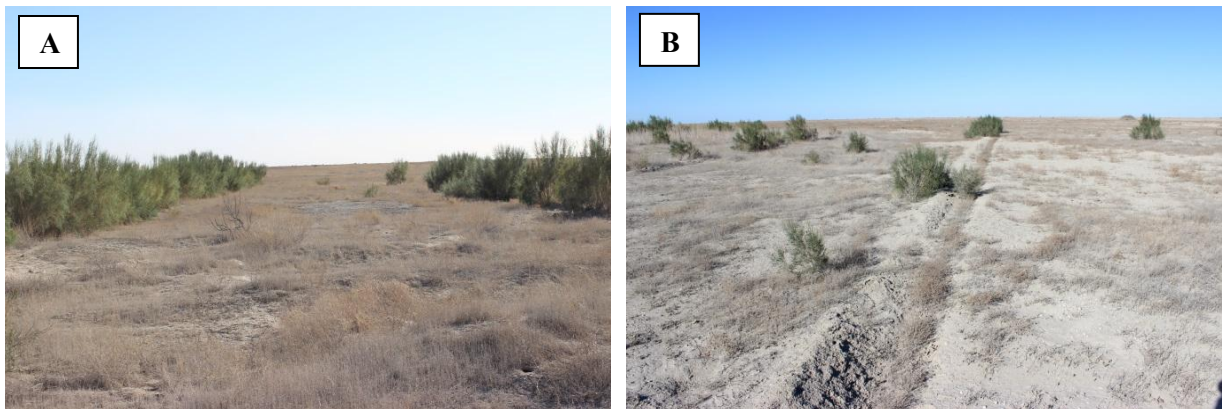


Рис. 17. А – общий вид участка 17; В – саксаул в ряду

Возраст саксаула 6 лет. Присутствует годичный подрост. Средняя высота 136 см (от 60 до 180 см). Средняя площадь кроны 0,6 кв. м. Диаметр корневой шейки в среднем 3,4 см, наибольший – 6 см. Численность 700 экз./га. Численность однолетних семян саксаула 11 шт. (на 100 кв. м). Сохранность насаждений 78 %.

Участок 18. Почвы – приморские солончаковые легкосуглинистые с навейным песчаным чехлом. Растительный покров: саксаульник. Видовое разнообразие: *Haloxylon ammodendron*, *Climacoptera aralensis* (sol-sp), *Salsola nitraria* (sol-sp). ОПП – 20 %. Проективное покрытие саксаула 18 %.

Возраст саксаула 5 лет. Средняя высота 112 см (от 70 до 160 см). Средняя площадь кроны 0,9 кв. м, наибольшая – 1,5 кв. м. Диаметр корневой шейки в среднем 4,9 см, наибольший – 7 см. Численность 700 экз./га. Сохранность насаждений 72,4 %.

Участок 19. Почвы – приморские супесчаные. Растительный покров: разреженный саксаульник с однолетними солянками. Видовое разнообразие: *Haloxylon ammodendron*, *Climacoptera aralensis* (sol-sp), *Salsola nitraria* (sol-sp). ОПП – 15 %. Проективное покрытие саксаула 12,6 %.

Возраст саксаула 3 года (семенной). Средняя высота 176,7 см (от 140 до 190 см). Средняя площадь кроны 1,4 кв. м, наибольшая – 2,3 кв. м. Диаметр корневой шейки в среднем 6,5 см, наибольший – 8 см. Состояние саксаула отличное. Численность 900 экз./га.

Участок 20. Почвы – приморские среднесуглинистые. Растительный покров: группировки саксаула с солянками (рис. 18). Видовое разнообразие: *Haloxylon*

ammodendron, *Kalidium foliatum* (sol), *Salsola nitraria* (sol). ОПП – 5–7 %. Проектное покрытие саксаула на участке 2,1 %.



Рис. 18. Саксауловые насаждения на участке 20

Возраст саксаула 4 года. Средняя высота 73,7 см (от 50 до 120 см). Средняя площадь кроны 0,2 кв. м, наибольшая – 1,1 кв. м. Диаметр корневой шейки в среднем 2,4 см, наибольший – 3 см. Численность 200 экз./га. Сохранность насаждений 20 %.

Участок 21. Почвы – корковый солончак. Растительный покров: разреженные группировки саксаула с солянками (рис. 19). Видовое разнообразие: *Haloxylon ammodendron*, *Climacoptera aralensis* (sol), *Kalidium foliatum* (sol), *Halostachys belangeriana* (sol). ОПП > 1 %. Проектное покрытие саксаула 0,2 %.



Рис. 19. Прижившиеся саженцы саксула на участке 21

Возраст саксаула 4 года. Средняя высота 60 см. Средняя площадь кроны 0,2 кв. м. Численность 60 экз./га. Сохранность насаждений 6 %.

Участок 22. Почвы – корковый солончак. Растительный покров: разреженные группировки саксаула с гребенщиком (рис. 20). Видовое разнообразие: *Haloxylon ammodendron*, *Tamarix hispida* (sp), *Salsola nitraria* (sp-sol). ОПП – 5 %. Проективное покрытие саксаула 0,3 %. Возраст саксаула 4 года. Средняя высота 75 см (от 70 до 80 см). Средняя площадь кроны 0,6 кв. м. Численность 45 экз./га. Сохранность насаждений 4,5 %.



Рис. 20. Общий вид участка 22; на ближнем плане солянка натронная

Участок 23. Почвы – приморские солончаковые с навейным песчаным чехлом. Растительный покров: разреженные группировки саксаула с однолетними солянками (рис. 21). Видовое разнообразие: *Haloxylon ammodendron*, *Salsola nitraria* (sp), *Atriplex pratovii* (sp), *Climacoptera ferganica* (sol-sp). ОПП – 10 %. Прошлогодние особи лебеды 40 %. Проективное покрытие саксаула 6,3 %.

