

**ЭКОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ АСПЕКТ АРАЛЬСКОГО КРИЗИСА.  
ЧАСТЬ 2. ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ КЛИМАТА  
И ИЗМЕНЕНИЙ ОБСОХШЕГО ДНА МОРЯ<sup>1</sup>**

© 2020 г. Н.М. Новикова

*Институт водных проблем РАН*

*Россия, 119333, г. Москва, ул. Губкина, д. 3. E-mail: nmnovikova@gmail.com*

Поступила в редакцию 05.05.2020. После доработки 25.05.2020. Принята к публикации 01.06.2020.

Во второй части статьи рассмотрены исследования по изменению климатических параметров на территории Приаралья, происходивших в условиях Аральского кризиса, и их современное состояние. Охарактеризованы и обсуждены подходы к их изучению и оценке, используемые разными авторами. Сделан вывод о том, что к концу 1990-х годов значения температуры воздуха и амплитуды ее колебания на метеорологических станциях, расположенных ранее на островах и побережье моря, приблизились к значениям на пустынных станциях. Это свидетельствует о том, что период изменения климата Приаралья, обусловленный падением моря, завершился. Исследования, посвященные пыльным бурям, показали, что для их активности характерны периоды усиления и спада, что связано с изменением силы ветра в разные климатические эпохи. Исследования, посвященные естественному зарастанию морского дна, свидетельствуют о том, что освоение новой суши растительностью идет очень медленно. Участки, освободившиеся от воды после 2000-х годов, пока не зарастают. Данные длительных наблюдений за формированием растительности на комплексных топо-экологических профилях на новой суше, начатые в 1970-х-1980-х годах и продолжающиеся по настоящее время, послужили основанием для теоретического обобщения о типах первичных сукцессий растительности, факторах их развития, изменению во времени видового богатства, фитоценотической сформированности, скорости и направления смен сообществ, завершающих стадиях. Сделан вывод о том, что большая часть растительных сообществ, прошедших длительный путь развития (более 50 лет) на прибрежных участках дна моря, все еще находится на начальных стадиях формирования. Экспериментальные работы по формированию лесопосадок на обсохшем дне моря и публикации о полученных результатах активно развивались в период 1990-2010-х годов, а теперь практически отсутствуют. Рассмотрены результаты казахских и узбекских ученых по разработке типологии лесорастительных условий обсохшего морского дна, методам и технологиям фитомелиорации для повышения выживания семян и саженцев.

*Ключевые слова:* Аральский кризис, обсохшее дно, климат, температура, осадки, изменения, тренды, оценка, солепылеперенос, пыльные бури, пыльный поземок, естественное зарастание, типы сукцессий, засоление грунтов, устойчивые виды, технологии фитомелиорации, особенности развития видов растений в лесопосадках.

**DOI: 10.24411/2542-2006-2020-10062**

В первой части данной статьи (Новикова, 2019) была сделана попытка восстановить последовательность развития Аральского кризиса, осознания причины и экологических последствий научным сообществом, признания кризиса властями. Были кратко рассмотрены

<sup>1</sup> Работа выполнена в рамках раздела 2.6. Исследование динамики наземных экосистем в условиях возрастающего антропогенного воздействия и климатических изменений темы НИР Института водных проблем РАН «Моделирование и прогнозирование процессов восстановления качества вод и экосистем при различных сценариях изменений климата и антропогенной деятельности» (№ 0147-2018-0002), № государственной регистрации АААА-А18-118022090104-8.

постановка и содержание научных исследований динамики природной среды, развитие эколого-географического прогноза, мониторинга, представление о пределах антропогенного воздействия, осмысление результатов кризиса учеными и властью и подходы к разработке практических мероприятий по решению экологических проблем, возникших в связи с падением уровня моря и опустыниванием Приаралья.

Данная, вторая, часть статьи ставит целью дать обзор решаемых задач, концепций и научных исследований по изучению эколого-географического аспекта развития Аральской проблемы. Эта часть состоит из двух тематических разделов. Прежде всего, рассмотрены исследования по изменению климата в Приаральском регионе: поставленные задачи, методы исследования, результаты. Исследования по изменению собственно Аральского моря в статье не рассматривались, т.к. к настоящему времени по этой проблеме имеется исчерпывающая информация: издано множество статей, ряд монографий, среди них наиболее полны «Аральское море в начале XXI века: физика, биология, химия» (2012) и «The Aral Sea: the Devastation and Partial Rehabilitation of a Great Lake» (2014). В этих монографиях изложены основные аспекты Аральского кризиса, дан обзор проведенных исследований, рассмотрены использованные методы, освещены история, современное состояние и обсуждается будущее отдельных водоёмов, экосистем и проблемы управления. Поэтому вторым тематическим разделом в данной статье является освещение истории и результатов исследований по проблеме развития природных комплексов на обсохшем дне моря. По данному вопросу также издана достаточно полная монография «Aralkum – a Man-Made Desert: The Desiccated Floor of Aral Sea (Central Asia)» (2012). Однако в связи с тем что эта монография выпущена на английском языке и не рассматривает работы, проводившиеся на раннем, постановочном этапе исследований по проблеме, и работы, вышедшие после публикации монографии, в раздел по обсохшему дну моря включено рассмотрение научных исследований, которые освещают его современное состояние, проблему его зарастания и формирования первичных сукцессий. Далее были рассмотрены работы, посвященные результатам проведения экспериментов по фитомелиорации.

Аральский кризис в самом начале был признан экологическим, т.е. изменение природной среды Приаралья происходило постепенно, по цепочке причинно-следственных экологических связей, поэтому американский ученый М. Гланц (Glantz, 1990) назвал его «ползучим», а под собственно кризисом в теоретическом плане было решено понимать переход из одного устойчивого состояния системы в другое. Развитию Аральского кризиса, трансформации компонентов природной среды, посвящено множество публикаций, но о том, что можно считать его завершением, следующим устойчивым состоянием мегаэкосистемы бассейна моря, обсуждение в научной литературе и публикации пока отсутствуют. В монографии «Аральское море ...» (2012) авторы сделали вывод, что в 2011 г. произошла стабилизация уровня и водного баланса западной части Большого моря. Несколько ранее стало известно (The Aral Sea ..., 2014), что уровень Малого моря в 2005 г. стабилизировался на отметке 42 м н.у.м. БС. Таким образом, продолжая периодизацию, начатую в первой части этой статьи, можно считать, что стабилизация некоторых процессов произошла к *пятому периоду* развития ползучего кризиса. Этот период приходится на шестой десяток (прошло 50 лет) существования Аральской проблемы. Поэтому целью второй части нашей статьи является изучение исследований изменения климата и установление стабилизации его изменений, обусловленных падением уровня Аральского моря и опустыниванием природных комплексов Приаралья, а также оценка современного состояния природных комплексов обсохшего дна моря в направлении формирования природных комплексов пустынного типа.

### **Материалы и методы**

Основными данными для написания этой части послужили публикации научных статей в

журналах, сборниках и монографии. Особое внимание уделялось публикациям 1970-1980-х годов и двух последних десятилетий (2000-2020 гг.). Публикации первого периода ценны тем, что дают информацию о состоянии изучаемых объектов в самом начале развития кризиса и часто – о постановке задач исследования и избираемых методах, прогнозах. Публикации последних лет как раз часто подводят итоги проведенных исследований, дают анализ изменения параметров в ходе развития Аральского кризиса. При освещении разных разделов мы ставили перед собой примерно одинаковые цели: показать научные концепции, какие задачи, кем и как ставились и решались, каковы используемые методы и методики исследований, основные результаты, которые получены с их помощью, их значимость для всего цикла исследований по Аральской проблеме. В подобных исследованиях особый интерес представляют разработки подходов к оценке изменений не только конкретных параметров, но и изменения компонентов природной среды и факторов их развития, используемые оценочные критерии и показатели. Важной задачей было не оставить без внимания работы исследователей, уделяющих внимание проблеме на протяжении длительного времени ее развития – с самого начала и до настоящего времени, ведущих наблюдения в режиме мониторинга, разрабатывающих теоретические представления.

### **Изменение климата и его исследования**

Аральское море, по представлениям ученых, было важным фактором в формировании особенностей климата аридного региона, где оно находилось. Поэтому сокращение его водной поверхности и уменьшение объема поставили перед учеными прежде всего три задачи: 1) выявить дальность влияния моря на климатические условия на суше и их изменение при замещении водного зеркала новой сушей, 2) рассмотреть климат в качестве причины резкого падения уровня (напомним, что в начале развития проблемы со стороны Российской академии сельскохозяйственных наук была выдвинута гипотеза о том, что основной причиной падения Аральского моря являются климатические процессы, а не развитие орошаемого земледелия), 3) дать прогноз по изменению климата вследствие высыхания моря.

К началу развития кризиса в 1961 г. в Аральском регионе уже длительное время работали метеорологические станции (МС), накопленные данные которых могли послужить основным источником объективной информации (рис. 1): 1) морские МС: о. Лазарева, о. Барсакельмес; 2) прибрежные: Муйнак, Уялы, Аральское море. Число континентальных станций было более обширным: Чимбай, Порлытау, Тахиаташ, Ташауз, Хива, Тамды, Монсыр, Джусалы, Казалинск, Кызыл-Орда и другие. Некоторые из них со временем прекратили свою деятельность, но большая часть продолжает работу по настоящее время.

Район Аральского моря и Южное Приаралье занимают крайнее северное положение в зоне континентального субтропического климата, в то время как Северное Приаралье уже относится к зоне континентального бореального климата. Радиационные особенности и положение в глубине обширного Азиатского материка среди внутриматериковых пустынь, удаленность от морей и океанов обуславливают хорошо выраженную континентальность и засушливость климата. Несмотря на наличие такого крупного водоема, как Аральское море, влияние окружающих его пустынь оказывается преобладающим. Такой вывод был сделан в первых обобщающих публикациях по климату Аральского региона (Житомирская, 1964; Молоснова и др., 1987). Вывод О.М. Житомирской (1964) о том, что смягчающее влияние моря на метеорологические элементы ранее ограничивалось лишь узкой прибрежной полосой и пункты, расположенные на расстоянии более 100 км от берега, его смягчающего влияния не испытывают, никем не оспаривался.

Позже, Т.И. Молосновой с соавторами (1987) на основании сопоставления значений

климатических параметров, осредненных по десятилетиям, был сделан аналогичный вывод. Каждое из десятилетий соответствует этапу конкретных изменений: 1950-1959 гг. характеризуют период до падения уровня моря; 1960-1969 гг. – начало обсыхания морского дна, когда местами на восточном побережье берег отошел на два десятка километров; 1970-1979 гг. – урез воды отошел от берега уже почти на 40 км на восточном побережье в районе архипелага Акпетки и в пределах десятка метров в районе морского края дельты Амударьи. В работе было показано, что в связи с высыханием дальность смягчающего влияния моря на некоторые климатические элементы (температуру, влажность воздуха) стала постепенно уменьшаться и оно стало сказываться лишь на узкой прибрежной полосе.



**Рис. 1.** Морские и прибрежные метеостанции вокруг Аральского моря в 1960-х годах. Условные обозначения метеостанций: 1 – Аральское море, 2 – Баян, 3 – Узункаир, 4 – Уялы, 5 – Муйнак, 6 – Тигровый, 7 – Актумсык, 8 – о. Лазарева, 9 – о. Барсакельмес, 10 – Чимбай.  
**Fig. 1.** Marine and coastal weather stations around the Aral Sea in the 1960s. Weather stations: 1 – Aral Sea, 2 – Bayan, 3 – Uzunkair, 4 – Uyaly, 5 – Muynak, 6 – Tigrovy, 7 – Aktumsyk, 8 – Lazareva Island, 9 – Barsakelmes Island, 10 – Chimbay.

На примере сравнительных таблиц по десятилетиям Т.И. Молоснова с соавторами (1987) продемонстрировала, что влияние усыхания моря сказалось на увеличении суточных амплитуд температуры и уменьшении влажности воздуха в летнее время на береговых станциях; на смене знака в годовом ходе разности температуры между морской и континентальной станциями (знак сменился один раз в августе); на появлении пыльных бурь на прибрежных станциях и увеличении бурь и пыльного поземка на половине континентальных станций Приаралья. В то же время было отмечено, что изменения в выпадении осадков не произошло.

Таким образом, уже к концу 80-х годов в работе Т.И. Молосновой с соавторами (1987) была определена территория, испытывающая непосредственное воздействие моря при его

нормальном уровне (около 53 м н.у.м. БС), и в дальнейшем на этой территории реализовалась прогнозируемая тенденция к изменению климатических условий.

К настоящему времени имеется несколько публикаций, в которых охарактеризовано изменение климатических параметров в Приаралье вследствие падения уровня моря. Это обобщающие работы В.Е. Чуба (2000, 2007) и «Третье национальное сообщение республики Узбекистан по рамочной конвенции ООН об изменении климата» (2016) Эти работы дают представление о произошедших изменениях климатических параметров к началу XXI в., вычлняя их из наблюдающихся изменений в связи с глобальным потеплением.

Обширное исследование климата по всей территории Узбекистана было сделано в монографии В.Е. Чуба (2007). В этой работе Приаралью уделено специальное внимание и подробно рассмотрены антропогенные и «фоновые» изменения климатических параметров. Методически эта задача, как и в предшествующих работах Т.М. Молосновой с соавторами (1987) и О.М. Житомирской (1994), решалась путем сопоставления данных береговых и континентальных метеостанций. Более детально вопросы изменения климата и его возможного воздействия на отрасли народного хозяйства республики отражены в монографии «Изменение климата и его влияние на природно-ресурсный потенциал Республики Узбекистан» (Чуб, Спекторман, 2006).

В своей монографии В.Е. Чуб (2007) признает, что современные антропогенные изменения климата в Узбекистане имеют мезомасштабный характер и связаны главным образом с интенсивным освоением земель в верхней части бассейна Аральского моря. В связи с большими изъятиями воды на орошение этой территории в Приаралье имеет место опустынивание, где в результате значительного уменьшения притока речной воды произошло резкое падение уровня моря и сокращение морской площади. Автор называет эти изменения «антропогенными». Методически воздействие непосредственно этого антропогенного фактора – усыхания моря – учитывалось в работе путем рассмотрения различий между фоновыми и локальными изменениями температур. Исследование показало, что эти антропогенные изменения климата локализованы вокруг Аральского моря в зоне, оконтуривающей его береговую линию 60-х годов на расстоянии не более 100 км. Они произошли в период деградации моря и сводятся к описанному далее (Чуб, 2007).

*Изменение температурного режима.* Эта величина не превосходит 1.0-1.5°C. Более заметное изменение режима происходит в последние годы на островах, площадь которых возрастает в связи с понижением уровня моря. *Доля антропогенного вклада в изменение температуры* достигает 25-50%.

*Зимой и осенью* при региональном похолодании (1971-1980 гг.) уменьшение отепляющего влияния моря приводило к большему снижению температуры воздуха на бывших береговых станциях по сравнению со станциями сугубо континентальными. В период интенсивного регионального потепления (1981-1990 гг.) повышение зимних температур, в том числе и минимальных, было больше на удаленных от моря станциях.

*Летом и весной* уменьшение охлаждающего влияния моря при потеплении (1970-1985 гг.) приводило к большему увеличению температуры воздуха вблизи моря, чем в удаленных районах, и к меньшему похолоданию при понижении температурного фона. Наиболее высокие значения в разнице температур между первым и последним десятилетием оказались в апреле на прибрежных станциях Муйнак и Аральское море (табл. 1).

Так как весенние и осенние антропогенные изменения температуры имеют разную интенсивность (а иногда и знак), тепловые ресурсы всего вегетационного периода в прибрежной зоне были долгое время стабильны. В 1981-1990 годах, когда море отошло от берега на 25-26 км (Муйнак и Уялы соответственно) и эффект летнего антропогенного потепления вырос, *сумма эффективных температур* увеличилась здесь по сравнению с «натуральным» периодом на 30-50°C.

**Таблица 1.** Разность температуры воздуха между десятилетиями: 1) 1951-1960 и 1961-1970, 2) 1951-1960 и 1971-1980, 3) 1951-1960 и 1981-1990, 4) 1951-1960 и 1991-2000 годы (Чуб, 2007).  
**Table 1.** Difference in air temperature between the decades: 1) 1951-1960 and 1961-1970, 2) 1951-1960 and 1971-1980, 3) 1951-1960 and 1981-1990, 4) 1951-1960 and 1991-2000 (Чуб, 2007).

Станция	Январь				Апрель				Июль				Октябрь			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Барсакельмес	-0.5	1.8	-1.4	–	-0.5	-1.5	-2.0	–	-0.5	-1.6	-3.0	–	0.5	1.3	1.5	–
Аральское море	-0.5	1.2	-3.3	-2.0	-0.7	-1.5	-1.7	-3.0	-0.3	-1.6	-2.8	-1.7	0.2	0.8	0.2	-1.2
Уялы	-0.5	2.2	-1.9	–	-0.8	-1.7	-2.8	–	-1.1	-1.3	-3.4	–	0.8	1.8	2.0	–
Муйнак	-0.1	2.9	-1.1	-0.2	-0.8	-1.9	-3.0	-4.7	-0.8	-1.4	-2.4	-2.8	0.7	1.2	1.8	0.1
Тигровый	-0.3	2.0	–	–	-0.8	-1.7	–	–	-0.8	-1.5	–	–	0.6	1.4	–	–
Порлатау	0.4	3.3	-1.4	–	-0.5	-1.4	-1.9	–	-1.6	-1.1	-2.6	–	0.4	0.5	0.9	–
Чимбай	0.4	2.4	-2.0	-0.4	0.4	-1.3	-1.5	-2.9	-0.8	-1.5	-2.3	-2.1	0.2	-0.3	-0.2	-1.6
Хива	0.1	2.4	-1.2	-0.8	0.3	-0.7	-0.6	-0.6	0.4	-0.4	-1.2	-1.5	0.8	0.0	0.2	-1.2
Жаслык	0.4	3.2	-2.5	-1.1	0.0	-0.1	-1.2	-2.8	-0.7	-1.0	-2.3	-1.7	0.2	-0.3	-0.3	-1.5
Каракалпакия	0.4	3.0	-2.2	-1.4	-0.1	-0.6	-1.6	-3.5	-0.4	-1.8	-2.2	-1.6	0.3	-0.2	-0.5	-2.1
Акбайтал	0.7	2.4	-1.4	-0.2	-0.2	-0.9	-0.6	-0.6	-0.2	-1.1	-1.5	-0.9	0.4	-0.1	0.3	-1.5
Тамды	0.7	2.3	-1.6	0.1	-0.4	-1.3	-0.8	-0.8	-0.7	-1.4	-1.6	-1.2	-0.2	-0.8	-0.2	-1.6

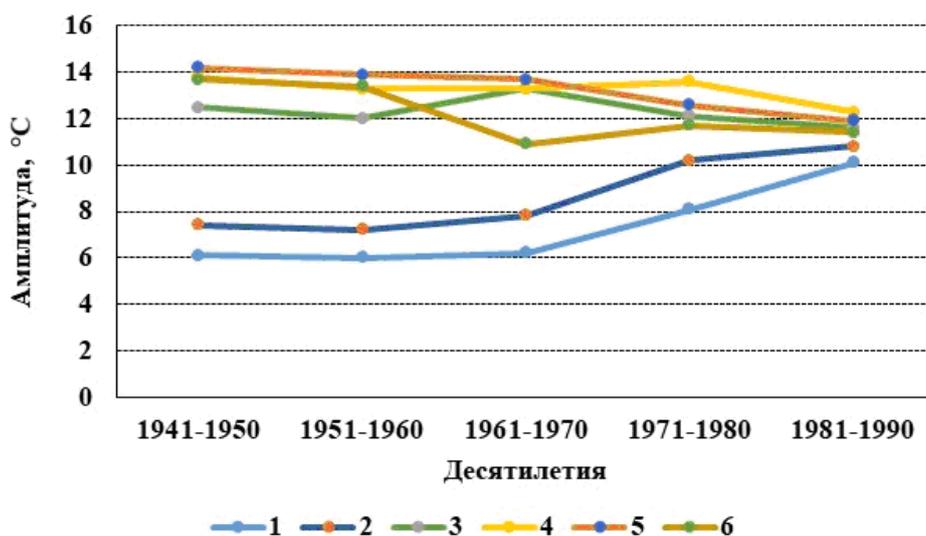
**Примечание к таблице 1:** желтым фоном выделены береговые станции и пустынная.  
**Notes to table 1:** yellow marks the coastal and desert stations.

*Переход средних суточных температур через 0°C к положительным значениям* относительно постоянен непосредственно на побережье, тогда как на других станциях Приаралья и в пустыне он осуществляется в более поздние сроки, чем средние многолетние.

*Переход через 0°C к отрицательным значениям осенью* происходит, как и во всем регионе, в более поздние даты, но отличия статистически незначимы.

На фоне общего снижения летних суточных амплитуд температур воздуха на пустынных станциях амплитуды на береговых увеличиваются, приближаясь к значениям пустынных. Амплитуды возросли в Уялы и Муйнаке с 5-6 и 7-8°C до 11.5 и 12.6°C соответственно. Зимние суточные амплитуды температуры бывшей прибрежной зоны существенно не меняются и пока остаются ниже континентальных. Средние за год амплитуды температуры воздуха по десятилетиям (рис. 2) на береговых станциях за период 1950-1990 гг. выросли и приблизились к концу 1990-х годов к значениям на пустынных станциях. Это очень важное событие в развитии Аральского кризиса, т.к. оно свидетельствует о практическом прекращении изменений температурного режима, обусловленного падением уровня моря.

*Относительная влажность.* В Приаралье изменение этого показателя происходило наиболее отчетливо на южном и восточном побережьях, где разница значений относительной влажности с пустыней при «нечтвенном» режиме составляла 35-40%, а после 1990 года – 20-28%. В.Е. Чуб (2007) отмечает, что антропогенный вклад сопоставим с естественным изменением на континентальных станциях, а в отдельных пунктах (Уялы) даже превосходит его. Иными словами, к настоящему времени разница относительной влажности воздуха на прибрежных станциях практически сблизилась с пустынными.



**Рис. 2.** Средние за год амплитуды температуры воздуха по десятилетиям (Чуб, 2007). Условные обозначения. Прибрежные метеостанции: 1 – Уялы, 2 – Муйнак; континентальные: 3 – Чимбай, 4 – Хива, 5 – Каракалпакия, 6 – Тамды. **Fig. 2.** Average annual air temperature amplitudes for decades (Чуб, 2007). *Legend.* Coastal weather stations: 1 – Uyaly, 2 – Muynak; continental stations: 3 – Chimbay, 4 – Khiva, 5 – Karakalpakiya, 6 – Tamdy.

*Изменение режима атмосферных осадков.* Влияние сокращения водной поверхности моря проявилось в изменении соотношения осадков теплого и холодного полугодий. Ранее над морем преобладали летние осадки, теперь чаще формируются зимние максимумы. Следует отметить, что более поздние исследования Ж.В. Кузьминой и С.Е. Трешкина (2016) показали, что эта тенденция характерна для всей территории пустынных районов, окружающих Приаралье. Как видим, и режим атмосферных осадков уже перестроился и близок к режиму выпадения осадков на окружающих пустынных станциях.

*Повторяемость разных классов погод.* Заметные изменения произошли в последнем десятилетии. Например, в Муйнаке исчез класс погоды ХУІ (очень жаркая и очень влажная) и увеличилась повторяемость погоды солнечной, очень жаркой и очень сухой.

В.Е. Чуб (2007) также считает, что сокращение водной поверхности моря сказалось на ветровом режиме Приаралья: произошло ослабление бризовой циркуляции, преимущественно за счет сокращения дневных северо-восточных бризов.

*В колебаниях числа ясных дней, радиационных характеристик и атмосферных осадков в Приаралье и за его пределами* явного вклада, связанного с деградацией моря, не обнаруживается, т.е., по мнению В.Е. Чуба (2007), они обусловлены более общим фактором, изменением циркуляционных процессов на территории Средней Азии.

Таким образом, в рассматриваемой работе В.Е. Чуба (2007) даны ответы, подтвержденные конкретными данными многолетних наблюдений, на основные вопросы, поставленные в самом начале Аральского кризиса: 1) дальность климатического влияния моря при замещении водного зеркала новой сушей простирается на расстояние не более, чем на 100 км от прежней (до 1960 года) береговой линии; 2) причиной резкого падения уровня моря не являются климатические процессы, т.к. годовые суммы осадков на всем протяжении времени развития кризиса в Приаралье не уменьшились; 3) процесс изменения климата вследствие высыхания моря практически прекратился к концу 1990-х годов, т.к. значение климатических параметров на Приморских станциях приблизилось к условиям окружающих

пустынь. Очень наглядно этот тезис подтверждает рисунок 2, где видно, что на прибрежных станциях Муйнак и Уялы в течение всего времени от начала и во время протекания кризиса (1950-1990 гг.) средние за год амплитуды температуры воздуха по десятилетиям приближались к значениям континентальных станций и к концу 1990-х гг. практически сравнялись со значениями на них. Ответы на вопросы, поставленные в начале развития Аральского кризиса, получены, и они кроме прочего отвечают и на поставленную задачу в отношении прогноза направления развития климатических параметров при усыхании моря. Как видим, их изменения во время кризиса шли в направлении формирования параметров и режимов, соответствующих климатическим условиям прилегающих пустынь. Исключение составляют осадки, которые и раньше были невелики и не зависели от размеров водной поверхности, а являются следствием географического положения территории в пустынной зоне. Самый значимый вывод из рассмотренной работы В.Е. Чуба в отношении Приаралья говорит о том, что климатические изменения, связанные с падением уровня моря на этой территории, к концу 1990-х годов прекратились, иными словами – климатическая составляющая Аральского кризиса завершилась и далее климатические изменения в Приаралье будут обусловлены исключительно циркуляционными процессами атмосферы на территории Средней Азии.

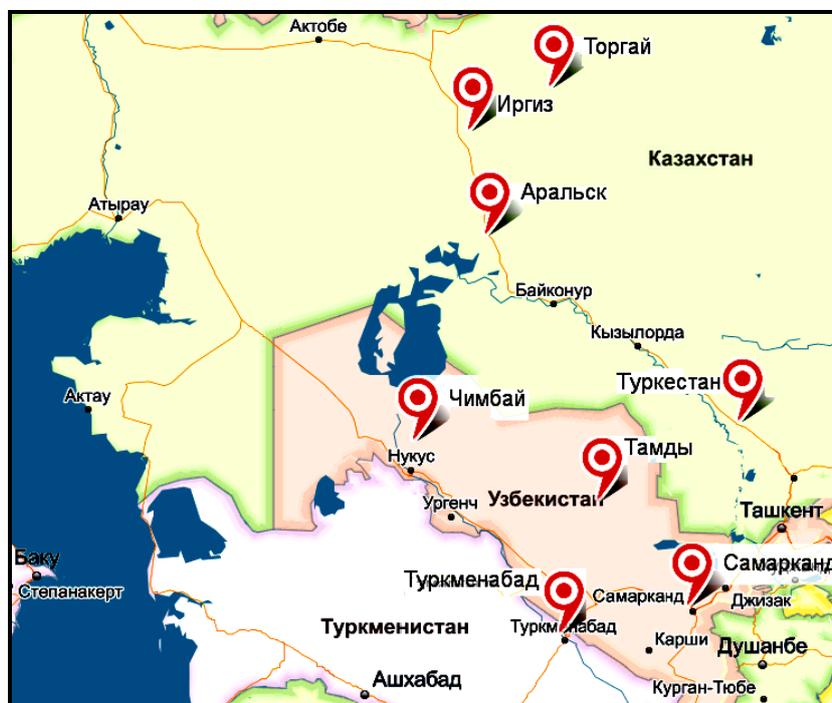
Основные методические приемы, которые использовал В.Е. Чуб (2007), близки тем, которые применяли предыдущие исследователи: расчет параметров по десятилетиям, оценка изменения между двумя соседними десятилетиями на основании разницы средних значений за каждое из десятилетий, а также оценка изменения за весь период с 1950-х по 1990-е гг. на основании разницы, получаемой при сравнении десятилетия в начале или до падения уровня моря с последним десятилетием 1980-1990 гг. Воздействие собственно моря на климатические параметры оценивалось по разнице значений на прибрежных станциях и континентальных, расположенных в пустыне. Оценка дальности воздействия моря на климатические параметры прилегающих территорий проводилась также путем сопоставления значений параметров морских и прибрежных станций с расположенными в пустынных районах до тех пор, пока разница значений не становилась постоянной. Представляется, что преимущество такого подхода заключается в возможности рассмотрения хода процесса, отличий в отдельные отрезки времени.

Иной подход к рассмотрению и оценке климатических изменений был использован в исследовании Ж.В. Кузьминой и С.Е. Трешкина (2016). Эти авторы поставили целью разработать методический подход к оценке изменения климатических параметров. Важное место в их подходе занимает оценка статистической значимости изменений. Если изменения параметра во времени статистически незначимы, считается, что изменение отсутствует. Еще одна особенность метода состоит в том, что авторы рассмотрели длительный по времени ряд наблюдений. В данной работе это 75 и 125 лет, т.е. со времени начала работы станций и по время проведения исследования в 2014 г. Это позволило получить величину конечного результирующего изменения с начала наблюдений по конечную дату и определить тренды, значимость которых через коэффициент корреляции  $r$  можно оценивать более объективно. В этой работе используются данные суточных наблюдений, что и позволяет находить значение абсолютных максимумов и минимумов за сутки, а затем – за весь период наблюдений.

При выборе показателей авторы исходили из необходимости их экологической значимости, полагая, что для живых организмов наиболее важны средние значения метеорологических характеристик, а экстремальные значения редки и лимитируют выживание видов, находящихся на границе своего ареала. Учитывая это, авторы исследовали средние и абсолютные минимальные и максимальные величины основных метеорологических характеристик в многолетнем аспекте.

Авторы рассмотрели значения суммарных атмосферных осадков и температуры воздуха

(средние, максимальные и минимальные величины) для всего года, теплого и холодного сезонов и отдельно для 4-х времен года. Рассматривались данные 8 метеостанций, входящих в международную сеть (рис. 3): Аральское море, Чимбай, Тамды, Торгай, Иргиз, Самарканд, Туркестан, Чарджоу).



**Рис. 3.** Расположение метеостанций, входящих в состав Международной системы метеонаблюдений, в регионе Приаралья и сопредельных территориях Средней Азии, для которых был проведен анализ трендов основных метеорологических характеристик за многолетний период наблюдений (Кузьмина, Трешкин, 2016). **Fig. 3.** Location of weather stations that are part of the Worldwide Meteorological Observations System in the Aral Region and adjacent territories of Central Asia, for which the trend analysis of the main meteorological characteristics over a long period of monitoring was carried out (Кузьмина, Трешкин, 2016).

Как видим, анализировались данные преимущественно по континентальным станциям. Для нас представляют интерес «прибрежная» метеостанция Аральское море (г. Аральск) и расположенная в дельте Амударьи станция Чимбай, которую можно рассматривать как расположенную в полосе шириной до 100 км от береговой линии моря 1960-х годов испытывающую влиянием моря.

В данной работе для итоговой оценки изменения параметра предложен *относительный коэффициент изменений* – ОКИ (табл. 2), отражающий отношение модуля изменения этого параметра за многолетний период к амплитуде его колебания, в процентах.

Первый этап работы связан с анализом многолетнего ряда средних значений температуры и осадков за год и по частям для получения величины изменения параметров (модуля) за весь период исследования и его значимости (рис. 4).

Как видно на рисунке 4, характеризующем изменение осадков на станциях Чимбай и Аральское море до падения уровня моря (1906 или 1937 гг.), годовая сумма осадков увеличивалась на обеих станциях.

Изменения параметров оцениваются коэффициентами корреляции  $r$  и статистической значимостью, что можно увидеть в соответствующих колонках в таблице 2.

Таблица 2. Многолетние изменения атмосферных осадков и температуры воздуха в Приаралье (Кузьмина, Трешкин, 2016).

Table 2. Long-term changes in precipitation and air temperature in the Aral Region (Кузьмина, Трешкин, 2016).

Станция	Периоды		Осадки, мм							Индекс		Температура воздуха, °С																				
	Сезоны	Месяцы						Педа		Средняя						Абс. минимальная					Абс. максимальная											
			Лет	Тренд	r <sup>1</sup>	α <sup>2</sup>	Ср. <sup>3</sup>	Δ <sup>4</sup>	ОКЦ, % <sup>5</sup>	И <sub>Педа1</sub> <sup>6</sup>	И <sub>Педа2</sub> <sup>7</sup>	Лет	Тренд	r	α	Ср.	Δ	ОКЦ, %	Лет	Тренд	r	α	Мин.	Δ	ОКЦ, %	Лет	Тренд	r	α	Макс.	Δ	ОКЦ, %
Аральское море №35746			1906-2014									1906-2014						1906-2014					1906-2014									
	Год	1-12	109	+	0.56	0.001	125.8	94.1	38.1	0.3	-0.1	102	+	0.53	0.001	7.9	2.5	48.4														
	Тепл. пол.	4-9	109	+	0.39	0.001	61.7	49.7	11.0	0.1	-0.3	102	+	0.59	0.001	20.2	2.6	32.2	100	+	0.17	0.10	-15.9	2.1	11.2	94	+	0.47	0.001	46.9	3.9	34.7
	Хол. пол.	10-3	109	+	0.51	0.001	64.1	44.4	28.7	2.5	3.1	102	+	0.36	0.001	-4.6	2.6	28.7	103	+	0.25	0.05	-37.9	3.1	18.1	91	+	0.33	0.01	32.6	4.4	25.4
	Весна	3-5	107	+	0.39	0.001	39.6	33.6	19.7	0.3	-0.1	106	+	0.45	0.001	8.4	3.5	30.6	98	+	0.35	0.001	-36.1	7.8	25.0	94	+	0.31	0.01	39.9	3.5	22.9
	Лето	6-8	108	0(+)	0.13	н	26.5	-	-	2.1	1.8	104	+	0.47	0.001	25.3	1.9	35.1	101	+	0.23	0.05	3.6	1.6	16.4	93	+	0.46	0.001	46.9	3.8	34.2
	Осень	9-11	107	+	0.23	0.05	32.7	16.4	14.1	1.2	0.0	105	+	0.45	0.001	8.0	2.6	22.4	99	+	0.19	0.10	-31.6	4.0	15.4	89	+	0.43	0.001	41.5	4.7	33.6
	Зима	12-2	108	+	0.56	0.001	28.9	28.8	39.0	3.0	3.4	105	+	0.15	0.15	-10.6	1.5	8.3	103	+	0.25	0.05	-37.9	3.1	18.0	92	+	0.31	0.01	17.8	3.6	17.1
	Тепл. пол.	5-10	109	+	0.23	0.05	58.6	25.1	14.3	0.6	-0.1	102	+	0.61	0.001	19.9	2.4	33.4	99	+	0.26	0.01	-15.7	3.1	17.1	94	+	0.47	0.001	46.9	3.9	34.7
Хол. пол.	11-4	109	+	0.62	0.001	67.2	69.0	41.3	2.6	3.2	102	+	0.35	0.001	-4.3	2.6	26.9	103	+	0.25	0.05	-37.9	3.1	18.1	93	+	0.38	0.001	33.9	5.0	33.0	
Цимбай №38262			1937-2014									1937-2014						1937-2014					1937-2014									
	Год	1-12	81	+	0.61	0.001	122.7	64.9	24.9	0.4	0.4	78	+	0.70	0.001	11.1	2.7	55.5														
	Тепл. пол.	4-9	81	+	0.35	0.01	49.1	38.2	26.8	0.0	0.1	78	+	0.81	0.001	21.5	2.9	58.9	78	+	0.42	0.001	-8.8	4.0	28.5	78	+	0.59	0.001	46.0	3.3	37.6
	Хол. пол.	10-3	81	+	0.54	0.001	73.7	61.4	35.5	3.6	3.3	78	+	0.43	0.001	0.7	2.5	32.1	78	+	0.18	0.15	-33.7	2.8	12.2	78	0(+)	0.11	н	34.5	-	-
	Весна	3-5	81	+	0.43	0.001	53.2	48.0	36.7	-0.1	0.0	78	+	0.59	0.001	12.3	3.5	40.9	75	+	0.24	0.05	-22.6	3.7	18.7	78	+	0.24	0.05	46.0	1.8	12.6
	Лето	6-8	81	+	0.19	0.10	11.5	7.0	9.8	-0.7	0.0	78	+	0.79	0.001	25.7	3.0	65.6	76	+	0.38	0.001	2.6	2.9	25.1	78	+	0.53	0.001	46.0	3.0	33.6
	Осень	9-11	81	+	0.36	0.001	22.6	19.9	22.8	-0.3	-0.3	78	+	0.53	0.001	10.3	2.5	43.5	77	+	0.23	0.05	-25.5	3.6	16.0	78	+	0.28	0.10	41.0	1.9	16.5
	Зима	12-2	81	+	0.37	0.001	35.4	24.8	28.5	3.7	3.5	78	+	0.22	0.05	-4.1	1.8	17.8	78	+	0.17	0.15	-33.7	2.7	12.3	78	0(+)	0.02	н	24.4	-	-
	Тепл. пол.	5-10	81	+	0.35	0.01	38.6	26.2	22.7	-0.4	-0.1	78	+	0.84	0.001	21.0	2.7	63.9	76	0(+)	0.11	н	-13.2	-	-	78	+	0.53	0.001	46.0	2.9	33.5
Хол. пол.	11-4	81	+	0.52	0.001	84.1	73.4	42.7	3.6	3.5	78	+	0.47	0.001	1.1	2.7	35.1	78	+	0.18	0.15	-33.7	2.8	12.8	78	+	0.33	0.01	46.0	3.6	16.0	

**Примечания к таблице 2:** 1)  $r^1$  – коэффициент корреляции линейного тренда с кривыми фактических многолетних значений осадков или температур воздуха; 2)  $\alpha^2$  – значимость коэффициентов корреляции; 3) **ср., мин., макс.**<sup>3</sup> – средние, абсолютные минимальные и абсолютные максимальные температуры воздуха, а также среднее количество суммарных атмосферных осадков за многолетний период по фактическим данным; 4)  $\Delta^4$  – модуль изменения фактического значения за рассматриваемый период, высчитанный на основании тренда; 5) **ОКИ**<sup>5</sup> – показатель доли изменения фактических средних значений осадков, рассчитанный как отношение модуля изменения к модулю среднего значения, в %; 6) модифицированный **И<sub>Педя1</sub>**<sup>6</sup> – индекс засушливости Д.А. Педя (1); 7) **И<sub>Педя2</sub>**<sup>7</sup> – индекс засушливости Д.А. Педя (2); 8) жирный шрифт – значения показателей для трендов с достоверными (значимыми) коэффициентами корреляции. **Notes to table 2:** 1)  $r^1$  – correlation coefficient of a linear trend with the curves of the actual perennial precipitation values and air temperatures; 2)  $\alpha^2$  – significance of correlation coefficients; 3) **ср., мин., макс.**<sup>3</sup> – average, absolute minimal and absolute maximal air temperatures, and the average amount of total precipitation for a many-year-long period, according to the actual data; 4)  $\Delta^4$  – module of the actual value changes for the said period, based on the trend; 5) **ОКИ**<sup>5</sup> – index of changes rate for the actual average precipitation values, calculated as the ratio of the changes module to the average value module, in %; 6) **И<sub>Педя1</sub>**<sup>6</sup> – modified D.A. Ped's (1) aridity index; 7) **И<sub>Педя2</sub>**<sup>7</sup> – modified D.A. Ped's (2) aridity index; 8) bold font marks trends with valid (significant) correlation coefficients.