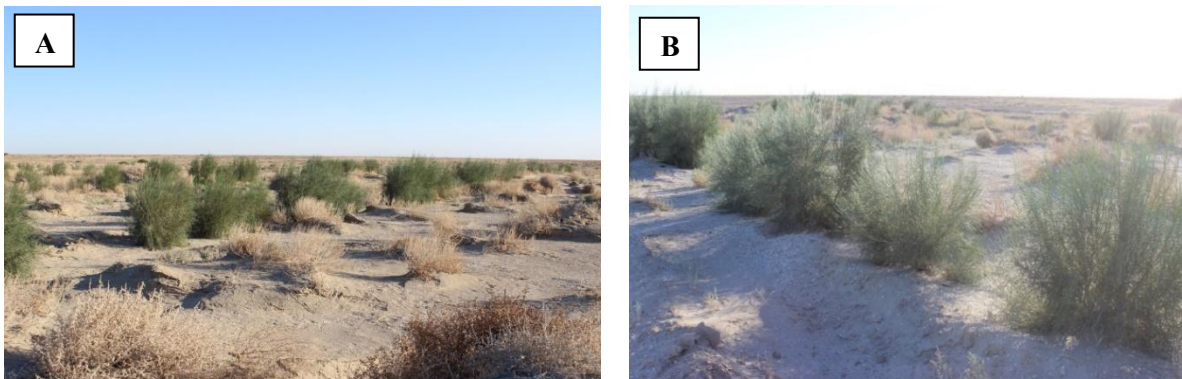


Рис. 21. А – саксауловые насаждения на участке; В – саксаулы в ряду

Возраст саксаула 3 года. Средняя высота 89 см (от 50 до 170 см). Средняя площадь кроны 0,9 кв. м, наибольшая – 1,9 кв. м. Диаметр корневой шейки в среднем 3,3 см, наибольший – 7 см. Численность 700 экз./га. Сохранность насаждений 70 %.

Участок 24. Изначально участок разбили на два участка по 1 га: первый (на севере территории) характеризовался подвижными песчаными грядами, второй (на юге) располагался в понижении рельефа (рис. 22). Наблюдения в 2019 г. показали, что сохранность саксаула варьировала от 35 до 53 % в зависимости геоморфологических условий участков (Алимбетова и др., 2020).

Первый учетный участок. Почвы – пески мелкобугристые. Растительный покров: саксауловое сообщество. Проектное покрытие саксаула на участке 24 %. Видовое разнообразие: *Haloxylon ammodendron*, *Salsola australis* (sol), *S. paulsenii* (sol), *S. orientalis* (sol-sp), *Anabasis aphylla* (un-sol), *Artemisia santolina* (sol), *A. scoparia* (sol), *Heliotropium arguzioides* (sol), *Ammodendron bifolium*, *Krascheninnikovia ceratoides* (sol-sp), *Kochia prostrata* (sol-sp). Возраст саксаула 4–5 лет. Средняя высота 133 см (от 90 до 160 см). Средняя площадь кроны 2,7 кв. м., наибольшая – 5,5 кв. м. Диаметр корневой шейки в среднем 1,5 см, наибольший – 2,5 см. Численность 888 экз./га. Сохранность 13,6 %.

Второй учетный участок. Почвы – пески мелкобугристые. Растительный покров: саксауловое сообщество. Проектное покрытие саксаула на участке 66 %. Видовое разнообразие: *Corispermum aralo-caspicum*, *Salsola australis* (sol), *S. paulsenii* (sol), *Calligonum* spp. (sol-sp), *Krascheninnikovia ceratoides* (sol-sp), *Artemisia santolina* (sol), *A. arenaria* (sol), *A. tomentella* (sol), *Agriophyllum squarrosum* (sol), *Heliotropium arguzioides* (sol), *Peganum harmala* (sol), *Astragalus lehmannianus* (sol), *Aeluropus littoralis* (sol), *Secale sylvestre* (sol), *Bromus tectorum* (sol). Возраст саксаула 4–5 лет. Средняя высота 111,8 см (от 40 до 280 см). Средняя площадь кроны 1,2 кв. м., наибольшая – 2,0 кв. м. Диаметр корневой шейки в среднем 1,5 см, наибольший – 4,5 см. Численность 2633 экз./га. Сохранность 40,5 %.

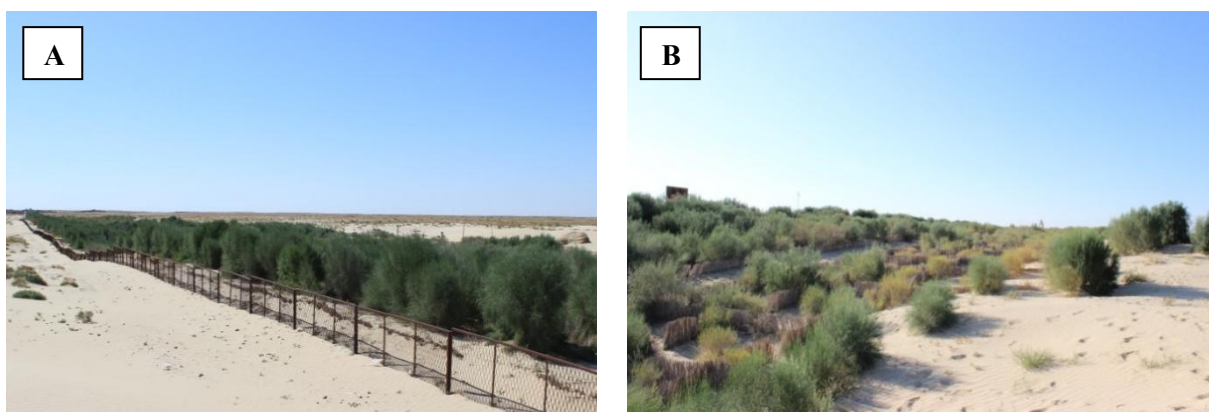


Рис. 22. Закрепление подвижных песков саксаулом в пос. Аралкум

А – общий вид участка; В – посадки саксаула

6. Обсуждение

6.1. Факторы, влияющие на состояние насаждений

Наиболее успешным примером фитомелиорации служит участок 1. Мониторинг насаждений показал их удовлетворительное состояние. Высокая численность в год посадки (1550 экз./га) не препятствовала естественному развитию и достижению генеративного состояния на 4–5 год, благодаря чему на участке развивается множество семян разного возраста, их проективное покрытие за пять лет достигло 23 %. Большая часть семян прорастает в междурядьях, но идет также процесс переноса семян на значительные расстояния от материнских особей. По преобладающему направлению ветра саксаул распространился на расстояние 438 м от первого участка на северо-восток, в то время как на северо-запад – не более чем на 39 м. С другой стороны, идет процесс деградации 10-летних насаждений, обусловленный первоначально высокой плотностью, развитием галлов, деятельностью грызунов и верблюдов. Показателем деградации служит снижение проективного покрытия саксаула с 40 до 17 % в течение пяти лет (сравнительные данные с мониторингом 2015 г. (Димеева и др., 2017)). Таким образом, на первом участке саксауловые насаждения прошли стадии становления от наиболее благоприятного периода (через 5 лет после посадки) до начала деградации, которая зафиксирована на 10 год.

На участках 3–4 отмечено увеличение численности саксаула по сравнению с количеством первоначально прижившихся растений. Это связано с хорошим возобновлением, присутствием разновозрастных растений саксаула семенного происхождения.

Участки, заложенные по программе «Корни травы» при финансировании посольства Японии в Казахстане, находятся в пределах 5 км от пос. Каратерен. В связи с этим они подверглись большому антропогенному прессу, связанному с выпасом животных и использованием древесины человеком. Это обусловило более низкие показатели сохранности насаждений.

На 13 участке саксаул отсутствовал. Изначально низкая приживаемость (5 %) была обусловлена близостью к руслу Сырдарьи в нижнем бьефе Кокаральской плотины (см. рис. 1) и высоким стоянием уровня минерализованных грунтовых вод в период половодья. Высокое увлажнение на этом участке не соответствует экологии саксаула.

На участках 20, 21, 23 наблюдается увеличение численности прижившихся растений по сравнению с первым годом после посадки. Это связано с тем, что первоначально не все саженцы тронулись в рост, а находились в состоянии покоя, обусловленного недостатком влаги.

На 24 участке по закреплению движущихся песков в пос. Аралкум был отмечен выпад насаждений на первом учетном участке 21,3 %, на втором – 12,2 %. Разные показатели связаны с геоморфологическими условиями участков (Алимбетова и др.,

2020). Первый учетный участок расположен в непосредственной близости к подвижным барханам, где наблюдается активная эоловая деятельность. Второй учетный участок находится в низине, изначально он был равнинный, насаждения изменили его рельеф на мелкобугристый, останавливая перенос песка. Саженьцы саксаула хорошо развиваются, что связано с установкой пескозадерживающих механических защит из камыша. Этот метод также используется узбекскими коллегами в Южном Приаралье. В экспериментах на участках с камышовой защитой приживаемость саксаула в Южном Приаралье составила 59 % (Бакиров и др., 2020б), а в Аралкуме (24 участок) приживаемость в конце первого вегетационного периода варьировала от 32 до 57 % (Алимбетова и др., 2020).

6.2. Балльная шкала

Основываясь на результатах сохранности и жизненного состояния саксаула на участках, мы разработали 5-балльную шкалу благоприятности почв для прорастания саксаула: корковый солончак – 1 балл; отакырывающийся солончак – 2; солончак легкосуглинистый – 3; солончак с навейным песчаным чехлом – 4; пески – 5.

В соответствии с разработанной шкалой наиболее благоприятные условия сложились на приморских супесчаных и солончаковых легкосуглинистых почвах с навейным песчаным чехлом. Как известно, высокое содержание песчаной фракции в почве способствует лучшему влагообеспечению корневой системы саженцев. Например, на участке 17 с супесчаными почвами сохранность саксауловых насаждений достигает 78 %, и саксаул развивается очень хорошо. На отакыренных и корковых солончаках с выпотами солей состояние саксаула плохое, соответственно и сохранность низкая, на некоторых участках составляет 0 %.

В основе предложенной авторами шкалы лежит классификация В. С. Каверина и соавторов. Она разработана в 1989–1992 гг. и включает 4 категории лесорастительных условий: 1) хорошие лесорастительные условия – равнины с песчаными и супесчаными отложениями; 2) удовлетворительные лесорастительные условия – приморские супесчаные и суглинистые почвы равнин с навейным песчаным чехлом; 3) условно лесопригодные почвы – равнины с отложениями тяжелой литологии (суглинки и глины); 4) песчаные грунты (движущиеся барханы) (Каверин и др., 1994; Каверин, Салимов, 2000).

7. Заключение

Обследование саксауловых насаждений на ОДАМ показало разные результаты и эффективность лесомелиоративных мероприятий. Всего было обследовано 24 пилотных участка площадью 1–5 га, на которых произрастали 2–12-летние насаждения. Численность саксаула варьировала от 1 до 1000 экз./га на обсохшем дне моря и от 888 до 2633 экз./га в пос. Аралкум; сохранность насаждений ко времени наблюдений в 2020 г. изменялась от 0 до 78 % на обсохшем дне моря, от 13,6 до 40,5 % – в

пос. Аралкум. Средняя высота растений саксаула колебалась от 60 до 220 см; средняя площадь одного куста – от 0,2 до 7,5 кв. м; среднее проективное покрытие саксаула в насаждениях – от 0 до 66 %.

Отмечен выпад насаждений по сравнению с количеством саженцев, прижившихся в год посадок. Выпад был обусловлен такими факторами, как климатические условия, засоление и гранулометрический состав почвогрунтов, антропогенные и зоогенные воздействия. С другой стороны, идет активный процесс увеличения численности саксаула благодаря самосеву.

На основе мониторинга участков продемонстрировано, что основные задачи фитомелиорации на ОДАМ – формировать препятствия на пути соле- и пылепереноса и способствовать естественному распространению саксаула – решены с разной степенью успешности. На примере участка 1 показано, что наилучшего развития саксауловые насаждения достигают на 5 год, когда растения переходят в генеративную фазу развития. Показана эффективность закрепления движущихся песков для защиты населенных пунктов с использованием фитомелиоративных и механических методов.

Для проведения дальнейших фитомелиоративных мероприятий необходимо учитывать лесопригодность территорий, шкалу благоприятности почв и фитоиндикаторы (Димеева и др., 2017).

Рекомендации

В настоящее время существует ряд рекомендаций по фитомелиорации ОДАМ, которые были апробированы практикой (Каверин и др., 1994; 2008а; 2008б). Также разработаны рекомендации по созданию защитных лесонасаждений на солончаковых пустошах (Димеева и др., 2013) и по закреплению подвижных песков (Сатекеев, Димеева, 2017; Тлепбергенов, 2015).

На базе проведенных нами исследований сформулированы следующие рекомендации по мониторингу выпادا и развития саксаула непосредственно на плантациях:

- Проводить мониторинг саксауловых насаждений в первый год посадок для определения приживаемости посадочного материала.
- Последующий мониторинг проводить через 3–5 лет, поскольку к этому времени саксаул достигает генеративной фазы (семенного возобновления). Формируются растительные сообщества и группировки с участием солеустойчивых видов растений, которые необходимо оценивать с геоботанической и мелиоративной точек зрения.
- В населенных пунктах и их окрестностях мониторинг желательнее проводить ежегодно, поскольку антропогенное воздействие может быть очень деструктивным и его можно вовремя предотвратить.