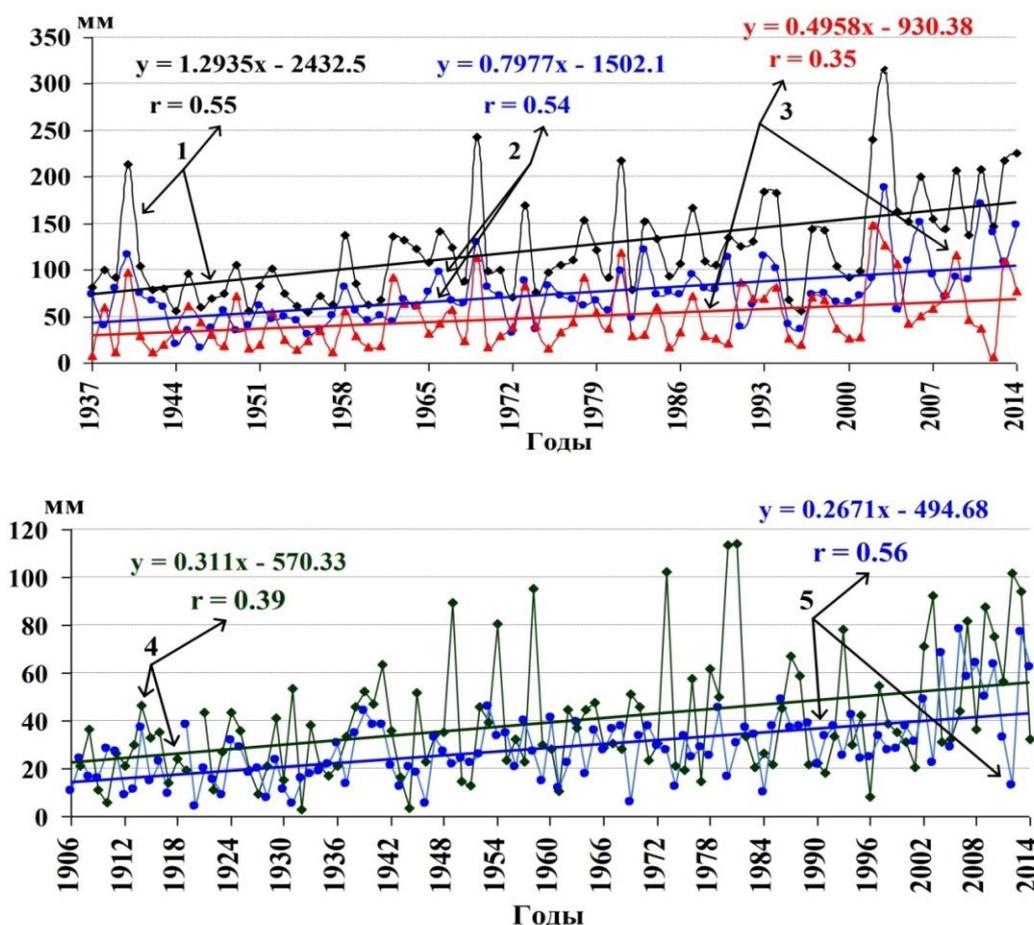
На метеостанции Аральское море за весь период времени изменения годовой суммы осадков имеют положительный тренд (+) и увеличились (модуль) на 94.1 мм, коэффициент корреляции ( $r$ ) составляет 0.56, значение статистически значимо (т.к.  $\alpha=0.001$ ). На станции Чимбай при положительном тренде приращение годовой суммы осадков за весь период составило 64.9 мм, при статистически значимом ( $\alpha=0.001$ ) коэффициенте корреляции – 0.61.

Далее в таблице 2, используя показатель ОКИ, можно увидеть, за счет какого периода и сезона происходит приращение рассматриваемого параметра. На метеостанции Аральское море основное приращение было за счет холодного периода (11-4 месяца) – 41.3%, в том числе за зимние месяцы (12-3 месяца) – 39%. График (рис. 4) показывает, что особенно высокие значения осадков отмечались в период с 2000 по 2014 гг., когда они колебались от 150 до 200 мм. В таблице 2 приведены показатели только для двух станций – Чимбай и Аральск, но авторы рассчитали их и для остальных шести. Значение ОКИ, оценивающее отклонение параметров за весь исследуемый период по всем параметрам, приведено в таблице 3. Здесь видно, что на ближайшей пустынной станции Тамды статистически значимого изменения климатических параметров не было.

Как видим, в таблице 3 максимальные изменения как температуры, так и осадков произошли на станциях Чимбай и Аральское море. При этом видно, что прирост температур больше, чем прирост осадков. Значения ОКИ осадков на станции Чимбай особенно велики, здесь преобладают изменения более 31%, а максимальные величины достигают 64 и 66%. Изменение ОКИ ни на одной станции не превышают 50%, т.е. менее значимы, преобладают значения в интервале 15-30%.

Исходя из оценки ОКИ по всем станциям, авторы делают вывод о том, что основной тенденцией в многолетнем изменении значений *годовых сумм атмосферных осадков* является их значимое повышение в годовом цикле в основном за счет холодного полугодия и зимнего сезона (на Чимбае еще и весеннего), а на пустынных станциях отчасти за счет теплого полугодия, что связано с их *сезонным повышением зимой и осенью*. На станциях Аральское море и Чимбай увеличение осадков в летний период минимально. По мнению Ж.В. Кузьминой и С.Е. Трешкина (2016), основная тенденция совокупных климатических

изменений в регионе Приаралья и сопредельных территорий в настоящем и, вероятно, в будущем – это значительно более теплые и влажные зима и все холодное полугодие. В итоге сделано заключение, что потепление в холодное полугодие и зимний период, которое сопровождается увеличением выпадения атмосферных осадков, свидетельствует об аридном характере потепления как региональной тенденции изменения климата в Приаралье.



**Рис. 4.** Динамика изменения суммарного количества выпадающих атмосферных осадков за многолетний период по метеостанциям а) Чимбай, б) Аральское море (Кузьмина, Трешкин, 2016). *Условные обозначения.* Фактические данные с их линейными трендами, формулами и коэффициентами корреляции: 1 – для полного годового периода (1-12 месяцы), 2 – для холодного полугодия (1-3 и 10-12 месяцы), 3 – для теплого полугодия (4-9 месяцы), 4 – для весны (3-5 месяцы), 5 – для зимы (1-2 и 12 месяцы). **Fig. 4.** Long-term dynamics of changes in the total atmospheric precipitation for the Chimbay (a) and Aral Sea (b) stations (Кузьмина, Трешкин, 2016). *Legend:* the actual data with its linear trends, formulas and correlation coefficients: 1 – for the total annual period (1-12<sup>th</sup> months), 2 – for the cold half of the year (1-3<sup>rd</sup>, 10-12<sup>th</sup> months), 3 – for the warm half of the year (4-9<sup>th</sup> months), 4 – for spring (3-5<sup>th</sup> months), 5 – for winter (1-2<sup>nd</sup> and 12<sup>th</sup> months).

Выводы из этой работы не противоречат данным, полученным в исследовании В.Е. Чуба (2007) – в той части, где говорится, что годовые суммы осадков на метеостанциях в Приаралье до 1990 г. не изменялись, т.к. имеются в виду изменения, обусловленные падением уровня моря. Кроме того, наблюдения Ж.В. Кузьминой и Трешкина (2016) более

длительные, чем у В.Е. Чуба, и включают также период с 1990 по 2014 гг., в который осадки были максимальными и достигали 200 мм при среднемноголетних значениях 100-120 мм.

Изменение значения средней температуры воздуха на рассматриваемых метеостанциях было выше, чем на близлежащих пустынных. В изменении значений *годовых температур воздуха* основной тенденцией является их *повышение* как в *холодное*, так и в *теплое полугодия*. Оно на 10-20% выше в холодный период года, чем в теплый, т.к. основная доля в повышенных значениях в сезонном распределении приходится на весну и осень (табл. 3).

В многолетней динамике сезонных значений *абсолютных минимальных температур воздуха* проявилась тенденция их повышения в холодное полугодие (зимой), а также осенью и весной. В среднем для Приаральского региона и сопредельных территорий заморозки в теплое полугодие снизились на 3.5°C, в то время как самые сильные морозы ослабели на 4.2°C.

**Таблица 3.** Относительный коэффициент изменений (ОКИ, %) динамики суммарных атмосферных осадков и средней температуры воздуха за многолетний период по восьми метеостанциям Приаралья и сопредельных территорий (Кузьмина, Трешкин, 2016).

**Table 3.** The relative changes coefficient (ОКИ, %) of the dynamics of the total precipitation and average air temperature for the long period, obtained from 8 weather stations of the Aral Region and adjacent territories (Кузьмина, Трешкин, 2016).

Период времени в месяцах	ОКИ осадков								ОКИ средней температуры воздуха							
	1. Аральск	2. Чимбай	3. Иргиз	4. Торгай	5. Туркестан	6. Тамды	7. Чарджоу	8. Самарканд	1. Аральск	2. Чимбай	3. Иргиз	4. Торгай	5. Туркестан	6. Тамды	7. Чарджоу	8. Самарканд
Годовое (1-12)	38	25	15	18	14	-	10	19	48	56	31	21	16	44	-	54
Теплое полугодие (4-9)	11	27	-	-	18	-	-	-	32	59	13	18	8	42	-	56
Холодное полугодие (1-3, 10-12)	29	36	26	21	28	-	15	20	29	32	32	16	17	32	14	39
Теплое полугодие (5-10)	14	23	-	-	15	-	-	-	33	64	-	13	-	43	-	48
Холодное полугодие (1-4, 11-12)	41	43	26	23	12	-	11	29	27	35	36	20	18	33	20	34
Весна (3-5)	20	37	-	17	20	-	-	-	31	41	-	27	10	31	13	24
Лето (6-8)	-	10	-	-	-	-	-	-	35	66	-	-	-	45	-	51
Осень (9-11)	14	23	-	-	24	-	12	15	22	44	17	21	14	38	-	42
Зима (1-2, 12)	39	29	26	21	28	-	20	34	8	18	31	-	10	-	-	16

**Примечания к таблице 3:** ОКИ, %:   – 0-14,   – 15-30,   – 31-50,   – >50.

**Notes to table 3:** colors mark the different values of the relative changes coefficient, in %.

Установленное ослабление весенних заморозков в сочетании со снижением зимних морозов при повышении среднегодовых температур воздуха, по мнению Ж.В. Кузьминой и С.Е. Трешкина (2016), способствует улучшению условий сельскохозяйственного производства.

Наименьшие изменения произошли в многолетней динамике значений *абсолютных максимальных температур воздуха*. Отмечено повышение в теплое полугодие – летом и в холодное – осенью. По частоте встречаемости повышение максимальных температур выше в

теплые периоды, а по амплитуде изменений более значительны (на 1-1.5°C) отклонения в холодные периоды. Авторы статьи отмечают, что по величине значений изменения всех анализируемых климатических характеристик очень существенны, особенно они велики для средних температур воздуха.

Важной особенностью совокупных климатических изменений, установленной в работе Ж.В. Кузьминой и С.Е. Трешкина (2016) на основании индексов Педея, является очень сильное увеличение аридизации в основной период вегетации – весенне-летне-осенний, особенно весной, что существенно ухудшит и без того сложные условия выращивания сельскохозяйственных культур в этом аридном регионе.

Экологические выводы Ж.В. Кузьминой и С.Е. Трешкина (2016), сделанные на основании полученных ими оценок изменения климатических параметров, говорят о том, что естественные экосистемы будут испытывать все большее усиление аридизации условий прежде гидроморфных экосистем, которые будут замещаться ксерофитными, экстроксерофитными и экстрагалофитными.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что работа Ж.В. Кузьминой и С.Е. Трешкина (2016) внесла важный вклад в понимание и оценку результатов трансформации климатических параметров, имеющих место в Приаралье и на прилегающих территориях Средней Азии вследствие глобального потепления и высыхания моря. Авторы убедительно показали, что наибольшие изменения претерпели климатические параметры на метеостанции Чимбай, расположенной в дельте Амударьи, и на приморской станции Аральское море. Тенденция современных изменений оценивается как аридное потепление. В этой работе предложена методика проведения расчетов и оценочные коэффициенты, которые могут быть использованы в дальнейших исследованиях по мониторингу процессов трансформации природной среды в Приаралье. Следует сказать, что эта работа удачно дополняет исследование В.Е. Чуба (2007), которое показало (особенно наглядно это на рисунке 2), что значение параметров прибрежных станций приблизилось к значениям таковых на пустынных к концу 1990-х. Исследование Ж.В. Кузьминой и С.Е. Трешкина (2016) с введением оценочного коэффициента показало, каковы в итоге произошедшие изменения и насколько изменился каждый параметр за длительный (вековой) период.

Следующим шагом в исследованиях по изменению климата, несомненно, должен быть поиск управляющих им общих закономерностей. В исследованиях по этому вопросу применяли различные методические подходы, от которых зависел уровень обобщения и важность полученных результатов. А.Н. Золотокрылин и А.А. Токаренко (1991) на основании анализа данных по 13 станциям за период 1950-1989 гг. пришли к мнению, что основными причинами межгодовых вариаций климата выступают квазидвухлетняя цикличность метеорологических элементов. В работе отмечено, что во все сезоны года заметны тенденции роста величин климатических элементов. Наибольшее увеличение температуры к 1989 г. (1.2-1.6°C) за 40 лет отмечается в весенне-летний период. В осенние и зимние сезоны положительный рост температуры составляет 0.1-0.9°C. На большей части территории месячные суммы осадков за период с 1953 по 1989 гг. (36 лет) в целом за год возросли на 3-5 мм, зимой – на 1-2 мм, т.е. примерно на 10%. Во все сезоны года отмечается рост относительной влажности воздуха: в теплый период – на 2-11%, в холодный – на 1-5%. Однако линейные тренды изменений за этот период оказались статистически значимыми только для температур (табл. 4).

Особенно важны, как нам представляется, исследования, связывающие изменения климатических условий с особенностями циркуляции атмосферы и позволяющие выявить общие закономерности их изменения. Изменчивость повторяемости типов синоптических процессов Средней Азии изучалась в конце 1990-х – начале 2000-х гг. и была опубликована в работах Т.И. Молосновой и Э.Л. Илиняк (1991), О.И. Субботиной и Т.М. Чевычаловой

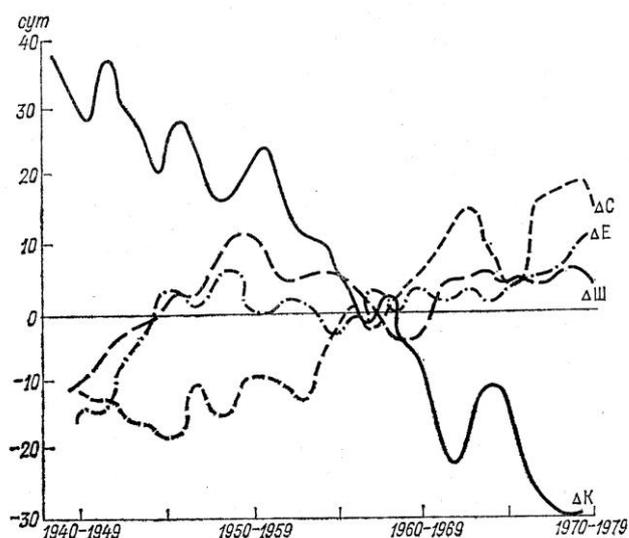
(1991), О.И. Субботиной с соавторами (1995), С.И. Инагамовой с соавторами (2002). В понимание этих процессов значительный вклад внесли работы М.Х. Байдала (1961, 1972). Для территории Приаралья он провел анализ преобладания трех основных типов циркуляции (С и Е – меридиональные, Ш – широтная). Было замечено, что период резкого снижения уровня Аральского моря совпал по времени с переломом в характере общей циркуляции атмосферы (после 1960 г. произошла смена циркуляционных эпох). В этот период отмечается резкое увеличение повторяемости меридиональных форм циркуляции, в то время как до этого преобладали комбинированные формы (К). В течение 30-летнего периода после 1960 г. преобладала тенденция интенсивного развития меридиональной циркуляции. Это можно проследить на рисунке 5, где представлен многолетний ход 10-летних скользящих средних трех типов циркуляции.

**Таблица 4.** Оценка линейного тренда среднемесячной температуры воздуха и месячной суммы осадков за 1953-1989 гг. в Южном Приаралье (Золотокрылин, Токаренко, 1991).

**Table 4.** Estimation of the linear trend of the average monthly air temperature and monthly precipitation for 1953-1989 in the southern Aral Region (Золотокрылин, Токаренко, 1991).

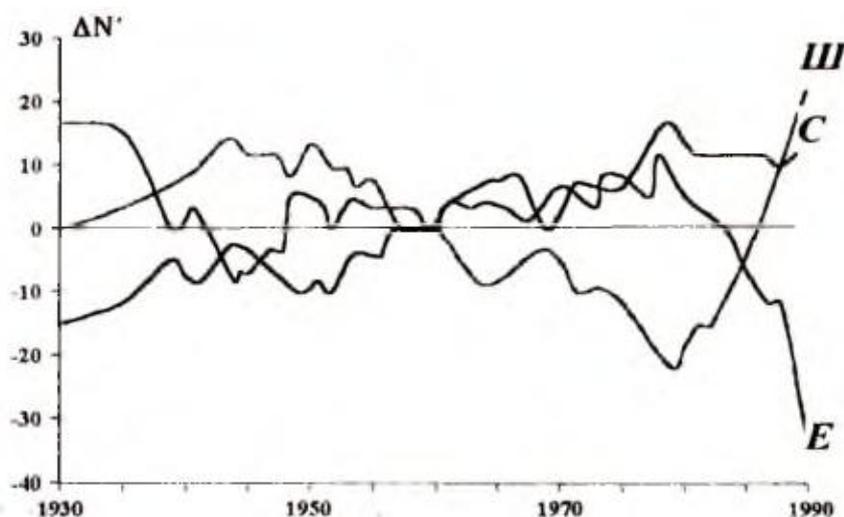
Метеостанция	Скорость тренда		Оценка статистической значимости тренда с надежностью 0.95*	
	температура, °С/год	осадки, мм/год	температура, °С/год	осадки, мм/год
Тахиаташ	0.06	0.12	0.058	0.508
Чимбай	0.07	0.17	0.055	0.606
Ташауз	0.04	-0.13	0.055	0.687
Хива	0.05	-0.10	0.054	0.532
Муйнак	0.09	0.26	0.060	0.485

**Примечания к таблице 4:** \* – тренд значим с вероятностью 0.95, если скорость тренда превышает оценку его статистической значимости. **Notes to table 4:** \* – the trend is significant with probability of 0.95, if its speed is higher than the value of its statistical significance.



**Рис. 5.** Многолетние изменения 10-летних скользящих средних отклонений от нормы типов циркуляции, выделенных М.Х. Байдалом (Аральское море ..., 1990). Условные обозначения для рис. 5 и 6. Тип циркуляции: С и Е – меридиональная, Ш – широтная, К – комбинированная. По оси Х отложены годы. **Fig. 5.** Long-term changes of the moving average deviations from the normal circulation types for the 10-year-long period, identified by М.Н. Baydal (Аральское море ..., 1990). Legend for fig. 5 and 6. Circulation type: С and Е – meridian, Ш – latitudinal, К – combined. The X-axis shows years.

Эти исследования были продолжены О.И. Субботиной с соавторами (1995), которые на основе классификации М.Х. Байдала (1961) подтвердили выделение для Средней Азии с начала XX века двух циркуляционных эпох: первой – приходящейся на 1930-1960 годы, второй – с начала 60-х годов (рис. 6). При резком снижении повторяемости меридионального типа циркуляции *E* сохраняется превышение над нормой числа дней с меридиональным типом *C*, а повторяемость зонального переноса – типа *III* резко возрастает, т.е. появляется вероятность начала новой третьей циркуляционной эпохи (Субботина и др., 1995). Период с середины 80-х годов характеризуется резкой перестройкой общей циркуляции атмосферы.



**Рис. 6.** Многолетние изменения 10-летних скользящих средних отклонений от нормы числа дней ( $\Delta N'$ ) с типами циркуляции *III*, *C* и *E* (Субботина и др., 1995). **Fig. 6.** Long-term changes of the moving average deviations from the normal number of days ( $\Delta N'$ ) for the 10-year-long period, with circulation types *III*, *C* and *E* (Субботина и др., 1995).

В.Е. Чуб (2007) считает, что в Приаралье эффект опустынивания усиливался естественно-климатическими тенденциями, обусловленными сменой циркуляционных эпох. При новой, следующей, смене преобладающего характера общей циркуляции, что не исключено в ближайшем будущем, по его мнению, картина будет противоположной. В своей работе он отмечает региональные похолодания и активизацию ветровой деятельности в 1971-1980 гг. и потепление 1981-1990 гг.

На фоне двух циркуляционных эпох С.И. Инагамова с соавторами (2002) также выделяет отдельные периоды с преобладанием тех или иных региональных типов синоптических процессов в Средней Азии. Глобальное потепление 30-х годов и похолодание 60-х отчетливо прослеживаются, например, в многолетнем ходе средней годовой температуры воздуха по Узбекистану (рис. 7).

Пониженными относительно нормы значениями характеризовались температуры июля в 1901-1910, 1931-1940, 1951-1960 годах, а наиболее жарко было в 1930-1948, 1973-1989 гг. В 90-е годы XX века средняя месячная температура июля и всего теплого полугодия продолжала оставаться выше нормы; в 1997 году был зарегистрирован абсолютный максимум температуры воздуха за имеющийся период наблюдений.

В выпадении осадков при осреднении значений по десятилетиям установлено, что самым сухим периодом были 1941-1950 годы (Субботина и др., 1995). Над западной частью Узбекистана (Муйнак, Тамды) наблюдалась отрицательная аномалия годовых сумм осадков, достигавшая 83%.

Сопоставление десятилетних аномалий осадков в Средней Азии с десятилетними аномалиями повторяемости широтных и меридиональных типов циркуляции по М.Х. Байдалу (1961) в евразийском секторе северного полушария свидетельствует о том, что формированию относительного избытка осадков благоприятствуют меридиональные потоки – типы *C* и *E*. Дефицит осадков отмечается преимущественно при зональном

переносе – типе *Ш*. Отмечено, что форма циркуляции *E* приводит к большей повторяемости антициклонических типов, а увеличение повторяемости формы *C* способствует большему числу дней с холодными вторжениями. Поэтому над равнинной территорией годовые суммы осадков в начале 1960-х годов постепенно стали возрастать (рис. 8), что в некоторой степени могло компенсировать сокращение увлажнения Приаралья.



**Рис. 7.** Изменение аномалии средней годовой глобальной температуры и температуры воздуха по станциям Узбекистана и 10-летние скользящие средние (Никулина, 1998; Никулина, Спекторман, 1998). **Fig. 7.** Changes in the anomalies of the average annual global temperature and air temperature at the weather stations of Uzbekistan, and 10-year moving averages (Никулина, 1998; Никулина, Спекторман, 1998).

В опубликованном отчете «Третье национальное сообщение ...» (2016) указывается, что повышение температуры воздуха в Узбекистане будет продолжаться в соответствии с уже наблюдаемыми трендами и к 2030-м годам составит 1.0-1.4°C. При общем потеплении климата в будущем увеличивается вероятность интенсивных «волн жары» и сохраняется вероятность «волн холода».



**Рис. 8.** Десятилетние скользящие средние годовые суммы осадков на равнинной территории Узбекистана (Чуб, 2000).

**Fig. 8.** Moving average annual precipitation sums for every 10 year on the plains of Uzbekistan (Чуб, 2000).

### Выводы к разделу

Исследования, проводившиеся в период активного развития Аральского кризиса и до настоящего времени, позволили установить, что наиболее сильные изменения климата прослеживаются на территории, окружающей море на расстоянии не более 100 км от береговой линии 1960 года. Изменения затрагивают практически все климатические параметры, значения которых на бывших прибрежных и морских метеостанциях

к настоящему времени приблизились к пустынным. Подобная локализация изменений вокруг бывшей береговой линии дает основание считать, что их причиной является падение уровня и сокращение водной поверхности моря. Наиболее сильные изменения характерны для значений температур, наименее сильные – для изменения осадков.

Еще один фактор изменения климатических параметров, действие которого отмечается на метеостанциях на территории Средней Азии – смена двух циркуляционных эпох, которая произошла как раз в 1960-х годах. Новая циркуляционная эпоха принесла похолодание и некоторое увеличение осадков, что отчасти могло повлиять на скорость изменения климатических параметров в Приаралье: в период 1960-1970 гг. оно могло несколько затормозить скорость аридизации, а последовавшее затем потепление 80-х гг. – ускорить (Чуб, 2007).

Важно, что проведенные исследования показывают, что на территории Приаралья к 1990-м годам, к концу XX века, завершился процесс опустынивания климата, обусловленный высыханием Аральского моря. Все дальнейшие изменения значений климатических параметров на метеостанциях Приаралья обусловлены уже общими циркуляционными процессами в Среднеазиатском регионе. Современная тенденция изменения климата на этой территории оценивается как аридное потепление (Кузьмина, Трешкин, 2016).

### **Пыльные бури (ПБ) и пыльный поземок (ПП)**

Перенос солевой пыли – одно из наиболее существенных негативных последствий усыхания Аральского моря. При медленном падении уровня минерализованных подземных вод на обсыхающем морском дне формируется песчано-солончаковая пустошь. При высыхании поверхности она становится источником выноса солей и пыли в виде поземок и пыльных бурь. Мы рассматриваем этот вопрос в разделе «климат», потому что основной причиной количества и направления выноса является ветер: его сила и направление, что, в конце-концов, связано с циркуляционными эпохами, на что указано в работе В.Е. Чуба (2007). Автор высказал мнение, что осушение колоссальных площадей и достаточно активная ветровая деятельность в 1970-1980 гг. обусловили резкое увеличение числа пыльных бурь в Приаралье и даже за его пределами, что привело к засолению почв на большом пространстве. В настоящее время в связи с общим ослаблением ветра в Средней Азии бури стали наблюдаться реже, что обусловило резкое снижение выпадения пыли и солей.

Мониторинг этого явления, разработка методик учета и организация сбора информации начались с первых лет обсыхания дна Аральского моря и остаются актуальными до настоящего времени. Научные исследования были направлены на решение большого круга вопросов: выявление частоты проявления пыльных бурь и поземок, расположение основных очагов солепылевыноса и количество переносимых веществ, определение дальности распространения и мест их основного выпадения, изменение этих явлений и процессов во времени.

Мощные бури в Приаралье стали фиксироваться на космических снимках с середины 1970-х годов. Очагом их возникновения стала обсохшая прибрежная полоса ранее мелководного северо-восточного и восточного побережья моря. За период с 1975 по 1982 гг. здесь было обнаружено 35 бурь, пылевые выносы которых достигали в длину 200-400 км. (Григорьев, 1985; Молоснова и др., 1987). Поступавшие в атмосферу соли выпадали на подстилающую поверхность с атмосферными осадками и в сухом виде. Соляная пыль оказывает неблагоприятное воздействие на растительность пастбищ Устюрта, а также оазисов, расположенных в дельте Амударьи и Сырдарьи.

Изучение этого процесса по данным метеостанций (Чуб, 2007) показало, что развитие мощных выносов пылевых бурь в этом районе началось при возрастании полосы обнажившегося дна до 20-25 км. Среднее годовое число дней с пыльными бурями здесь и на

метеостанциях в пустынной части сравнимы (табл. 5).

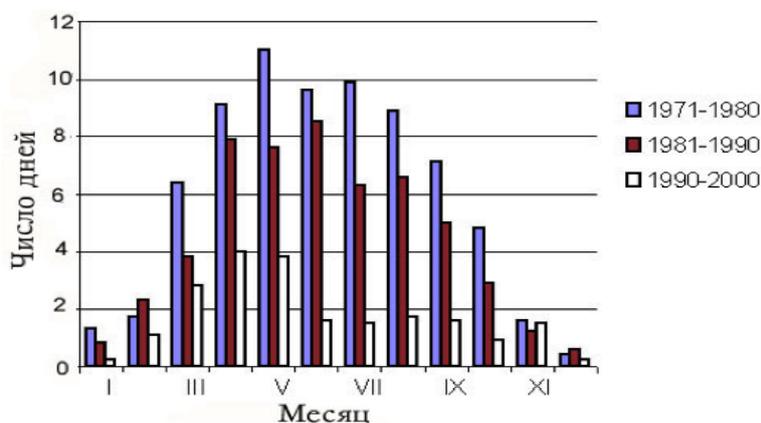
Если сопоставлять совместную повторяемость пыльных бурь и пыльных поземок, то на общем фоне выделяются отдельные районы, где перенос пыли и песка в приземном слое более интенсивен. Так, в 1991-2000 гг. в Муйнаке пыльных бурь и поземок (21 день) оказывается в 7 раз больше, чем пыльных бурь в чистом виде (3 дня), на станции Каракалпакия – 51 и 10 дней соответственно. На большинстве других пунктов наблюдения соотношения более близкие.

**Таблица 5.** Среднее годовое число с пыльными бурями (ПБ) и пыльной поземкой (ПП) в различные десятилетия за период 1941-2000 годы (Субботина, Чанышева, 2006).

**Table 5.** Average annual number of dust storms (ПБ) and dusty drifts (ПП) for various decades of 1941-2000 (Субботина, Чанышева, 2006).

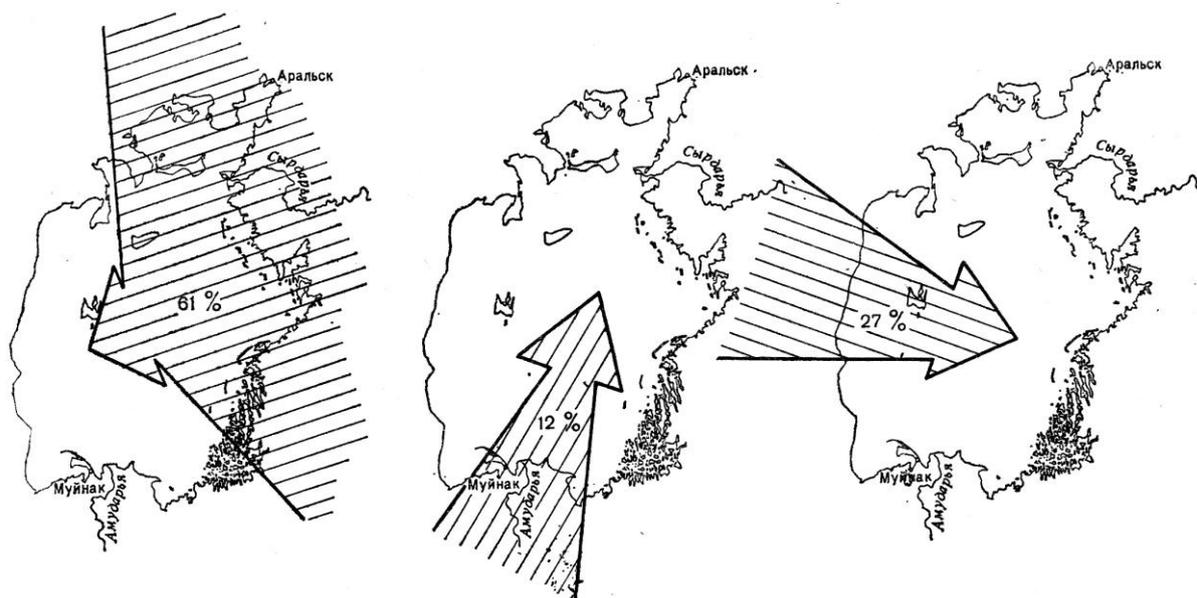
Станция	1941-1950	1951-1960	1961-1970	1971-1980	1981-1990	1961-1990	1991-2000	
	ПБ+ПП						ПБ +ПП	ПБ
Аральское море	–	–	52	61	74	62	–	–
Муйнак	39	57	22	71	55	49	21	3
Каракалпакия	5	0	2	43	49	31	51	10
Жаслык	–	1	2	14	18	11	18	18
Порлатау	–	5	3	9	7	6	–	–
Чимбай	10	12	13	19	15	16	7	7
Хива	2	12	12	5	14	10	1	1

Рассмотрение рисунка 9 показывает, что наиболее частая повторяемость пыльных бурь характерна для весенне-летнего сезона (от 6 до 11 дней за месяц), а зимой пыльные бури случаются 1-2 дня. Ранее предполагалось, что по мере увеличения обсохшей площади моря следует ожидать активизацию возникновения бурь в Приаралье, однако этот же рисунок, как и таблица 5, показывают, что частота повторяемости по десятилетиям постепенно снижалась от 1971 к 1990 году. В последнее десятилетие 1990-2000 гг. повторяемость бурь резко снизилась: в среднем в десятилетие они случались не чаще 4 дней в месяц, и значение это в разные месяцы выровнялось. Наибольшая повторяемость теперь приходится на весенние месяцы с марта по май. Считается (Чуб, 2007), что эти тенденции (редкие бури, резкое снижение количества сухих выпадений) связаны с ослаблением ветра в Средней Азии.