Благодарности

Работа была выполнена в рамках проекта ESERA (Ecosystems, Society and Economics of the Region of Aral), организатором которого является Казахстанско-немецкий университет. Салмуханбетова Ж. К. и Иманалинова А. А. являлись участниками данного проекта, Димеева Л. А. и Зверев Н. Е. были научными руководителями вышеназванных участников. Авторы благодарны спонсорам и организаторам данного проекта за финансовую поддержку и за развитие сети научных контактов. Также авторы выражают признательность координатору проекта А. Китапбаеву и научному тренеру по академическому письму А. Н. Митусову за советы и рекомендации при написании статьи.

Список литературы

Акиянова, Ф. Ж., Егембердиева, К. Б. (2016). Природные условия и ресурсы. В кн.: Атлас функционального зонирования Аральского района Кызылординской области. С. 13.

Алимбетова, З. Ж., Димеева, Л. А., Сатекеев, Г. (2020). *Опыт закрепления подвижных песков в поселке Аралкум*. Вестник КазНУ им. аль-Фараби. Серия экологическая. № 1(62). С. 45–56.

Аширбеков, У. (2013). *Опыт лесоразведения на высохшем дне Аральского моря*. Проблемы освоения пустынь. С. 68–73.

Байзаков, С. Б., Медведев, А. Н., Исаков, С. И., Муқанов, Б. М. (2007). Лесные культуры в Казахстане: учебник для вузов в двух книгах. Алматы: Агроуниверситет. 437 с.

Байшоланов, С. С. (2016). Климат и агроклиматические ресурсы. В кн.: Атлас функционального зонирования Аральского района Кызылординской области. С. 15–21.

Бакиров, Н. Ж., Хамзаев, А. Х., Новицкий, З. Б. (2020а). *Лесные насаждения на осушенном дне Аральского моря*. Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. № 2. С. 51–59.

Бакиров, Н. Ж., Хамзаев, А. Х., Новицкий, З. Б., Ауезов, Ф. (2020б). *Инновационные методы облесения осушенного дна Аральского моря*. Журнал AGRO ILM. № 5(68). С. 67–69.

Ботаническая география Казахстана и Средней Азии (в пределах пустынной зоны). (2003). Под ред. Рачковской, Е. И., Волковой, Е. А., Храмцова, В. Н. Санкт-Петербург. 424 с.

Быков, Б. А. (1978). Геоботаника. Алма-Ата: Наука. 288 с.

Вилпс, Х., Новицкий, З. (2007). *Лесомелиорация в решении проблемы Арала*. Лесное хозяйство. № 4. С. 41–42.

Димеева, Л. А. (1990). Флора и растительность побережий и осушенного дна Аральского моря [диссертация к. б. н.]. Алма-Ата. 276 с.

Димеева, Л. А., Мейрман, Г. Т., Будникова, Т. И., Альмурзаева, С. К., Ларинов, С. Н. (2000). *Экспериментальные методы фитомелиорации побережья*

Аральского моря. Реальность и перспективы устойчивого развития экосистем Аральского региона: тез. докл. Междунар. конф. Алматы. С. 9–11.

Димеева, Л. А., Пермитина, В. Н. (2006). *Влияние физико-химических свойств засоленных почв на результаты фитомелиорации осушенного дна Аральского моря. Аридные экосистемы. Т. 12. № 29. С. 82–93.*

Димеева, Л. А., Ишида, Н., Алимбетова, З. Ж., Сатекеев, Г. К. (2013). *Создание защитных лесонасаждений на солончаковых пустошах Аральского побережья. Международный фонд спасения Арала – 20 лет на пути сотрудничества: материалы научно-практ. конф. (Алматы, 29–30 мая 2013 г.). Алматы: КазНАУ. С. 145–151.*

Димеева, Л. А., Бекнияз, Б. К., Алимбетова, З. Ж. (2017). *Мониторинг саксауловых насаждений на осушенном дне Аральского моря. Биологическая рекультивация нарушенных земель: материалы X Всероссийской научной конференции с международным участием (Екатеринбург, 4–7 сентября 2017 г.). С. 78–87.*

Еримбетов, Р. У., Худайбергенов, Э. Б., Баяндин, К. (1985). Пути рационального использования растительных ресурсов Кызыл-Ординской области. В кн.: Проблемы и перспективы комплексного развития производительных сил Кызыл-Ординской области. Алма-Ата: Наука. С. 116–118.

Ерохина, О. Г. (2016). Почва. В кн.: Атлас функционального зонирования Аральского района Кызылординской области. С. 22–23.

Иллюстрированный определитель растений Казахстана: в 2 т. (1969, 1972). Алма-Ата: Наука. Т. 1. 644 с. Т. 2. 571 с.

Каверин, В. С., Колтунов, А. А., Соловьев, В. А., Салимов, А. Б., Череватенко, В. П. (1994). Временные рекомендации по ассортименту пород и технологии создания мелиоративных насаждений по осушенному дну Аральского моря (Казахстанская часть). Алматы: КазНИИЛХА. 16 с.

Каверин, В. С., Салимов, А.-Б. А. (2000). *Перспективные улучшения экологической обстановки на осушившемся дне Аральского моря методами лесомелиорации. Новости науки Казахстана. № 1. С. 21–23.*

Каверин, В. С., Салимов, А.-Б. А., Шахматов, П. Ф. (2008а). Методические рекомендации по лесоразведению на осушенном дне Аральского моря. Щучинск. 20 с.

Каверин, В. С., Салимов, А.-Б. А., Шахматов, П. Ф. (2008б). Рекомендации по повышению устойчивости и производительности насаждений на осушенном дне Аральского моря с расширением ассортимента используемых пород и совершенствованием технологии их выращивания. Щучинск. 16 с.

Кузьмина, Ж. В., Трешкин, С. Е., Мамутов, Н. К. (2004) *Влияние климатических изменений и полива на формирование растительности опытным путем в обсохшей части Аральского моря. Аридные экосистемы. Т. 9. № 21. С. 82–94.*

Кузьмина, Ж. В., Трешкин, С. Е., Мамутов, Н. К. (2006). *Результаты опытного формирования естественной растительности на засоленных землях обсохшей части Аральского моря. Аридные экосистемы. Т. 11. № 29. С. 27–39.*

Кузьмина, Ж. В., Трешкин, С. Е. (2007). *Рекультивация солончаков обсохшего дна Аральского моря в изменяющихся климатических условиях*. Биологическая рекультивация и мониторинг нарушенных земель: материалы международной научной конференции, Екатеринбург. С. 391–408.