**Рис. 9.** Годовой ход повторяемости пыльных бурь в Муйнаке по десятилетиям (Чуб, 2007). **Fig. 9.** The annual frequency of dust storms in Muynak for decades (Чуб, 2007).

Анализ повторяемости основных направлений и скорости ветра у земли в период пыльных бурь и поземки по трем основным направлениям воздушного потока (рис. 10) показал, что ветры северного, северо-восточного и юго-восточного направлений преобладают над всеми остальными: они почти в два раза больше повторяемости ветров двух других направлений.



**Рис. 10.** Повторяемость различных направлений ветра во время пыльных бурь и поземки (Аральское море ..., 1990). **Fig. 10.** Repeatability of different wind directions during dust storms and drifts (Аральское море ..., 1990).

Из таблицы 6 видно, что наибольшая повторяемость пыльных бурь и поземки приходится на скорость ветра у поверхности Земли – 10-14 м/с, наименьшая – 15 м/с и больше, особенно при ветрах северо-западного и западного направлений, благоприятствующих переносу пыли на территорию Узбекистана. Следует отметить, что в 70-90-х годах XX столетия, когда отмечалась наибольшая частота повторяемости бурь, вместе с появлением обширных массивов обсыхающего дна обращалось внимание также на повышение скорости ветра (Чуб, 2007).

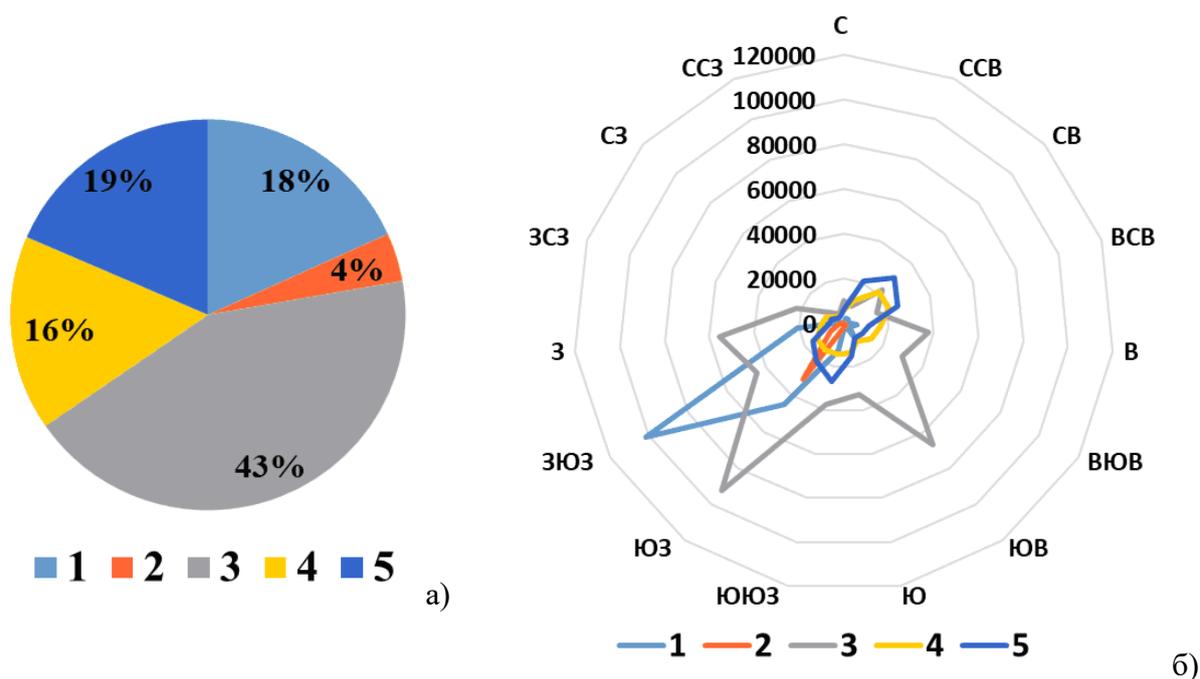
**Таблица 6.** Средняя за год повторяемость (%) различных градаций скорости ветра у поверхности земли при пыльных бурях и поземках (Чуб, 2007). **Table 6.** Average annual repeatability (%) of various wind speed gradations along the Earth surface during dust storms and drifts (Чуб, 2007).

Основное направление	Градация скорости ветра, м/с		
	5-9	9-14	≥15
	Повторяемость, %		
Северное, северо-восточное, восточное, юго-восточное	20	36	5
Южное, юго-западное	3	5	2
Северо-западное, западное	9	16	4

Экспериментальными работами по измерению выпадений аэрозолей из атмосферы на подстилающую поверхность в Приаралье занимались две группы исследователей из Узбекистана: одна из Среднеазиатского научно-исследовательского института ирригации

(Разаков, Косназаров, 1987), вторая – из Среднеазиатского научно-исследовательского гидрометеорологического института (Толкачева и др., 1985). Наиболее детальные измерения в дельте р. Амударьи выполнены под руководством Р.М. Разакова и К.А. Косназарова (1987). На территории Каракалпакии и прилегающей к ней обсохшей части дна моря они установили уловители для отбора проб выпадающих из атмосферы сухих аэрозолей. Число точек отбора достигало 43. Круглогодичные наблюдения за осаждением аэрозолей позволили получить за 5 лет измерений (1982-1986 гг.) более 1600 проб и построить среднюю за период карту сухих выпадений в Южном Приаралье. Химические анализы проб позволили построить и карту содержащихся в них растворимых солей.

Для оценки выноса соли и пыли во время пыльных бурь и поземок на Казахской части Аральского региона были проведены расчетные работы. Для этой цели были задействованы данные за 27-летний период наблюдений с 1966 по 1992 гг. для 11 метеорологических станций: морских (о. Лазарева и о. Барса-Кельмес), прибрежных (Аральское Море и Уялы) и континентальных (Саксаульская, Монсыр, Джусалы, Кзыл-Орда, Казалинск, Чирик-Рабат, Карак). На их основании была оценена (Галаева и др., 1996) масса переносимого ветром песка за год во время пыльных бурь и поземки по годам и получено значение, соответствующее их 50% обеспеченности. Эти данные и анализ материалов дистанционного зондирования показали, что при снижении уровня моря на 15 м (до 38 м н.у.м. БС в 1989 г.) на Казахстанской части осушенного дна Арала образовались 5 природных источников солепылевыноса. На рисунке 11 представлено соотношение среднего многолетнего выноса массы песка 50% обеспеченности из этих очагов выноса, рассчитанное по рядам наблюдений метеостанций за 1966-1992 гг. и представленное в работе О.Е. Семенова с соавторами (2006).

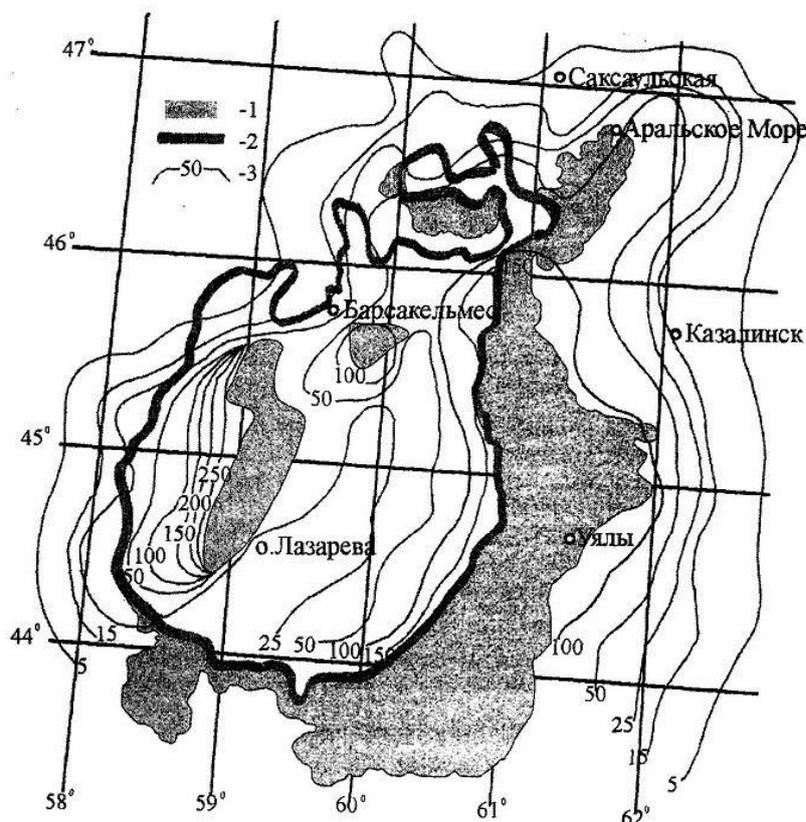


**Рис. 11.** Средний многолетний вынос массы песка 50% обеспеченности из очагов выветривания по рядам наблюдений метеостанций за 1966-1992 гг. на территории Казахстана, т/год: а) соотношение выноса из разных очагов, б) соотношение выноса песка по направлениям (создано по данным Семенов и др., 2006). *Условные обозначения очагов солепылевыноса: 1 – о. Лазарева, 2 – о. Барса-Кельмес, 3 – Восточный, 4 – Сарышиганак, 5 – Кокаральский.* **Fig. 11.** The average long-term removal of sand mass of 50% security from the centers of removal, according to observations on the weather stations for 1966-1992 in Kazakhstan,

t/year: а) ratio of removal from different centers, б) ratio of sand removal in particluar directions (created according to data Семенов и др., 2006). Legend for the area of salt and dust outflow: 1 – Lazareva Island, 2 – Barsa-Kelmes Island, 3 – Vostochny, 4 – Saryshiganak, 5 – Kokaralsky.

Как видно на рисунке 11 а, основные очаги солепылевыноса на севере – это дно залива Сарышиганак и песчаные пляжи вокруг бывших островов Кокарал и Барса-Кельмес, на востоке – осушенное дно моря от устья р. Сырдарьи до бывшего Акпеткинского архипелага, на западе – новый крупный остров, образовавшийся из островов Возрождение и Лазарева. Общий вынос массы аэрозолей со всей Казахстанской части был оценен в 1.17 млн. т в год (Семенов и др., 1991). Наиболее мощный поток солепылевыноса идет из Восточного очага, основное направление выноса направлено на юг (рис. 11 б), а мощный вынос из очага на о. Лазарева имеет более локализованное направление – на ЗЮЗ. Результаты моделирования дают хорошее согласование по величинам выпадений с экспериментальными оценками Р.М. Разакова и К.А. Косназарова (1987).

Последнее замечание относится и к карте оценки средних многолетних сухих выпадений солевого аэрозоля за год (рис. 12; Семенов и др., 2006). Эта карта была получена на основании модели формирования выноса и выпадения Аральского аэрозоля в Казахском научно-исследовательском гидрометеорологическом институте и учитывает перенос пыли из 5 основных источников путем суммирования значений по прямоугольникам со сторонами 20'x20'. Она позволила впервые оценить в чистом виде вклад песчано-солевых бурь в процесс образования сухих выпадений в регионе.



**Рис. 12.** Карта-схема средних многолетних значений сухих выпадений песчано-солевого аэрозоля ( $t/km^2$  в год) от дефляционных процессов на осушенной части дна Аральского моря. (Семенов и др., 2006). Условные обозначения: 1 – площадь осушенного дна моря, 2 – современная береговая линия, 3 – изолинии сухих выпадений. **Fig. 12.** Schematic map of the

average long-term values of dry precipitation of sand-salt aerosol ( $t/km^2$  per year) from deflation processes on the dried part of the Aral Sea bottom (Семенов и др., 2006). *Legend*: 1 – area of the dry sea bottom, 2 – modern coastline, 3 – isolines of dry precipitation

Полученная карта (рис. 12) позволила оценить и величину солевых выпадений, исходя из предположения, что в массе аэрозоля содержится 3% солей. Именно такого порядка величины содержания солей в выпадающем аэрозоле были получены по результатам экспедиционных измерений Казахского института для сухих осадений на осушенном дне моря (2-3%).

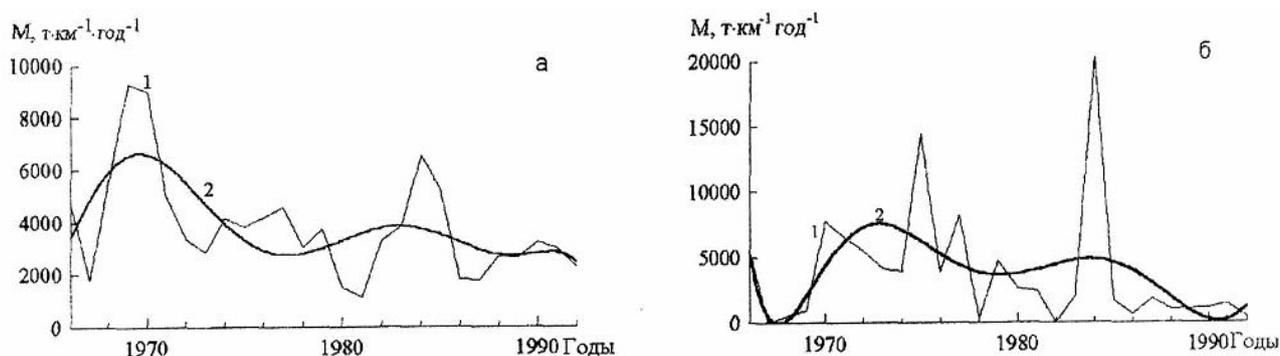
Узбекские ученые организовали исследование сухих атмосферных осадков в Южном Приаралье не только на экспериментальных работах, но и на базе действующей сети гидрометеорологических станций, и показали, что количество пылесолевых выпадений на территории Каракалпакии сильно варьирует в зависимости от орографии, степени покрытия растительностью, освоенности территории и ветрового режима (Рафиков, 1982). По их исследованиям, в дельте Амударьи содержание солей в выпадающем аэрозоле достигает существенно больших величин (5-6%), увеличиваясь непосредственно у солончаков до 20-30% и даже изредка до 40% (Разаков, Косназаров, 1987). Максимальное количество солей выпадает вблизи источников – на морском побережье и на высохшем дне. Аккумуляция пыли и солей в дельте Амударьи происходит как за счет материала, приносимого с обсохшего побережья, так и из местных источников выноса, расположенных непосредственно на территории самой дельты. Поэтому солевые выпадения в Северном и Восточном Приаралье существенно меньше, чем в дельте Амударьи, и достигают в прибрежной полосе (1.5-3  $t/km^2$  в год).

Многолетние наблюдения показали, что сухие выпадения на осушенном дне моря достигали 300-600  $t/km^2$  в год, в то время как в прибрежной части дельты масса осаждаемых аэрозолей быстро уменьшалась по мере удаления от источника выноса и на расстоянии 10-15 км уже была равна 90  $t/km^2$  в год. Важным выводом из этих исследований было то, что как расчеты, так и экспериментальные исследования не подтвердили распространенной в эти годы в массовой печати гипотезы о гигантских поступлениях солей и аэрозолей Арала на всю территорию Центральной Азии. Оказалось, что основная масса выпадений аэрозолей и солей приходится на осушенное дно Аральского моря и район коренного берега. По мере удаления от прежнего берега, масса выпадений частиц быстро уменьшается. Этот вывод демонстрирует карта распределения солепылевых выпадений (рис. 12), он согласуется и с результатами численного моделирования переноса песчаного аэрозоля, полученными И.В. Каиповым (1995; Семенов и др., 1990) на гидродинамической модели бурь.

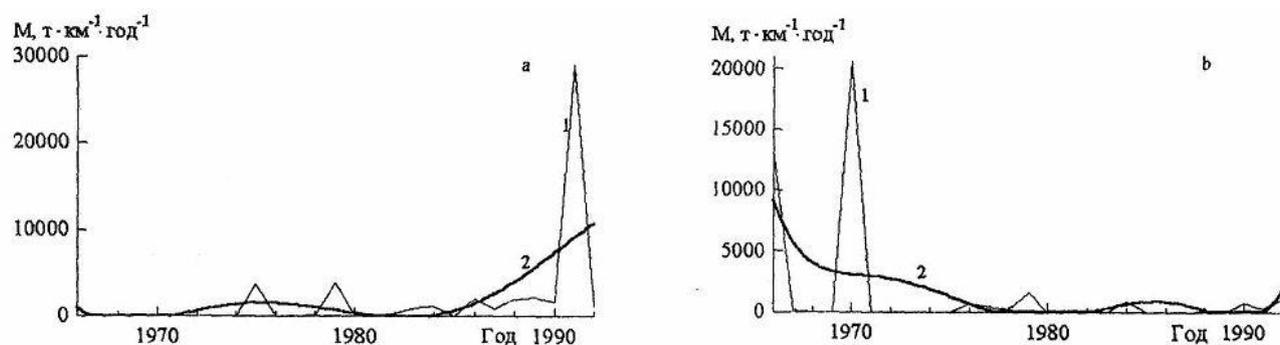
В монографии А.К. Курбаниязова (2017) со ссылкой на данные в докладе В.Е. Чуба «Обзор научных проблем и проблем окружающей среды в бассейне Аральского моря», сделанном на научно-практическом семинаре в Ташкенте в мае 1994 г., указывается, что, по данным Среднеазиатского научно-исследовательского гидрометеорологического института, в год с акватории моря выносятся 53 млн. т солей, с обсохшего дна – 57 млн. т, с солончаков на коренном берегу – 13 млн. т. Дальность переноса составляет более чем 500 км от источника и распространяется в основном на запад и юго-запад. По количеству выпадающего материала выделены три зоны. Первая простирается до 100 км от границы обсыхания (старой береговой линии моря). Плотность выпадения песчано-солевого потока в ней – 1500-2500 кг/га в год. Вторая – до 500 км от границы обсыхания, плотность выпадения – 500-1000 кг/га в год. Третья – более 500 км, плотность выпадения – 100 кг/га в год. Минерализация атмосферных осадков возросла в Южном Приаралье в 6-7 раз. Увеличилось содержание аэрозолей (пыли) в атмосфере. Во время пыльных бурь предельно допустимая концентрация пыли в воздухе превышает норму в 10-12 раз.

Мониторинг за развитием дефляционных процессов на дне моря выявил нестабильность

их проявления; кроме того, 27-летний ряд наблюдений (Галаева и др., 1996) показывает (рис. 13, 14), что как на морских, так и на континентальных станциях с 1986 года наблюдается тенденция к уменьшению общей массы переносимого песка. Несмотря на рост осушенных площадей, в 80-ые годы величина выноса пыли за год снизилась на 50000 т до величины 1.12 млн. т/год в сравнении со значением 50% обеспеченности для 1966-1986 гг. (Семенов и др., 1991). На рисунке 13 а показан многолетний ход значений для метеостанции Аральское Море. Здесь мы видим два пика, один из которых наблюдался в 1970-1971 годах и составил 9302 т/км<sup>2</sup> в год, второй – в 1983-1985 годах с 6500 т/км<sup>2</sup> в год.



**Рис. 13.** Многолетний ход массы песка, переносимого 1) пыльными бурями и поземками и 2) его скользящая средняя на МС а) Аральское Море, б) Уялы (Семенов и др., 2006).  
**Fig. 13.** The long-term changes of sand mass carried by 1) dust storms and drifts and 2) its moving average on the weather stations а) Aral Sea, б) Ualy (Семенов и др., 2006).



**Рис. 14.** Многолетний ход массы песка, переносимого 1) пыльными бурями и поземками и 2) его скользящая средняя на МС а) о. Лазарева, б) Барса-Кельмес (Семенов и др., 2006).  
**Fig. 14.** The long-term changes of sand mass carried by 1) dust storms and drifts and 2) its moving average on the weather stations а) Lazareva Island, б) Barsa-Kelmes (Семенов и др., 2006).

На рисунке 13 б представлены данные станции Уялы, где максимальный перенос песка был в 1984 г. и составил 20269 т/км<sup>2</sup> в год, что в два раза выше максимального значения на МС Аральское Море. Здесь также произошло устойчивое уменьшение переноса песка с 1986 г. Влияние островного периода существования МС Уялы на дефляцию песков можно проследить до 1974 г., после которого ход процессов в ее окрестностях стал подобен ряду этого показателя на МС Аральское Море.

Остров Лазарева (рис. 14 а) – единственная из 11 станций Аральского региона, на которой явно выражена тенденция увеличения переносимых масс песка, характеризующая ее переход из морского типа к континентальному. На этой же станции зафиксирована и

самая большая годовая величина массы – 29105 т/км<sup>2</sup> в год. Эта станция характеризует новый мощный очаг пылевыноса на острове Возрождения.

На метеостанции острова Барса-Кельмес (рис. 14 б) можно выделить два максимума: первый в конце 60-х – начале 70-х годов, наибольшее значение зафиксировано в 1970 г. – 20647 т/км<sup>2</sup> в год, второй, меньший по величине максимум – в 1966 г. с 13253 т/км<sup>2</sup> в год. В начале 90-х годов здесь также наметилось увеличение переноса, связанное с началом формирования прибрежных пляжей при отступании от острова водной поверхности. Отдельная буря может перенести значительное количество песка. Наблюдения О.Е. Семенова с соавторами (2006) показали, что на острове Барса-Кельмес во время пыльной бури 15-17 июня 1984 г. было перенесено около 12% от средней суммы годового переноса песка в ЮВ направлении за год.

Несмотря на то что в современных публикациях содержится информация о тенденции сокращения повторяемости и силы пыльных бурь (рис. 13, 14), они отнюдь не прекратились. Так, в мае 2018 г. мощное пыльно-солевое облако зависло над г. Ташкентом на сутки (Сатановская, 2020). Вероятно, оно проделало путь в 800 км от Аральского моря. Над обсохшим дном моря пыльную поземку и пыль можно видеть чаще (фото 1).

### Выводы к разделу

Солепылевынос с морского дна начал фиксироваться с середины 1970 г. на материалах космической съемки в виде мощных пылевых бурь. Максимальная их повторяемость пришлась на два десятилетия 1971-1980 гг. и 1981-1990 гг., когда водная поверхность моря стремительно сокращалась и на дневную поверхность выходили и обсыхали обширные участки суши. Ранее выделялись 5 основных очагов солепылевыноса: 1) на объединившихся островах Лазарева-Возрождения, 2) на о. Барса-Кельмес, 3) к Востоку от восточной части Большого моря, 4) на месте залива Сарышиганак, 5) около мыса Кокарал. Наиболее активные из них – 5, 4 и 1. К настоящему времени часть очагов объединилась.



**Фото 1.** Начало пыльной бури над обсохшим дном моря (фото В.А. Попова, 2017).

**Photo 1.** Beginning of a dust storm over the dried-up sea bottom (photo by V. A. Popov, 2017).

Исследования показали, что направление солепылевыноса идет по розе ветров: основная масса переносится в южном направлении – от восточного до западного.

Наибольшее число пыльных бурь и поземок приходится на весенне-летний период. Общее количество солей, выносимых из очагов, составляет 1.17 млн. т/год, в том числе в этой массе содержится до 2-3% солей. С одной пыльной бурей может быть вынесено до 12% массы вещества от годовой суммы. Основная масса выносимого материала выпадает непосредственно на морском дне, и только небольшая часть (не более 15%) выносится на расстояние до 10-15 км. Солевые выпадения в Северном и Восточном Приаралье существенно меньше, чем в дельте Амударьи, и достигают в прибрежной полосе 1.5-3 т/км<sup>2</sup> в год. В дельте Амударьи аккумуляция происходит как за счет материала, приносимого с обсохшего побережья и из местных источников выноса, расположенных непосредственно на территории самой дельты. Отмечают следующие изменения во времени: число пыльных бурь на всех метеостанциях с 2000 г. сократилось, максимальная повторяемость с весенне-летних месяцев переместилась на весенние, основное направление выноса в южном направлении сохраняется. Наиболее последовательные исследования, посвященные проблеме пыльных бурь и солепылевыноса, принадлежит О.Е. Семенову с коллективом исследователей. Последние публикации, содержащие конкретные оригинальные данные по проблеме, относятся к 2006 г. Поэтому в настоящее время нужны обобщающие работы, рассматривающие вопросы по частоте пыльных бурь за последние десятилетия; изменению скорости ветра и его направления, а также по пыле- и солевывпадениям: локализации, дальности переноса, направлении, выпадении с осадками, дальности и направлении солепылевыноса, содержанию солей в атмосферных осадках. Безусловно, эти исследования перспективно проводить с использованием материалов дистанционного зондирования, проводя одновременно наземные наблюдения. Представляется важным выполнение работ по изучению связи указанных явлений со сменой циклональных эпох, поскольку они сопровождаются изменением скоростей ветра, одной из важных причин формирования пыльных бурь и солепылевыносов. Нет сомнений, что эти работы необходимо проводить в режиме мониторинга, поскольку природные комплексы на территории морского дна еще далеки от стабилизации, которая может произойти при закреплении отложений растительностью.

### **Обсохшее дно Аральского моря**

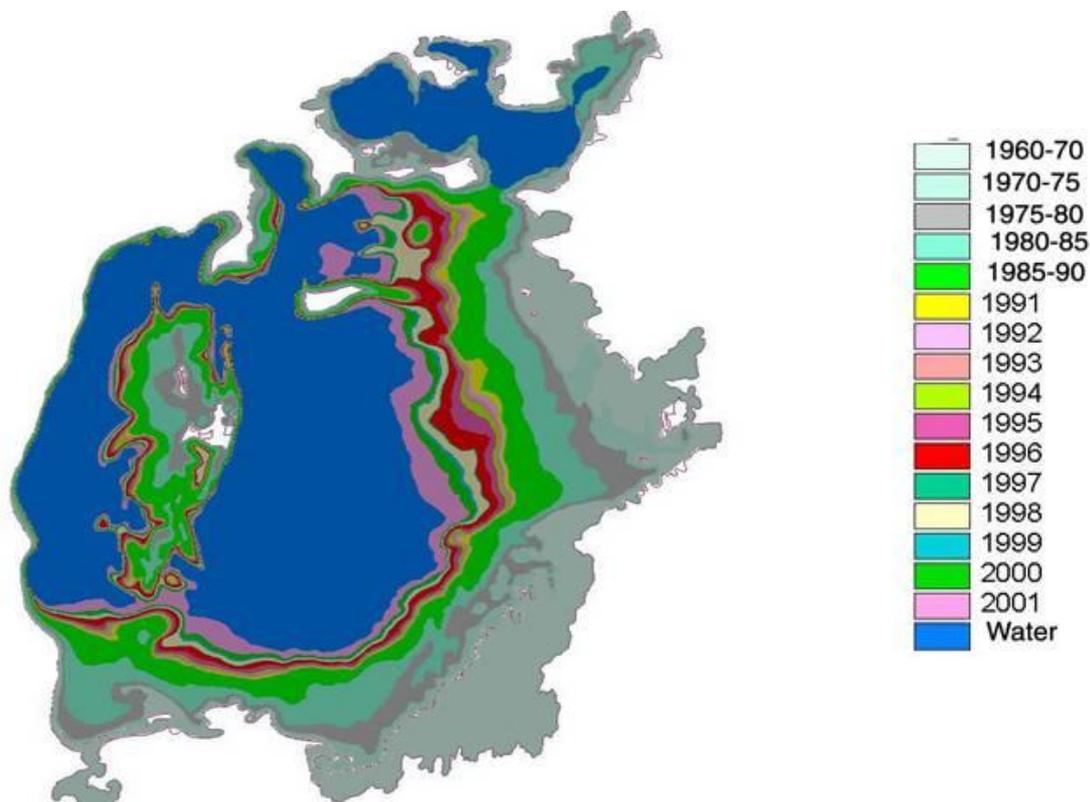
Территория обсохшего дна моря является природной лабораторией для исследования процессов возникновения ландшафтов и протекания первичных сукцессий в формировании их компонентов (почв, растительности, животного населения), экосистем (изменения межкомпонентных биотических связей, связей биоты с условиями среды, преобразования среды живыми организмами, потоков вещества и энергии), микроэволюционных процессов на новообразованной суше и развития на этой основе теоретических представлений о пространственно-временных закономерностях их становления и трансформации в изменяющихся условиях субарального развития.

Обсыхающее дно Аральского моря в Аральской проблеме привлекло внимание ученых в первую очередь, т.к. было наглядно видно, что вновь образующаяся суша исключительно динамична. В связи с этим наблюдения за обсыхающими прибрежными участками новообразованной суши велись с целью выявления закономерностей постгидроморфной эволюции, формирования субаральных ландшафтов и их компонентов (почв растительности). Эти исследования имели как научное значение – для формирования теоретических представлений об этапности, длительности эволюционных процессов, так и научно-прикладное – для выполнения практических работ по закреплению поверхности обнажившихся территорий и в первую очередь – фитомелиорации.

*Особенности обсыхающего дна.* Водная поверхность моря с 1961 по 2008 гг. сократилась

с 66400 км<sup>2</sup> до 10 400 км<sup>2</sup>, из чего следует, что обсохшая часть дна имеет площадь 56000 км<sup>2</sup>, что составляет около 84.3% от бывшей площади акватории (Большое Аральское ..., 2012).

Ежегодно обнажающиеся участки обсыхающего дна можно считать доступным для наблюдения объектом, а благодаря данным дистанционного зондирования и ГИС-технологиям возникла возможность проследить, как это происходило во времени: какие участки морского дна в какие годы вступили в этап субаэрального развития (рис. 15).



**Рис. 15.** Сокращение водного зеркала Аральского моря и год вступления в субаэральный этап развития разных участков территории его дна (Ressler, Ptichnikov, 2001). **Fig. 15.** Reduction of the Aral Sea water table, and the year when different sections of its bottom entered the subaerial development stage (Ressler, Ptichnikov, 2001).

Рисунок 15 был создан немецким исследователем Райнером Ресселом по данным NOAA и цифровой модели рельефа дна Аральского моря (батиметрической карте, разработанной в Институте водных проблем РАН). Цветом выделены участки дна, обсохшие в разные временные интервалы. Этот рисунок представляет большой интерес для будущих исследователей, т.к. его можно рассматривать и как мониторинг обсыхания морского дна, и как прекрасную базу для датирования возраста субаэрального развития ландшафтов в случае наземных исследований.

Падение уровня моря и приращение новой суши, как показывают исследования (Большое Аральское ..., 2012; Комплексные дистанционные ..., 2008; The Aral Sea ..., 2014) и данные космической съемки, происходили неравномерно. В начале 1970-х годов берег ежегодно отступал на десятки метров, а после 1982 г. – на сотни. Среднегодовое приращение суши в 1961-1977 гг. составляло около 700 км<sup>2</sup>/год и увеличилось до 1200 км<sup>2</sup>/год в 1984-1989 гг. В 1989-1991 гг. обсыхание дна было максимальным – до 2300 км<sup>2</sup>/год. Во многом это объясняется сильной засухливостью 1989 года и отсутствием притока речных вод к морю. В отдельные годы прирост новой суши резко снижался; так, в периоды 1991-1993 и 1998-

1999 гг. обсыхало не более 300-600 км<sup>2</sup>/год. Наибольшие скорости падения уровня моря и обнажения его дна до 1358 км<sup>2</sup>/год происходили в период 1989-2008 гг. в восточной части Большого моря. В 2001 г., когда из-под воды вышли срединные острова, приращение суши составило 4600 км<sup>2</sup> (Большое Аральское ..., 2012). Обнажение дна в западной части Большого моря, на обрывистом склоне чинка, происходило очень медленно – до 284 км<sup>2</sup>/год. В Малом море после возведения плотины обсыхание дна практически прекратилось и начался подъем уровня.

К настоящему времени уровни Малого моря и западной части Большого моря относительно стабилизировались и приращение новой суши на их берегах, по-видимому, не происходит. Остальные водоемы имеют пульсирующий характер, и морское дно здесь в зависимости от водности года и притока воды то заливается, то обсыхает.

Для восточной части Большого моря характерны сильные изменения площади водной поверхности. Отмечаются разногодичные и сезонные изменения. Последние известны только для восточной части Большого моря. Здесь с середины июля по октябрь происходит обсыхание, в зимние месяцы уровень моря стабилен, обсыхания нет. В весенне-летний период, в марте-июле, площадь водной поверхности максимальна и ранее обсохшие территории могут вновь частично оказываться под водой. Максимум положения уровня обычно приходится на апрель после таяния снега и в июле во время максимального таяния ледников, питающих реки (Кравцова, Мудря, 2004). Для этих обнажающихся территорий характерны процессы, которые исследовались в первые годы наблюдений за падением моря.

*Засоление поверхностных отложений и вынос солей* на прилегающие территории – один из наиболее проблемных и обсуждаемых вопросов в первые годы исследований по Аральской проблеме (Геллер, 1969; Григорьев, Липатов, 1979; Костюченко, 1979, 1984; Костюченко, Богданова, 1979; Можайцева, Некрасова, 1984). В первое десятилетие обсыхания преобладающая часть солей концентрировалась в солончаках лагун, обсыхающих заливов и фильтрационных озер. По состоянию на 1975 г., по данным в публикациях В.П. Костюченко и Н.М. Богдановой (1979; Богданова, Костюченко 1977, 1978), в этих солончаках было сосредоточено около 95% общего запаса водорастворимых солей, содержащихся в отложениях осушившего морского дна и оцениваемых приблизительно в 388 млн. т. В пределах территории площадью около 506 тыс. га содержание солей в полуметровом слое составляло в среднем около 733 т/га, в незасоленных отложениях – 24 т/га. Площадь последних составляла 0.3%. К этим запасам солей ежегодно прибавлялось около 64 т/год на 1 км<sup>2</sup> солей, накапливающихся в грунтовых водах вследствие выклинивания в этой зоне соленых грунтовых вод. Этот подток грунтовых вод привел к образованию в новейших морских отложениях обсохшей части моря нового, ранее не существовавшего горизонта грунтовых вод на глубине 0-3 м с минерализацией от 50-70 до 100 г/л (Влияние снижения уровня ..., 1979; Современное состояние ..., 1979). Из-за того что береговая линия отступает быстрее, чем грунтовые воды достигают моря, они не разгружаются в море, а расходуются на испарение, вызывая засоление осушившихся участков морского дна. Таким образом, на начальной стадии обсыхания дна моря ветровой вынос солей происходит в основном из обсохших лагун и заливов, а в дальнейшем, по прогнозу-предупреждению, сделанному в работе В.П. Костюченко и Н.М. Богдановой (1979), накопившиеся соли на поверхности обсохшего дна будут представлять серьезную угрозу для территории Приаралья и южных районов Средней Азии.

Вынос солей с обсохшей части моря в середине 1980-х годов, по данным разных авторов, сильно отличается и колеблется от 13-231 млн. т до 4-150 млн. т (Рубанов, Богданова, 1987; Григорьев, Липатов, 1979).

Опасность выноса солей в оазисы во многих публикациях связывается с их негативным воздействием на прирост фитомассы и урожаи сельскохозяйственных культур, засоление

воды в верховьях рек через оседание соли и пыли на снежниках и ледниках, но конкретные убедительные данные исследований по этому вопросу отсутствуют. Еще один аспект этой проблемы – повышение минерализации атмосферных осадков, увеличившейся, по данным метеостанций, в Средней Азии, а в Приаралье – в 6-7 раз, что было показано в работе Т.И. Молосновой с соавторами (1987; табл. 7).