Курочкина, Л. Я., Макулбекова, Г. Б. (1984). *К вопросу о фитомелиорации осушающихся побережий Арала*. Проблемы освоения пустынь. № 4. С. 61–71.

Муканов, Б. М., Каверин, В. С. (2014). *Облесение пустыни «Аралкум» - важное мероприятие экологического оздоровления Приаралья*. Сохранение биоразнообразия и перспективы устойчивого развития Приаралья и Барсакельмесского заповедника: материалы международной научно-практической конференции, посвященной 75-летию Барсакельмесского заповедника, Астана. 216 с.

Новицкий, З. Б. (2018). *Облесение засоленных почвогрунтов на осушенном дне Арала*. Сельское хозяйство Узбекистана. № 8. С. 33.

Об утверждении Правил проведения инвентаризации лесных культур, питомников, площадей с проведенными мерами содействия естественному возобновлению леса и оставленных под естественное зарастание в государственном лесном фонде. Приказ МСХ РК от 19 октября 2012 года №17-02/532 (2012). Дата обращения: 11.08.2020 <http://adilet.zan.kz/rus/docs/V1200008095>

Отчет по проекту МФСА «Фитомелиорация абсолютной пустоши северо-восточного побережья Аральского моря». (2016). 20 с.

Сатекеев, Г. К., Димеева, Л. А. (2017). *Методические рекомендации по комплексному закреплению подвижных песков вокруг населенных пунктов в пустынных зонах Казахстана (на примере села Аралкум)*. Аральск. 24 с.

Тлепбергенов, А. К. (2015). *Рекомендации по выращиванию древесно-кустарниковых пород в условиях Кызылординской области*. Астана. 40 с.

Флора Казахстана: в 9 т. (1956, 1958, 1960, 1961, 1964, 1963, 1965, 1966). Алма-Ата: Академия наук КазССР. Т. 1. 354 с.; Т. 2. 292 с.; Т. 3. 460 с.; Т. 4. 548 с.; Т. 5. 515 с.; Т. 6. 465 с.; Т. 7. 497 с.; Т. 8. 447 с.; Т. 9. 640 с.

Aiban, S. A. (1994). A study of sand stabilization in eastern Saudi Arabia. *Engineering Geology*, 38 (1–2), 65–79. [https://doi.org/10.1016/0013-7952\(94\)90025-6](https://doi.org/10.1016/0013-7952(94)90025-6)

Colin Thor West, Sarah Benecky, Cassandra Karlsson, Bella Reiss and Aaron J. Moody. (2020). Bottom-Up Perspectives on the Re-Greening of the Sahel: An Evaluation of the Spatial Relationship between Soil and Water Conservation (SWC) and Tree-Cover in Burkina Faso. *Land*, 9(6), 208. <https://doi.org/10.3390/land9060208>

Dimeyeva, L., Breckle, S.-W., Wucherer, W. (2012). Flora of the Aralkum. In Breckle, S.W., Wucherer, W., Dimeyeva, L., Ogar, N. (Eds.) *Aralkum – a Man-Made Desert*. Ecological Studies (Analysis and Synthesis), 218. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-21117-1_8

Dong, M., Qiao, J., Ye, X., Liu, G. and C. Yu. (2012). Plant functional types across dune fixation stages in the Chinese steppe zone and their applicability for restoration of the desertified land. In Weger M., van Staalduinen M. (Eds.), *Eurasian Steppes*. Ecological

Problems and Livelihoods in a Changing World. *Plant and Vegetation*, vol 6. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-007-3886-7_11

Geldyeva, G. V., Ogar, N. P., Scorintseva, I. B., Geldyev, B. V., Budnikova, T. I., Dimeyeva, L. A. (2001). Monitoring and modeling of desertification processes in the Syr Dar'ya and Amu Dar'ya River deltas, for GIS. Ecological research and monitoring of the Aral Sea deltas. A basis for restoration. UNESCO Aral Sea Project. 1997–2000 Final Scientific reports, Book 2, pp. 119–153.

Goffner, D., Sinare, H., Gordon, L. J. (2019). The Great Green Wall for the Sahara and the Sahel Initiative as an opportunity to enhance resilience in Sahelian landscapes and livelihoods. *Regional Environmental Change*, 19, 1417–1428, doi: 10.1007/s10113-019-01481-z

Ishida, N. (2014). Afforestation project in Aral region. *Biodiversity Conservation and Prospects for Sustainable Development of the Aral Sea Region and the Barsakelmes Reserve: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference dedicated to the 75th anniversary of the Barsakelmes Reserve*, Astana, 216.

Li, S.-L., Werger, M. J. A., Zuidema, P. A., Yu, F.-H. and M. Dong. (2010). Seedlings of the semi-shrub *Artemisia ordosica* are resistant to moderate wind denudation and sand burial in Mu Us sandland, China. *Trees*, 24(3), 515–521, doi: 10.1007/s00468-010-0422-0

Meirman, G., Dzhamentikov, K., Kaverin, V. (2001a). Phytomelioration on new landscapes of the dried Aral Sea bottom. Ecological research and monitoring of the Aral Sea deltas. A basis for restoration. UNESCO Aral Sea Project. 1997–2000 Final Scientific reports. Book 2, 203–211.

Meirman, G., Dimeyeva, L., Dzhamentikov, K., Wucherer, W., Breckle, S.-W. (2001b) Seeding experiments on the Dry Aral Sea Floor for Phytomelioration. In Breckle SW., Veste M., Wucherer W. (Eds.), *Sustainable Land Use in Deserts*. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-59560-8_33

Novitskiy, Z. B. (2012). Phytomelioration in the Southern Aralkum. In Breckle SW., Wucherer W., Dimeyeva L., Ogar N. (Eds.), *Aralkum – a Man-Made Desert*. Ecological Studies (Analysis and Synthesis), 218. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-21117-1_16

Orencio, D., Herrmann, H. J. (2006). Vegetation against dune mobility. *Physical review letters*. 97(18):188001, doi: 10.1103/PhysRevLett.97188001

Plantarium: open on-line atlas and key to plants and lichens of Russia and neighbouring countries. (2007–2021). Дата обращения: 05.02.2021. <http://www.plantarium.ru/>

The Plant List (2013). Version 1.1. Published on the Internet. Дата обращения: 05.02.2021. <http://www.theplantlist.org/>

Wucherer, W., Breckle, S.-W., Kaverin, V. S., Dimeyeva, L. A., and Zhamantikov, K. (2012). Phytomelioration in the Northern Aralkum. In Breckle, SW., Wucherer, W., Dimeyeva, L., Ogar, N. (Eds.), *Aralkum – a Man-Made Desert*. Ecological Studies (Analysis and Synthesis), 218. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-21117-1_15

Sate of saxaul plantations in the Kazakhstan part of the Aral Sea region

Zh. K. Salmukhanbetova^{1*}, A. A. Imanalinova², L. A. Dimeyeva³, N. E. Zverev³

¹ REM Institute of Botany and Phytointroduction, Kazakhstan, Almaty, 050040, 36D st. Timiryazeva

² al-Farabi Kazakh National University, Kazakhstan, Almaty, 050040, 71 al-Farabi Ave.