**Таблица 7.** Изменение минерализации атмосферных осадков (мг/л) в Средней Азии (Молоснова и др., 1987). **Table 7.** Mineralization changes in the atmospheric precipitation (mg/l) in Central Asia (Молоснова и др., 1987).

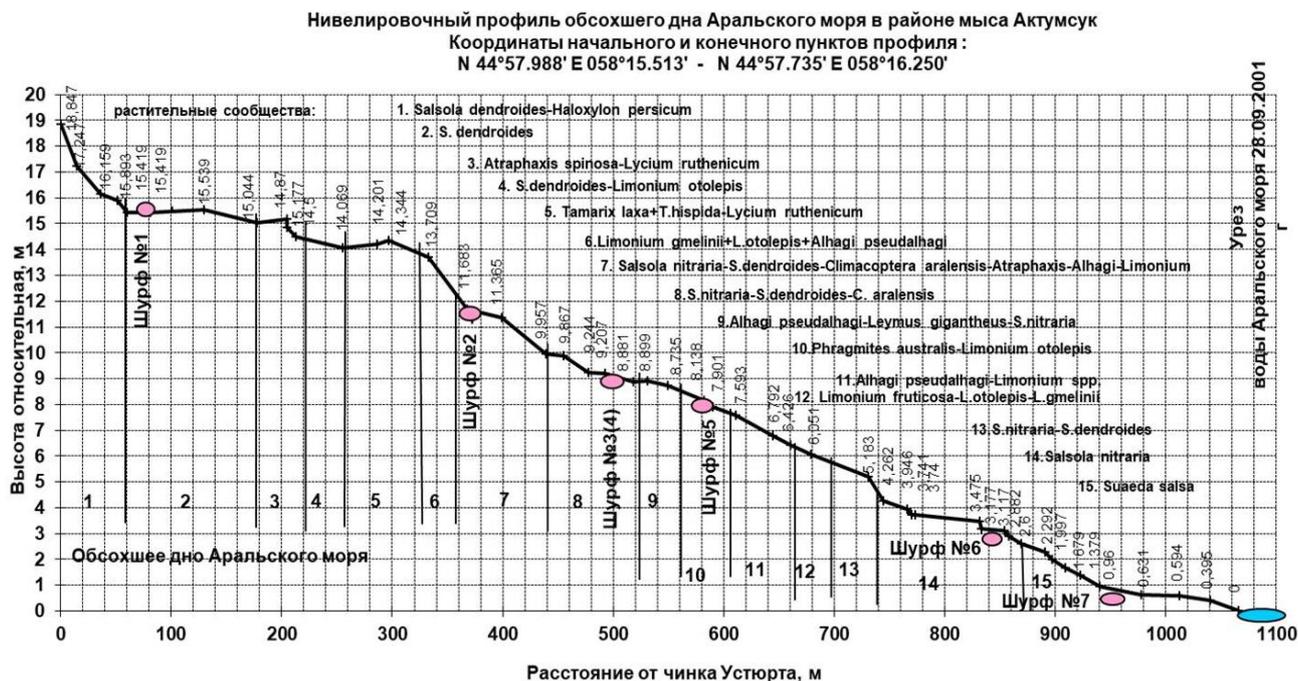
Метеостанция, пункт наблюдения	Минерализация в разные годы, мг/л		Приращение в последний период
	1968-1969	1979-1980	
Жана-Арка	38.4	267.0	228.6
Аральское море	24.4	157.0	132.6
Алма-Ата	20.9	102.2	81.3
Капчагай	20.7	68.0	47.3
Фергана	34.0	77.1	43.1
Терехты	28.0	87.0	59.0
Кушка	22.0	62.0	40.0
Каунчи	22.0	44.0	22.0
Шахринау	14.0	54.0	4.0

*Трансформация ландшафтов обсохшего дна.* Исследования динамики природных комплексов на обсыхающем дне Аральского моря проводились путем многолетних наблюдений на трансектах (топо-экологических профилях), закладываемых перпендикулярно береговой линии и ежегодно продлеваемых вслед за отступающим урезом воды. В первые годы наблюдения сопровождалась инструментальной (нивелирной или теодолитной) съемкой высотных отметок поверхности, позволяющей связать между собой пространственное положение точек наблюдений, данные, полученные разными исследователями, и выделить участки разных лет обсыхания. По такому принципу были организованы Коскакуланский, Босайский створы на обсыхающем дне в районе кызылкумского побережья на казахской территории, ряд створов на обсыхающей авандельте Амударьи и в Акпеткинском архипелаге, организованных Н.М. Новиковой с соавторами (1980) и С.К. Кабуловым (1990). Наиболее длительные наблюдения вплоть до настоящего времени проводятся на острове Барсакельмес и на створе Баян Л.А. Димеевой (2007, 2011).

Примером инструментально полученного топо-экологического профиля, фиксирующего состояние всей системы обсохшего дна моря на сентябрь 2001 г., может служить выполненный на основе данных нивелирного хода график относительных превышений рельефа от уреза воды к отметке на чинке Устюрта, соответствующий 53 м абс. береговой линии моря в 1960-х годах (рис. 16). Этот нивелирный ход (рис. 16) был выполнен 28 сентября 2001 г. в связи с работами по проекту НАТО № 974101 «Устойчивое развитие в сфере охраны окружающей среды, земле- и водопользования путем создания центра ГИС технологий и космосъемки в Каракалпакстане» (2001-2003 гг.).

За ноль графика по осям  $x$  и  $y$  принято положение отметки уровня западной части Большого моря на день проведения работ 28 сентября 2001 г. – 34 м н.у.м. БС. На профиле выделены и пронумерованы участки, занятые одинаковой растительностью, и отмечены

места заложения шурфов. Описание почвенных разрезов и растительных сообществ прилагаются к профилю.



**Рис. 16.** Топо-экологический профиль, проложенный на обсохшем дне моря от уреза воды западной части Большого моря, на 20 сентября 2001 г. соответствовавшего отметке 34 м н.у.м. БС, до высотной отметки 53 м н.у.м. БС, соответствовавшей береговой линии моря в 1960-е годы. **Fig. 16.** Topo-ecological profile, plotted on the dried-up sea bottom from the west coastline of the Big Sea on 09/20/2001 and corresponding to the mark of 34 m abs. to a height of 53 m abs., corresponding to the sea coastline in the 1960s.

В правой части рисунка приведены названия растительных сообществ, которые приурочены к участкам дна, обсохшим в разное время. Самая верхняя точка профиля соответствует отметке 19 м над современным урезом воды – абсолютной отметке 53 м, с какой началось падение уровня. Зная отметки уровня моря в разные годы, можно установить время обсыхания каждого участка морского дна. Как видим на графике, за период времени около 40 лет с начала субэарального развития уже сформировалось растительное сообщество с участием древесного вида – белого саксаула (*Haloxylon persicum*) и кустарника – древовидной солянки (*Salsola dendroides*). Представление о ландшафтах этого участка обсохшего дна дает фотография 2 из монографии А.К. Курбаниязова (2017).

Как показали многочисленные исследования (Бельгибаев, 1981; Бельгибаев и др., 1983; Вухрер, 1979; Грязнова, 1979; Ишанкулов, 1980; Ишанкулов и др., 1979; Кабулов, 1990, 1984, 1982, 1979; Киевская, 1979; Курочкина, 1979; Макулбекова, 1979; Можайцева, 1979; Можайцева, Некрасова, 1984), трансформация новообразованной суши, формирование почв и зарастание зависели от гранулометрического состава донных отложений, скорости падения уровня моря, солености воды моря и грунтовых вод и скорости их опускания. Эти исследования имели целью не только зафиксировать пространственно-временные особенности происходящих процессов, но и выявить закономерности, необходимые для построения прогноза, на чем должны базироваться мероприятия по снижению негативного воздействия на прилегающие территории.



**Фото 2.** Растительность обсохшего дна, расположенная на отметке уровня моря 53 м н.у.м. БС у подножья обрыва (чинка) плато Устюрт, соответствующей началу обсыхания моря (фото А.К. Курбаниязова, 2017). **Photo 2.** Vegetation of the dried-up sea bottom, located at the 53 m abs. at the foot of the cliff (chinka) of the Ustyurt Plateau, corresponding to the beginning of the sea drying (photo by A.K. Kurbaniyazov, 2017).

Основным выводом из всех исследований стало положение о том, что пространственный ряд природных комплексов, формирующихся на отложениях разного времени обсыхания, нельзя трансформировать во временной; все природные комплексы в процессе становления обязательно проходят три этапа (Ишанкулов, 1985): 1) этап засоления и биотического освоения поверхности, 2) этап засоления-рассоления, формирования литогенной основы ландшафта и продолжающегося биотического освоения, 3) этап рассоления и остаточного засоления, стабилизации литогенной основы, формирование биотических комплексов в соответствии с условиями, близкими к зональным.

Представление о ландшафтной структуре обсыхающего дна как системы сопряженных конусов выноса, сформированных современными и древними потоками с суши, сформулировал и развил М.Ш. Ишанкулов (1985). Согласно предложенному подходу, создается возможность использовать известные закономерности литоморфопедогенеза (дифференциации литологии отложений, слагающих разные формы рельефа этих конусов) и трансформации условий среды и биоты в связи с развитием процессов выноса, транзита и аккумуляции в разных частях этих конусных ландшафтов. Опираясь на разработанные к этому времени представления о специфике и особенностях развития природных процессов на обсыхающем дне моря и используя свой подход, М.Ш. Ишанкулов (1985) составил мелкомасштабную карту-схему ландшафтов на участок обсохшего дна моря и разработал легенду к ней в виде прогноза трансформации выделенных картографируемых единиц на отдаленную перспективу.

Обширная информация о современных ландшафтах обсохшей части Аральского моря и их развитии представлена в монографии А.К. Курбаниязова (2017). Его работа представляет собой важный этап в исследовании обсохшего морского дна, т.к. фиксирует его состояние на определенный период времени и включает обширный фактический материал.

Принципы выделения ландшафтов и их классификация, по мнению автора, соответствуют принципам В.Н. Николаева (1979): класс – подкласс – группа – тип – подтип – род – подрод – вид. Классификационная система, разработанная А.К. Курбаниязовым (2017), представлена в таблице 8. Судя по небольшому количеству выделенных видов ландшафта, автор имел в виду только приморскую часть дельты и обсохшей части авандельты Амударьи, на которую им была составлена карта (Курбаниязов, 2017).

*Вид ландшафта* – основная классификационная единица, представляющая элементарный ЭКОСИСТЕМЫ: ЭКОЛОГИЯ И ДИНАМИКА, 2020, том 4, № 2

ландшафт, по определению А.К. Курбаниязова (2017, стр. 47-48), «...характеризуется единством природных процессов, обусловленных геологическим строением, новейшими тектоническими движениями, особенностями рельефа, почвенно-растительного покрова. Каждый из перечисленных видов представляет собой единое целое, характеризующееся временем и общностью происхождения и дальнейшего развития. В свою очередь данные природные комплексы состоят из целого ряда разнородных урочищ».

**Таблица 8.** Классификация ландшафтов обсохшего дна Аральского моря (Курбаниязов, 2017).  
**Table 8.** Classification of landscapes of the Aral Sea dried-up bottom (Курбаниязов, 2017).

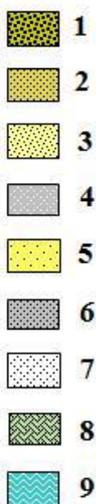
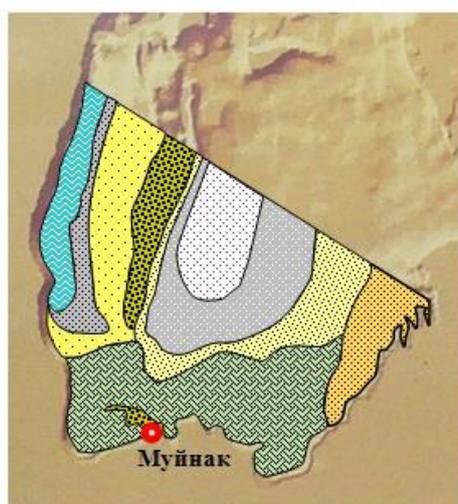
Единица классификации		Диагностические признаки	Название
1	класс	Горные или равнинные	Все Приаралье относится к равнинным ландшафтам центральной части Турана
2	подкласс	Возраст и генезис отложений	Низменные современные первично-аккумулятивные морские равнины
3	группа	Водно-геохимический режим, дренированность	Элювиальные, полугидроморфные и гидроморфные ландшафты
4	тип	Биоклиматические показатели	Пустынный
5	подтип		Северные пустыни
6	род	Геоморфологические особенности	Первично-аккумулятивная морская равнина
7	подрод	Генезис и литология покровных отложений	Песчаная и супесчано-суглинистая
8	вид	Совокупность однотипных по генезису и структуре индивидуальных урочищ	1. Слабополгие и плоские супесчано-суглинистые равнины с разреженными галофитными кустарниками на типичных солончаках в сочетании с однолетними солянками на луговых солончаках; 2. Слабоприподнятые слабонаклонные песчаные равнины с разреженными псаммофитами и галофитными группировками на засоленных песках; 3. Слабоволнистые супесчано-суглинистые равнины авандельты Амударьи с мезофильными, галофильными и псаммофильными кустарниковыми растительными сообществами на типичных и луговых солончаках; 4. Плоские супесчано-суглинистые и песчаные равнины с озерно-болотными комплексами, тростниковые заросли, сочетающиеся с тамарисчатниками на болотных почвах и луговых солончаках, галофитные и ксерофитные сообщества на типичных солончаках

Рассмотрение разработанной А.К. Курбаниязовым схемы классификации ландшафтов

показывает, что она несколько громоздка (9 уровней) и приемлема для более обширной территории и мелкомасштабного картографирования. Единицы классификации по приведенным критериям трудно находить и выделять на местности. Вся классификационная структура получилась несколько формальной. Недаром автор ограничился составлением ландшафтной карты на территорию приморской части дельты и обсохшей части авандельты Амударьи и не решился составить ландшафтную карту на всю территорию Аральской впадины (обсохшего дна моря).

Сказанное выше – не упрек А.К. Курбаниязову, а лишь понимание большой трудности решения задачи ландшафтной классификации. Огромная заслуга этого исследователя в том, что он последовательно и системно изложил обширный натурный материал и свои мнения по поводу современного состояния ландшафтов Аральской впадины. Из анализа данных А.К. Курбаниязов сделал очень своевременные и полезные выводы о том, что на обсохшем дне моря наблюдается единая тенденция становления и развития пустынообразования в широком масштабе и интенсивном темпе, которая еще не зафиксирована за последнее столетие на Земном шаре. В связи с высокой динамичностью природных комплексов на обсохшей части дна моря в настоящее время они находятся на разных стадиях развития: на начальных этапах формирования, активно формирующиеся и сформировавшиеся.

Представляется весьма перспективным подход к классификации ландшафтов морского дна на основании геоструктурного подхода, предложенного в работе В.А. Попова (2017). На территории Аральской впадины автор выделяет основные геоструктуры (рис. 17): Арало-Кызылкумский (вал Архангельского) вал, пересекающий всю территорию морского дна с юга на север на западе Аральской впадины (от полуострова Куланды на севере до Муйнакского полуострова на юге); и расположенные по обе стороны от него две тектонические зоны с разным возрастом складчатого фундамента – западная (Устюртская) и восточная (Арало-Кызылкумская). Южная часть Большого моря Арала представляет собой территорию подводной дельты Амударьи, обнажившейся в результате падения уровня Аральского моря. В качестве подложки для схемы (рис. 17) использована цифровая модель рельефа морского дна Арала.



**Рис. 17.** Схема ландшафтной структуры узбекистанского сегмента обсохшего дна Аральского моря по состоянию на 2014 г. (Попов, 2017). *Условные обозначения:* 1 – повышенные участки Арало-Кызылкумского вала и его склоны, сложенные коренными породами, местами перекрытые переветными песками, 2 – отмель, сильно расчлененный берег с реликтовым архипелагом песчаных островов, возвышающихся над засоленной и загипсованной поверхностью, 3 – первичноаккумулятивная равнина склона восточной впадины, сложенная преимущественно засоленными алевритами и песками, 4 – первично-аккумулятивная равнина

склона восточной впадины, сложенная засоленными алевритами и глинами, перекрытая гипсосоляными корами, 5 – первично-аккумулятивная равнина склона западной впадины с комплексом переветных песков по повышениям и приморских солончаков по понижениям, 6 – первично-аккумулятивная равнина склона западной впадины, сложенная

преимущественно засоленными песками и алевритами, 7 – первично-аккумулятивная равнина днища восточной впадины, сложенная с поверхности засоленными глинами и глинистыми илами, перекрытыми гипсосоляными корами и подстилаемая песками, 8 – равнина авандельты Амударьи, сложенная песками, алевритами и глинами, 9 – остаточный водоем Аральского моря. **Fig. 17.** Scheme of landscape structure of the Uzbek segment of the Aral Sea dried-up bottom as of 2014 (Попов, 2017). *Legend:* 1 – elevated areas of the Aral-Kyzylkum shaft and its slopes, composed of bedrock and partially overlapped by sands, 2 – shallow, strongly dissected coast with a relict archipelago of sandy islands rising above the saline and gypsum surface, 3 – primary accumulative plain of the east depression slope, composed mainly of saline siltstones and sands, 4 – primary accumulative plain of the east depression slope, composed of salted silt and clay, overlaid with gypsum-based crust, 5 – primary accumulative plain of the slope of the west depression with a complex of sifted sands on the rise and coastal salt marshes on the decline, 6 – primary accumulative plain of the slope of the west depression, composed mainly of saline sands and silt, 7 – primary accumulative plain of the bottom of the east depression, composed of saline clays and clay silts on the surface, overlaid by salted clays and clay silt on the surface, with overlapping gypsum-salt crusts and underlying sands, 8 – plain of the front Amu Darya delta, composed of sands, siltstones and clays, 9 – residual reservoir of the Aral Sea.

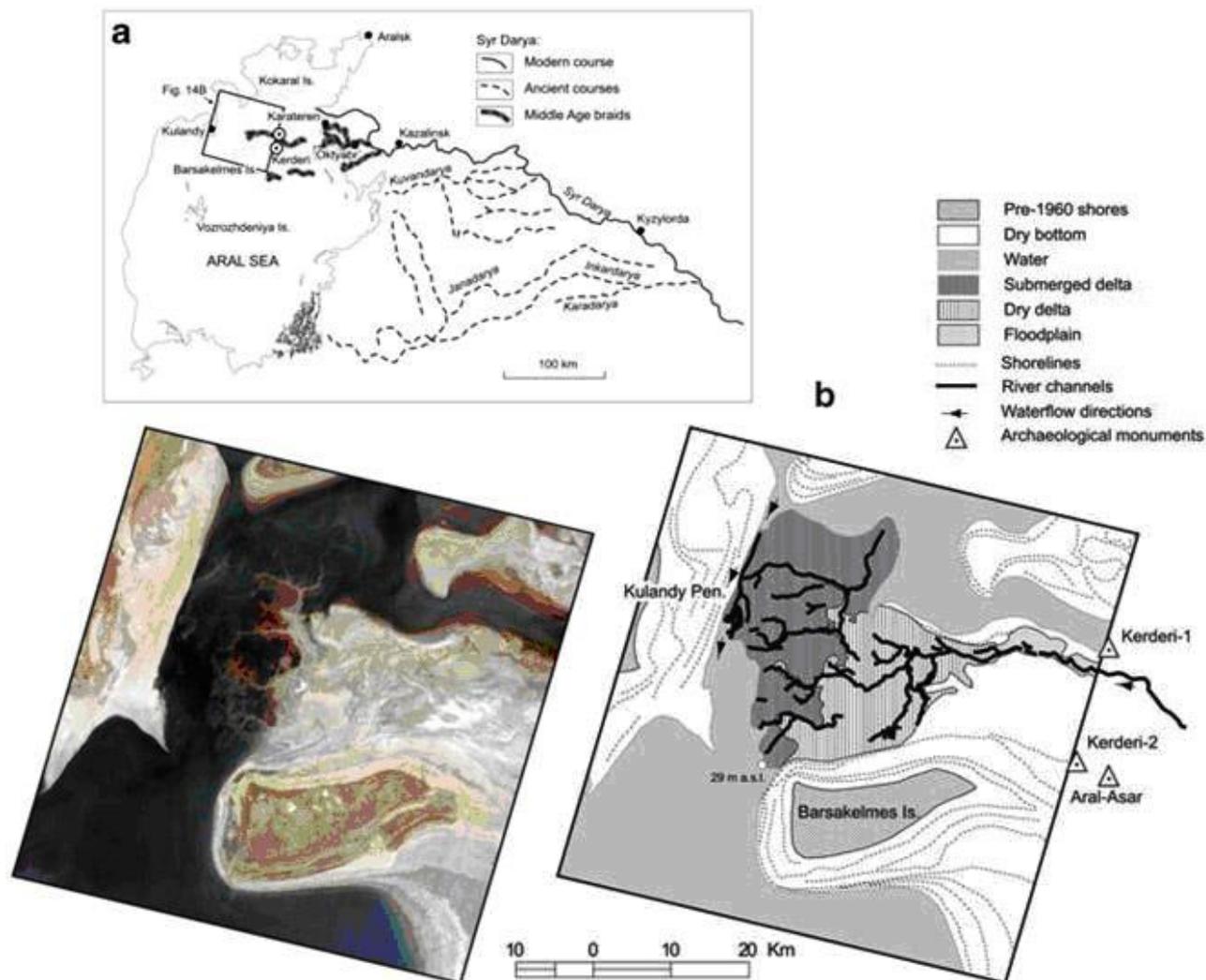
Внутри границ основных ландшафтных единиц (геологических структур) могут быть выделены классификационные единицы следующего уровня, составляющие морфологические элементы этих структур. Дальнейшее разделение может идти по 4 литологическим типам (песчаные, глинистые, каменные, солончаковые) и далее, самый нижний уровень – разделение элементарных ландшафтов на группы в зависимости от степени гидроморфности. Кстати, последняя структура – бывшая подводная часть дельты Амударьи может быть рассмотрена с позиций стоковых систем, как предложено у М.Ш. Ишанкулова (1985).

Наличие подобных подводных структур подтверждается исследованиями С.К. Кривоногова (2009) в древней дельте Сырдарьи (рис. 18), активно освоенной человеком в Средние века и ушедшей затем под воду. По данным дистанционного зондирования, на сухом дне Аральского моря выявлены русла Сырдарьи и ее дельта, отражающие глубокую средневековую регрессию, сопоставимую с современной. Сырдарья в низовьях текла южнее, изменяя направление с северо-западного на западное в районе пос. Октябрь, и достигала побережья Арала в районе мыса Карашохат, т.е. на 20 км южнее ее современного устья. Далее река текла на запад по сухому дну моря на протяжении 100 км и образовывала дельту размером 22x22 км, оконечность которой упиралась в противоположный склон дна, принадлежавший полуострову Куланды. По гипсометрии края дельты установлено, что во время ее существования уровень Арала был около 29 м, т.е. глубина регрессии была сопоставима с современной. Однозначно дешифрируются и распознаются на местности бывшие русла Сырдарьи в пределах ее дельты: Жанадарья, Дарьялык, Инкардарья и Карадарья. Самые крупные из них – Дарьялык и Жанадарья.

Археологи обнаружили поселения и некрополи Кердери-1 и Кердери-2, расположенные недалеко от найденного русла Сырдарьи к северо-востоку от бывшего острова Барсакельмес. Поселения находятся на абсолютных отметках около 34 м. По археологическим признакам (Смагулов, 2002) памятники датированы XIV веком н.э., т.е. они созданы 600-700 лет назад.

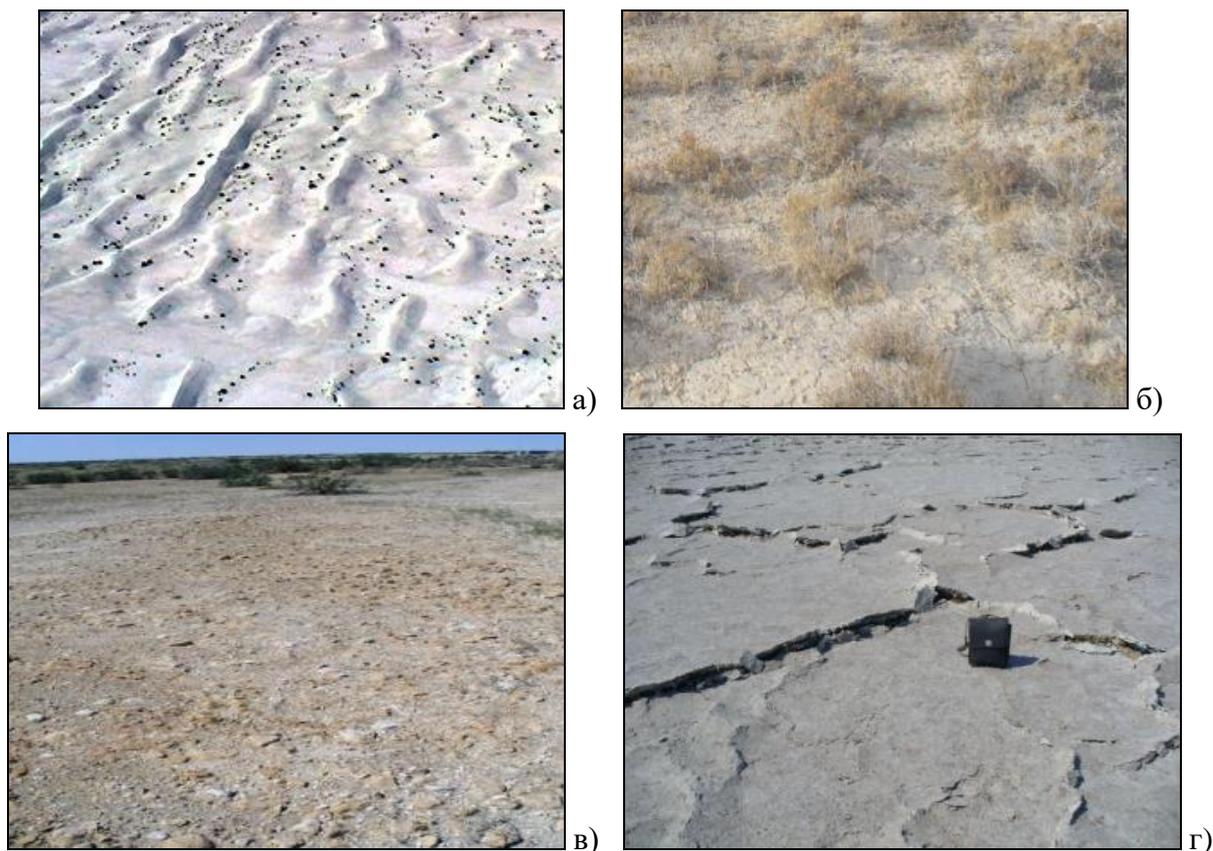
В.А. Попов (2017) дал краткое предварительное описание ландшафтов Аральской впадины на основании информации, полученной путем анализа космических фотоснимков 2012-2014 гг. и полевых исследований, и привёл фото четырех основных литологически различных типов ландшафтов. На фото 3 а хорошо просматривается ландшафт песчаной пустыни с бугристо-грядовым рельефом, слабо закрепленной поверхностью отдельными кустами древесной растительности. Глинистая пустыня представлена на фото 3 б участком с

естественным зарастанием кустарниками. Участок солончаковой пустыни на фото 3 в лишен постоянной растительности, но соседствует с участком, уже закрепленным в ходе фитомелиоративных работ. Участок каменистой пустыни на фото 3 г также лишен не только растительности, но и мелкоземистого материала на поверхности плит.



**Рис. 18.** Дельта Сырдарьи: а) основные русла и косы в Средние века, б) спутниковый снимок Астер 2004 года (слева) части дна Аральского моря между полуостровом Куланды и островом Барсакельмес и его интерпретация (справа) с протоками в средневековой дельте (Кривоногов, 2009). **Fig. 18.** The Syr Darya delta: a) its main courses and spits during the Middle Age, b) the ASTER satellite image of 2004 (left) showing a part of the Aral Sea bottom between the Kulandy Peninsula and Barsakelmes Island, and its interpretation (right) showing the delta during the Middle Age (Кривоногов, 2009).

В.А. Попов (2017) считает, что наиболее богатым ландшафтным и биологическим разнообразием на исследованной территории обладает Арало-Кызылкумский вал. Здесь наблюдается разнообразие форм рельефа, древесно-кустарниковой и травяной растительности (черносаксауловые, тамариковые джунгуны, тростниковые и другие сообщества), сформировались зооценозы, сходные по составу с группировками животных коренных островов Аральского моря и смежных с ним территорий (фото 4, 5).



**Фото 3.** Лито-эдафические ландшафты Аральской впадины (Попов, 2017): а) песчаные, б) глинистые, в) солончаковые, г) каменистые. **Photo 3.** Litho-edaphic landscapes of the Aral basin (Попов, 2017): а) sandy, б) clay, в) saline, г) stony.



**Фото 4.** Саксауловые заросли на обсохшем дне у чинка Устыурта (Попов, 2017).  
**Photo 4.** Saxaul thickets on the dry bottom of the Ustyurt chink (Попов, 2017).



**Фото 5.** Фитогенный бугор, образованный тамариксами (Попов, 2017).

**Photo 5.** Phytogenic hill formed by Tamarix (Попов, 2017).

*Формирование почв* на обсохшем дне моря происходит под влиянием специфических почвообразующих процессов, определяется пустынными климатическими условиями, способствующими его быстрой аридизации и во многом зависит от литологии донных отложений и характера береговой линии. Литология почвогрунтов, пустынный климат определяют повсеместное развитие процессов засоления. Последующий характер аридного воздействия способствует их рассолению и направленности почвообразующего процесса по зональному типу (Некрасова, 1979; Боровский и др., 1983; Можайцева, Некрасова, 1984).

В формировании почвенного покрова выделяли (Корниенко и др., 1983, 1985) три типа направления трансформации в зависимости от литологии донных отложений и дренированности территории. Для грунтов легкой литологии развитие эколого-генетического ряда почв идет по цепочке и сопровождается проявлением дефляционных процессов: маршевые солончаки → приморские солончаки → приморские почвы → приморские почвы с навеванным песчаным чехлом → пески → пустынные песчаные комплексы. На грунтах тяжелого литологического состава трансформация идет в основном вследствие галогеохимических процессов и формируется следующий эколого-генетический ряд: маршевые солончаки → приморские солончаки → такыровидные солончаки и такыровидные солонцевато-солончаковые почвы. Как видим, для обоих вариантов начальный этап развития сходен. Процесс преобразования маршевых солончаков в приморские протекает приблизительно в течение 3-4 лет и связан с изменением характера распределения солей в почвенном профиле и их накоплением в первой метровой толще. Уровень грунтовых вод при этом снижается с 0.5 до 1.5 м. Периодически промывной режим меняется на выпотной, а первоначально хлоридный тип засоления – на хлоридно-сульфатный и сульфатно-хлоридный. В недренируемых замкнутых лагунах маршевые солончаки трансформируются в солончаки соровые. Во всех вариантах развитие идет при смене гидроморфных условий на полугидроморфные и автоморфные. Существующие обобщения (Жалгасбаев и др., 1980; Жоллыбеков, 1990) не рассматривают всю территорию обсохшего дна и освещают ситуацию, характерную для конца прошлого века. Публикации о результатах исследований современных почв, сформировавшихся на обсохшем дне, и обобщение о закономерностях процессов их формирования с начала обсыхания и по

настоящее время пока нами не встречены.

*Заращение обсыхающего дна* представляет собой важную научную проблему, которую можно рассматривать как разработку теории формирования первичных сукцессий в уникальных условиях обсыхающего дна. Эта научная проблема имеет важное практическое значение, поскольку установление факторов, влияющих на развитие процесса заращения обсыхающего морского дна, рассмотрение его пространственно-временных проявлений и закономерностей, создает научную базу для прогнозирования естественного заращения и открывает возможности управления ими. Иными словами, закрепление обсохшего дна растительностью сокращает вынос пыли и солей на прилегающие территории пустынных пастбищ и населенных пунктов и на практике необходимо для научного обоснования выбора экологически пригодных территорий и разработки методов проведения фитомелиорации и искусственного формирования пустынных пастбищ.

В первые два десятилетия падение уровня Аральского моря происходило медленно, поэтому на дневную поверхность выходили небольшие участки дна, шириной в первые десятки метров, сложенные преимущественно песчаными отложениями на всех типах побережья и визуально обозримые. По ним можно было проследить за ежегодной сменой глубины залегания верховодки, условий влагообеспеченности грунтов, засоления. Виды, закрепившиеся и адаптированные к условиям этого года в данном биотопе, на следующий год или через несколько лет оказывались совсем в иных условиях. Очень редко состояние среды сохранялось на следующий год, повторяло предыдущие годы. В благоприятных условиях происходила вспышка видового богатства и фитомассы, в неблагоприятных растения испытывали угнетение, отмирали, сменялись другими, нередко наступала пауза в заращении, что стало обозначаться термином «пустошь». Общая тенденция трансформации условий среды во времени на каждом участке обсохшего дна сводится к тому, что в конкретном биотопе происходит заглубление грунтовых вод, накопление солей в верхних горизонтах, уменьшение влагообеспеченности, уменьшение элементов питания. В то же время далее с течением времени неизбежно происходит вынос солей из верхних горизонтов почв. В разных лито-эдафических условиях это происходит по-разному: на легких грунтах они удаляются с эоловым выносом, на тяжелых грунтах перемещаются на глубину. Направленные изменения условий среды, такие как изменение уровня грунтовых вод, соленакопления, выноса солей, влагообеспеченности грунтов, происходят взаимосвязано с формированием почв и обуславливают динамические процессы в растительности.

Исследования, проведенные на первых этапах обсыхания морского дна (Вухрер, 1979; Димеева, 1994, 1995; Димеева, Альмурзаева, 2004; Курочкина, 1979; Курочкина и др., 1983, 1991; Кабулов, 1990; Кабулов, Новикова, 1982; Макулбекова, 1979), показали, что на всех типах побережий заращение имело сходный характер: на вновь обсыхающем участке морского дна при близком залегании уровня грунтовых вод в течение нескольких лет произрастали однолетние солянки и несколько видов лебеды, имеющих кормовое значение и дающих большую надземную фитомассу. Но через некоторое время после заглубления грунтовых вод, сокращения влагообеспеченности и при сильном засолении поверхностных горизонтов начиналась длительная пауза в заращении, и спустя длительное время после рассоления поверхности или навевания плаща песка вновь могли появиться однолетние солянки. В первое десятилетие падения уровня моря из-за того, что обнажались участки дна, сложенные преимущественно песчаными отложениями, здесь не всегда отмечалась пауза в заращении; формировались сообщества галофильных кустарников (селитрянки сибирской – *Nitraria sibirica*; соляноколосника – *Halostachys belangeriana*, тамариксов – *Tamarix* spp.).

Как показывают наблюдения А.К. Курбаниязова (2017), территория морского дна, обсохшая после 1900 г. в районе дельты Амударьи, лишена естественной растительности. Л.А. Димеева с соавторами (2017) также отмечает, что особенно медленно формируется

растительность на части дна моря, обсохшего после 2000-х годов. На долгие годы обширные территории остаются без растительности, становясь источниками выноса пыли и солей. Одним из способов решения проблемы является искусственное закрепление пустошей – фитомелиорация.