³ REM Institute of Botany and Phytointroduction, Kazakhstan, Almaty, 050040, 36D st. Timiryazeva

* Corresponding author

Email: zhuldyz.kanatkyzy@mail.ru

Abstract

The purpose of the article is to assess the preservation of saxaul plantations on the dry seabed of the Aral Sea and near the villages located on the coast.

*Protective plantations of black saxaul (*Haloxylon ammodendron*) on the dry seabed were established in 2009-2019 under grants from the International Fund for Saving the Aral Sea (IFAS), environmental funds of Japan, UNDP Kazakhstan and under the "Grass-Roots Program" of the Japanese Embassy in Kazakhstan. In 2020, from September 1 to September 14, a survey of these plantations was carried out at 24 sites adjacent to the villages of Aralkum and Karateren. At each site, forest inventory measurements of saxaul were carried out, the projective cover of the species was determined, and seed regeneration and survival rate were assessed.*

Observations in 2020 revealed a different current state of saxaul plantations. Survival rate of saxaul in forest plantations varies from 0.12 to 78%. The saxaul number varied from 1 to 1000 per ha on the dry seabed and from 888 to 2633 per ha in the Aralkum village.

The novelty of the obtained results is due to the fact that it is clearly shown that the survival rate of forest plantations, the development and seed self-renewal of saxaul, first, depend on the ecological conditions of the sites. The best survival rate and development of saxaul are at the sites characterized with sandy loam and saline light loamy soils with a sandy cover, the worst – at the sites with crusty and takyrs saline soils.

Key words: dry seabed of the Aral Sea, forest melioration, saxaul plantations, condition, survival rate.

References

Akijanova, F.Zh., Egemberdieva, K.B. (2016). Prirodnye uslovija i resursy [Natural conditions and resources]. In: Atlas funkcional'nogo zonirovaniya Aral'skogo rajona Kyzylordinskoj oblasti, 13 [in Russian].

Alimbetova, Z.Zh., Dimeeva, L.A., Satekeev, G. (2020). Opyt zakreplenija podviznyh peskov v poselke Aralkum [An experience of fixing moving sands in the village of Aralkum]. *Vestnik KazNU im. al'-Farabi. Serija jekologicheskaja*, 1 (62), 45-56 [in Russian].

Ashirbekov, U. (2013). Opyt lesorazvedeniya na vysohshem dne Aral'skogo morja [The experience of afforestation on the dried bottom of the Aral Sea]. *Problemy osvoeniya pustyn'*, 68-73 [in Russian].

Bajzakov, S.B., Medvedev, A.N., Iskakov, S.I., Mukanov, B.M. (2007). Lesnye kul'tury v Kazahstane: uchebnik dlja VUZov v dvuh knigah [Forest cultures in Kazakhstan: a textbook for universities in two books]. Almaty: Agrouniversitet, 437 [in Russian].

Bajsholanov, S.S. (2016). Klimat i agroklimaticheskie resursy [Climate and agroclimatic resources]. In: Atlas funkcional'nogo zonirovanija Aral'skogo rajona Kyzylordinskoj oblasti, 15-21 [in Russian].

Bakirov, N., Hamzaev, A., Novickij, Z., Auezov, F. (2020b). Innovacionnye metody oblesenija osushennogo dna Aral'skogo morja [Innovative methods of afforestation of the drained bottom of the Aral Sea], *Zhurnal AGRO ILM*, 5 (68), 67-69 [in Russian].

Bakirov, N.Zh., Hamzaev, A.H., Novickij, Z.B. (2020a). Lesnye nasazhdenija na osushennom dne Aral'skogo morja [Forest plantations on the drained bottom of the Aral Sea]. *Izvestija VUZov. Lesnoj zhurnal*, 2, 51-59 [in Russian].

Botanicheskaja geografija Kazahstana i Srednej Azii (v predelah pustynnoj zony) [Botanical geography of Kazakhstan and Central Asia (within the desert zone)]. Edited by Rachkovskoj, E.I., Volkovoj, E.A., Hramcova, V.N. (2003). Sankt-Peterburg, 424 [in Russian].

Bykov, B.A. (1978) Geobotanika [Geobotany]. Alma-Ata: Nauka, 288 [in Russian].

Vilps, H., Novickij, Z. (2007). Lesomelioracija v reshenii problemy Arala [Forest reclamation in solving the problem of the Aral Sea]. *Lesnoe hozjajstvo*, 4, 41-42 [in Russian].

Dimeeva, L.A. (1990). Flora i rastitel'nost' poberezhij i osushennogo dna Aral'skogo morja (dissertacija k.b.n.). [Flora and vegetation of the coasts and the drained bottom of the Aral Sea (dissertation Cand. biol. sciences)]. Alma-Ata, 276 [in Russian].

Dimeeva, L.A., Beknijaz, B.K., Alimbetova, Z.Zh. (2017). Monitoring saksaulovyh nasazhdenij na osushennom dne Aral'skogo morja [Monitoring of saxaul plantations on the drained bottom of the Aral Sea]. Biologicheskaja rekul'tivacija narushennyh zemel': materialy X Vserossijskoj nauchnoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem (Ekaterinburg, 4-7 sentjabrja 2017 g.), 78-87 [in Russian].

Dimeeva, L.A., Ishida, N., Alimbetova, Z.Zh., Satekeev, G.K. (2013). Sozdanie zashhitnyh lesonasazhdenij na solonchakovyh pustoshah Aral'skogo poberezh'ja [Creation of protective afforestation on the salt marshes of the Aral coast]. Mezhdunarodnyj fond spasenija Arala – 20 let na puti sotrudnichestva: mat-ly nauchno-prakt. konf. (Almaty, 29-30 maja 2013 g.). Almaty: KazNAU, 145-151 [in Russian].

Dimeeva, L.A., Mejrman, G.T., Budnikova, T.I., Al'murzaeva, S.K., Larikov, S.N. (2000). Jeksperimental'nye metody fitomelioracii poberezh'ja Aral'skogo morja [Experimental methods of phytomelioration of the Aral Sea coast]. Real'nost' i perspektivy ustojchivogo razvitija jekosistem Aral'skogo regiona: tez. dokl. Mezhdunar. konf. Almaty, 9-11 [in Russian].

Dimeeva, L.A., Permitina, V.N. (2006). Vlijanie fiziko-himicheskikh svojstv zasolennyh pochv na rezul'taty fitomelioracii osushennogo dna Aral'skogo morja [Influence of physicochemical properties of saline soils on the results of phytomelioration of the drained bottom of the Aral Sea]. *Aridnye jekosistemy*, 12 (29), 82-93 [in Russian].

Erimbetov, R.U., Hudajbergenov, Je.B., Bajandin, K. (1985). Puti racional'nogo ispol'zovanija rastitel'nyh resursov Kzyl-Ordinskoj oblasti [Ways of rational use of plant resources of the Kzyl-Orda region]. Problemy i perspektivy kompleksnogo razvitiya proizvoditel'nyh sil Kzyl-Ordinskoj oblasti. Alma-Ata, 2, 116-118 [in Russian].

Erohina, O.G. (2016). Pochvy [Soils]. In: Atlas funkcional'nogo zonirovaniya Aral'skogo rajona Kyzylordinskoj oblasti, 22-23[in Russian].

Illjustrirovannyj opredelitel' rastenij Kazahstana: v 2 t. (1969, 1972) [Illustrated guide to plants of Kazakhstan: in 2 volumes]. Alma-Ata: Nauka, 1, 644; 2, 571 [in Russian].

Kaverin, V.S., Koltunov, A.A., Solov'ev, V.A., Salimov, A.B., Cherevatenko, V.P. (1994). Vremennye rekomendacii po assortimentu porod i tehnologii sozdaniya meliorativnyh nasazhdenij po osushennom dne Aral'skogo morja (Kazahstanskaja chast') [Temporary recommendations on the range of species and technology for creating reclamation plantings on the drained bottom of the Aral Sea (Kazakhstan part)]. Almaty: KazNIILHA, 16 [in Russian].

Kaverin, V.S., Salimov, A.-B.A. (2000). Perspektivnye uluchshenija jekologicheskoi obstanovki na osushivshemsja dne Aral'skogo morja metodami lesomelioracii [Perspective improvement of the ecological situation on the dried bottom of the Aral Sea by means of forest reclamation], *Novosti nauki Kazahstana*, 1, 21-23 [in Russian].

Kaverin, V.S., Salimov, A.-B.A., Shahmatov, P.F. (2008a). Metodicheskie rekomendacii po lesorazvedeniju na osushennom dne Aral'skogo morja [Methodical recommendations for afforestation on the drained bottom of the Aral Sea]. Shhuchinsk, 20 [in Russian].

Kaverin, V.S., Salimov, A.-B.A., Shahmatov, P.F. (2008b). Rekomendacii po povysheniju ustojchivosti i proizvoditel'nosti nasazhdenij na osushennom dne Aral'skogo morja s rasshireniem assortimenta ispol'zuemyh porod i sovershenstvovaniem tehnologii ih vyrashhivaniya [Recommendations for increasing the stability and productivity of plantations on the drained bottom of the Aral Sea, expanding the range of species used and improving the technology of their cultivation.]. Shhuchinsk, 16 [in Russian].

Kuz'mina, Zh.V., Treshkin, S.E. (2007). Rekul'tivacija solonchakov obshejshego dna Aral'skogo morja v izmenjajushhimsja klimaticeskikh uslovijah [Reclamation of salt marshes of the dried bottom of the Aral Sea in changing climatic conditions]. Biologicheskaja rekul'tivacija i monitoring narushennyh zemel': materialy mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii (Ekaterinburg, 4-8 ijunja 2007 g.), 391-408 [in Russian].

Kuz'mina, Zh.V., Treshkin, S.E., Mamutov, N.K. (2004). Vlijanie klimaticeskikh izmenenij i poliva na formirovanie rastitel'nosti opytym putem v obshejshej chasti Aral'skogo morja [The influence of climatic changes and irrigation on the formation of vegetation experimentally in the dried part of the Aral Sea]. *Aridnye jekosistemy*, 9, 21, 82-94 [in Russian].

Kuz'mina, Zh.V., Treshkin, S.E., Mamutov, N.K. (2006). Rezul'taty opytного formirovaniya estestvennoj rastitel'nosti na zasolennyh zemljah obshejshej chasti Aral'skogo

morja [The results of the experimental formation of natural vegetation on the saline lands of the dried part of the Aral Sea]. *Aridnye jekosistemy*, 11, 29, 27-39 [in Russian].

Kurochkina, L.Ja., Makulbekova, G.B. (1984). K voprosu o fitomelioracii osushajushhihsja poberezhij Arala [On the issue of phytomelioration of the draining Aral coasts]. *Problemy osvoenija pustyn'*, 4, 61-71 [in Russian].

Mukanov, B.M., Kaverin, V.S. (2014). Oblesenie pustyni «Aralkum» - vazhnoe meroprijatie jekologicheskogo ozdorovlenija Priaral'ja [Afforestation of the "Aralkum" desert is an important event in the environmental improvement of the Aral Sea region]. Sohranenie bioraznoobrazija i perspektivy ustojchivogo razvitija Priaral'ja i Barsakel'messkogo zapovednika: materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii posvjashhennoj 75-letiju Barsakel'messkogo zapovednika, Astana, 216 [in Russian].

Novickij, Z.B. (2018). Oblesenie zasolennyh pochvogruntov na osushennom dne Arala [Afforestation of saline soils on the drained bottom of the Aral Sea]. *Sel. hoz-vo Uzbekistana*, 8, 33 [in Russian].