Анализ процессов развития первичной сукцессии и формирования растительности на обсохшем дне моря с выделением узловых стадий и представлением основных вариантов серийных сукцессионных рядов представлен в более поздних работах (Вухрер, 1990; Вухрер, Брекле, 2003; Димеева, 2011; Aralkum ..., 2012), после этапа накопления первичной информации. Все авторы едины по принципиальным вопросам подхода к анализу формирования растительности на обсохшем дне и используемой терминологии. Они считают, что развитие растительности на обсохшем дне является процессом опустынивания и ведет к формированию растительных сообществ пустынного типа. Сообщества, последовательно развивающиеся на конкретном данном участке от пионерной или инициальной стадии через сукцессионные к конечному климаксовому сообществу, составляют серию. Сукцессионные серии фитоценозов в зависимости от лито-эдафических условий различаются начальными, конечными звеньями и представленностью узловых сообществ. Различают псаммо-, пелито-, гало-, ксеро-, гидро- (потамо-) серии в зависимости от ведущего фактора сукцессии. При этом если в ходе первичной сукцессии климаксовые сообщества в растительности уже сформировались, а в почвах еще нет, позиция растительности относится к квазиклимаксу.

Первичная сукцессия признана автогенной и на ранней стадии развития идет как сингенетическая (смены растительности определяется преимущественно внешними факторами), а на поздних – как эндозоогенетическая (изменение среды и смены растительности идут преимущественно под влиянием растительности). Начальные стадии были детально описаны Л.Я. Курочкиной и В.В. Вухрером (1987). На стадии сингенеза выделяются: экотопическая группировка; простая группировка; сложная группировка; фитоценоз. Механизмом сингенетической сукцессии является конкурентное взаимоотношение между растениями при равноценных условиях среды для всех видов. Период сингенетических смен недолог и определяется степенью выраженности экзо- или эндозоогенеза. Таковы теоретические позиции, сформулированные Л.Я. Курочкиной и В.В. Вухрером (1987) и создавшие научную базу для обобщения данных длительного ряда натурных наблюдений на ряде трансект (Баян, Барса-Кельмес, Каска-Кулан и др.), организованных казахскими учеными от побережья вслед за отступающим урезом воды в режиме мониторинга с первых лет падения уровня моря.

Представляют несомненный научный интерес и особенно ценны в методическом плане работы Л.А. Димеевой (2007, 2011) по первичным сукцессиям на обсыхающем дне моря. Довольно часто обширные массивы данных, накопленные в ходе многолетних наблюдений, остаются невостребованными и пропадают из-за отсутствия методических подходов к их анализу и оценке. Так произошло с многочисленными комплексными наблюдениями на топо-экологических профилях, начатых в 1970-х годах, с почвенными данными.

В начале исследований динамики природных комплексов в условиях под влиянием падения уровня моря на топо-экологических профилях условно было принято считать, что пространственный ряд смен является прообразом смен во времени, т.е. пространственный ряд принимался за временной. Л.А. Димеева (2007) подошла к обобщению накопленных на топо-экологических профилях данных по-другому: она стала рассматривать в качестве сукцессионного (временного) ряда серийные сообщества, которые формировались и наблюдались в разные годы на одной и той же конкретной площадке. В рассматриваемой нами работе Л.А. Димеевой (2007) использованы данные, накопленные за 20 лет наблюдений при участии автора на трансекте «Баян» на северо-восточном побережье Аральского моря в

10 км юго-западнее устья Сырдарьи. Наблюдения начались с 1981 г. на фиксированных экологических участках, расположенных на разном расстоянии от уреза воды к коренному берегу. В анализ вовлечены данные по 2001 г., т.е. последние наблюдения представляют результат естественного формирования растительности за 37 лет субаэрального развития этой территории.

Важным методическим приемом является создание сводных таблиц со списком видов, встреченных за все время наблюдений на стационарных точках наблюдений. В таблицу вносятся данные по проективному покрытию каждого вида в каждом году наблюдения, от первых лет к последним, в порядке возрастания. Анализ подобных таблиц позволяет: 1) рассмотреть изменение участия каждого вида в сообществе во времени, 2) установить доминирующие виды, видовой состав и экологическую структуру сообщества в каждый год наблюдения и выделить периоды их длительного существования, 3) выявить смену сообществ во времени, 4) использовать таблицу для разных видов анализа и применять различные приемы обработки для представления процессов трансформации сообществ через различные показатели для оценки тенденций изменения во времени. В рассматриваемой публикации Л.А. Димеевой (2007) не приведены аналогичные таблицы со значениями по годам параметров экологических условий: механического состава, засоления почвогрунтов, глубины залегания и минерализации грунтовых вод, – эти показатели в работе использовались для интерпретации смены видового состава в ходе сукцессии и при определении типа первичной сукцессии.

Важным методическим подходом к изучению протекания сукцессии в работе Л.А. Димеевой (2007) является использование показателей и расчетных индексов. *Видовое богатство* сообществ показывает изменение числа видов на площадке во времени и рассчитывается по таблице (через присутствие-отсутствие). *Сформированность сообщества* оценивает индекс Шеннона, значение которого возрастает как при увеличении числа видов, так и при увеличении равенства фитоценотической роли между ними. Иными словами, индекс Шеннона тем выше, чем выше общее число видов и чем выше доля тех из них, которые представлены значительным проективным покрытием, т.е. чем ниже разница в фитоценотической роли видов. *Глубина ежегодных перемен* в растительных сообществах соседних лет оценивается на основе сходства их флористических списков через коэффициент Сьеренсена. Индекс Сьеренсена изменяется от 0 до 1. Он тем выше, чем больше сходство видового состава между двумя сравниваемыми списками.

Используя сформированные представления о первичных сукцессиях, Л.А. Димеева (2007) выделила на рассматриваемом профиле «Баян» 3 типа: *псаммосерию* – первичную сукцессию на песчаных отложениях с псаммофитнокустарниковой растительностью на поздне-сукцессионных стадиях; *галосерию* – на засоленных отложениях тяжелого механического состава, развивающуюся в направлении формирования галофитнополукустарничковой растительности; *потамосерию* – на засоленных отложениях с формированием сообществ, сложенных видами кустарников, характерных для тугайной растительности (*Potamothyta* по классификации З.А. Майлун (1973)).

*Псаммосерия* сформировалась на незасоленных песках (остаток солей 0.02-0.06%). Слабосоленоватая (1.2-1.4 г/л) грунтовая вода в 1990 г., по данным В. Вухрера, была на глубине 130-220 см. Ведущим процессом, определяющим динамику разреженных растительных сообществ ранее и в настоящее время, все еще остается экзогенный – эоловый, с аккумуляцией и дефляцией. По таблице 9 видно, что со временем в сообществе постепенно возрастает роль кустарников.

На 23-й год сукцессии эремоспартон (*Eremosparton aphyllum*) начинает играть роль субдоминанта селинового (*Stipagrostis pennata*) сообщества, а с 28-го года является доминантом селиново-эремоспартонового сообщества (фото 6). Роль жузгуна (*Calligonum*

*crispatum*) длительное время (более чем 30 лет) незначительна, но на 37-й год сукцессии он начинает играть роль субдоминанта.

**Таблица 9.** Видовой состав растительных сообществ на дне моря, обсохшем в 1964 году (Димеева, 2007). **Table 9.** Species composition of plant communities on the bottom of the sea that dried up in 1964 (Димеева, 2007).

Годы наблюдений	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1989	1990	1992	1994	1998	1999	2001
Годы сукцессии	17	18	19	20	21	22	23	25	26	28	30	34	35	37
Число видов	10	10	12	10	12	11	12	10	10	11	13	10	7	7
Общее проективное покрытие, %	24.0	24.0	26.2	26.4	26.6	26.9	33.0	32.8	32.0	31.7	35.2	21.0	21.5	43.7
<b>Проективное покрытие вида, %</b>														
<i>Stipagrostis pennata</i>	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	10.0	10.0	4.0	1.0	3.0
<i>Eremosparton aphyllum</i>	2.0	2.0	4.0	4.0	4.0	4.0	10.0	10.0	10.0	20.0	20.0	10.0	10.0	15.0
<i>Leymus racemosus</i>	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.1	0.1	0.1			
<i>Lycium ruthenicum</i>	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.1	0.1	0.1	0.5	1.0	7.0
<i>Calligonum crispatum</i>	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	2.0	4.0	5.0	12.0
<i>Lactuca tatarica</i>	0.1		0.1	0.1	0.1							0.2		
<i>Salsola paulsenii</i>	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.5	
<i>Corispermum aralo-caspicum</i>	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	1.0	0.1	1.0	0.5
<i>C. hyssopifolium</i>	0.1	0.1		0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	1.0	0.1		
<i>Atriplex pratovii</i>	0.1		0.1											
<i>Convolvulus subsericeus</i>		0.1												
<i>Astragalus brachypus</i>		0.1	0.1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.1			
<i>A. lehmannianus</i>			0.1											
<i>Chondrilla brevirostris</i>			0.1		0.1	0.5	0.5	0.5	0.5		0.5	2.0	3.0	6.0
<i>Linaria dolichoceras</i>					0.1		0.1							
<i>Horaninovia ulicina</i>										0.1				
<i>Anisantha tectorum</i>						0.1	0.1			0.1	0.1			0.2
<i>Lappula semiglabra</i>											0.1			
<i>Senecio noeanus</i>											0.1			

Как видим, произошли две смены серийных растительных сообществ: одно с доминированием селина (*Stipagrostis pennata*) в 1992 г. сменилось другим с доминированием эremosпартон (*Eremosparton aphyllum*), а в 2001 г. доминирование перешло к жузгуну (*Calligonum crispatum*). При этом число видов на площадке, длительное время колебавшееся около 10, в последние два года уменьшилось, а общее проективное покрытие в сообществе увеличилось в сравнении с началом наблюдений почти вдвое. По-видимому, можно считать, что с 2001 г. произошел переход от инициальных стадий сукцессии к древесно-кустарниковому этапу, который на других участках происходит на 35-40-й год сукцессии. Эндогенные процессы до сих пор еще не проявили себя.

Использование показателей и расчетных индексов позволило проследить за изменением характеристик протекающей сукцессии во времени (рис. 19). Видовое богатство имеет незначительную тенденцию к снижению, выравненность распределения, оцененная по индексу Шеннона, свидетельствует о совершенствовании внутренней структуры сообщества и прогрессивном ходе сукцессионного развития. Изменение сходства видового состава сообществ, оцениваемое на основании коэффициента Сьеренсена, говорит о тенденции его роста в многолетней динамике и в последние годы. Иными словами, псаммофитная сукцессия имеет общую тенденцию к стабилизации и усложнению внутренней структуры.

*Галосерия* (табл. 10). Основными признаками условий развития растительности галосерии являются сильное засоление и тяжелый механический состав грунтов. Этот тип сукцессии на обсохшем дне Аральского моря должен быть наиболее распространенным. На трансекте Баян засоление поверхностных горизонтов варьирует от 1.7 до 7.2%. Грунтовые воды залегают на глубине 1.2-2.3 м, их минерализация составляет 32-34 г/л (Вухрер, 1990).

Как показывает таблица 10, за время наблюдения произошла смена трех серийных сообществ: на 5-й год сукцессии однолетниковое солеросовое (*Salicornia europaea*), сообщество, сформированное в период первичного зарастания, сменилось по мере обсыхания субстрата климакоптеровым (*Climacoptera lanata*). Дальнейшее иссушение и засоление субстрата приводит к угнетению всех видов первых сообществ и некоторой паузе в развитии растений с 8-го по 12-й годы сукцессии.



**Фото 6.** Псаммофильнокустарниковое сообщество в сентябре 2006 г. (Димеева, 2011). **Photo 6.** Psammophilic shrub community in September 2006 (Димеева, 2011).

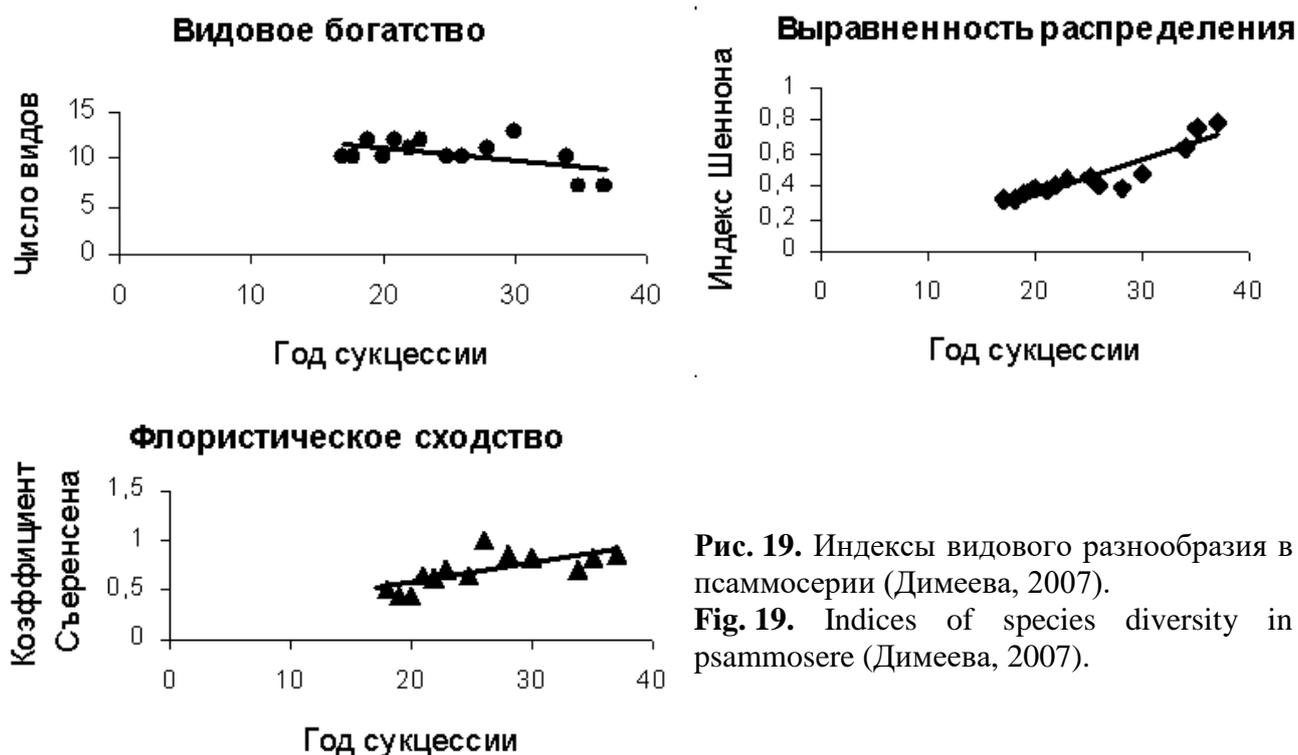


Рис. 19. Индексы видового разнообразия в псаммосерии (Димеева, 2007).

Fig. 19. Indices of species diversity in psammosere (Димеева, 2007).

В этот период засоление продолжает возрастать, и далее с начала доминирования соляноколосника (*Halostachys belangeriana*) начинается кустарниковая стадия в развитии сукцессии в течение пяти лет, пока на смену соляноколоснику не приходит самый солеустойчивый вид – полукустарничек сарсазан (*Halocnemum strobilaceum*). На 17-й год сукцессии он становится субдоминантом, а на 21-й – доминантом, а соляноколосник – субдоминантом.

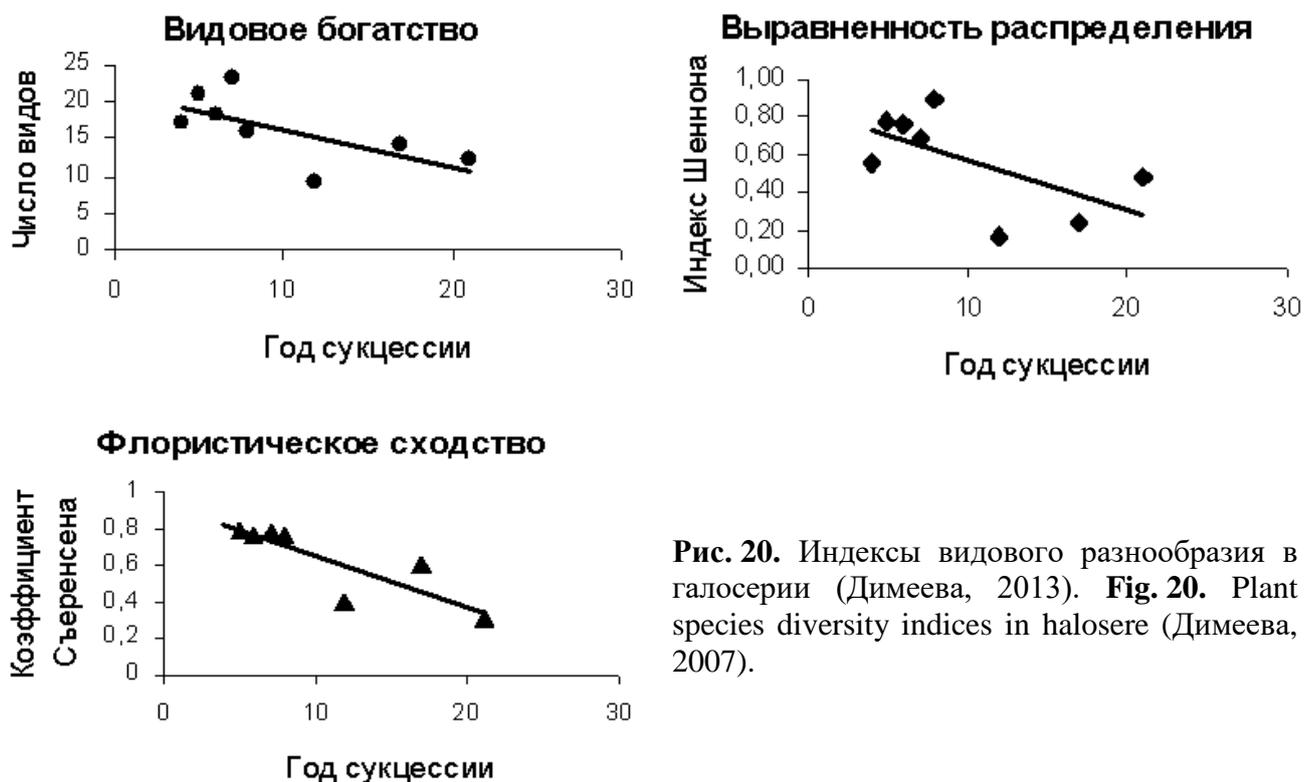
Т.к. рассмотренная галосерия развивается по градиенту возрастания засоления грунтов, уменьшения влагообеспеченности и усиления физиологической недоступности влаги, количество видов и проективное покрытие флуктуируют – возрастают на некоторое время после появления нового доминанта и затем снижаются перед сменой его новым. За весь период наблюдений на участке были зарегистрированы 37 видов.

Показатели и рассчитанные индексы видового богатства и усложнения внутренней структуры сообществ (рис. 20) имеют тенденцию к снижению в ходе развития сукцессии. Это в первую очередь определяется общей тенденцией ухудшения экологических условий для произрастания растений и тем, что к условиям сильнейшего засоления адаптировано лишь небольшое число видов и сообщества представлены малым числом видов и их незначительным обилием. Можно сделать вывод и о том, что до конца наблюдений в динамике сообществ ведущую роль играет экзогенные факторы (засоление и недостаток доступной влаги).

Дальнейшее развитие этой сукцессии, по мнению Л.А. Димеевой (2007), зависит от изменения глубины грунтовых вод. При их понижении ниже 3 м сарсазан испытывает угнетение, а при 4-5 м отмирает. При установлении автоморфного режима почв и развитии солонцового почвообразования на смену сарсазановым сообществам придут биюргуновы сообщества, широкое развитие которых характерно для коренных берегов северного побережья Аральского моря.

**Таблица 10.** Видовой состав растительных сообществ в галосерии (1977 г. – начало субаэрального развития; Димеева, 2007). **Table 10.** Floristic composition of plant communities in halosere (subaeral stage begins in 1977; Димеева, 2007).

Годы наблюдений	1981	1982	1983	1984	1985	1989	1994	2001
Годы сукцессии	4	5	6	7	8	12	17	21
Число видов	17	21	18	23	16	9	14	12
Проективное покрытие (%)	<b>57.0</b>	<b>13.5</b>	<b>15.0</b>	<b>20.0</b>	<b>3.0</b>	<b>16.0</b>	<b>27.0</b>	<b>60.6</b>
<b>Вид / проективное покрытие</b>								
<i>Salicornia europaea</i>	<b>30.0</b>	0.2	0.1	0.1	0.1			
<i>Senecio jacobaeus</i>	8.0	0.2	0.1	0.1	0.1			0.3
<i>Polygonum aviculare</i>	5.0			0.1			0.1	
<i>Tamarix laxa</i>	0.5	0.5	0.2	1.5	0.5			
<i>T. hispida</i>	0.5	<b>2.0</b>	1.5	3.0	0.5			1.0
<i>Lactuca tatarica</i>	8.0	0.2	1.0	0.3				
<i>L. serriola</i>	0.2	0.2		0.4				
<i>Lycium ruthenicum</i>	0.5	0.5	1.0	2.0	0.4		0.1	
<i>Limonium otolepis</i>	0.5	0.2		0.1		0.2	0.1	
<i>Cynanchum sibiricum</i>	0.3	1.0	0.2	0.4				
<i>Climacoptera lanata</i>	2.0	<b>5.0</b>	<b>5.0</b>	<b>7.0</b>	0.1			
<i>Phragmites australis</i>	0.2	0.2	0.2	0.4	0.1			
<i>Frankenia hirsuta</i>	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	
<i>Atriplex pratovii</i>	0.2	0.2		0.1	0.1	0.2	2.0	
<i>Eremopyrum orientale</i>	0.1	0.2						
<i>Gypsophila perfoliata</i>	0.3		0.2					
<i>Tamarix ramosissima</i>	0.5	1.0	1.0	0.1				
<i>T. elongata</i>		0.3						
<i>Atriplex sphaeromorpha</i>		0.2	0.2	0.3				
<i>Aeluropus littoralis</i>		0.2		0.1	0.1			
<i>Karelinia caspia</i>		0.3	0.2	0.3	0.1	0.1		
<i>Bassia hyssopifolia</i>		0.2					0.2	
<i>Suaeda crassifolia</i>		0.2	0.2			0.1		
<i>Halostachys belangeriana</i>		0.3	0.3	0.3	0.1	<b>15.0</b>	<b>15.0</b>	<b>10.0</b>
<i>Climacoptera aralensis</i>			<b>2.0</b>	<b>2.5</b>	0.1	0.1	0.1	1.0
<i>Petrosimonia triandra</i>			1.5	0.4	0.1		0.1	
<i>Salsola australis</i>				0.3	0.1		0.1	
<i>Suaeda acuminata</i>				0.1				1.0
<i>Nitraria schoberii</i>					0.4		0.1	
<i>Halocnemum strobilaceum</i>						0.1	<b>7.0</b>	<b>40.0</b>
<i>Kalidium foliatum</i>						0.1	1.5	
<i>Ofaiston monandrum</i>							0.5	0.5
<i>Petrosimonia brachiata</i>								0.5
<i>Lappula semiglabra</i>								0.2
<i>Strigosella circinata</i>								5.0
<i>S. africana</i>								0.1
<i>Salsola nitraria</i>								1.0



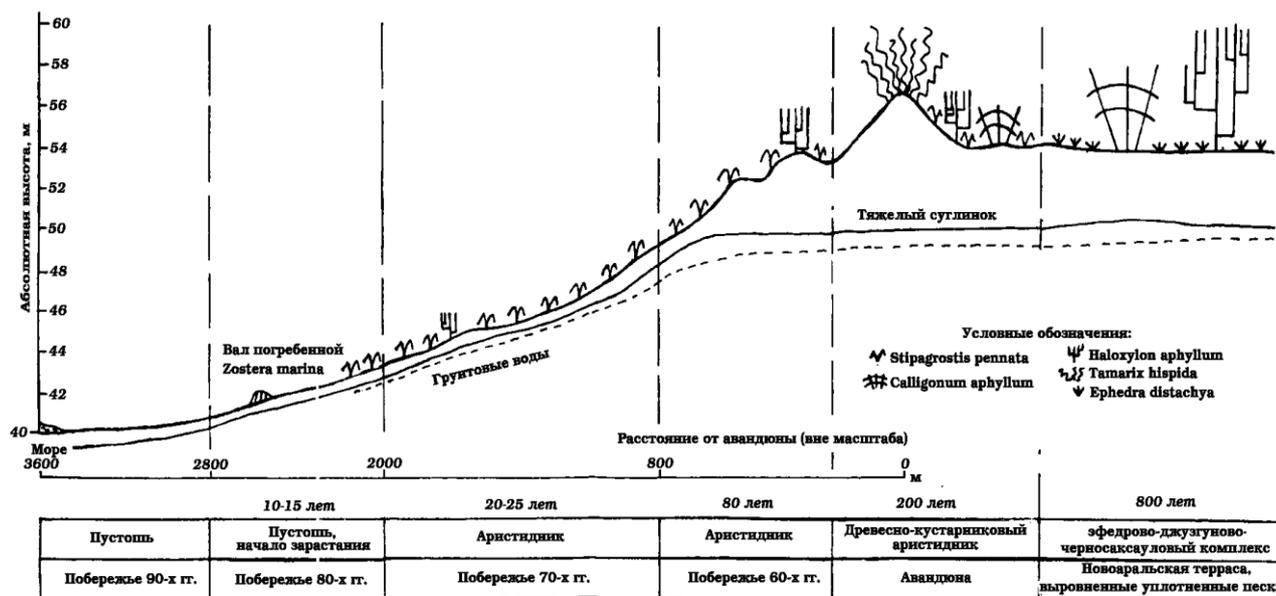
**Рис. 20.** Индексы видового разнообразия в галосерии (Димеева, 2013). **Fig. 20.** Plant species diversity indices in halosere (Димеева, 2007).

Изучение изменения структурно-функциональной организации экосистем и преобразование абиотической среды экосистем их биотой в ходе сукцессии выполнено И.В. Панкратовой (2007, 2002). Эти работы стоят особняком и уникальны по содержанию. Исследования проводились с конца 70-х до середины 90-х годов на о. Барсакельмес (Северное Приаралье), на трансекте, проходящей от уреза воды на обсыхающем морском дне, песчаном пляже и побережье (рис. 21). На протяжении двадцати лет в разные феноклиматические сезоны, охватывающие период вегетации растений, изучался микроклимат растительных сообществ, динамика их фитомассы, водный режим узловых сообществ псаммофитной сукцессии. Исследования проводились на участках, располагающихся на разном расстоянии от уреза воды и имеющих разный возраст субэарального развития (рис. 21). Впервые получены количественные характеристики экологических режимов экосистем в процессе зарастания песчаного побережья северного Приаралья, свидетельствующие об их стабилизации. Получены оригинальные данные по динамике продуцирования ассимиляционной фитомассы сообщества в ходе развития растительного покрова, которое отражается на водном режиме сообществ.

Результаты исследования водного режима доминантов и продуцируемой ими фитомассы позволили рассчитать суточный и сезонный запас воды, ее расход на транспирацию и скорость водообмена растительным сообществом. Вычисления проводились по методике И.Н. Бейдеман и В.Н. Паутовой (1969).

Растительность активно участвует в трансформации биотопов (миграции и аккумуляции солей, формировании почв, микроклимата и прочих условий существования других организмов – полезных и опасных для человека). Как показали исследования (Панкратова, 2002, 2007), влияние растений на среду проявляется уже на 5-й год сукцессии и выражается в формировании микроклимата в растительных группировках, отличающегося по сравнению с его характеристиками на неосвоенной растительностью пустоши; и в создании активного биологического круговорота веществ: накоплении ассимилирующими органами воды и

солей из почвы и аккумуляции их на поверхности, отложении солей на поверхности почвы в результате накопления солей во время транспирации в тканях и накопления на поверхности после отмирания однолетников. Оказалось, что расход воды на транспирацию и запасы ее в фитомассе серийных сообществ в ходе сукцессии уменьшается: у растительных сообществ на заключительных стадиях сукцессии формируется более экономный водный обмен. Влагооборот в субклимаксовых сообществах ниже почти в три раза, чем в сообществах на начальных этапах сукцессии.



**Рис. 21.** Ключевые участки наблюдений за функциями растительности на трансекте песчаного побережья о. Барсакельмес (Панкратова, 2007). **Fig. 21.** Key sites where vegetation functions were observed on a transect of the sandy coast of the Barsakelmes Island (Панкратова, 2007).

Сообщества первых этапов зарастания – аристидники (*Stipagrostideta* sp.) побережий 70-80-х и 60-х годов характеризуются интенсивным расходом воды на транспирацию, который превышает ее запасы в листовой фитомассе сообществ в 1.5-2 раза. Скорости водообмена здесь высокие и по годам значительно колеблются. Поэтому тип водного режима в аристидниках побережья 70-х и 60-х годов нестабильный и неэкономный.

На авантюне в древесно-кустарниковых сообществах происходит постепенная смена типа водного режима. Запас воды в ассимилирующей части фитоценозов почти равен ее расходу на транспирацию. Скорость водообменных процессов в сравнении с предыдущим сообществом замедляется в 2-2.5 раза. Таким образом, на авантюне происходит изменение типа водного режима в сторону стабилизации.

На выровненных уплотненных песках в сообществах эфедрово-джузгуново-черносаксаулового комплекса общий расход воды на транспирацию меньше, чем ее запас в ассимиляционных органах в 2 раза. При этом объем испаряемой воды увеличивается в 60 раз в сравнении с сообществами начальных стадий зарастания, а скорость водообмена уменьшается в 4 раза. Снижается и амплитуда ее колебаний по годам. То есть водный режим в субклимаксовых сообществах становится экономным и стабильным.

### Выводы к разделу

Научные исследования показали, что участки обсохшего дна моря, вступившие в субаэральный этап развития позже 1990 г., до сих пор остаются солончаковой пустошью,

заращение остальной территории идет преимущественно по галоморфному типу, сформированные естественные сообщества находятся на начальных стадиях сукцессии. Ведущим фактором современной динамики растительности выступают все еще экзогенные процессы – эоловые, галогеохимические, гидроморфные. К настоящему времени разработано научное обоснование, понятийный аппарат и теория развития основных типов первичных сукцессий на участке дна Аральского моря, обсохшем в первые десятилетия падения уровня: в период 1970-1990 гг. Для каждого из основных типов сукцессии выстроены экологически обоснованные ряды серийных сообществ, видовой состав и структура завершающих типов климаксов. Разработана методика сбора данных, их анализа и показатели для оценки развития конкретных сукцессионных рядов. Большая заслуга в организации и проведении исследования, разработке теоретических позиций принадлежит, прежде всего, ученым Л.Я. Курочкиной, В.В. Вухреру, Л.А. Димеевой, W-S. Breckle. В связи с тем, что сукцессионные процессы еще не закончены, остается задача по ведению мониторинга за ними и анализу с оценкой достигнутых стадий развития. А для их выделения крайне необходимо разработать показатели. Таким образом, нет сомнений, что дальнейшие геоботанические исследования должны вестись в тесной связи с изучением становления почв в рамках изучения формирования ландшафтов.

В самом начале исследований по Аральской проблеме было высказано мнение, что на обсохшем дне моря будут формироваться растительные сообщества по типу пустынных. То, что это происходит именно так, подтверждают исследования Л.А. Курочкиной (1979; Курочкина и др., 1991), Л.А. Димеевой (2007, 2011; Димеева и др., 2008), показавшие, что флора на обсохшем дне Арала является типичной для Туранских пустынь в этом регионе, и в ходе первичной сукцессии за период от 60 до 17 лет сформировались растительные сообщества по составу и структуре близкие целинной растительности прилегающих пустынь. Еще более убедительным подтверждением этого мнения являются результаты, полученные Л.А. Димеевой с соавторами (2008) при изучении флоры на территории обсохшего дна моря, свидетельствующие, что по своей структуре она близка структуре флоры туранских пустынь, охарактеризованной в работе Н.М. Новиковой (1977). В настоящее время в пустыне Аралкум на территории Казахстана зарегистрировано (Димеева и др., 2008) 342 вида высших растений, относящихся к 43 семействам и 170 родам. К ведущим семействам относятся: Chenopodiaceae (83 вида), Asteraceae (45), Polygonaceae (36), Brassicaceae (32), Fabaceae (22), Poaceae (19), Boraginaceae (13), Tamaricaceae (9), Ranunculaceae (7), Superaceae (5), Ariaceae (5). Среди жизненных форм преобладают однолетники (41.5%), травянистые многолетники (31.9%) и кустарники (16.7%). Анализ геоэлементов выявил, что наиболее представленная группа видов связана с территорией Древнего Средиземья (116 видов, 33.9%). Туранские и ирано-туранские виды составляют 15.8 и 13.7% флоры. Северотуранские виды (включая 19 эндемиков Казахстана) насчитывают 36 видов (10.5%). Автохтонные аральские и арало-каспийские виды (9) составляют 2.6%.

Проведенные исследования показали, что эволюция природных комплексов обсохшего дна моря – важнейшая составляющая Аральского кризиса, далека от завершения, и, вероятно, наряду с динамикой остаточных водоемов, будет еще длительное время находиться в зависимости от колебания притока речных и сбросных вод к ним, и это будет продлевать существование Аральского кризиса на неопределенно долгое время.

### **Фитомелиорация обсохшего дна моря**

Работы по фитомелиорации начались в 90-е годы (т.е. после 1980 до 1990 гг.) с попыток закрепления подвижных песков на обсохшем дне моря в авандельте Амударьи. Большие опытно-экспериментальные работы по облесению обсохшего дна моря проведены Узбекским

научно-исследовательским институтом лесного хозяйства. Первые результаты этих исследований, проведенные Н.Е. Кокшаровой и Г.Н. Исаковым (1985), показали их высокую эффективность. Защитные насаждения на супесчаных почвогрунтах и подвижных песках обсохших Рыбацкого и Муйнакского заливов создавались из местной флоры, произрастающей в этом районе, путем посева семян и посадки черенков черного саксаула (*Haloxylon aphyllum*), черкеза Рихтера (*Salsola richterii*), жузгуна (*Calligonum* spp.), гребенщика (*Tamarix* spp.). Посадки проводились одновременно с закреплением рельефа. Опыты показали, что лимитирующими факторами для видов, использованных для фитомелиорации, является засоление верхнего горизонта (0.5-1 м), глубина залегания и минерализация грунтовых вод и степень расчлененности поверхности. На подвижных песках (от низких бугров до высоких барханов) необходимо предварительно проводить фиксацию поверхности.

Фитомелиоративные работы на узбекской части обсохшего дна Аральского моря и нижней части дельты практически не прекращаются. Узбекское государственное лесоустроительное и проектно-изыскательское предприятие «Урмонлойиха» в 1990 году разработало «Схему агролесомелиоративных мероприятий на осушенном дне Аральского моря», при этом изысканиями было охвачено 600 тыс. га. В интернете на сайте «Интерактивная карта лучших практик по использованию водных, земельных и энергетических ресурсов, а также окружающей среды Центральной Азии» от 08.09.2017 размещена информация о Проекте «Создание защитных лесных насаждений на осушенном дне Аральского моря» (2017), в которой говорится, что Нукусский филиал Исполнительного комитета Международного фонда спасения Арала, Главное управление лесного хозяйства при Министерстве сельского хозяйства Республики Узбекистан реализует проект по созданию лесозащитных полос с 1993 по 2021 г., а также приведены цели и используемые технологии.

С 2000 года к этой работе подключились международные организации, в частности Германское общество по международному сотрудничеству (GTZ), Международный Фонд спасения Арала, Всемирный Банк, Глобальный Экологический Фонд (GEF), Экологический фонд Японии, Посольство Японии в Казахстане и другие. За последние 15-20 лет, по данным данные Управления лесного хозяйства республики Узбекистан, лесоводы Каракалпакстана провели лесомелиоративные работы на осушенной части Аральского моря на 225478 га. До настоящего времени в целях улучшения экологического состояния в зоне Приаралья осуществлены лесопосадки на площади около 740 тыс. га, в том числе на осушенном дне Арала – 310 тыс. га. По данным Научно-информационного центра Межгосударственной координационной водохозяйственной комиссии (Аральское море и Приаралье, 2017), площадь самозарастания лесных насаждений составляет почти 200 тыс. га. Всего площадь лесопосадки на осушенном дне Арала с учетом процессов самозарастания составляет почти 500 тыс. га, а площадь обсохшего дна моря – 4.7 млн. га, и у соответствующих ведомств не хватает ни денежных, ни людских ресурсов для более широкомасштабных мероприятий.

На казахской части обсохшего дна перспективы фитомелиорации были рассмотрены в работах ученых (Курочкина, 1979; Курочкина, Макулбекова, 1984, Курочкина и др., 1991), а затем в 1988 г. были начаты первые производственные посадки. С этой целью сотрудники Казахского научно-исследовательского института лесного хозяйства разработали технологию лесопосадок (Каверин и др., 2005), и уже в 1994 г. было создано 54 тыс. га лесных насаждений. По результатам исследований были выделены 4 категории лесорастительных условий (Каверин, Салимов, 2000; Meirman et al., 2001).

1. *Хорошие лесорастительные условия* – участки с песчаными и супесчаными отложениями. Максимальное засоление почвогрунтов – от 0.76 до 1.05%, содержание  $Cl$  – 0.06-0.33%,  $SO_4$  – 0.27-0.66%. Уровень грунтовых вод (УГВ) – 1.5-2 м с минерализацией до 45 г/л. На таких грунтах успешно растут саксаул и гребенщик.

2. *Удовлетворительные лесорастительные условия* – приморские супесчаные и

суглинистые почвы равнин с навейным песчаным чехлом. Максимальное засоление – от 1.52 до 3.5%, Cl – 0.43-1.1%, SO<sub>4</sub> – 0.6-1.3%. УГВ – 1.8-3.2 м, минерализация – до 65 г/л.

3. *Условно лесопригодные условия* – участки, сложенные суглинками и глинами. Максимальное засоление – 2.1-7.52%, Cl – 0.67-2.10%, SO<sub>4</sub> – 0.7-3.0%. УГВ – 1.8-2.3 м, минерализация – 50-65 г/л.

4. *Сложно лесопригодные* – участки с подвижными переваемыми песками (движущиеся барханы). Максимальное засоление – 1.52%, Cl – 0.50%, SO<sub>4</sub> – 0.52%. Параллельно необходимы мероприятия по фиксации подвижного грунта.

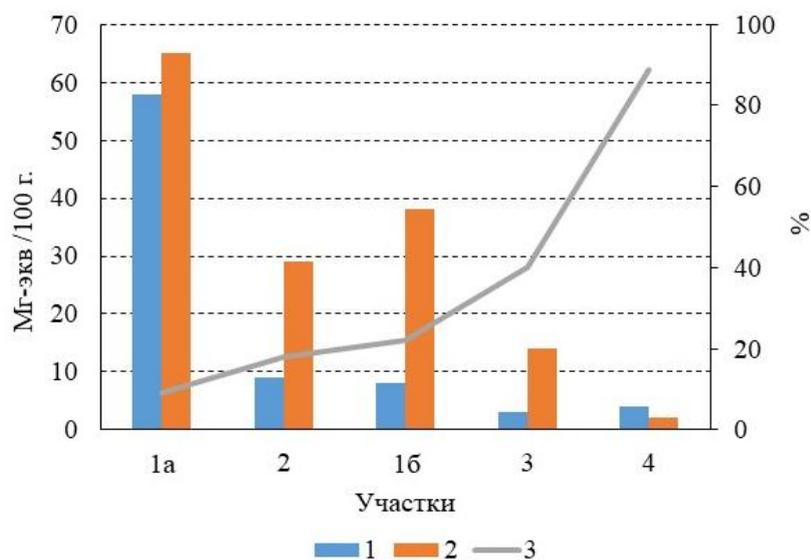
Позже опыты по фитомелиорации были продолжены по проектам, поддержанным ЮНЕСКО, Министерством науки и технологии Германии (BMBF). В осенний период в 1997 г. на корковых и пухлых солончаках был проведен посев 17 видов галофитов, произрастающих в естественных условиях на территориях, примыкающих к экспериментальным участкам. На солончаках тяжелого гранулометрического состава с содержанием солей в верхних горизонтах до 24.5% и в нижележащих корнеобитаемых горизонтах 1.91-3.11%, к осени сохранились и достигли генеративной стадии 4 вида однолетних солянок: *Climacoptera aralensis*, *Halogeton glomeratus*, *Atriplex pratovii*, *Suaeda acuminata*. На солончаках легкого гранулометрического состава и высоким засолением поверхностных (2.63-2.92%) и нижележащих корнеобитаемых горизонтов (0.56-1.46%) к осени сохранилось 5 видов солянок: *Salsola nitraria*, *S. australis*, *Petrosimonia brachiata*, *Climacoptera aralensis*, *C. lanata* и проростки *Haloxylon aphyllum* (Димеева и др., 2000).

Эксперименты по лесопосадке с применением «пескования» на засоленных суглинистых и глинистых отложениях проводились в 1998-2000 гг. сотрудниками Приаральского института агроэкологии на участке Баян в 10 км к юго-западу от устья Сырдарьи. Была испытана новая технология посадки саженцами, а для сохранения влаги на дно ямы или траншеи насыпали слой песка толщиной 20 см (Meirman et al., 2001; Yair, 2001). Ямы имели дно площадью 0.5x0.5 м<sup>2</sup>, глубину 0.8-1.0 м и покатые склоны (10°) в сторону центра. Для посадки использовали саженцы черного саксаула и гребенщика рыхлого (*Tamarix laxa*). Приживаемость обоих видов составила в среднем 20%.

Проект «Борьба с опустыниванием и санация солончаковых пустынь в регионе Аральского моря», поддержанный Германией (BMBF-GTZ/CCD, Университет г. Билефельда), объединил вокруг себя научные и производственные организации из Казахстана: Институт ботаники и фитоинтродукции (Алматы), Приаральский Институт агроэкологии и с/х (Кызылорда), НПЦ лесного хозяйства (Кокшетау), Предприятие ОГКП «Сыр-Табигаты» (Кызылорда). Экспериментальные работы по проекту проводились с ноября 2002 г. по март 2004 г. Участки для опытов выбирали на почвогрунтах разного гранулометрического состава и засоления вблизи восточного побережья Аральского моря на участке, обсохшем в 1970-х годах, в урочище Кожжетпес. Посадку и посев семян саксаула, гребенщика и сарсазана проводили с использованием лесопосадочной машины СЛУ-1М линейно-прямоугольным методом (252.5 га) и ручным способом (9.5 га) на глубину 20-25 см (Джамантиков и др., 2003; Огарь и др., 2005 а, б).

На основании результатов, полученных во время этих экспериментов на 5 опытных участках, Л.А. Димеева и В.Н. Пермитина (2006) оценили значение почвенно-грунтовых условий для приживаемости растений. Они показали, что главными факторами, определяющими приживаемость саженцев, являются суммарный эффект влияния токсичных ионов и гранулометрический состав корнеобитаемых горизонтов. По рисунку 22 видно, что наихудшая приживаемость наблюдается на участках, где наиболее высоки значения суммарного эффекта токсичных солей и более тяжелый гранулометрический состав. Отсюда авторы делают вывод о том, что замена тяжелого засоленного грунта песком является наиболее перспективной формой мелиорации солончаковых почв. Как показали проведенные

ими эксперименты, внесение песка значительно улучшает физико-химические свойства засоленных почв и повышает приживаемость саженцев саксаула – до 91.6%.



**Рис. 22.** Зависимость приживаемости саженцев саксаула от физико-химических свойств засоленных почв. *Условные обозначения:* 1 – суммарный эффект токсичных ионов, мг-экв/100 г почвы, 2 – содержание физической глины, %, 3 – приживаемость, % (Димеева, Пермитина, 2006). **Fig. 22.** Dependence of saxaul saplings survival rate on physical-chemical characteristics of saline soils. *Notes:* 1 – total effect of toxic ions, mg-eq/100 g of soil, 2 – content of clay, %, 3 – survival rate, % (Димеева, Пермитина, 2006).

Высокая приживаемость саженцев саксаула (в среднем 87%) отмечена на приморских песчаных почвах (рис. 22, участок 4). Она обусловлена средней степенью засоления корнеобитаемого слоя при суммарном эффекте токсичных ионов – 3.59 мг-экв/100 г почвы. Содержание токсичных солей при сульфатно-хлоридном типе засоления – 0.28-0.31%. На глубине 60-70 см наблюдается сильное засоление – 6.144 мг-экв/100 г почвы, содержание токсичных солей – 0.49%. Большое значение имеет также гранулометрический состав почвы. При одинаковых значениях содержания токсичных солей на песчаных почвах приживаемость намного выше по сравнению с супесчаными.

Анализ результатов полученных при организации и участия в проведении многочисленных экспериментов, дал основание Л.А. Димеевой и В.Н. Пермитиной (2006) сделать обобщение по экологии рекомендуемых ими видов для фитомелиорации и условиях обсохшего дна моря, в которых их посадки могут дать оптимальный мелиоративный эффект. Черный саксаул (*Haloxylon aphyllum*) – засухо- и солеустойчивое пустынное дерево высотой до 7 м. Относится к соленакапливающим галофитам (эугалофитам). Высота растения меняется в зависимости от условий произрастания. При глубоком залегании грунтовых вод образует форму кустарника высотой 1.5-3 м, на почвах с близкими грунтовыми водами имеет древовидную форму. На осушенной полосе Арала может произрастать в широких по экологической амплитуде условиях: при уровне грунтовых вод от 1 до 3 м и ниже на почвах разной литологии: песках, супесях, суглинках, глинах и засолении поверхностных горизонтов от 0.2 и свыше 7%. Доминирует при засолении горизонта 0-10 см от 0.2 до 4% и уровне грунтовых вод 1-2 м на суглинках и глинах, при 1-1.5 м – на песках и супесях.

Тамарикс, гребенщик (*Tamarix elongata*, *T. ramosissima*, *T. laxa*, *T. hispida*) – солеустойчивый, засухоустойчивый и светолюбивый кустарник высотой 1.5-2.5 м.

На осушенной полосе Арала виды гребенщика могут произрастать в широких по экологической амплитуде пределах, но условия доминирования разных видов отличаются. Так, гребенщик щетинистоволосый (*T. hispida*) доминирует при засолении от 0.2 до 4% и уровне грунтовых вод 0.5-1.5 м на глинах и суглинках и не ниже 1 м – на супесях и песках. Гребенщик рыхлый (*T. laxa*) предпочитает почвы легкого состава. Образуют заросли и доминируют при уровне грунтовых вод до 1 м, на песках и супесях при засолении 0.2-4%, на суглинках – не более 1%. В этом эксперименте неожиданно проявилось воздействие трудно учитываемого природного фактора: успешная приживаемость тамарикса на участках в полосе обсыхания 70-х годов оказалась проблематичной из-за заселения биотопа зайцами, уничтожающими посадки.

Сарсазан (*Halocnemum strobilaceum*) – солеустойчивый полукустарничек высотой от 30-40 до 50-70 см. Цветет на 2-3-й год жизни. В возрасте 8-12-ти лет особи семенного происхождения отмирают. При понижении уровня грунтовых вод ниже 3 м растение перестает плодоносить, а ниже 4-5 м – отмирает. Сарсазан выдерживает засоление почвы выше 50% и минерализацию грунтовой воды свыше 100 г/л. Размножается сеянцами и укорененными черенками. На осушенной полосе Арала может произрастать при уровне грунтовых вод от 0.5 до 3 м и ниже, при засолении от 0.2 до 7% и выше на почвогрунтах разного состава: песках, супесях, суглинках и глинах. Доминирует при засолении поверхностных горизонтов от 1 до 7% и уровне грунтовых вод 0.5-1.5 м на суглинках и глинах, при 0.5-1 м – на песках и супесях. Для того чтобы посадки сарсазана сохранялись долго, его следует сажать на участках с глубиной залегания грунтовой воды не ниже 1.5 м.

В рамках проекта «Сохранение лесов и увеличение лесистости территории Республики Казахстан», поддержанном ГЭФ в 2008-2014 гг., было создано около 56.5 тыс. га насаждений (фото 7). Приживаемость составляла от 5 до 40% в зависимости от правильности выбора участков и качества посадочного и посевного материала, соблюдения технологий и погодных условий. Мониторинг, проведенный на 10 участках с саксаулом 3-10(15)-летнего возраста, показал (Димеева и др., 2017), что численность саксаула варьировала от 75 до 1400 экз/га, сохранность – от 22 до 90(100)%.



**Фото 7.** Посадки черного саксаула на обсохшем дне моря в Южном Приаралье (Попов, 2017). **Photo 7.** Planting area of black saxaul on the dry sea bottom in the Southern Aral Region (Попов, 2017).

В междурядьях происходило самозарастание за счет семян взрослых растений. Численность

разновозрастных сеянцев была выше, чем сохранившихся взрослых растений, – от 1400 до 52000 экз./га. На отдельных участках сформировался фитогенный рельеф высотой 20–40 см, что свидетельствовало о том, что растительность предотвращает вынос песка с этого участка и аккумулирует переносимые ветром частицы с других участков.

Успешные эксперименты по посадке древесно-кустарниковых видов растений были проведены в Южном Приаралье международной группой исследователей, глубокий и всесторонний анализ полученных результатов дан в работах Ж.В. Кузьминой и С.Е. Трешкина с соавторами (Кузьмина и др., 2004, 2006; Кузьмина, Трешкин, 2007, 2009, 2010, 2013). Целью проводимых им экспериментальных работ было получение опыта по формированию устойчивых галофильных сообществ на сильно и средnezасоленных почвах осушенного дна Аральского моря. Для этого в Муйнакском районе Каракалпакстана в 6 км к СВ от поселка Муйнак, в бывшем заливе Рыбацкий на остаточных солончаках дна Аральского моря, обсохшего в 1985–1990 гг., был выбран участок, площадью 2 га, с полого-волнистым рельефом, сложенный супесчано-суглинистыми морскими отложениями и грунтовыми водами на глубине от 5 до 8 м (фото 7).

В ходе проведения эксперимента решались задачи: 1) по выбору подходящих видов, разработке технологии посадок и поливу (поскольку грунтовые воды были недоступны растениям) для повышения условий приживаемости саженцев и выживания сеянцев; 2) по изучению влияния на рост растений температуры и осадков; выявлению влияния посадок (биотического компонента) на среду экосистем (абиотический компонент): солевой профиль почв и микроклиматические условия (температуру и влажность воздуха и почв) биотопов; 3) по изучению особенностей роста и развития растений во времени.

*Выбор видов.* Для экспериментов были выбраны древесно-кустарниковые виды: солеустойчивый вид черный саксаул (*Haloxylon aphyllum*), менее устойчивый к засолению черкез (*Salsola richteri*) и известные как псаммофиты кустарник жузгун (*Calligonum caput-medusae*) и терескен (*Ceratoides papposa*). Все они характерны для зональных растительных сообществ и являются хорошими кормовыми растениями. Черный саксаул и черкез высаживали однолетними саженцами высотой 10–30 см, жузгун – черенками, терескен – семенами. Посадочный материал обеспечивался Муйнакским лесхозом.

*Технология посадок и ухода.* Первоначально в 2002 г. посадки провели на спланированном участке, провели полив и боронование для удаления сорняков – солянок. Но неблагоприятные погодные условия весны и лета 2003 года привели к тому, что приживаемость саженцев была очень низкой. Кроме того, после полива и боронования на поверхности образовалась тонкая корка из песка и солей, которая перерезала корневые шейки саженцев. Поэтому эксперимент повторили на участке расположенном в 300 м к востоку от предыдущего (43°48.8' с.ш., 59°2.55' в.д.; Кузьмина и др., 2004, 2006).

Для предотвращения засорения посадок однолетними сочными галофитами было проведено не боронование, как в 2002 и 2003 годах, а глубокая вспашка территории и закладка гряд. Расстояние между грядами установили в 2 м. Саженцы высаживались вдоль гряд через каждые 1 или 2 м (на разных участках на разных расстояниях). Грядка от грядки отделялась углублением в 30–45 см для сбора воды ливневых осадков и предотвращения образования соляной корки на почве, а также для осуществления летних поливов. Для прохода сельскохозяйственного транспорта через каждые 6 гряд оставлялся промежуток в 6 м. Экспериментальный участок был разделен полосой с более значительным углублением (70–100 см) на контрольный и опытный варианты. На экспериментальном участке полив проводился, на контрольном – нет.

Второй раз закладку эксперимента – посадку кустарников проводили 19 декабря 2003 года вручную, используя при этом подготовленный лесхозом посадочный материал: саженцы саксаула (*Haloxylon aphyllum*) и черкеза (*Salsola richteri*) в возрасте 1 года и

кустарника жузгуна (*Calligonum caput-medusae*) – черенками. На этом же солончаковом участке 17 апреля 2004, после обильных дождей, по подготовленным заранее грядкам высевался семенами полукустарник *Ceratoides papposa*. Семенной материал был собран авторами осенью 2002 и 2003 гг. в районе проведения работ. Ж.В. Кузьмина с соавторами (2006) обращает внимание на то, что выпас, стравливание или вытаптывание животными или какое-либо вмешательство человека на участке посадок не отмечалось ни разу за все годы наблюдений, поэтому динамика всех измеряемых параметров зависит только от естественных факторов – внешних или внутренних изменений среды или внутри- и межвидовых конкурентных взаимоотношений растений.

Полив проводился с разовыми кратковременными (в первые три года после посадки, в 2004-2006 гг.) поддерживающими поливами засоленными водами (минерализация не более 2.5 г/л) небольшим объемом (100-1800 м<sup>3</sup>/га, но не более 3000 м<sup>3</sup>/га). После посадки полив, обычно, проводился два раза: в конце апреля – в середине мая и в июне – середине июля. Для полива была использована пожарная помпа мощностью 800 л/мин. Использовалась вода из сбросного коллектора, расположенного в 300 м от участка, с минерализацией воды 1.9-2.3 мг/л (Кузьмина, Трешкин, 2009).

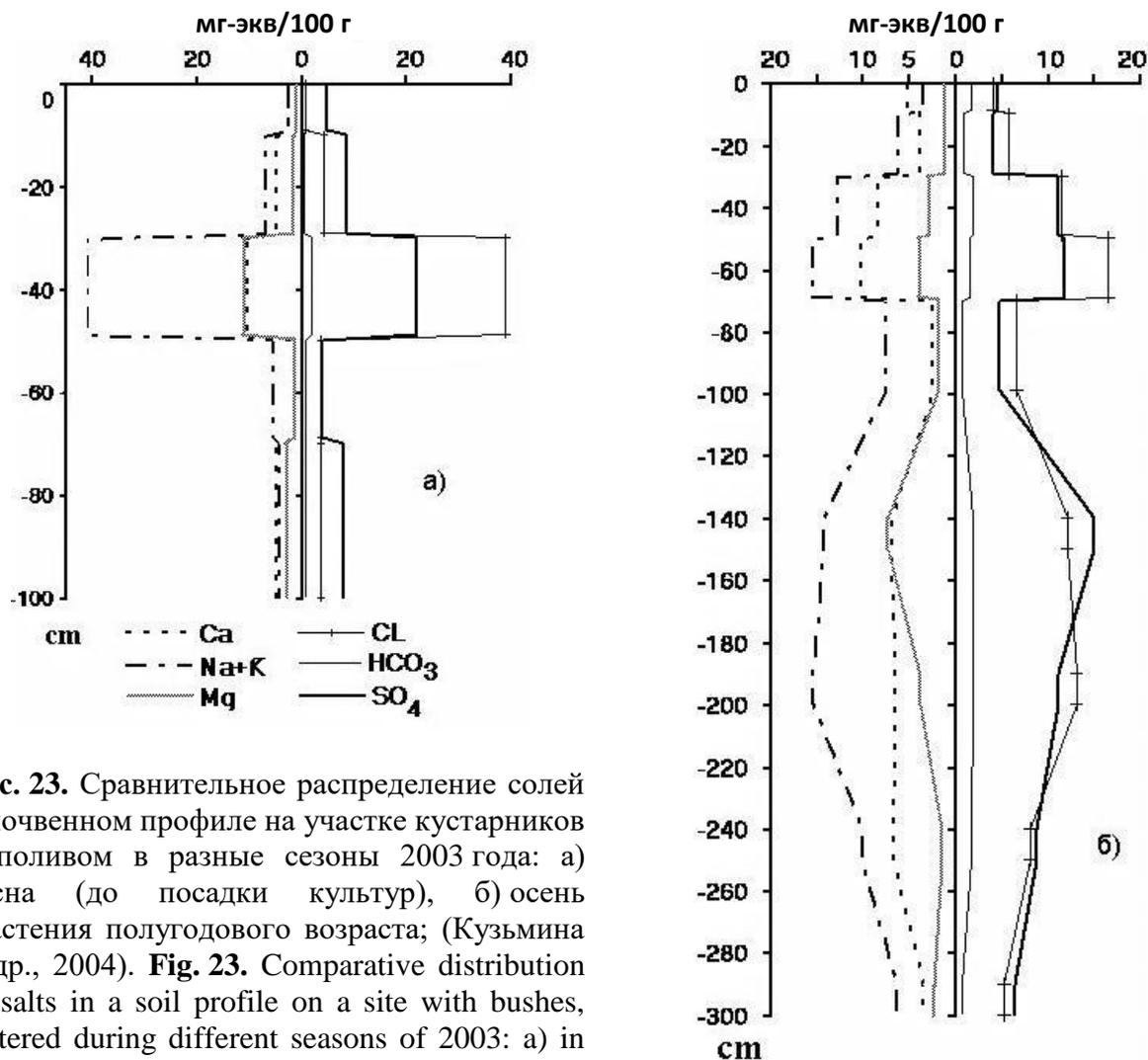
Исследователи (Кузьмина, Трешкин, 2006) отмечают, что из-за организационных трудностей количество поливов было трудно регулировать. В течение 2004 г. полив посадок кустарников производился два раза. Первый раз полив производился 15 мая 2004 г. и длился 4 часа с расходами воды 10 м<sup>3</sup>/час. Таким образом, участок в 0.5 га получил 40 м<sup>3</sup> воды. Повторный, более длительный и качественный полив, был осуществлен 7 и 9 июля 2004 г. в течение двух дней: 7 июля на участок в 0.5 га поступило 694 м<sup>3</sup> воды с минерализацией 2.3 г/л, а 9 июля – 936 м<sup>3</sup> с минерализацией 2.1 г/л. Общий объем поступившей воды на этот же участок составил в этот раз 1630 м.

В естественных условиях в годы с большим количеством зимне-весенне-летних осадков происходит сильное рассоление автоморфных солончаков в первом метровом слое почвы. Наибольшее рассоление испытывают верхние 30 см почвы (рис. 23).

Ж.В. Кузьмина и С.Е. Трешкин (2006) поясняют, что вода, подаваемая на участок, практически не задерживалась в междурядьях, а по глубоким суффозионным трещинам и просадкам уходила в нижележащие горизонты почвогрунтов, оставляя верхние 0.3-0.5 м, практически, сухими. Таким образом, полив на участке солончаков обсохшего дна Арала не имел ожидаемого эффекта, несмотря на внушающие объемы полива. Дальнейшие наблюдения (Кузьмина, Трешкин, 2010) позволили считать, что влагообеспеченность саженцев и сеянцев обеспечивалась влагой нижележащих горизонтов. Поддерживающие весенне-летние поливы посадок на солончаках улучшают показатели влажности почвы как в корнеобитаемом горизонте 40-110 см, так и в более глубоких слоях почвогрунтов – 200-300 см, не оказывая, однако, воздействия на верхние 0-20 см почвы.

*Приживаемость.* Длительные наблюдения за приживаемостью, выживанием и ростом растений на экспериментальных участках позволили Ж.В. Кузьминой и С.Е. Трешкину (2007, 2009) сделать ряд важных практических выводов. Оказалось, что в годы с благоприятными погодными условиями приживаемость кустарников достигает 32-59%, в годы с неблагоприятными погодными условиями – лишь 0.5-3.5%. В разные годы проведения исследований (начиная с 2002 г.) приживаемость саженцев саксаула в первый год после посадки очень сильно колебалась: от 46-59% (посадки 2003 г.) и 39-43% (2004 г.) до 2.5-3.5% (2007-2008 гг.) и 0.5% (2006 г.). Таким образом, в первое полугодие после посадки годовалых саженцев галофильных видов на солончаках наблюдался максимальный процент их отмирания. Затем в возрасте 3.5 года наступила активная фаза роста и развития; а начиная с 4-х лет выживание кустарников стабилизировалась, сохраняясь на одном уровне в течение последующих 3-х лет.

Попытки вырастить черенками *Calligonum caput-medusae* на солончаках обсохшего дна Аральского моря (в декабре 2002 г., апреле и декабре 2003 г.) при разной агротехнике (после боронования и по грядам) не удалось. Как при поливе, так и без полива приживаемость черенков *Calligonum caput-medusae* очень низкая (0.03-6.1%), что не соответствует поставленной задаче найти виды растений для мелиорации солончаков в производственных масштабах.



**Рис. 23.** Сравнительное распределение солей в почвенном профиле на участке кустарников с поливом в разные сезоны 2003 года: а) весна (до посадки культур), б) осень (растения полугодичного возраста; (Кузьмина и др., 2004). **Fig. 23.** Comparative distribution of salts in a soil profile on a site with bushes, watered during different seasons of 2003: a) in spring (before planting), b) in autumn (0.5-year-old plants; Кузьмина и др., 2004).

Результаты опытов также показали (Кузьмина и др., 2004), что у терескена (*Ceratoides papposa*) на солончаках всхожесть семян и приживаемость проростков были очень низкими. Поэтому также были сделаны выводы о непригодности использования этого вида для выращивания на солончаках.

*Рост и развитие саженцев.* Основной рост черного саксаула и черкеза на солончаках начинается в возрасте 3.5 года, в то время как на песчаных почвах к этому возрасту формируются уже полноценные сообщества высотой 2.5-3 метра. На солончаках же средняя высота 6.5-летних растений саксаула достигала всего лишь 170-190 см. Максимальный прирост высоты растения обоих видов дают в теплую половину года – с апреля по ноябрь, но при этом показатели хода роста у черкеза почти в два раза ниже, чем у саксаула. Первое

плодоношение опытных посадок саксаула и черкеза на солончаках отмечалось довольно поздно – только в возрасте 6 лет, а первое плодоношение терескена – в возрасте 4.5 года в сентябре 2008 г. (Кузьмина, Трешкин, 2010). После 6-летнего возраста саксаул начинает более активно увеличивать диаметр кроны, в то время как рост в высоту замедляется.

*Посев семенами* – сравнение с посадкой саженцами. После первых полутора лет сохранность в посевах (семенами) на слабозасоленных (0.3%) почвах составляла 70-80% от первоначально взошедших, но из-за внутривидовой конкуренции через каждые последующие полгода из состава сообществ выпадало до 50% от сохранившихся растений. Таким образом, сохранность посева черного саксаула на незасоленных почвах в Муйнакском районе через три года составила 8-10% от первоначальной. Поэтому был сделан вывод (Кузьмина, Трешкин, 2010), что на солончаках обсохшего дна Аральского моря, фитомелиорацию предпочтительно проводить саженцами одного года.

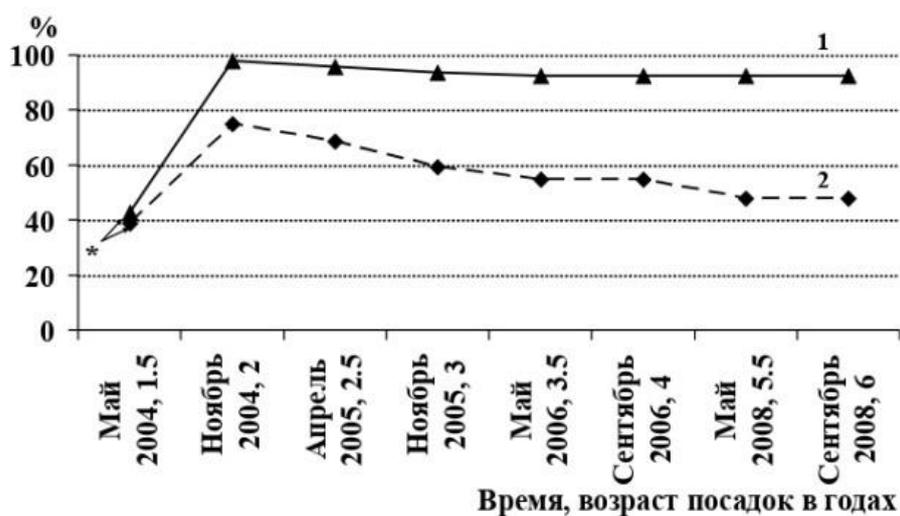
Сказанное позволяет считать, что посадки солевыносливых видов кустарников *Salsola richteri* и *Haloxylon aphyllum* на солончаках обсохшей части Аральского моря целесообразно проводить не семенами, а саженцами годовичного возраста, высотой 17-30 см (исключая посадку мелких, менее 10 см, растений), поскольку приживаемость и сохранность саженцев на сильнозасоленных почвах в первые два года после посадки в 10-50 раз выше, чем после посадки семенами.

*Роль полива.* Как видно из приведенных графиков, примененный поддерживающий полив обеспечивает повышение сохранности посадок саксаула в 2 раза и черкеза – в 3 раза, по сравнению с контролем (рис. 24 а, б). Однако он не сильно сказался на высоте растений саксаула по сравнению с контролем (рис. 24 а, б).

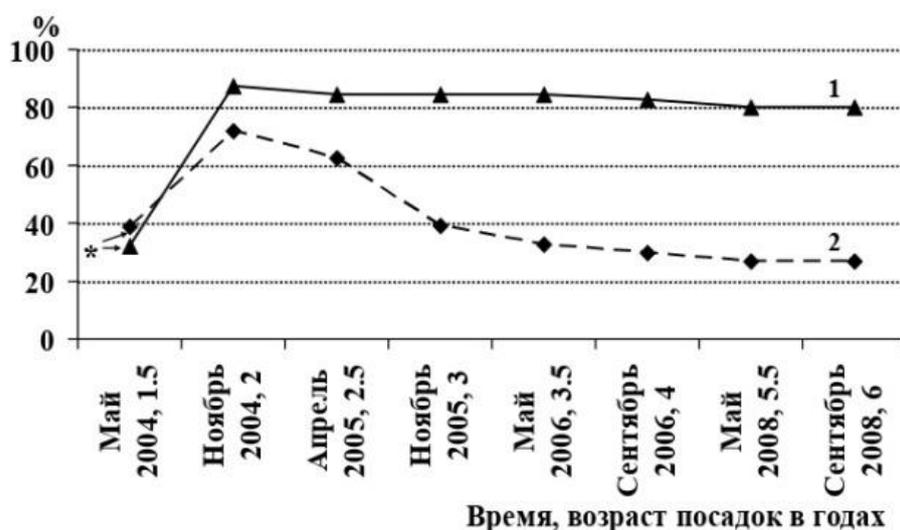
Низкорослые экземпляры саженцев саксаула и черкеза растут одинаково плохо как при поливе, так и без полива, поэтому на солончаках целесообразно использовать средний и высокий посадочный материал (высотой более 10 см). В целом, показатели роста саксаула и черкеза на солончаках с поливом и без полива все шесть лет мониторинга оказались достаточно близкими (рис. 25 а, б). Так, максимальная, средняя и минимальная высота растений черного саксаула в возрасте 6.5 лет в мае 2009 г. оказалась на участках посадок с поддерживающим поливом в рядах через 2 м – 289 см, 189.4 см и 75 см, а в контроле – 250, 170.1 и 95 см соответственно. Для черкеза максимальная, средняя и минимальная высота растений в возрасте 6.5 лет в мае 2009 г. на участках с поддерживающим поливом достигла – 188, 89.9 и 15 см, в контроле – 120, 50.1 и 13 см соответственно. Как видим, влияние поддерживающего полива для роста черкеза более существенно, чем для саксаула, поскольку увеличивает среднюю высоту растений на участках с поливом в 1.8 раза по сравнению с контролем. В тоже время поддерживающий полив саксаула почти не оказывает влияние на ход его роста.

*Влияние разной плотности посадки на рост и развитие.* Анализ распределения высоты растений черного саксаула на участках с поливом и в контроле для двух разных методов рядовой посадки (через 1 и 2 м) показал, что эти методы дают принципиально разные результаты (рис. 26). Так, для растений в возрасте 6.5 лет, посаженных в грядках через 1 м, распределение высоты отдельных экземпляров растений (рис. 26, кривая 1) всегда преобладало над распределением диаметра их кроны (рис. 26, кривая 2). При этом у растений, посаженных в грядках через 2 м, распределение диаметра кроны (рис. 26, кривая 4) всегда превышало распределение их высоты (рис. 26, кривая 3). Таким образом, показатели высоты саксаулов, посаженных через 1 м, были выше показателей диаметров крон в среднем на 20 см, в то время как у посаженных через 2 м крона была больше, чем высота – в среднем на 12 см. Кроме того, высота и диаметр крон растений, посаженных через 2 м (рис. 26, кривые 3 и 4), были больше, чем эти же параметры у растений, посаженных через 1 м (рис. 26, кривые 1 и 2) – на 10-33 см и 35-90 см соответственно, для основной

массы растений (для 89-93%, т. е. для средних и высоких экземпляров).



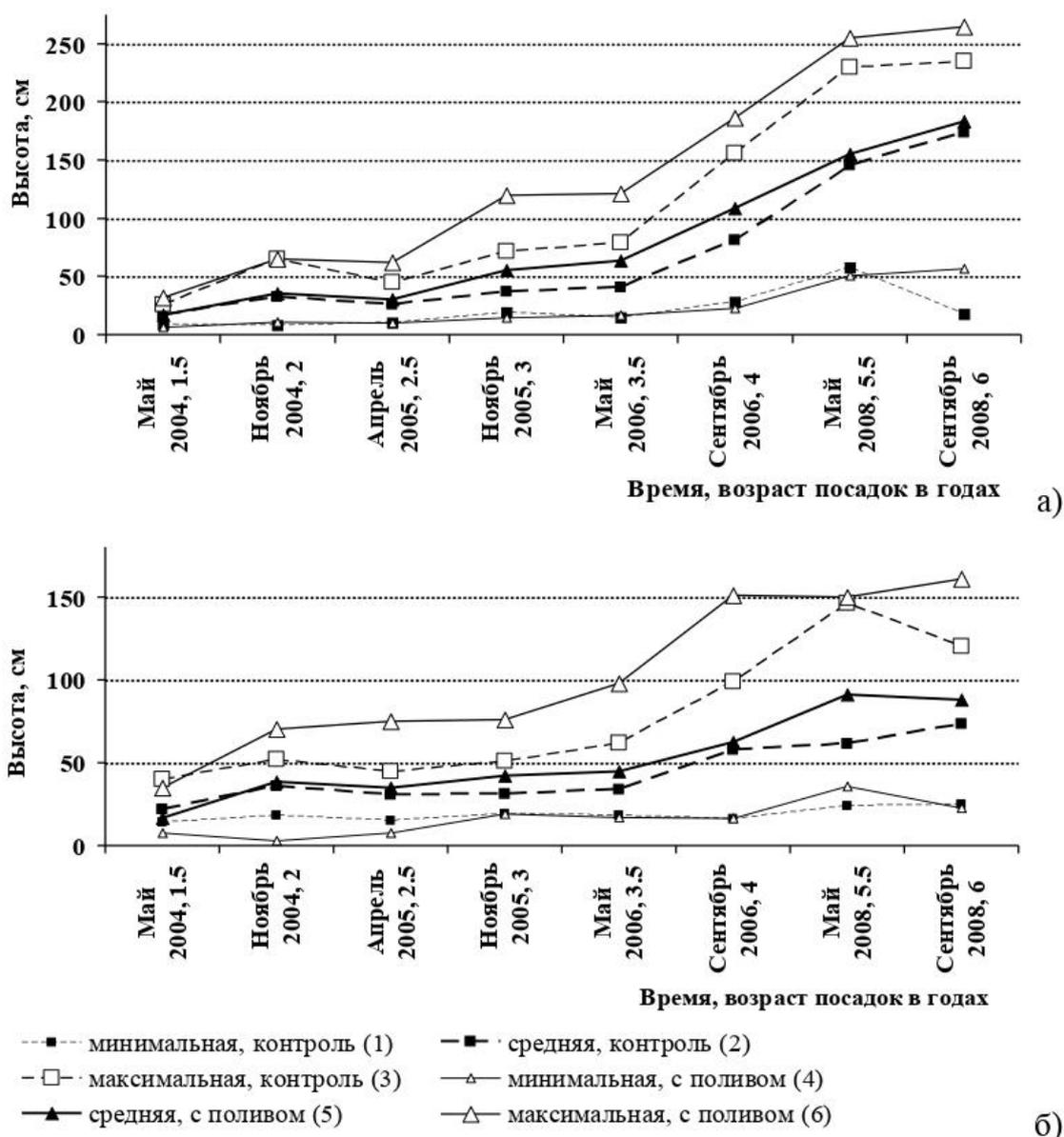
а)



б)

**Рис. 24.** Приживаемость (\*) и сохранность (%) растений саксаула (а) и черкеза (б) в посадках на обсохшем дне Аральского моря 1) с поддерживающим поливом в первые два года и 2) в контроле – без полива (Кузьмина, Трешкин, 2010). **Fig. 24.** Survival (\*) and adaptability (%) of *Haloxylon aphyllum* (а) and *Salsola richteri* (б) in automorphic solonchaks of the Aral Sea dried bottom 1) watered for the first 2 years and 2) not watered (Кузьмина, Трешкин, 2010).