Ob utverzhenii Pravil provedenija inventarizacii lesnyh kul'tur, pitomnikov, ploshhadej s provedennymi merami sodejstvija estestvennomu vozobnovleniju lesa i ostavlennyh pod estestvennoe zarashhivanie v gosudarstvennom lesnom fonde. Prikaz MSH RK ot 19 oktjabrja 2012 goda № 17-02/532 [On the approval of the Rules for conducting an inventory of forest crops, nurseries, areas with measures to promote natural forest regeneration and those left for natural overgrowing in the state forest fund. Order of the Ministry of Agriculture of the Republic of Kazakhstan dated October 19, 2012 No. 17-02 / 532] <http://adilet.zan.kz/rus/docs/V1200008095> [in Russian].

Otchet po proektu MFSA «Fitomelioracija absoljutnoj pustoshi severo-vostochnogo poberezh'ja Aral'skogo morja» [Report on the IFAS project "Phytomelioration of the absolute wasteland of the north-eastern coast of the Aral Sea.], 2016, 20 [in Russian].

Satekeev, G.K., Dimeeva, L.A. (2017). Metodicheskie rekomendacii po kompleksnomu zakrepleniju podvizhnyh peskov vokrug naseleennyh punktov v pustynnyh zonah Kazahstana (na primere sela Aralkum) [Guidelines for the integrated consolidation of mobile sands around settlements in the desert zones of Kazakhstan (on the example of the village of Aralkum)]. *Aral'sk*, 24 [in Russian].

Tlepbergenov, A.K. (2015). Rekomendacii po vyrashhivaniju drevesno-kustarnikovyh porod v uslovijah Kyzylordinskoj oblasti [Recommendations for the cultivation of tree and shrub species in the conditions of the Kyzylorda region]. Astana, 40 [in Russian].

Flora Kazahstana v 9 t. [Flora of Kazakhstan: in 9 volumes]. (1956, 1958, 1960, 1961, 1964, 1963, 1965, 1966). Alma-Ata: Akademija nauk KazSSR. 1, 354; 2, 292; 3, 460; 4, 548; 5, 515; 6, 465; 7, 497; 8, 447; 9, 640 [in Russian].

Aiban, S.A. (1994). A study of sand stabilization in eastern Saudi Arabia. *Engineering Geology*, 38 (1-2), 65-79. [https://doi.org/10.1016/0013-7952\(94\)90025-6](https://doi.org/10.1016/0013-7952(94)90025-6)

Colin Thor West, Sarah Benecky, Cassandra Karlsson, Bella Reiss and Aaron J. Moody. (2020). Bottom-Up Perspectives on the Re-Greening of the Sahel: An Evaluation of the

Spatial Relationship between Soil and Water Conservation (SWC) and Tree-Cover in Burkina Faso. *Land*, 9(6), 208. <https://doi.org/10.3390/land9060208>

Dimeyeva, L., Breckle, S.-W., Wucherer, W. (2012). Flora of the Aralkum. In Breckle, SW., Wucherer, W., Dimeyeva, L., Ogar, N. (Eds.) *Aralkum - a Man-Made Desert*. Ecological Studies (Analysis and Synthesis), 218. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-21117-1_8

Dong, M., Qiao, J., Ye, X., Liu, G. and C. Yu. (2012). Plant functional types across dune fixation stages in the Chinese steppe zone and their applicability for restoration of the desertified land. In Werger M., van Staalduinen M. (Eds.), *Eurasian Steppes. Ecological Problems and Livelihoods in a Changing World. Plant and Vegetation*, vol 6. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-007-3886-7_11

Geldyeva, G.V., Ogar, N.P., Scorintseva, I.B., Geldyev, B.V., Budnikova, T.I., Dimeyeva, L.A. (2001). Monitoring and modeling of desertification processes in the Syr Dar'ya and Amu Dar'ya River deltas, for GIS. Ecological research and monitoring of the Aral Sea deltas. A basis for restoration. UNESCO Aral Sea Project. 1997-2000 Final Scientific reports, Book 2, pp. 119-153.

Goffner, D., Sinare, H., Gordon, L.J. (2019). The Great Green Wall for the Sahara and the Sahel Initiative as an opportunity to enhance resilience in Sahelian landscapes and livelihoods. *Reg. Environ. Chang*, 19, 1417-1428. <https://doi.org/10.1007/s10113-019-01481-z>

Ishida, N. (2014). Afforestation project in Aral region. *Biodiversity Conservation and Prospects for Sustainable Development of the Aral Sea Region and the Barsakelmes Reserve: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference dedicated to the 75th anniversary of the Barsakelmes Reserve*, Astana, 216.

Li, S.-L., Werger, M. J. A., Zuidema, P. A., Yu, F.-H. and M. Dong. (2010). Seedlings of the semi-shrub *Artemisia ordosica* are resistant to moderate wind denudation and sand burial in Mu Us sandland, China. *Trees*, 24 (3), 515-521. <https://doi.org/10.1007/s00468-010-0422-0>

Meirman, G., Dimeyeva, L., Dzhamantikov, K., Wucherer, W., Breckle, S.-W. (2001b) Seeding experiments on the Dry Aral Sea Floor for Phytomelioration. In Breckle SW., Veste M., Wucherer W. (Eds.), *Sustainable Land Use in Deserts*. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-59560-8_33

Meirman, G., Dzhamantikov, K., Kaverin, V. (2001a). Phytomelioration on new landscapes of the dried Aral Sea bottom. Ecological research and monitoring of the Aral Sea deltas. A basis for restoration. UNESCO Aral Sea Project. 1997-2000 Final Scientific reports. Book 2, 203-211.

Novitskiy, Z.B. (2012). Phytomelioration in the Southern Aralkum. In Breckle SW., Wucherer W., Dimeyeva L., Ogar N. (Eds.), *Aralkum - a Man-Made Desert*. Ecological Studies (Analysis and Synthesis), 218. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-21117-1_16

Orencia, D., Herrmann, H.J. (2006). Vegetation against dune mobility. *Physical review letters*. 97(18):188001. <https://www.researchgate.net/publication/6643142>

Plantarium: open on-line atlas and key to plants and lichens of Russia and neighbouring countries. (2007-2021). <http://www.plantarium.ru/>

The Plant List (2013). Version 1.1. Published on the Internet; <http://www.theplantlist.org/> (accessed 1st January).

Wucherer, W., Breckle, S-W., Kaverin, V.S., Dimeyeva, L.A., and Zhamantikov, K. (2012). Phytomelioration in the Northern Aralkum. In Breckle, SW., Wucherer, W., Dimeyeva, L., Ogar, N. (Eds.), *Aralkum - a Man-Made Desert*. Ecological Studies (Analysis and Synthesis), 218. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-21117-1_15