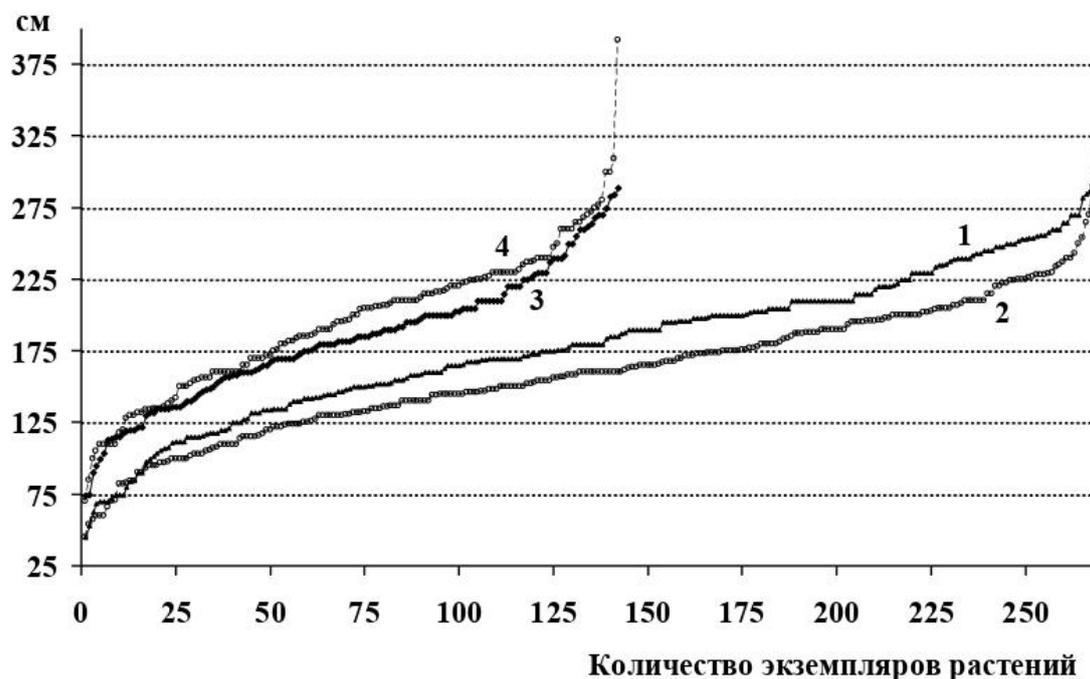
Благодаря поставленному эксперименту с посадками различной плотности удалось установить (Кузьмина, Трешкин, 2010), что на солончаках обсохшего дна Аральского моря диаметр кроны и высота растений саксаула зависят от тесноты посадки, а наиболее благоприятна для них более редкая посадка. Чем она теснее (через 1 м), тем ниже растения и меньше диаметр кроны, а высота преобладает над шириной кроны и формируются вытянутые растения. При более просторной посадке (через 2 м) растения вырастают крупнее и выше, ширина кроны преобладает над высотой, формируются большие экземпляры с более раскидистой кроной.



**Рис. 25.** Графики хода роста саксаула (а) и черкеза (б) с поддерживающим поливом в первые 2 года (сплошные кривые 4-6) и в контроле без полива (пунктирные кривые 1-3; Кузьмина, Трешкин, 2010). **Fig. 25.** The growth of *Haloxylon aphyllum* (а) and *Salsola richteri* (б) with sustaining watering during the first 2 years (curves 4-6) and without watering (dotted curves 1-3; Кузьмина, Трешкин, 2010).

*Сравнительные характеристики роста видов.* Длительные наблюдения за ростом видов и их отношением к влаге показали, что на солончаках обсохшего дна Аральского моря посадки черного саксаула (*Haloxylon aphyllum*) лучше переносят дефицит влаги при сокращении выпадения атмосферных осадков, чем посадки черкеза (*Salsola richteri*). В 2.5-4-летнем возрасте *Haloxylon aphyllum* дает больший прирост высоты, чем *Salsola richteri*. На солончаках черкез имеет также в два раза более низкую приживаемость в контроле, чем саксаул. После прекращения поливов сохранность терескена *Ceratoides papposa* падает на всех участках. Но при этом на участках, где ранее полив проводился, сохранность *Ceratoides papposa* остается выше в два раза. Его высота при поливе также остается больше в 1.5 раза.

Это, вероятно, можно объяснить рассоляющим воздействием на грунты, которое оказывают проведенные поливы.



**Рис. 26.** Распределения высот (кривые 1 и 3) и диаметров крон (кривые 2 и 4) растений черного саксаула 6.5-летнего возраста (в мае 2009 г.) на грядковых посадках через 1 м (кривые 1 и 2) и через 2 м (кривые 3 и 4; Кузьмина, Трешкин, 2010). **Fig. 26.** Distribution of the height (curves 1 and 3) and crown diameter (curves 2 and 4) of the 6.5-year-old black saxaul in May 2009, planted on ridges every 1 m (curves 1 and 2) and 2 m (curves 3 and 4; Кузьмина, Трешкин, 2010).

*Погодные условия.* Для хорошей приживаемости саженцев саксаула и черкеза на солончаках необходимы благоприятные погодные и климатические условия: в первую очередь повышенное количество атмосферных осадков (140-220 мм) по сравнению с нормой, а также не очень холодные зимы (со средней температурой в самый холодный месяц -1-2°C), не очень жаркое лето (со средней температурой в самый холодный месяц +26-27°C) и отсутствие заморозков в весенний период.

*Изучение влияния посадок на микроклимат* проводилось на экспериментальном участке весной 2008 года. Были организованы наблюдения за температурой (°C) и относительной влажностью воздуха (%), а также температурой почвы и влажностью воздуха в порах почвы на разных глубинах (40, 100, 150 см) под 5.5-летними растениями. Для этой цели использовались автоматические приборы-регистраторы температуры и относительной влажности (iBDL – Termohygrograph DS1923-F5, Termochron DS1922L-F5, Hygrochron DS1923-F5).

Наблюдения показали, что на участках с посадками саксаула на обсохшем дне Аральского моря в течение всего года отмечается достоверное понижение средней суточной температуры воздуха на 0.9-1°C по сравнению с оголенными участками без растительности. При этом только в холодное полугодие (с октября по апрель) отмечается достоверно значимое увеличение относительной влажности воздуха на участках под саксаулом по сравнению с оголенными участками без растительности. Выявленные изменения (Кузьмина, Трешкин, 2009) объясняются влиянием жизнедеятельности растений на окружающую среду.

Ж.В. Кузьмина и С.Е. Трешкин (2013) выполнили еще одно важное исследование –

изучили роль глубины залегания УГВ для последующего развития саженцев черного саксаула. Рассматриваются два участка посадок саксаула на обсохшем дне Аральского моря, выполненных Муйнакским лесхозом Республики Каракалпакстан в декабре 2004 г. Территория этих участков освободилась из-под воды в 2000-2001 гг., и в период посадки в декабре 2004 г. они имели различный уровень УГВ. На участке № 1 они находились на глубине 0.5 м, на участке № 2 – 0.7 м. Участок № 1 расположен примерно в 45 км (фото 8), его координаты: 44° 09' 31.30"-44° 09' 26.40"-44° 09' 27.80"-44° 09' 31.9" с.ш., 58° 51' 58.50"-58° 52' 04.60"-58° 52' 02.40"-58° 51' 57.60" в.д. Участок № 2 расположен в 42 км (фото 9) к северу от поселка Муйнак на обсохшем суглинисто-песчаном дне Аральского моря, представляющем собой гидроморфные солончаки с поверхностной плотной корочкой солей, которые появились в результате обсыхания моря; его координаты: 44° 02' 31.49"-44° 02' 36.62"-44° 02' 37.16"-44° 02' 27.56" с.ш., 58° 44' 51.12"-58° 44' 48.61"-58° 44' 56.43"-58° 44' 54.00" в.д.

Посадки проводились механизированным и ручным способами стандартным широкорядным методом: 10 м между рядами. Механизировано вдоль каждого ряда прокладывалось углубление (на 25-30 см) для удаления поверхностной солончаковой корки и последующего сбора атмосферных осадков. Затем вручную через каждые 1.5 м высаживались однолетние саженцы черного саксаула. В дальнейшем эти посадки не обводнялись и никакого дополнительного ухода за ними не проводилось. Ввиду большой удаленности этих участков от поселка Муйнак и при отсутствии дорог можно считать, что после посадки саженцев на них не оказывалось никакого прямого антропогенного воздействия и все процессы имеют естественный генезис.



**Фото 8.** Грядовые посадки саксаула черного на участке № 1 в 45 км к северу от пос. Муйнак, фото сделано 31 августа 2011 года (Кузьмина, Трешкин, 2013). **Photo 8.** Ridge plantings of black saxaul at the plot No. 1, 45 km north to Muynak Village, photo made on August 31, 2011 (Кузьмина, Трешкин, 2013).

Анализ данных показал, что в 2008-2010 гг. положение УГВ и засоление почв на двух рассматриваемых участках несколько отличалось. Участок № 1 имел более близко залегающие к поверхности (150 см) и более минерализованные (30.0%) ГВ с менее засоленными почвами (до 1% по ср. взв. зас.) по сравнению с участком № 2, у которого УГВ (160 см) были менее минерализованными (18.0%), и почвы – более засоленными (1.5% по ср. взв. зас.). К осени 2011 г. УГВ и засоление почв на участке № 2 значительно понизились: до

210 см и до 1.0% соответственно, – в то время как на участке № 1 УГВ понизился лишь немного, а засоление значительно повысилось: 150 см и 1.0% соответственно.



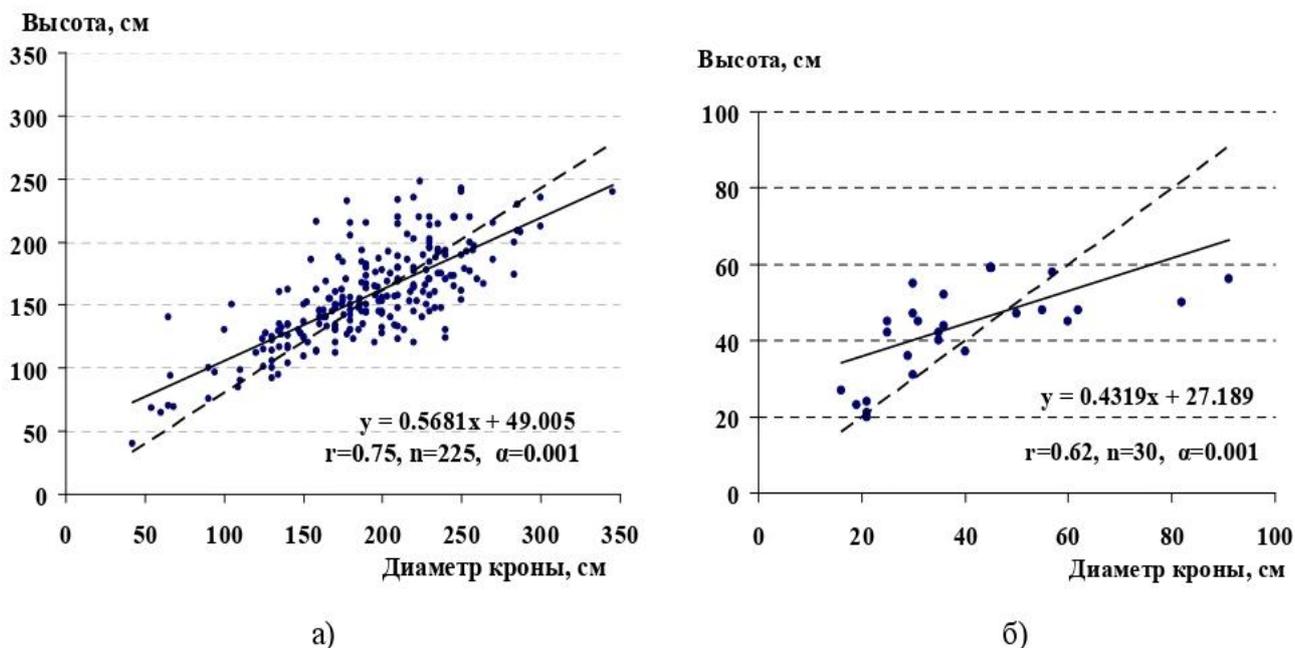
**Фото 9.** Грядковые посадки саксаула черного на участке № 2 в 42 км к северу от пос. Муйнак, фото сделано 1 сентября 2011 г. (Кузьмина, Трешкин, 2013). **Photo 9.** Ridge plantings of black saxaul at the plot No. 2, 42 km north to Muynak Village, photo made on September 1, 2011 (Кузьмина, Трешкин, 2013).

В ходе исследований было установлено, что участок № 1 по характеристикам положения и засоления ГВ и почв был менее благоприятным по сравнению с участком № 2, в то время как метод и агротехника посадок на обоих участках были идентичны. Такое положение существенно отразилось на развитии высаженных растений и формировании у них полноценной кроны. После посадки приживаемость саксаула на участке № 1 составила 32%, т.е. в полтора раза ниже, чем на участке № 2, а средние показатели высоты растений, диаметров крон и диаметров корневых шеек в мае 2008 г. в возрасте 4.5 года (спустя 4 года после посадки) составляли здесь 138.5, 154.0 и 1 см соответственно. При этом основная масса растений была высотой от 50 до 152 см, с диаметром кроны от 100 до 175 см и диаметром корневой шейки от 0.5 до 3.5 см. К осени 2011 г., т.е. в возрасте 7 лет, основная масса растений на участке № 1 имела высоту от 65 до 220 см, диаметр кроны – от 90 до 270 см (рис. 27), корневой шейки – от 3 до 10 см при средних показателях 157.9, 191.4 и 6.9 см соответственно. Таким образом, в возрасте 7 лет на участке с худшими условиями среды посадки саксаула оказались в 1.5 раза мельче, чем на участках с более благоприятными, они не добрали в росте и диаметре кроны примерно по 1 м, а их стволы были тоньше на треть (фото 8, 9).

На гидроморфных солончаках с меньшим засолением почв и более заглубленными грунтовыми водами показатели роста, приживаемости, сохранности и семенного возобновления саксаула оказались значительно выше (рис. 27).

Нужно отметить также, что разница в условиях местообитаний двух участков не отразилась на изменении возраста первого успешного плодоношения саксаула черного на гидроморфных солончаках, однако существенно повлияла на количество, качество и сохранность самосева саксаула, который наблюдался в апреле-мае 2010 г. и осенью 2011 г. от осеннего плодоношения саженцев 6-летнего возраста. Первое успешное семенное возобновление от плодоносящих высаженных растений саксаула наблюдалось на гидроморфных солончаках в возрасте 6 лет. Весной 2010 года на участке № 2 было

зарегистрировано огромное количество сеянцев 3-месячного возраста. На стандартной модельной площадке  $1 \text{ м}^2$  их насчитывалось в среднем 245 штук (от 208 до 350), в то время как на участке № 1 их было в 2-4 раза меньше. К осени 2011 года на участке № 1 на стандартной площадке сохранилось в среднем по 46 сеянцев (от 38 до 61) в возрасте 1.5 года. В это же время на участке № 2 на аналогичной площадке осталось в среднем по 40 сеянцев (от 30 до 48; рис. 27).



**Рис. 27.** Зависимость диаметров кроны от высоты растений саксаула черного (*Haloxylon aphyllum*) в разном возрасте на гидроморфных солончаках обсохшего дна Аральского моря: а) 7 лет на участке № 1, б) 1.5 года на участке № 2. Условные обозначения: точка – элемент фактической выборки, сплошная линия – линейный тренд выборки с его уравнением и коэффициентом корреляции ( $r$ ), пунктирная линия – прямая прямо пропорциональной зависимости  $y=x$  для сравнения отклонения тренда (Кузьмина, Трешкин, 2013).

**Fig. 27.** Black saxaul (*Haloxylon aphyllum*) crown diameter dependence on the plants height of different ages, growing on the hydromorphic alkaline soils of Aral Sea dry bottom: а) 7-year-old at the plot No. 1, б) 1.5-year-old at the plot No. 2. Legend: dots – elements of the actual sample, solid line – linear trend of the sample, with its equation and correlation coefficient ( $r$ ), dotted line – straight line of the directly proportional relation ( $y=x$ ) to compare the trend deviation (Кузьмина, Трешкин, 2013).

Так, всходы саксаула в возрасте 3 месяцев в начале мая 2010 г. на участке № 2 имели в основной массе высоту от 2 до 9 см, при этом средняя, максимальная и минимальная высота растений из этой измеренной выборки ( $n=558$ ) составляли 6.3, 10 и 1 см соответственно. К осени 2011 г. основная масса самосева саксаула на участке № 2 выросла и достигла высоты от 27 до 109 см, а средние, максимальные и минимальные значения высоты 1.5-годовалых растений ( $n=102$ ) составили 62.0, 109 и 20 см соответственно. Видно, что благоприятные условия местообитаний благотворно влияют только на количество и всхожесть самосева, при этом его сохранность, по-видимому, в большей степени зависит от погодных условий.

Таким образом, можно сказать, что в результате проведенных экспериментальных работ (Кузьмина, Трешкин, 2007, 2009, 2010, 2013; Кузьмина и др., 2004, 2006) была выведена технология закладки участков; испытаны и предложены виды древесных и кустарниковых

солеустойчивых видов, перспективных для фитомелиорации солончаков; установлено, что черный саксаул и черкез предпочтительней высаживать однолетними саженцами, что саксаул можно выращивать без полива, а более успешное его развитие идет в условиях гидроморфных солончаков; выяснено, что выживание саженцев в первые годы их жизни протекает успешнее при относительно более влажных и теплых (особенно зимних) погодных условиях. Черкез и черный саксаул начинают плодоносить в 6-летнем возрасте, что способствует появлению самосева.

Эксперименты с целью разработки технологии создания пустынных пастбищ на обсохшем дне Аральского моря проводились в 2003 г. на землях совхоза «Арал» в Муйнакском районе Каракалпакии на участке, расположенном на обсохшем дне моря (43°41.35' с.ш., 59°3.96' в.д.) со слабозасоленными отакырными почвами (Кузьмина и др., 2004). Ранее в СССР теоретические и практические вопросы создания пустынных пастбищ в условиях пустынных плакоров развивались крупнейшими учеными страны, академиками Н.Т. Нечаевой и З.Ш. Шамсутдиновым (Нечаева, 1989; Нечаева, Шамсутдинов, 1990; Шамсутдинов 1975; Шамсутдинов З.Ш., Шамсутдинов Н.З. 2010). Согласно разработанным ими теоретическим положениям, пустынные пастбища должны быть многоярусными, включать растения разных жизненных форм из природных биоценозов (деревья, кустарники, полукустарники, полукустарнички, многолетние и однолетние травы), чтобы оптимально использовать ресурсы экологической ниши. Вероятно, учитывая это, в эксперименте были использованы древесные, кустарниковые и травянистые виды.

Посев осуществлялся 3-4 апреля 2003 года семенами, собранными авторами осенью 2002 года в регионе проведения работ. Перед полевыми работами были выполнены контрольные лабораторные измерения всхожести семян в четырехкратной последовательности для каждого вида. Средняя всхожесть семян для *Ceratoides papposa* составила 48%, для *Haloxylon aphyllum* – 40%, для *Climacoptera lanata* – 36%, для *Kochia iranica* – 47%. Прорастание происходило в разные сроки: *Kochia iranica* и *Climacoptera lanata* – в период с 7-го по 15-ый день от начала посадки, *Haloxylon aphyllum* – с 7-го по 14-ый день, *Ceratoides papposa* – с 8-го по 16-ый день.

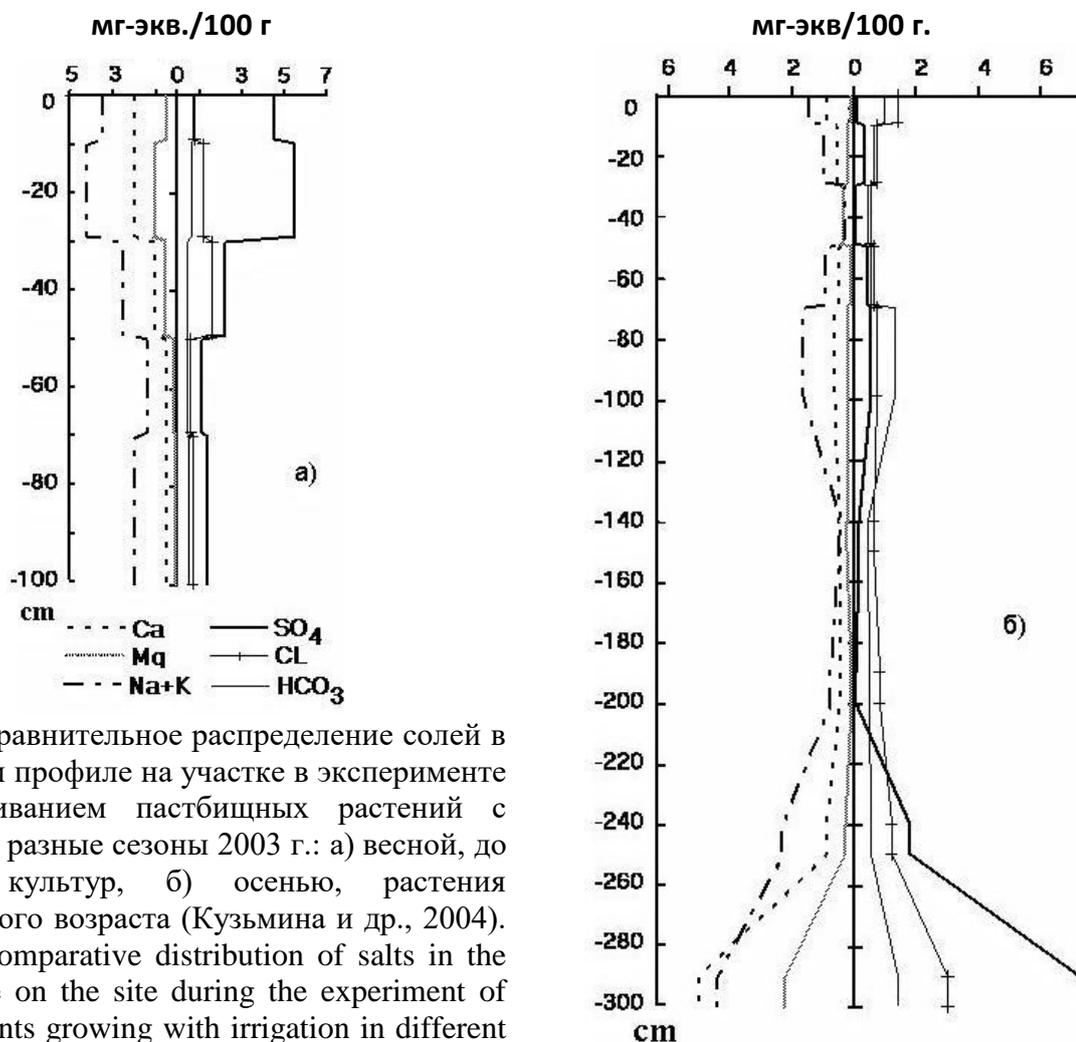
Для Каракалпакии 2003 год, по данным авторов, был необычайно дождливым, последний «весенний» ливень прошел в середине июня, а первые сильные осенние дожди начались уже 5 сентября. На экспериментальном участке были заложены два варианта опыта: с поливом и контрольный – без. Из-за погодных условий полив осуществлялся лишь дважды: один раз – при посадке растений в начале апреля, второй раз – 6 августа 2003 года.

Почвы на участке были представлены пустынными песчаными, слабо сформированными отакырными легкосуглинистыми на песчаных морских отложениях (рис. 28 а), слабозасоленных (промытых) с поверхности (0.35%) и средnezасоленных с глубины 3 м (0.78%), хлоридно-сульфатного кальциево-натриевого типа засоления.

К осени (рис. 28) почвенный профиль оказался свободным от солей до глубины 70 см. Ниже, в горизонте 70-130 см, произошло некоторое уменьшение солей, но больше, чем в предыдущем горизонте. Далее до глубины 200 см почва оказалась не засолена. Рассоление почвенного профиля, установленное Ж.В. Кузьминой с соавторами (2004; рис. 28 а, б), демонстрирует явление, редкое для этого региона, которое можно объяснить не растительностью и поливом, а аномально высокими значениями осадков (годовая сумма – 200 мм), выпавших в основном за вегетационный период.

Полученные в рассматриваемых опытах результаты по роли полива при посевах пустынных растений оказались неординарными. Сопоставление габитуса изеня (*Kochia iranica*) осенью в разных опытах показало, что его высота в варианте без полива (в естественных условиях) была выше (рис. 29). Наибольшая густота стояния растений *Kochia iranica* также отмечалась на контрольных участках. Подобные результаты характерны

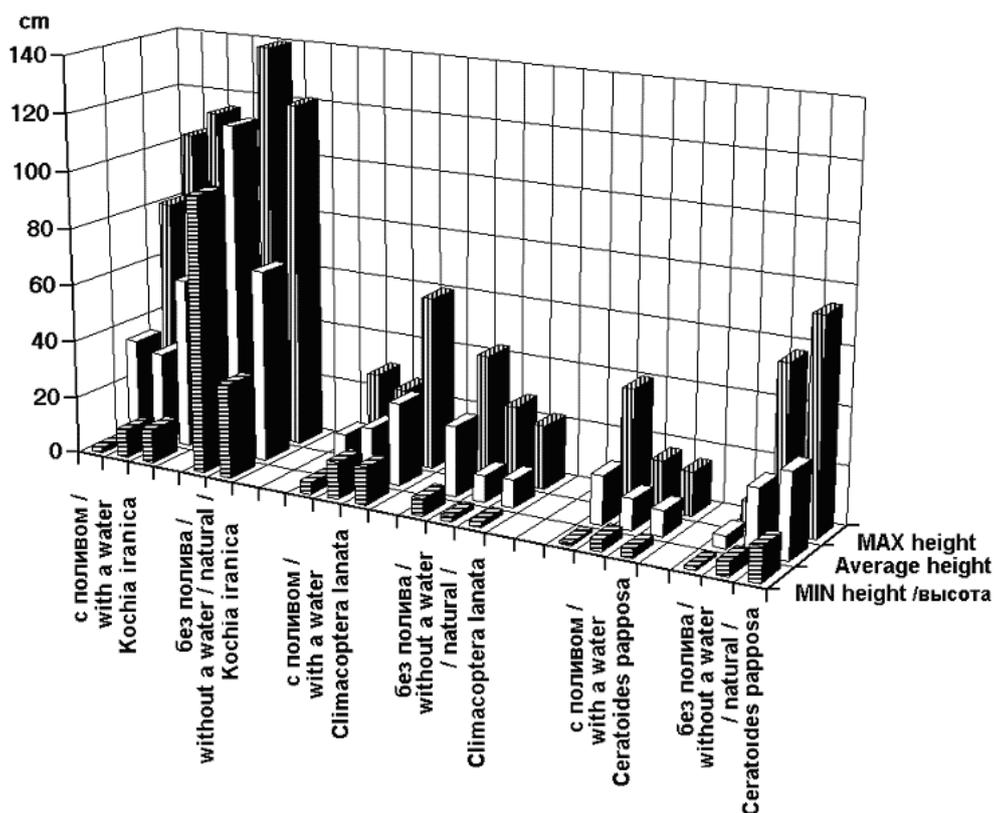
и для полукустарника терескена (*Ceratoides papposa*): его высота и густота стояния растений также была выше на контрольных участках, чем при поливе. И только для летне-осеннего однолетника солеустойчивого вида (*Climacoptera lanata*) результаты контроля были хуже, чем результаты с поливом. Оказалось, что при поливе он дает большую жизненность (4-5 баллов) и высоту при меньшем количестве экземпляров по сравнению с контролем.



**Рис. 28.** Сравнительное распределение солей в почвенном профиле на участке в эксперименте с выращиванием пастбищных растений с поливом в разные сезоны 2003 г.: а) весной, до посадки культур, б) осенью, растения полугодового возраста (Кузьмина и др., 2004).  
**Fig. 28.** Comparative distribution of salts in the soil profile on the site during the experiment of pasture plants growing with irrigation in different seasons of 2003: a) spring, before planting crops, b) autumn, plants of six-month age (Кузьмина и др., 2004).

В ходе экспериментальных работ при выращивании черного саксаула (*Haloxylon aphyllum*) из семян было установлено (Кузьмина и др., 2016), что первый полив во время посева действует угнетающе на его прорастание на солончаковых почвах. На контрольном участке без полива появляется в 2.5-3 раза больше всходов. Однако потом в период знойного лета дополнительный полив соленой водой способствует сохранению в 4-5 раз большей доли проростков.

Многолетние эксперименты в Южном Приаралье, выполненные Ж.В. Кузьминой с соавторами (2004, 2006), показали, что на слабозасоленных почвах Южного Приаралья выращивание однолетника *Kochia iranica* и полукустарника *Ceratoides papposa* в условиях повышенных атмосферных осадков можно проводить без полива, но для однолетника-галофита *Climacoptera lanata* полив необходим. При выращивании черного саксаула из семян на солончаках обсохшего дна Аральского моря полив засоленной водой необходим в летний период.



**Рис. 29.** Сравнительное распределение средней, максимальной и минимальной высоты растений в конце вегетационного периода для трех видов (*Kochia iranica*, *Climacoptera lanata*, *Ceratoides papposa*) при поливе и без (Кузьмина и др., 2004). **Fig. 29.** Comparative distribution of average, maximal and minimal plant height at the end of the growing season for three species (*Kochia iranica*, *Climacoptera lanata*, *Ceratoides papposa*) with and without watering (Кузьмина и др., 2004).

Фитомелиорация обсохшего дна Аральского моря – проблема, которая привлекает в настоящее время научное сообщество всего мира. Ученые многих стран (Израиля, Германии, Японии, Франции и др.) сами и с участием национальных команд из Казахстана, Узбекистана и России осуществляли проекты по разработке новых и использованию уже существующих технологий выращивания и проводили посадки массивов древесно-кустарниковых видов. В Южном Приаралье успешно работает проект по привлечению туристов из-за рубежа к посадке саженцев на дне высохшего моря (фото 10). В рекламе этого проекта объясняется, что высадка деревьев и кустарников позволит создать обширные лесные массивы, способные улучшить климатические условия региона. Для этого власти Муйнакского района выделили 4.3 га земель с благоприятными мелиоративными условиями в районе бывшей подводной части дельты Амударьи. По мнению экспертов, высадка растений в основном должна удерживать пыль со дна, которая разносится ветрами на сотни километров и пагубно влияет на местную фауну и флору (Сатановская, 2020).

Неожиданный и практический значимый вклад в проблему фитомелиорации морского дна внесли ученые из Китая (Kim et al., 2020), которые провели исследование, чтобы на основе данных дистанционного зондирования выявить на обсохшем дне Аральского моря территории, пригодные по экологическим показателям для фитомелиорации. Они использовали такие показатели, как нормализованный разностный вегетационный

индекс (NDVI), показатель гранулометрического состава верхнего слоя грунтов (TGSI), показатель засоления почв (ССИ) и нормированный индекс засушливости (NMDI), которые были получены с помощью спутниковых изображений. Затем значения NDVI были разделены на три группы и положены в основу классификации других показателей путем проведения статистического анализа. На основе метода дерева решений были объединены индексы и выявлена площадь, потенциально пригодная для произрастания растительности, и составлена карта. В результате NDVI был выше на юго-востоке, чем на западе исследуемой территории. Результаты статистического анализа показали, что индекс фитомассы (NDVI) имеет положительную корреляцию с индексом гранулометрического состава грунтов (TGSI), в то время как с показателем засоления почв (SSI) и индексом засушливости (NMDI) корреляция отрицательная. Исходя из этого, потенциальная площадь для проведения посадок была определена равной 7295.21 км<sup>2</sup> (61.34%), «неподходящая» – 2818.64 км<sup>2</sup> (23.7%), «промежуточная» – 1612.15 км<sup>2</sup> (13.56%), «очень подходящая» – 166.42 км<sup>2</sup> (1.4%). Полученная информация представлена в картографическом виде, и с ее помощью можно определить на морском дне положение каждого конкретного участка территории, перспективного для фитомелиорации с экологических позиций. Китайские авторы (Kim et al., 2020) отмечают, что своей работой они хотели внести вклад в планирование восстановления и предотвращения деградации земель в этом регионе.



**Фото 10.** Посадки саксаула туристами на обсохшем дне моря (Сатановская, 2020).

**Photo 10.** Black saxaul planted by tourists on the dry sea bottom (Сатановская, 2020).

Представляется весьма перспективной работа, в ходе которой можно было бы посетить эти участки и с помощью экспресс-методов оценить их мелиоративные характеристики по физическим показателям, предложенным В.С. Кавериним с соавторами (2005), выделившим также 4 категории земель по экологически близким физико-химическим показателям условий мелиоративного освоения: литологии отложений, засолению корнеобитаемого слоя,

содержанию ионов Cl и SO<sub>4</sub>, глубине залегания и минерализации грунтовых вод.

### Выводы к разделу

Анализ публикаций по проблеме фитомелиорации обсохшей части морского дна показал, что к настоящему времени проведен большой объем экспериментальных натурных работ, который позволил:

- получить характеристики обсохшего морского дна и выделить 4 категории экологических условий для проведения фитомелиорации на основании оценки типа отложений по гранулометрическому составу, засолению в корнеобитаемой толще и глубине залегания грунтовых вод;

- выявить виды, наиболее перспективные для мелиорации самых сложных в мелиоративном отношении солончаков на суглинистых и глинистых отложениях территорий, обсохших в период с 1970-х по 1990-е годы: черный саксаул (*Haloxylon aphyllum*), сарсазан (*Halochneum strobilacea*), а также однолетние солянки *Climacoptera aralensis*, *Halogeton glomeratus*, *Atriplex pratovii*, *Suaeda acuminata*. Для менее засоленных почв суглинисто-супесчаного состава возможно также использовать черкез (*Salsola richteri*).

- узнать, что черный саксаул и черкез предпочтительней высаживать годовалыми саженцами высотой 17-30 см;

- разработать технологии для осуществления фитомелиоративных работ, которые будут учитывать мелиоративные особенности конкретных участков;

- установить, что черный саксаул и сарсазан предпочтительней использовать в посадках на участках с гидроморфными условиями, а сарсазан – при УГВ не глубже 1.5 м;

- узнать, что дополнительный полив солеными водами с минерализацией до 2.5 после посадки саженцев повышает выживание саженцев черкеза и солянки (*Climacoptera lanata*);

- выяснить, что популяции травоядных представляют опасность для выживания проростков и молодых саженцев;

- установить, что приживаемость и сохранность саженцев на сильнозасоленных почвах в первые два года после посадки в 10-50 раз выше, чем после посадки семенами;

- узнать, что на слабозасоленных почвах и солончаках Южного Приаралья наиболее благоприятными для формирования растительного покрова из многолетника *Ceratoides papposa* и однолетника *Kochia iranica* можно считать естественные условия (без полива). Высота растений *Ceratoides papposa* (средняя и максимальная) годового и полуторагодичного возрастов остается выше без поливов; кроме того, без полива на солончаках также выше всхожесть семян и приживаемость растений.

### Заключение

Аральский кризис, начавшийся в 1960-х годах, в своей экологической части продолжается в течение 60 лет. Тем не менее, трансформация природной среды Приаралья, обусловленная падением уровня моря и сокращением огромного зеркала его водной поверхности, не закончена. Благодаря исследованиям, проводимых в режиме мониторинга, поступает информация о стабилизации отдельных процессов и завершении переформирования природных комплексов и объектов природной среды. Так, в начале 2000-х годов стало известно о стабилизации уровня Малого моря и восстановлении его солоноватоводной экосистемы (The Aral Sea ..., 2014), а затем – и о стабилизации водного баланса Западной части Большого моря (Аральское море ..., 2012).

Анализ исследований, посвященных изучению изменения климатических параметров в связи с развитием Аральского кризиса, показал, что к концу 1990-х годов на

метеорологических станциях Приаралья произошло сближение их значений и годового хода со значениями близлежащих пустынных метеостанций, что очень четко показано в работе В.Е. Чуба (2007). Таким образом, это исследование позволяет нам сделать вывод о завершении изменения климата Приаралья в связи с падением уровня моря и сокращением его водной поверхности. Современный климат Приаралья и его изменения теперь обусловлены уже циркуляционными процессами, происходящими на территории Средней Азии, и в настоящее время их тенденция определяется как аридное потепление (Кузьмина, Трешкин, 2016). При общем потеплении климата в будущем увеличивается вероятность появления интенсивных «волн жары» (период с очень высокой температурой воздуха, выше 39°C) и сохраняется вероятность «волн холода». Для Средней Азии характерны смены циркуляционных (синоптических) эпох, в которые одновременно происходит согласованное изменение температурного режима, осадков и скоростей ветра. Одна из таких смен произошла в 1960-х годах, когда отмечалось снижение температуры воздуха, увеличение годовых сумм осадков и уменьшение скорости ветра, что способствовало замедлению падения уровня моря и развития экологического кризиса в Приаралье (Молоснова и др., 1987; Субботина и др., 1995; Инагамова и др., 2002; Субботина, Чанышева, 2006; Чуб, 2007). Исследования, посвященные пыльным бурям – наиболее опасному явлению, все еще формирующемуся на обсохшем дне моря, показали, что для их активности характерны периоды усиления и спада, что связано с изменением силы ветра в разные климатические эпохи до тех пор, пока поверхность обсохшего морского дна не будет закреплена растительностью или не окажется вновь под водой.

Изучение изменения климата в ходе Аральского кризиса в основном проходит на основе сравнения средних значений параметров по десятилетиям и сопоставления их значения на метеостанциях, располагавшихся ранее на островах и побережье Аральского моря, а также находящихся в пустыне. Для оценки значимости происходящих изменений Ж.В. Кузьмина и С.Е. Трешкин (2016) предложили относительный коэффициент изменений, позволяющий в процентах оценить его изменение от всего размаха изменений (амплитуды его колебания) за исследуемый период. Представляется, что использование этого коэффициента весьма перспективно наряду со средними значениями параметров и значениями их максимальных и минимальных отклонений, поскольку создается возможность со временем разработать соответствие значений этого коэффициента и их экологического содержания.

Наблюдения за основными показателями климата в Приаралье и Средней Азии постоянно ведутся на большом числе метеостанций. Часть из них входит в международную систему метеонаблюдений и доступна для исследователей. На территории Приаралья таких метеостанций только две: Аральск (Аральское море) и Чимбай, хотя существует достаточно густая метеосеть республиканского значения. Республика Узбекистан в 1993 году подписала Рамочную Конвенцию ООН об изменении климата, а в ноябре 1998 года – Киотский протокол, который был ратифицирован Олий Мажлисом в 1999 году, поэтому Центр гидрометеорологической службы при кабинете министров Республики (Узгидромет) под руководством национального координатора Конвенции периодически подготавливает национальные сообщения об изменении климата. В рамках этих сообщений имеется раздел, посвященный северным районам Республики, включая Приаралье. Таким образом, мониторинг климата Приаралья ведется на высоком международном уровне, в том числе разрабатывается прогноз дальнейших изменений. Научные исследования по климату и его изменению ведутся в Центре гидрометеорологической службы при Кабинете Министров РУз (Узгидромет) и Научно-исследовательском гидрометеорологическом институте Республики Узбекистан.

Обсохшее дно Аральского моря в настоящее время представляет собой одно из основных звеньев продолжающегося Аральского кризиса. Проведенные исследования показали, что эволюция природных комплексов обсохшего дна в направлении формирования комплексов

пустынного типа находится в самом начале своего развития и, вероятно, наряду с динамикой остаточных водоемов будет продлевать существование Аральского кризиса на неопределенно длительное время.

Исследования, посвященные естественному зарастанию морского дна, свидетельствуют о том, что растительность осваивает новую сушу очень медленно. Площадь самозарастания на 2017 г. составляла 200 тыс. га. Участки, освободившиеся от воды после 2000-х годов, пока не зарастают. Данные длительных наблюдений за формированием природных комплексов на топо-экологических профилях на новой суше вблизи береговой линии 1960-х годов, начатые в 1970-1980-х годах (Курочкина, 1979; Курочкина и др., 1983, 1991; Макулбекова, 1979; Вухрер, 1979, 1990; Ишанкулов, 1980, 1985; Можайцева, 1979; Некрасова, 1979; Костюченко, 1979; Корниенко и др., 1983, 1985; Грязнова, 1979) и продолжающиеся по настоящее время (Вухрер, Брекле, 2003; Димеева, 2007, 2011), послужили основанием для обобщений о закономерностях формирования рельефа, почв, ландшафтов, растительности на новой суше.

Важное теоретическое обобщение о типах первичных сукцессий растительности, факторах их развития, изменении во времени видового богатства, фитоценотической сформированности, скорости и направлении смен сообществ, завершающих стадиях, сделала Л.А. Димеева (2011). Ее исследование дало возможность сделать вывод о том, что большая часть существующих на морском дне растительных сообществ, прошедших длительный путь развития (более 50 лет) на прибрежных участках дна, все еще находится на начальных стадиях формирования (Димеева, 2006, 2011).

Фитомелиорация – основной путь ускорения формирования природных комплексов на обсохшем дне моря и предотвращения пыльных бурь и пыле-солевыноса на прилегающие и отдаленные территории. Экспериментальные работы по формированию лесопосадок и публикации полученных результатов активно развивались в период 1990-2010-х годов, а в последние годы практически не велись. Рассмотрение результатов исследований коллективов казахских, узбекских и российских ученых (Каверин и др., 2005; Димеева и др., 2000, 2006, 2017, 2018; Кузьмина и др., 2004, 2006; Кузьмина, Трешкин, 2007, 2009, 2010, 2013) показало, что к настоящему времени проделана огромная работа и выполнена разработка типологии лесорастительных условий обсохшего морского дна, методов и технологий фитомелиорации для повышения выживания сеянцев и саженцев и особенностей развития растений-фитомелиорантов при разных технологиях и условиях выращивания.

Международное научное сообщество понимает высокую значимость проблемы фитомелиорации, и ученые разных стран (Германии, США, Японии, Франции) принимают активное участие в разработке проектов по проведению экспериментов и практических работ по фитомелиорации. В Узбекистане на государственном уровне разработан постоянно действующий проект по формированию лесопосадок на обсохшем дне моря.

К 2017 г. общая площадь лесопосадок, по данным МЦ КВК, достигла 500 тыс. га при площади обсохшего дна 4.7 млн. га.

Обсохшее дно моря в настоящее время – основной объект природной среды в рамках Аральского кризиса, который продолжает развиваться и нести в себе угрозу пылевыноса на обширные территории пустынь, по-прежнему требуя ведения не только наблюдений за развитием природных комплексов, особенно процессов засоления-рассоления и перемещения подвижного субстрата, а также активного вмешательства с целью ускорения стабилизации всех процессов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Аральское море в начале XXI века: физика, биология, химия. 2012 / Ред. П.О. Завьялов. М.: Наука. 229 с.

- Аральское море и Приаралье. 2017. Обобщение работ НИЦ МКВК по мониторингу состояния и анализу ситуации. Ташкент: Vaktria press. UNESCO. 116 с. [Электронный ресурс <http://icwc-aral.uz/25years/pdf/aral.pdf> (дата обращения 03.05.2020)].
- Аральское море. Т. VII. 1990. // Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Проект «Моря СССР» / Ред. В.Н. Бортник, С.П. Чистякова. Л.: Гидрометеиздат. 195 с.
- Байдал М.Х.* 1961. Комплексный макроциркуляционный метод долгосрочных прогнозов погоды. Л.: Гидрометеиздат. 210 с.
- Байдал М.Х.* 1972. Связь вековых колебаний уровня Аральского моря с соотношениями солнечной активности атмосферной циркуляции и макротипов атмосферной циркуляции // Труды КазНИГМИ. Вып. 44. С. 62-66.
- Бейдеман И.Н., Паутова В.Н.* 1969. Водный режим растений на островах и берегах озера Байкал и методика его изучения // Труды Лимнологического института. Т. 9 (29). Вып. 2. 383 с.
- Бельгибаев М.Е.* 1981. Эоловые процессы и структура почвенного покрова осушенного побережья Арала // Рациональное использование и охрана природных ресурсов Северного и Центрального Казахстана. Алма-Ата: Кайнар. С. 63-86.
- Бельгибаев М.Е., Некрасова Т.Ф., Киевская Р.Х., Можайцева Н.Ф.* 1983. Прогноз формирования почвенного покрова обсыхающего дна Аральского моря // Природопользование Северного Казахстана. С. 63-86.
- Богданова Н.М., Костюченко В.П.* 1977. Процессы соленакопления почво-грунтов осушившегося дна Аральского моря // Известия АН СССР. Серия географическая. № 8. С. 44-56.
- Богданова Н.М., Костюченко В.П.* 1978. Засоленность почвогрунтов осушившегося дна Аральского моря // Известия АН СССР. Серия географическая. № 2. С. 35-45.
- Большое Аральское море в начале XXI века: физика, биология, химия. 2012 / Ред. П.О. Завьялов, Е.Г. Арашкевич, И. Бастида. Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН. М.: Наука. 229 с.
- Боровский В.М., Можайцева Н.Ф., Киевская Р.Х., Корниенко В.А., Богачев В.П.* 1983. Формирование почвенного покрова на осушающемся побережье Аральского моря в пределах Казахстана // Состояние акватории и осушенного дна Аральского моря. Алма-Ата. С. 43-91.
- Влияние снижения уровня Аральского моря на окружающую среду. 1979. Алма-Ата: Наука. 128 с.
- Вухрер В.В.* 1979. Первичное зарастание обсыхающего побережья Арала // Проблемы освоения пустынь. № 2. С. 66-69.
- Вухрер В.В.* 1990. Формирование растительности новой суши в пустыне. Алма-Ата: Гылым. 216 с.
- Вухрер В.В., Брекле З.-В.* 2003. Псаммофитная сукцессия на юго-восточном побережье Аральского моря // Ботаническая география Казахстана и Средней Азии (в пределах пустынной зоны) / Ред. Е.И. Рачковская, Е.А. Волкова, В.Н. Храмов. СПб.: Бостон-Спектр. С. 145-152.
- Галаева О.С., Идрисова В.П.* 2007. Климатические особенности пыльных бурь Приаралья // Гидрометеорология и экология. № 2. С. 27-40.
- Галаева О.С., Семенов О.Е., Шапов А.П.* 1996. Об особенностях ветрового переноса песка в Аральском регионе // Гидрометеорология и экология. № 4. С. 73-93.
- Геллер С.Ю.* 1969. Некоторые аспекты проблемы Аральского моря // Проблема Аральского моря. М.: Наука. С. 5-24.
- Григорьев А.А.* 1985. Антропогенные воздействия на природную среду по наблюдениям из космоса. Л.: Наука. 239 с.
- Григорьев А.А., Липатов В.Б.* 1979. Пыльные бури в Приаралье по данным космической съемки // Развитие и преобразование природной среды. Л.: ЛГПИ им. А.И. Герцена. С. 94-103.
- Грязнова Т.П.* 1979. Геоморфологические условия осушающегося дна Юго-восточного Приаралья // Проблемы освоения пустынь. № 2. С. 52-57.

- Джамантиков Х., Джамантиков Е.Х., Далдабаева Г.Т., Каверин В.С., Вухрер В.В.* 2003. Рекомендации по ассортименту и технологии возделывания галофитов – кустарниковых и древесных насаждений на осушенном дне Аральского моря. Кызылорда. 19 с.
- Димеева Л.А.* 1994. Динамика урожайности фитоценозов осушенного дна Аральского моря // Известия НАН Республика Казахстан. Серия биологическая. № 5. С. 17-24.
- Димеева Л.А.* 1995. Эколого-исторические этапы формирования приморской растительности Приаралья // Бюллетень МОИП. Отделение биологическое. Т. 100. Вып. 2. С. 72-84.
- Димеева Л.А.* 2007. Закономерности первичных сукцессий Аральского побережья // Аридные экосистемы. Т. 13. № 33-34. С. 91-102.
- Димеева Л.А.* 2011. Динамика растительности пустынь Приаралья и Прикаспия. Дисс. ... докт. биол. наук. СПб.: Институт ботаники РАН. 319 с.
- Димеева Л.А., Альмурзаева С.К.* 2004. Оценка изменений микроклимата после проведения фитомелиорации деградированных пастбищ Приаралья // Материалы Международной конференции «Развитие ботанической науки в Центральной Азии и ее интеграция в производство». 16-17 сентября, г. Ташкент, Узбекистан. С. 127-129.
- Димеева Л.А., Бекнияз Б.К., Алимбетова З.Ж.* 2017. Мониторинг саксауловых насаждений на осушенном дне Аральского моря // Материалы X всероссийской научной конференции с международным участием. 4-7 сентября, Екатеринбург: Изд-во Уральского государственного Лесотехнического университета. С. 78-87.
- Димеева Л.А., Брекле З.-В., Вухерер В.В.* 2008. Флора пустыни Аралкум (в пределах Казахстана) // Известия НАН РК. Серия «Биология и медицина». № 6. С. 25-31.
- Димеева Л.А., Ишида Н., Алимбетова З.Ш., Сеткеев Г.* 2018. Опыт создания защитных лесополос в поселках Приаралья // Материалы VII Международной научно-практической конференции «Проблемы рационального использования и охраны природных ресурсов Южного Приаралья». 17-18 июля 2018 г. Т. II. Нукус: КИЕН. С.79-80.
- Димеева Л.А., Мейрман Г.Т., Будникова Т.Н., Альмурзаева С.К., Ларииков С.И.* 2000. Экспериментальные методы фитомелиорации побережья Аральского моря // Тезисы докладов Международной конференции «Реальность и перспективы устойчивого развития экосистем Аральского региона». 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.
- Жалгасбаев Ж., Жоллыбеков Б., Козлова Т.С., Новикова Н.М., Шенкарева М.Е.* 1980. Структура современных ландшафтов, сукцессионные процессы на осушающемся побережье Аральского моря в районе дельты Амударьи // Вестник КК ФАН УзССР. № 3. С. 18-23.
- Житомирская О.М.* 1964. Климатическое описание района Аральского моря. Л.: Гидрометеиздат. 64 с.
- Жоллыбеков Б.* 1991. Изменение почвенного покрова приморской дельты Амударьи при аридизации. Нукус: Билим. 132 с.
- Золотокрылин А.Н., Токаренко А.А.* 1991. О вариациях климата в Приаралье за последние 40 лет // Известия академии наук СССР. Серия географическая. № 4. С. 69-75.
- Инагамова С.И., Мухтаров Т.М., Мухтаров Ш.Т.* 2002. Особенности синоптических процессов Средней Азии. Ташкент: САНИГМИ. 485 с.
- Ишанкулов М.Ш.* 1980. К типологии ландшафтов современных осушающихся побережий Арала // Проблемы освоения пустынь. № 5. С. 18-23.
- Ишанкулов М.Ш.* 1985. Развитие природных комплексов обнажающегося дна Аральского моря // География и природные ресурсы. № 2. С. 45-53.
- Ишанкулов М.Ш., Курочкина Л.Я., Макулбекова Г.Б., Некрасова Т.Ф.* 1979. О динамике процессов ландшафтообразования юго-восточного побережья Аральского моря

- (Босайский створ) // Проблемы освоения пустынь. № 2. С. 40-51.
- Кабулов С.К.* 1979. Изменение экосистемы Южного Приаралья в связи с усыханием Аральского моря // Проблемы освоения пустынь. № 2. С. 78-83.
- Кабулов С.К.* 1982. Исследование компонентов природной среды Южного Приаралья в связи с проблемой Аральского моря // Вестник КК ФАН УзССР. № 3. С. 12-15.
- Кабулов С.К.* 1984. Фитоценотические условия осушенного дна Аральского моря в связи с засолением и эоловыми процессами // Проблемы освоения пустынь. № 3. С. 16-20.
- Кабулов С.К.* 1990. Изменение фитоценозов пустынь при аридизации (на примере Приаралья). Ташкент: ФАН УзССР. 240 с.
- Кабулов С.К., Новикова Н.М.* 1982. Адаптация солероса европейского к обсыхающему побережью Аральского моря // Вестник КК ФАН УзССР. № 3. С. 12-15.
- Каверин В.С., Салимов А.-Б.А.* 2000. Перспективные улучшения экологической обстановки на осушившемся дне Аральского моря методами лесомелиорации // Новости науки Казахстана. №1. С. 21-13.
- Каверин В.С., Салимов А.-Б.А., Шахматов П.Ф.* 2005. О необходимости фитомелиорации осушенного дна Аральского моря // Актуальные вопросы лесного хозяйства и озеленения в Казахстане. Алматы. 2005. С. 89-96.
- Каипов И.В.* 1995. Моделирование трансформации ветропесчаного потока при изменении характеристик подстилающей поверхности // Актуальные проблемы гидрометеорологии озера Балхаш и Прибалхашья. СПб. С. 148-159.
- Киевская Р.Х.* 1979. Формирование ландшафта осушающейся полосы Восточного побережья Аральского моря в районе авандельты Сырдарьи // Проблемы освоения пустынь. № 5. С. 18-24.
- Комплексные дистанционные и наземные исследования осушенного дна Аральского моря. 2008 // Ред. В.А. Духовный, П. Навратил, И. Рузиев, Г. Стулин, И. Рощенко. Ташкент: НИЦ МКВК. 190 с.
- Корниенко В.А., Киевская Р.Х., Некрасова Т.Ф., Можайцева Н.Ф.* 1983. Научные основы экологического прогноза опустынивания гидроморфных ландшафтов // Проблемы освоения пустынь. № 2. С. 13-21.
- Корниенко В.А., Некрасова Т.Ф., Можайцева Н.Ф., Ишанкулов М.Ш.* 1985. Становление почвенного покрова осушенного дна Аральского моря, изменение его в Приаралье и пути устранения неблагоприятных последствий аридизации // Доклады симпозиумов 7-го делегатского съезда ВОП. Ташкент. С. 171-179.
- Костюченко В.П.* 1979. Солончаки осушающегося дна Аральского моря // Особенности песчаных почв и их использование. М.: Наука. С. 134-150.
- Костюченко В.П.* 1984. Засоленность почвогрунтов осушающегося дна Аральского моря как предпосылка выноса соленой пыли // Проблемы освоения пустынь. № 2. С. 27-33.
- Костюченко В.П., Богданова Н.М.* 1979. Изучение источников возможного выноса солей на осушившемся южном побережье Аральского моря // Проблемы освоения пустынь. № 4. С. 3-10.
- Кокшарова Н.Е., Исаков Г.И.* 1985. О лесомелиорации осушенного дна Аральского моря // Проблемы освоения пустынь. № 5. С. 28-31.
- Кравцова В.И., Мудря Т.М.* 2004. Сезонные изменения береговой зоны Аральского моря по материалам космической съемки // Вестник Московского государственного университета. Серия 5 «География». № 5. С. 46-53.
- Кривоногов С.К.* 2009. Падение Аральского моря в Средние века // Доклады Академии Наук. 428 (1). С. 1146-1150.
- Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е.* 2007. Рекультивация солончаков обсохшего дна Аральского моря в изменяющихся климатических условиях // Биологическая рекультивация и

мониторинг нарушенных земель. Екатеринбург: Издательство Уральского университета. С. 391-408.

- Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е. 2009. Влияние быстроменяющегося климата Приаралья на фитомелиорацию солончаков // Аридные экосистемы. Т. 15. № 3 (39). С. 46-58.
- Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е. 2010. Влияние климатических флуктуаций и способов посадки галофитных кустарников на результаты фитомелиорации солончаков Приаралья // Аридные экосистемы. Т. 16. № 3 (43). С. 67-76.
- Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е. 2013. Мониторинг развития саксаула черного (*Haloxylon aphyllum*) на гидроморфных солончаках обсохшего дна Аральского моря // Аридные экосистемы. Т. 19. № 4 (57). С. 40-48. [Kuzmina Zh.V., Treshkin S.Ye. 2013. Monitoring of Growth of Black Haloxylon (*Haloxylon aphyllum*) on Hydromorphic Salt Marches of Dried Bottom of Aral Sea // Arid Ecosystems. Vol. 3. No. 4. P. 220-226.]
- Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е. 2016. Климатические изменения в Приаралье и Средней Азии // Аридные экосистемы. Т. 22. № 4 (69). С. 5-20. [Kuzmina Zh.V., Treshkin S.Ye. 2016. Climate Changes in the Aral Sea Region and Central Asia // Arid Ecosystems. Vol. 6. No. 4. P. 227-240.]
- 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.
- Курбаниязов А.К. 2017. Эволюция ландшафтов обсохшего дна Аральского моря: монография. М.: Издательский дом Академии Естествознания. 148 с.
- Курочкина Л.Я. 1979. Ботанические исследования в бассейне Аральского моря // Проблемы освоения пустынь. № 3. С. 9-17.
- Курочкина Л.Я., Вухрер В.В. 1987. Развитие идей В.Н. Сукачева о сингенезе // Вопросы динамики биогеоценозов: Доклады на IV ежегодных чтениях памяти В.Н. Сукачева, г. Москва, 1985 г. М.: Наука. С. 5-27.
- Курочкина Л.Я., Вухрер В.В., Макулбекова Г.Б., Димеева Л.А. 1991. Состояние растительности осушенного дна и побережья Аральского моря // Известия РАН. Серия географическая. № 4. С. 76-88.
- Курочкина Л.Я., Макулбекова Г.Б., Вухрер В.В., Малайсарова А.Н. 1983. Растительность осушенного дна Аральского моря // Состояние акватории и осушенного дна Аральского моря. Алма-Ата. С. 91-128.
- Майлун З.А. 1973. Тугайная растительность – Potamoxyta // Растительный покров Узбекистана. Ташкент: Наука. Т. 2. С. 303-375.
- Макулбекова Г.Б. 1979. Растительность Босайского створа и ее смена // Проблемы освоения пустынь. № 5. С. 31-36.
- Можайцева Н.Ф. 1979. Эволюция ландшафтов при обсыхании восточного побережья Аральского моря // Проблемы освоения пустынь. № 3. С. 18-24.
- Можайцева Н.Ф., Некрасова Т.Ф. 1984. Метод подсчета ветрового выноса солей с обсыхающего дна Аральского моря // Проблемы освоения пустынь. № 6. С. 15-21.
- Молоснова Т.И., Илияк Э.Л. 1991. Климатические колебания общей циркуляции атмосферы и типов синоптических процессов // Труды САНИГМИ. Вып. 141 (222). С. 3-11.
- Молоснова Т.И., Субботина О.И., Чанышева С.Г. 1987. Климатические последствия хозяйственной деятельности в зоне Аральского моря. М.: Гидрометеиздат. 119 с.
- Некрасова Т.Ф. 1979. Особенности водно-солевого режима почв юго-восточного побережья Аральского моря // Проблемы освоения пустынь. № 4. С. 18-28.

- Нечаева Н.Т.* 1989. Экологические основы сохранения и обогащения пастбищ аридной зоны СССР // Проблемы освоения пустынь. № 2. С. 3-12.
- Нечаева Н.Т., Шамсутдинов З.Ш.* 1990. Антропогенная динамика пустынных биогеоценозов и пути восстановления их продуктивности // VIII Чтения памяти академика В.Н. Сукачева. Проблемы антропогенной динамики биогеоценозов. М.: Наука. С. 31-33.
- Николаев В.А.* 1979. Проблемы регионального ландшафтоведения. М.: Изд-во МГУ. 160 с.
- Никулина С.П.* 1998. Применение скользящего контроля для выделения сигналов глобального потепления в региональных температурных рядах // Труды САНИГМИ. Вып. 156 (237). С. 109-115.
- Никулина С.П., Спекторман Т.Ю.* 1998. Использование сценариев изменения глобальной температуры для оценок термического режима Узбекистана // Труды САНИГМИ. Вып. 156 (237). С. 103-108.
- Новикова Н.М., Жалгасбаев Ж., Жоллыбеков Б., Козлова Т.С., Шенкарева М.Е.* 1980. Структура современных ландшафтов и сукцессионные процессы на осушающемся побережье Аральского моря в районе дельты Амударьи // Вестник Каракалпакского филиала АН УзССР. № 3. С. 18-23.
- Новикова Н.М.* 1977. Принципы сохранения ботанического разнообразия дельтовых равнин Турана // Дисс. ... докт. геогр. наук. М.: ГУЗ. 104 с.
- Новикова Н.М.* 2019. Эколого-географический аспект Аральского кризиса. Ч. 1. Развитие Аральской проблемы, её изучение, оценка и разработка мероприятий // Экосистемы: экология и динамика. 2019. Т. 3. № 1. С. 5-66.
- Огарь Н.П., Бижанова Г.К., Димеева Л.А., Пермитина В.Н.* 2005а. Фитомелиорация солончаковых пустынь побережья Аральского моря // Известия Национальной АНРК. Серия «Биология и медицина». № 1. С. 89-93.
- Огарь Н.П., Каверин В.С., Вухрер В.В., Димеева Л.А., Джамантиков Х., Исмаилов М.И.* 2005б. Экспериментальные работы по фитомелиорации осушенного дна Аральского моря // Актуальные вопросы лесного хозяйства и озеленения в Казахстане. Алматы. С. 157-162.
- Панкратова И.В.* 2002. Эколого-физиологическая характеристика растительного покрова песчаного побережья Аральского моря (о. Барсакельмес): Автореф. дис. ... канд. биол. наук. СПб.: Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена. 16 с.
- Панкратова И.В.* 2007. Водный режим фитоценозов песчаного побережья Арала // Аридные экосистемы. Т. 13. № 33-34. С. 101-112.
- Попов В.А.* 2017. Ландшафтогенез Аральской впадины // Известия Географического общества Узбекистана. Т. 50. С. 22-31.
- Проект «Создание защитных лесных насаждений на осушенном дне Аральского моря». 2017.08.09 [Электронный ресурс <http://www.cawater-info.net/best-practices/ru/base/marker/177> (дата обращения 29.06. 2019)].
- Разаков Р.М., Косназаров К.А.* 1987. Эоловый вынос и выпадение солепылевых частиц в Приаралье // Проблемы Аральского моря и природоохранные мероприятия. Ташкент. С. 24-32.
- Рафиков А.А.* 1982. Природные условия осушающегося южного побережья Аральского моря. Ташкент: ФАН. 148 с.
- Рубанов И.В., Богданова Н.М.* 1987. Количественная оценка солевой дефляции на осушающемся дне Аральского моря // Проблемы освоения пустынь. № 3. С. 23-34.
- Сатановская Т.* 2020. Почему высохло Аральское море [Электронный ресурс <https://pronedra.ru/pochemu-aralskoe-more-vysoxlo-451456.html> (дата обращения 17.02.2020)].
- Семенов О.Е., Каитов И.В., Шапов А.П.* 1990. Песчано-солевые бури в Приаралье // Гидрометеорологические проблемы Приаралья / Ред. Г.Н. Чичасов. Л.: Гидрометеоиздат. 276 с.

- Семенов О.Е., Тулина Л.П., Чичасов Г.Н. 1991. Об изменениях климата и экологических условий Приаралья // Мониторинг природной среды в бассейне Аральского моря. СПб.: Гидрометеиздат. С. 150-176.
- Семенов О.Е., Шапов А.П., Галаева О.С., Идрисова В.П. 2006. Ветровой вынос и песчано-солевые выпадения с осушенной части дна Аральского моря // Аридные экосистемы. Т. 12. № 29. С. 47-58.
- Современное состояние и изменение природной среды и экосистем Приаралья и на обсохшей части дна Аральского моря. 1979. Промежуточный отчет, архив ИГ РАН. 456 с.
- Спекторман Т.Ю., Петрова Е.В. 2006. Оценка изменений климата Узбекистана на перспективу // Труды НИГМИ. Вып. 6 (251). С. 41-54.
- Субботина О.И., Чевычалова Т.М. 1991. Особенности многолетних изменений атмосферной циркуляции на территории Средней Азии // Труды САНИГМИ. Вып. 141 (222). С. 12-21.
- Субботина О.И., Чанышева С.Г. 2006. Климат Приаралья. Ташкент: НИГМИ. 172 с.
- Субботина О.И., Чанышева С.Г., Молоснова Т.И. 1995. Изменчивость климата Средней Азии / Ред. Ф.А. Муминов, С.И. Инагамова. Ташкент: САНИГМИ. 216 с.
- Толкачева Г.А., Аксенова Л.А., Конюхов В.Г. 1985. Мониторинг атмосферных выпадений в Среднеазиатском регионе. Ташкент: Гидрометеиздат. 66 с.
- Третье национальное сообщение республики Узбекистан по рамочной конвенции ООН об изменении климата. 2013 г. Ташкент: Узгидромет. 246 с.
- Чуб В.Е. 2000. Изменение климата и его влияние на природно-ресурсный потенциал Республики Узбекистан. Ташкент: САНИГМИ. 252 с.
- Чуб В.Е. 2007. Изменение климата и его влияние на гидрометеорологические процессы, агроклиматические и водные ресурсы Республики Узбекистан. Ташкент: Узгидромет. 135 с.
- Чуб В.Е., Спекторман Т.Ю. 2006. Климатические тренды по территории Узбекистана // Изменение климата, причины, последствия и меры реагирования. Бюллетень № 10. С. 5-16.
- Шамсутдинов З.Ш. 1975. Создание долголетних пастбищ в аридной зоне Средней Азии. Ташкент: Фан. 176 с.
- Шамсутдинов З.Ш., Шамсутдинов Н.З. 2010. Учение Н.Т. Нечаевой о пустынных пастбищах // Аридные экосистемы. Т. 16. № 2 (42). С. 11-29.
- Aralkum – a Man-Made Desert: The Desiccated Floor of Aral Sea (Central Asia). 2012 / Eds. S-W. Berkley, W. Wucherer, L. Dimeeva, N. Ogar // Ecological Studies. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag. 488 p.
- Glantz Michael H. Creeping environmental problems in the Aral Sea basin. 1990 [Электронный ресурс <http://archive.unu.edu/unupress/unupbooks/uu18ce/uu18ce04.htm#4>. creeping environmental problems in the aral sea basin (дата обращения 03.05.2020)].
- Kim J., Song Ch., Lee S., Jo H. - W., Park E., Yu H., Cha S., An J., Son Yo., Khamzina A., Lee W. - K. 2020. Identifying Potential Vegetation Establishment Areas in the Aral Sea using Satellite Images // Land degradation and development. First published: 03 May 2020. [Электронный ресурс <https://doi.org/10.1002/ldr.3642> (дата обращения 03.05.2020)].
- Meirman G., Dimeyeva L, Dzhamantikov K., Wucherer W., Breckle S.-W. 2001. Seeding Experiments on the Dry Aral Sea Floor for Phytomelioration // Sustainable Land Use in Deserts. Springer-Verlag Berlin. Heidelberg. P. 318-322.
- Ressl R., Ptichnikov A. 2001. Aral Sea GIS. Project Sponsored by USAID and Institute of Geography of Russian Academy of Sciences. M. P. 3-4.
- The Aral Sea: the Devastation and Partial Rehabilitation of a Great Lake. 2014 / Eds. Ph. Micklin, N.V. Aladin, I. Plotnikov. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag. 454 p.
- Yair A. 2001. Sedimentary Environments in the Desiccated Aral Sea Floor: Vegetation Recovery and Prospects for Reclamation // Sustainable Land Use in Deserts. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag. P. 310-317.

UDC 504.058 (262.83)

**ECOLOGICAL AND GEOGRAPHICAL ASPECTS OF THE ARAL SEA CRISIS.  
PART 2. RESEARCH OF CLIMATE DYNAMICS AND DRIED-UP SEA BOTTOM**

© 2020. N.M. Novikova

*Water Problems Institute of the Russian Academy of Sciences  
Russia, 119333, Moscow, Gubkina Str, 3. E-mail: nmnovikova@gmail.com*

Received May 05, 2020. After revision May 25, 2020. Accepted June 01, 2020.

In the second part of our article we study the researches on the subject of the climatic parameters changes in the territory of the Aral Sea region, and their current conditions. The researches were carried out under the Aral crisis. We describe and discuss the approaches to their study and evaluation, used by different authors. By the end of the 1990s the values of air temperature and amplitude of its fluctuations at the island and coastal weather stations approached the values at the desert stations. This indicates that the period of climate change in the Aral Sea region, which was caused by the drop of sea level, has ended. The studies on dust storms have shown that their activity is characterized by the periods of increase and decrease due to the wind strength changes in different climatic ages. The studies on the natural overgrowth of the sea floor indicate that new terrestrial vegetation develops very slowly and areas that became waterless after the 2000s are not yet covered with plants. Data of the long-term observations on vegetation formation in the complex topo-ecological profiles on the new land that were started in the 1970-1980s and are still going, served as the basis for a theoretical generalization of the types of primary vegetation successions, factors of their development, temporal changes of species' richness, phytocenotic formation, speed and direction of communities' changes, and their final stages. We concluded that most of the plant communities that had a long path of development (more than 50 years) on the coastal areas of the sea floor are still in their initial stages of formation. Experimental work on the formation of forest plantations on the dried-up sea bottom and publications on the results were actively developing in 1990-2010s, but now there are practically none. The results of Kazakh and Uzbek scientists on the development of typology of forest growing conditions of the dried sea bottom, methods and technologies of phytomelioration for improving the survival of seedlings and the one-year-old young plants are considered.

*Keywords:* Aral Sea, Aral crisis, dry bottom, climate, air temperature, precipitation, changes, trends, assessment, salt and dust transfer, dust storms, drifting dust, natural overgrowth, successions types, soil salinization, sustainable species, phytomelioration technologies, features of plant species development in forest plantations.

**DOI: 10.24411/2542-2006-2020-10062**